

# Srovnání výsledků rovnice RUSLE a dynamického erozního modelu SWAT na příkladu povodí Rožnovské Bečvy

Petr Vavroš

Institut geoinformatiky, Hornicko–geologická fakulta, VŠB–TU Ostrava, 17.listopadu 15/2172,  
708 33, Ostrava - Poruba, Česká republika  
petr.vavros.hgf@vsb.cz

**Abstrakt.** Tato diplomová práce se zabývá srovnáním dvou výpočetních metod – statické rovnice pro odnos půdy RUSLE a dynamického erozního modelu SWAT.

První část zahrnuje popis pilotního území, další se pak věnuje teoretickému rozboru problematiky srážkoodtokového a erozního modelování. V praktické části je popisována příprava vstupních vrstev a samotná simulace v prostředí modelu SWAT a pomocí statické výpočetní metody, pomocí rovnice RUSLE. Závěrečná část pak obsahuje výsledky práce, spolu se srovnáním obou metod.

**Klíčová slova:** srovnání, RUSLE, SWAT, Rožnovská Bečva.

**Abstract.** The aim of this diploma thesis is comparison of two computing methods – the static soil loss equation RUSLE and dynamic erosion model SWAT.

First part contains description of the pilot watershed, the next one is aimed on a theoretical rozboru of rainfall-runoff and erosion modeling. In the practical part is described preparation of input layers and the main simulation in SWAT model and with the static computing method, the RUSLE equation. The final part contains the outputs of the work, with comparison of both method.

**Keywords:** comparison, RUSLE, SWAT, Rožnovská Bečva

## 1 Úvod

Problematiku eroze a její návaznosti na srážky řeší člověk odedávna. První snahy o určení ohroženosti pozemku nebo celého území erozí sahají již do 30. a 40. let 20. století. V té době však šlo o složité výpočty analogovou cestou a k rozvoji a širšímu využití došlo teprve

s nástupem výpočetní techniky. S rozšířením použití GIS, zhruba od devadesátých let, pak komplexní řešení eroze již není složitým problémem.

Výrazným dopadem lidské činnosti na krajinu, vlivem jejího obhospodařování a využívání půdy je stále výrazněji se projevující vliv na rozrušování půdy a její následnou erozi. Tento vliv má dalekosáhlý dopad na dané území, proto včasná a účinná predikce těchto jevů může výrazně přispět k ochraně těchto území před ničivými dopady eroze.

Právě k tomuto účelu byly vyvinuty modely a postupy simulující odnos sedimentů z daného území v závislosti ať už na přírodních charakteristikách krajiny nebo na formě hospodaření na daném území.

S rozvojem všech technologií v této oblasti ale došlo k vývoji velkého množství programů pro řešení srážkoodtokového a erozního modelování. Na jednu stranu je výhodou, že si můžeme k řešení vybírat z mnoha výpočetních modelů a postupů, ale současně tato různorodost znesnadňuje výběr, neboť každý model přistupuje k simulaci z jiného pohledu. Právě různorodost všech vstupů, výstupů, možností a nutnost pochopení procesů i samotného uživatelského prostředí a rozhraní modelů či výpočetních procesů může být matoucí při výběru modelu k srážko-odtokovému řešení erozních procesů.

## **2 Pilotní povodí**

Mezi Vsetínskými vrchy na jihu a západní části Moravskoslezských Beskyd na severu je situována protáhlá sníženina Rožnovské brázdy. Je v celé délce protékána Rožnovskou Bečvou. Má plochu 109 km<sup>2</sup> a její dno vykazuje střední nadmořskou výšku 486,5 m. Rožnovská Bečva pramení na severních svazích Vysoké ve výšce 910 m. n. m. [1]

## **3 Problematika srážkoodtokového modelování**

Samotná problematika srážkoodtokového modelování si klade za cíl postihnout složitý jev, který vzniká při srážkách, či tání, kdy intenzita deště překročí vsakovací schopnost půdy a voda do ní nestíhá vsakovat. V důsledku rozmanitosti půdního povrchu se povrchově odtékající voda soustřeďuje a vytváří v půdě drobné rýžky, rýhy až strže. Odtok vznikající v horních částech povodí stéká pak dolů různými druhy proudění, které jsou ovlivněny velkým počtem faktorů. Erozními činiteli při procesu vodní eroze jsou tedy dešťové srážky a z nich vzniklý povrchový odtok. [2]

Míra ohrožení území, resp. jeho části (např. jednotlivého pozemku) procesy vodní eroze je určena vztahem mezi schopností erozních činitelů způsobit erozi a schopností povrchu půdy tomuto působení odolávat. [3]

Matematický model srážkoodtokového procesu představuje zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému (Daňhelka et al. 2002). Tento systém je definován jako systém převážně fyzikálních procesů, působící na vstupní proměnné, jež pak transformuje ve výstupní veličiny. Při matematickém vyjádření bychom mohli říci, že jde o algoritmus řešení soustavy rovnic, které popisují strukturu a chování systému (Clarke, 1973 In: Fleming, 1979).

### 3.1 Eroze

Erozi lze charakterizovat jako přírodní proces, při kterém působením vody, větru, ledu, příp. jiných činitelů dochází k rozrušování povrchu půdy a transportu půdních částic.

Podle erozních činitelů je možné erozi třídit na erozi vodní (akvatickou, nebo častěji fluviální), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální), sněhovou apod.

Modelování pomocí modelu SWAT nebo rovnice RUSLE je odvozováno z eroze vodní. Ta spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami.

Vznik, průběh a intenzita erozního procesu je ovlivněna kombinovaným působením řady přírodních a člověkem ovlivnitelných podmínek. Tyto tzv. faktory eroze lze rozdělit na:

*klimatické a hydrologické*

*morfologické*

*geologické a půdní*

*vegetační*

*způsob využívání a obhospodařování půdy*

### 3.2 Vodní eroze

Ve výpočetních postupech použitých v této práci se nejvíce uplatňuje eroze vodní. Ta hraje hlavní roli v srážko-odtokovém erozním modelování.

Vodní eroze spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem a podle formy se dělí na erozi plošnou, rýhovou, výmolovou a proudovou.

Erozi v důsledku dešťových srážek lze popsat na příkladu dopadajících kapek deště, které rozrušují půdní agregáty. Uvolněné půdní částice jsou pak následně transportovány v důsledku povrchového odtoku. V případě, že unášecí síla vody je menší, tyto částice sedimentují. Erozní účinek dešťových srážek je dán jejich kvalitativními charakteristikami, především jejich intenzitou a kinetickou energií, nebo jejich kombinací.

Erozní a transportní činnost povrchového odtoku se obecně vyjadřuje v závislosti na jeho kvantitativních charakteristikách (např. objemu hydrogramu, kulminačním průtoku apod.) nebo charakteristikách kvalitativních (např. rychlosti proudění, tangenciálním napětí).

Míra ohrožení vodní erozí [3]:

<b>Ohrožení vodní erozí</b>	Velmi slabé	Slabé	Střední	Silné	Velmi silné	Extrémní
Ztráta půdy (t·ha <sup>-1</sup> ·rok. <sup>-1</sup> )	Do 1,6	1,6 - 3,0	3,1 - 4,5	4,6 - 6,0	6,1 – 7,5	Nad 7,5

#### 4 Simulační modely povrchového odtoku a eroze

Simulace eroze je založena na terénním pozorování, laboratorních experimentech a použití časových řad. Z tohoto zkoumání vyvozené vztahy byly v ranném období používání výpočtů eroze použity k navržení a používání tzv. empirických modelů erozního procesu.

V polovině 70. let dochází k počátku rozvoje výpočetní techniky. Spolu s tímto dochází také k rozvoji teoretických znalostí v oblasti hydrauliky povrchového odtoku, mechanismu erozních procesů, infiltračních teorií a dalších. Tyto možnosti a nové zkušenosti vedly k navržení a použití dokonalejších postupů a metod v podobě řešení erozních jevů, jako dynamického procesu měnícího se v prostoru a čase. Spolu s dalším rozvojem této oblasti došlo k vývoji simulačních modelů erozního procesu, který na základě fyzikálního popisu všech zúčastněných procesů řeší průběh a výslednou intenzitu erozních jevů.

Poznání zákonitosti vzniku a průběhu procesů vodní eroze je – tak jako při sledování všech přírodních procesů – založeno na dlouhodobém terénním pozorování a laboratorních experimentech. Je tedy zcela logické, že vztahy kvantifikující vlivy jednotlivých erozních faktorů i intenzitu erozních jevů mají svůj základ v analýze a zpracování časových řad a vedly v počátečním období výpočetních metod k odvození a používání tzv. empirických modelů erozního procesu.

V polovině 70. let teoretický rozvoj v oblasti hydrauliky povrchového odtoku, infiltračních teorií, mechanismu erozních procesů atd. a v neposlední řadě i rozvoj výpočetní techniky umožnily přechod od empirických postupů k řešení erozního jevu jako dynamického procesu proměnného v prostoru a v čase. Tento přístup vedl k prudkému rozvoji metod tzv. „simulačních modelů erozního procesu“, které na základě fyzikálního popisu všech zúčastněných procesů řeší průběh a výslednou intenzitu erozních jevů.

##### 4.1 Simulační modely erozního odtoku

Simulační modely vodní eroze vycházejí z definice eroze jako přírodního procesu uvolňování, transportu a ukládání půdních částic působením erozních činitelů. U vodní eroze jsou těmito činiteli ve většině případů dešťové srážky a z nich vzniklý povrchový odtok.

Pro prognózu intenzity eroze a transportu látek a účinnosti protierozních opatření se podrobně vyhodnocují všechny přírodní a člověkem ovlivněné faktory, které se podílejí na vzniku a průběhu těchto jevů a kvantifikuje se jejich podíl na výsledné intenzitě erozního procesu a jeho vliv na prostředí. [2]

Použití simulačních modelů je v současnosti spojováno s programovými prostředky GIS pro přípravu vstupních podkladů řešení a prezentaci jeho výsledků. Toto spojení představuje moderní inženýrský nástroj, kterým lze účinně řešit různé varianty (scénáře) využití a ochrany území a vytvořit dostatečné množství podkladů pro rozhodovací a projekční činnost v této oblasti. Potřeba takového přístupu byla vyvolána i nutností posuzovat vodní erozi jako největší plošný zdroj znečištění s negativním dopadem na kvalitu vodních zdrojů a prostředí.

## 4.2 RUSLE

Rovnicí odvozenou z rovnice USLE je RUSLE, neboli Revised Universal Soil Loss Equation). Tato rovnice se stejně jako USLE používá pro predikci dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vodní erozí ze zemědělsky využívaných pozemků ležících v klimatické oblasti daného typu, s daným druhem půdy, o určitém sklonu a délce svahu, při určitém systému pěstování plodin, obdělávání půdy a uplatňováním protierozních opatření. Lze ji však aplikovat i pro území s nezemědělským využitím. Tato rovnice je jedním z nejpoužívanějších prostředků pro predikci dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vodní erozí, protože vyhovuje inženýrským i vědecko-výzkumným požadavkům.

Algoritmy využívané v rovnici RUSLE jsou částečně převzaty i z USLE. Jedná se převážně o stanovení hodnoty některých faktorů.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

kde:

- A - průměrná roční ztráta půdy,
- R - faktor erozní účinnosti deště,
- K - faktor erodovatelnosti půdy,
- L - faktor délky svahu,
- S - faktor sklonu svahu,
- C - faktor vegetačního krytu a osevního postupu,
- P - faktor protierozního opatření.

Jednotlivé parametry této rovnice byly určeny na základě dlouhodobého výzkumu eroze. Touto rovnicí lze zjistit dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy. Nelze ji použít pro období kratší, tím méně pro výpočet ztráty půdy z jednotlivých dešťových srážek.

### *Faktor erozní účinnosti deště – R*

Tento faktor je definován jako součin kinetické energie deště a jeho maximální třicetiminutové intenzity, neboli  $i_{30}$ . Tento vztah definoval W.H. Wischmeier a D.D. Smith. Průměrná roční hodnota faktoru R se určuje z maximálních ročních hodnot tohoto faktoru.

Údaje o tomto faktoru jsou dostatečně reprezentativní, pokud se vyvozují z průměrných ročních hodnot alespoň za dobu 50 let. Je možné, že hodnotu faktoru R nelze stanovit z podkladů ČHMÚ, proto je možno stanovit hodnotu R v dané lokalitě z tabulky.

#### *Faktor erodovatelnosti půdy - K*

Další faktor vstupující do rovnice vyjadřuje vliv kvality půdy na její odolnost vůči dopadajícím dešťovým kapkám a proudící vodě a vliv velikosti infiltrace na množství povrchového odtoku. V USLE byla kvantitativní hodnota faktoru K pro různé půdy určena experimentálně.

Odnos půdy byl měřen na standardním pozemku (standardní pozemek má délku po svahu 22,13 m, přímý sklon 9%, je udržován jako kypřený černý úhor s kultivací po svahu) – tzn., že hodnoty faktorů L, S, C a P byly rovny 1, potom:

$$K = G/E.I$$

V rovnici USLE je tedy definován jako odnos půdy z jednotky plochy na jednotku dešťového faktoru ze standardního pozemku. Tento faktor je rovněž možné přibližně určit podle hlavních půdních jednotek (HPJ) – tj. 2. a 3.místa číselného kódu bonitovaných půdně-ekologických jednotek (dále BPEJ).

Při určení faktoru K pomocí BPEJ je nutno přihlížet k tomu, kdy byl kód BPEJ určen a zda odpovídá současnému stavu.

#### *Topografický faktor - LS*

Vyjádření poměru ztrát půdy na jednotku plochy z daného pozemku ke ztrátě půdy na pozemku délky 22,13 m a to s přímým sklonem 9 % vyjadřuje důležitý faktor LS. Tento faktor je složen ze dvou faktorů – L (Slope Length, délka svahu) a S (Slope Steepness, strmost svahu). Výsledné hodnoty faktoru LS pak získáme prostým vynásobením těchto rastrových vrstev pomocí mapové algebry.

Hodnotu topografického faktoru LS pro přímé svahy lze vypočítat pomocí rovnice, nebo tuto práci přenechat výpočetnímu modelu, který z DEM vytvoří vrstvu, obsahující hodnoty tohoto faktoru. V této práci jsem použil k výpočtu programový prostředek GRASS v.6.2 a pro samotný výpočet model r.watershed. Faktor LS je bezrozměrné číslo.

#### *Faktor ochranného vlivu vegetace - C*

Tento faktor vyjadřuje vliv vegetačního pokryvu a agrotechniky na velikost erozního smyvu. Velikost faktoru C je poměr zjištěného smyvu půdy na pozemku s pěstovanými plodinami (vegetací) ke smyvu na pozemku s kypřeným černým úhorem (kde C = 1) při stejných ostatních podmínkách.

Ochranu půdy před účinky srážek, neboli přesněji před přímými účinky dopadajících dešťových kapek, zajišťuje vegetační kryt. Jeho vlastností je zachycování části srážek (intercepce), snižování rychlosti povrchového odtoku a ovlivňuje také půdní vlastnosti (propustnost, pórovitost, mechanické zpevnění půdy kořenovým systémem).

#### *Faktor účinnosti protierozních opatření - P*

Faktor účinnosti protierozních opatření je v USLE definován jako poměr zjištěného smyvu na pozemku s použitým protierozním opatření ke smyvu na standardním pozemku, který je obdáván ve směru spádnice. Hodnoty faktoru P (Wischmeier, Smith in Janeček 1992) jsou pro jednotlivá protierozní opatření (obdávání podél vrstevnic, pásové obdávání, hrázkování, terasování) uvedena v následující tabulce. Pokud však nelze předpokládat, že byly dodrženy uvedené podmínky (maximální délky, počty pásů), nelze s uvedenou hodnotou protierozních opatření počítat a je tedy nutno počítat s hodnotou  $P = 1$ .

Rozdílem mezi základní rovnicí USLE a RUSLE spočívá ve změně způsobu stanovení jednotlivých erozních faktorů. V porovnání obou rovnic můžeme v RUSLE zjistit tyto změny:

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

*K faktor* – určení časového průběhu hodnoty erodovatelnosti půdy v důsledku zhutňování povrchu půdy a rozpadu půdních agregátů srážkami a obhospodařováním.

*LS faktor* – zavedení nového vztahu pro vliv délky a sklonu svahu, který uvažuje poměr rýžkové a mezirýžkové eroze, upřesnění hodnoty sklonu a délky svahu pro stanovení ztráty půdy.

*C faktor* – zpřesnění faktoru pro hodnocení vlivu jednotlivých druhů zemědělských plodin a způsobu jejich pěstování pro nevyužívané půdy, pastviny, poškozené lesy, území s povrchovou těžbou surovin, stavenišť, a rekultivované plochy, včetně 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 obdávání a terasování na snížení ztráty půdy a kontroly produkce splavenin.

### **4.3 SWAT**

SWAT je komplexní výpočetní model, který k běhu vyžaduje mnoho rozličných vstupních informací. Avšak mnoho z těchto vstupních dat je použito k simulaci speciálních prvků, které nejsou běžné ve všech povodích. [4]

Samotné slovo SWAT je akronymem pro Soil and Water Assessment Tool, škálový model povodí vyvinutý na přelomu 80. a 90. let Dr. Jeffem Arnoldem pro USDA (United States Department Of Agriculture - Ministerstvo zemědělství USA) Agricultural Research Service (ARS) v Grassland, Soil & Water Research Laboratory v Temple v Texasu ve spolupráci s Blackland Research and Extension Center.

Byl vyvinut k předpovědi dopadu praktik územního hospodářství na vodu, sedimenty a zemědělských chemických výnosů (agricultural chemical yields) v rozsáhlém komplexu povodí s různými půdami, využitím půdy a podmínkami hospodaření po dlouhý časový úsek. [4]

Tento časový výpočetní model je kontinuální a není navržen pro detailní popis krátkodobých zátopových událostí. Model SWAT nám umožňuje simulaci množství

různých fyzikálních procesů v povodí. Hlavním procesem je však vždy pohyb vody v povodí a další procesy na něj vázané, nebo z něj vyplývající.

Možnosti využití modelu SWAT vyplývají z návaznosti na pozemní část hydrologického cyklu – od srážek, až po odtok vody z povodí. Data představující tyto děje můžeme shrnout do několika skupin:

- data o obsahu vody v půdě
- data o srážkách
- data o povrchovém odtoku
- data o velikosti evapotranspirace (pro různé druhy rostlin)
- data o vstupu vody do vadózní zóny
- data o vzlínání vody

V oblasti klimatických vstupních dat je SWAT schopen simulovat vliv množství srážek, teploty vzduchu, slunečního záření, rychlosti proudění vzduchu, sněhové pokrývky a tání sněhu. Všechny tyto oblasti mají vliv na modelované procesy.

Dalšími oblastí je hydrologie. Zde model počítá a modeluje procesy vázané na velikost intercepce, infiltrace a rozložení množství vody v půdním profilu, evapotranspirace a laterální podpovrchový odtok. Počítá taktéž s jezery, řekami a rybníky jako důležitými nedílnými prvky v hydrologickém cyklu.

Krajinný kryt, coby další oblast modelování je důležitý pro simulaci potenciální a aktuální transpiraci, příjem živin z půdy pro rostliny a je rovněž schopen odhalit stresové faktory pro růst rostlin z oblasti vody, živin a teploty. V souvislosti s touto oblastí je významná možnost modelování pohybu a cyklus přeměny fosforu a dusíku, jako důležitých prvků pro růst rostlin. Podobným způsobem je simulován i pohyb pesticidů povrchovým i podpovrchovým odtokem vody.

Blízkou oblastí jako je krajinný kryt je řízení využití půdy. Na základě příslušných vstupních dat je schopen model vypočítat nejlepší dobu pro začátek a ukončení pěstování jednotlivých plodin. Z výsledků jsme pak schopni odvodit i doporučené obměňování plodin na jednom místě a také vypočítat možnosti zavlažování pro dané území.

SWAT taktéž umí modelovat pohyb hmoty a částic ve vodních tocích či tělesech. Umožňuje predikci pohybu sedimentů, živin i pesticidů v toku, jakož i jejich usazování a odtok. [4]

K modelování erozních procesů využívá model rovnici MUSLE (Williams, 1975), což je modifikovaná rovnice USLE (Wischmeier, Smith, 1965, 1978).

## 5 Modelování

### 5.1 Výpočet v dynamickém modelu SWAT

Model SWAT je poměrně komplexní model využívající velké množství dat. Všechna tato data nejsou povinná a často se používají pouze v určitých případech simulace.

SWAT běží v prostředí programového prostředku ArcView 3.2. s extenzí Spatial Analyst.



Tento fakt nám poskytuje některé výhody z toho plynoucí. Prostředí tohoto programu je přehledné a je koncipováno s ohledem na funkčnost a vysokou efektivnost. Zároveň i při práci s tímto modelem zůstávají zpřístupněny ostatní funkce programu ArcView, což je výhodou při další práci s programem ArcView.

#### *Vstupní data*

Model SWAT vyžaduje pro svoji práci specifická data o vodě, půdě, klimatických podmínkách, vegetačním krytu a využití půdy. Na základě fyzikálních procesů spojených s vodou, jejím pohybem, pohybem sedimentů a dalších látek ve vodě a půdě model počítá a vyhodnocuje pohyb těchto látek, může také tyto procesy simulovat při změně jednotlivých podmínek půdy, vody, klimatu atd. [5]

#### *Vkládání dat a jejich editace*

Data se do modelu SWAT zadávají v jednotlivých krocích, čímž model kontroluje správnost dat a zároveň po určitých krocích vytváří sekundární vrstvy potřebné pro další zpracování.

Prvním krokem bylo vytvoření digitálního výškového modelu (DEM), vstupujícího do modelu jako základní vrstva.

Dalším, neméně důležitým bodem je definování tzv. Threshold Area, což je minimální velikost v hektarech, které může model vytvářet. V případě zpracování tohoto povodí byla použita hodnota Threshold-u 135 ha.

Mezi zbývající povinná data v tomto dialogovém okně patří pouze zadání Outlet definition table, případně ručně určit Outlet (závěrný profil - odtokový nejnižší bod povodí), příp. Inlet (bod přítoku).

Všechny provedené kroky v souladu s krokovým zadáváním je nutno potvrdit tlačítkem Apply. Výsledkem je povodí rozdělené na jednotlivá subpovodí, což je základem pro další výpočty.

#### *Zadávání Land Use / Land Cover*

V této části zadávání vstupních dat je nutno zadat data o půdách a data o půdním pokryvu. Data jsou načítána ve formě .dbf tabulek.

Jelikož tato tabulka je dělána pro krajinný kryt v USA, neodpovídá našim hodnotám. Je proto možné (a nutné) přímo v tomto dialogovém okně hodnoty reklasifikovat. Data o půdě jsou určena na základě granulometrické analýzy, podle procentuálního obsahu všech obsažených složek, velikostí částic apod.

V databázi SWATu se nachází velké množství předdefinovaných půd, ovšem opět pouze pro území USA.

Bylo proto použito tří půd z americké databáze STATSGO, odpovídající půdám na území povodí Rožnovské Bečvy.

#### *HRU rozdělení*

Dále jsem upřesnil zda se bude v mém případě jednat o jedno HRU (Hydrologic Response Unit) pro každé subpovodí (možnost Dominant Land Use and Soil), nebo o mnohonásobné HRU (Multiple Hydrologic Response Units), což vyjadřuje procentuální zastoupení jednotlivých typů půdy a způsobu využití půdy.

#### *Klimatická data*

Další důležitá data vstupující do modelu jsou klimatická data, neboli také data o počasí (Weather data). Pro zadávání dalších dat je nutno nejprve nadefinovat databázi klimatických stanic. Tato atributová data se ukládají do databáze stejným způsobem jako data o půdním pokryvu či data o půdách, tzn. pomocí dialogového okna.

#### *Samotný výpočet modelu SWAT*

Spuštění modelu předchází ještě nastavení simulace, což je zajištěno opět dialogovým oknem, kde jsem upřesnil další údaje týkající se simulace. Je důležité zadat období, neboli časovou periodu, za kterou se má odnos půdy počítat.

Při samotném výpočtu modelu je nutno stanovit dobu, za kterou se odnos sedimentů počítá. Byla zvolena z dlouhodobého hlediska předpověď pro třicetileté období, tzn. roky 2000 – 2030. Tato doba vychází z klimatických dat, která byla rovněž za období 29 let a tato doba je také již dostatečně významná pro posouzení erozní činnosti na daném území. Podobně jako období lesnicko – hydrologického výzkumu v Beskydech.

#### *Stanovení výsledků*

Výstupními daty po ukončení modelování jsou data ve formě atributových tabulek s daty o jednotlivých simulovaných procesech. Tato data jsou seřazena do skupin po roce – jedna skupina za každý rok a další výsledek jako průměrná hodnota za těchto stanovených 29 let. Pro analýzu odnosu sedimentů je důležitý sloupec Sed\_out, který vyjadřuje hodnotu odnosu sedimentů z jednotlivých vygenerovaných povodí v tunách.

Výsledný mapový výstup jsem získal uložením těchto atributových záznamů a připojením k vrstvě vygenerovaných povodí. Z této tabulky jsem pak vytvořil kartogramové zobrazení.

Těmito výstupy byly:

- Rozloha vygenerovaných povodí na území Rožnovské Bečvy
- Průměrná hodnota odnosu sedimentů z povodí v tunách z jednotlivých povodí
- Průměrná hodnota odnosu sedimentů z povodí v tunách z hektaru za rok

Hodnoty jsem získal z dat průměrného odnosu půdy za dobu 30 let dělené plochou v hektarech. Tento poslední mapový výstup rovněž sloužil k porovnání s výsledky revidované univerzální rovnice ztráty půdy RUSLE.

Eroze dosahuje v povodí Rožnovské Bečvy poměrně vysokých hodnot a je soustředěna převážně v subpovodích kolem samotného toku. Vysoké hodnoty odnosu sedimentů se vyskytují taktéž v blízkosti závěrného profilu celého povodí.

Při simulaci eroze pomocí modelu SWAT hraje velký vliv transport sedimentů v odtokové síti. Tomu odpovídá i míra eroze z jednotlivých subpovodí, kde největší odnos sedimentů můžeme zaznamenat v hlavní odtokové linii Rožnovské Bečvy.

## 5.2 Výpočet pomocí RUSLE

Jak již bylo řečeno, samotný princip výpočtu pomocí mapové algebry je poměrně snadný. Tento fakt je však vyvážen poměrně náročnou úpravou vstupních vrstev z dat, které jsem měl k dispozici.

### *Vrstva faktoru erozního účinku deště*

Hodnoty tohoto faktoru se odvozují z dlouhodobého pozorování průměrných hodnot ročních úhrnů srážek v mm.

Údaje o těchto měřeních pochází ze stanic nacházejících se ať už přímo na území Rožnovské Bečvy, nebo v její blízkosti.

### *Vrstva faktoru erodovatelnosti půdy*

Tato vrstva byla vytvořena z vrstvy typu půd, pocházející od AOPK Brno.

### *Vrstva faktoru délky a sklonu svahu*

Tento faktor LS byl spočten pomocí nástroje r.watershed programového prostředí GRASS. Tento faktor je složen ze dvou částí a to faktoru délky – Slope Length a faktoru sklonu svahu – Slope Steepness.

Hodnota obou faktorů je však velmi malá, proto je součástí výpočtu násobení faktoru hodnotou 100. Pro další výpočet je nutno tyto faktory opět vydělit stejnou hodnotou.

### *Vrstva faktoru ochranného vlivu vegetace*

Tento faktor označovaný písmenem C, byl vytvořen z vrstvy krajinného krytu z Corine LandCover.

### *Faktor protierozního opatření*

Hodnoty tohoto faktoru jsou obtížně určitelné a v průběhu času se velmi mění. Proto se v praxi využívá hodnota  $P = 1$  pro celý faktor, což znamená žádné protierozní opatření. Vliv tohoto faktoru je částečně zahrnut ve faktoru ochranného vlivu vegetace, kde vegetační kryt tvoří přirozenou protierozní ochranu.

### *Násobení vrstev*

Po přípravě vrstev do správného formátu následoval poslední krok, což bylo samotné vynásobení vrstev, podle vzorce rovnice.

Výsledným výstupem je rastrová vrstva, která zobrazuje hodnoty ztráty půdy v povodí Rožnovské Bečvy.

### *Výsledné výstupy z rovnice RUSLE*

Výslednou vrstvou získanou pomocí rovnice RUSLE je mapa potenciální eroze v povodí Rožnovské Bečvy.

Hodnoty odnosu sedimentů jsou na drtivé území nulové, nebo velmi blízké nule (0 – 0,4 tun z hektaru za rok). To odpovídá zařazení postižených ploch do skupiny velmi slabě ohrožených. V některých místech dosahuje ovšem eroze mnohem vyšších hodnot, a to až 17 tun z hektaru za rok. Což jsou dle zmíněné tabulky plochy s rizikovým erozním ohrožením.

Výsledné hodnoty odnosu sedimentů jsou nejvíce ovlivněny topografickým faktorem délkou a strmostí svahu LS. Velký vliv také hraje ochranný protierozní účinek vegetačního pokryvu, hlavně pak zalesněné území a nekultivované plochy.

Z toho vyplývá, že největší mírou odnosu sedimentů jsou postiženy právě vyšší kopcovité oblasti ve severní střední části povodí a místy pak i jižní oblasti území.

## 6 Zhodnocení

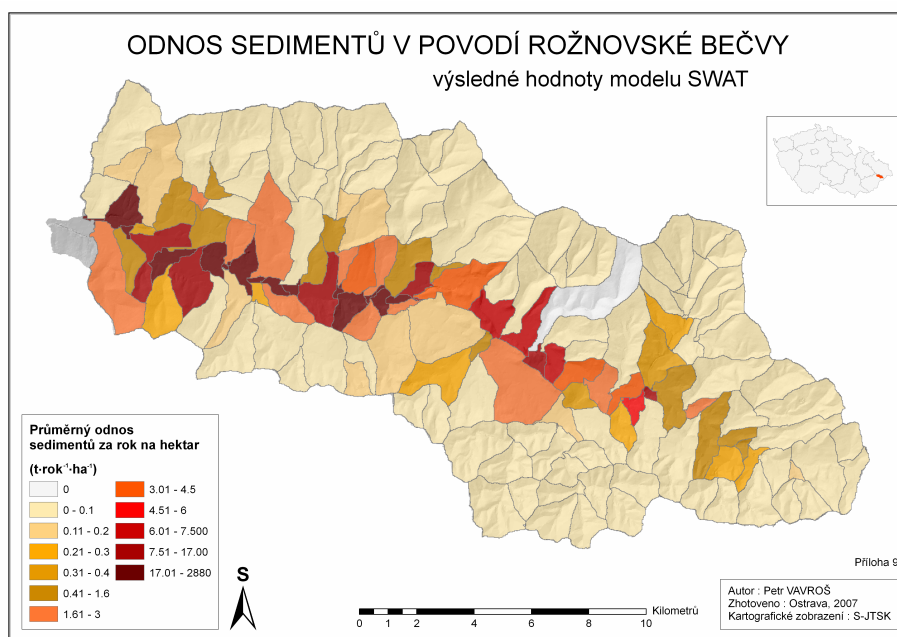
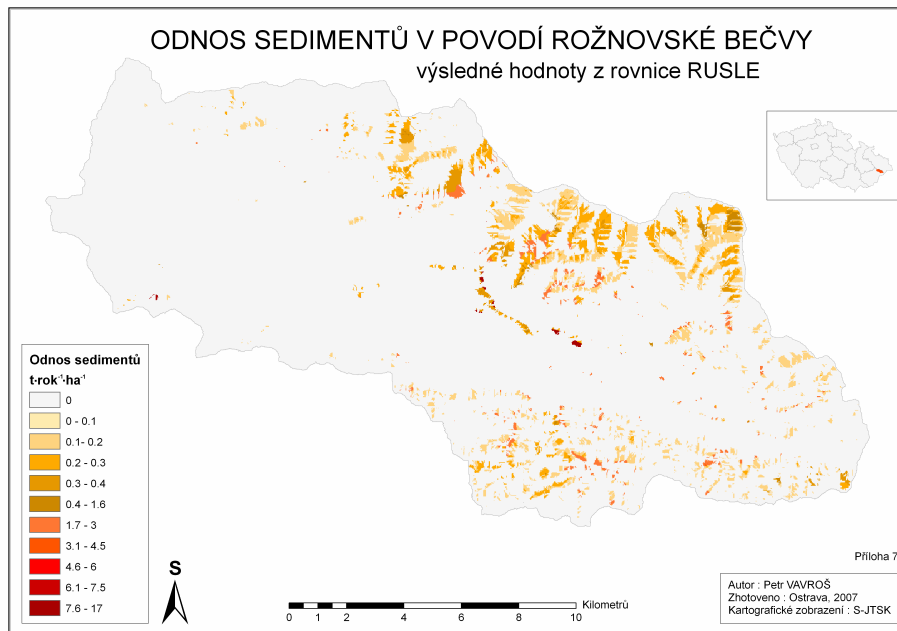
K hodnocení obou modelů je možno přistupovat z různých pohledů. Je nutno brát v úvahu povahu obou výpočetních metod, vstupní data, variabilitu vstupních dat i primární určení postupu, pro který byl navržen.

Dynamický model SWAT hodnotí odnos sedimentů na základě potřebných vstupních dat o digitálním modelu terénu a zadáním údajů o povodí. Další vstupní data jsou již volitelná a na jejich základě jsou pak simulovány jednotlivé procesy.

Rozdílný přístup využívá statická rovnice RUSLE, kde jsou všechny vstupní data jasně definována a jediná možnost úpravy dat před samotným výpočtem, který je vyjádřen realizován pouze násobením vstupních vrstev pomocí mapové algebry.

Absolutní hodnoty odnosu sedimentů se pohybovaly u rovnice RUSLE v rozmezí 0 až 17 tun na hektar za rok a u modelu SWAT byly tyto hodnoty na velké většině území v hodnotách pod 15 tun na hektar za rok. Pouze u subpovodí blízkých závěrnému profilu a hlavní linii řeky dosahovala eroze mnohem extrémnějších hodnot.

Ohrožení území fluvialní erozí je podle výsledků každého z modelů rozdílné. Model SWAT hodnotí ohrožení fluvialní erozí spíše v údolích a podél hlavního linie toku Rožnovské Bečvy, na rozdíl od rovnice RUSLE, kde jako nejrizikovější části území byly vypočítány svažité plochy Moravskoslezských Beskyd.



## 7 Závěr

V práci jsem použil dvě odlišné metody hodnocení míry odnosu sedimentů. Proto i výsledky se různí. Metoda simulace pomocí modelu SWAT je výhodná z hlediska možnosti modelování nejen eroze, ale i dalších přidružených procesů, souvisejících s erozí. Tento fakt však s sebou přináší jisté nevýhody, protože spolu s širokou škálou možností simulace dalších procesů nemusí být metoda určování odnosu sedimentů propracována tak detailně s ohledem na přesnost výpočtů jako rovnice RUSLE, která je tématicky zaměřena pouze na určování eroze.

Výsledky eroze dosažené použitím modelu SWAT jsou mnohem vyšší, než hodnoty odnosu sedimentů získané metodou RUSLE. Je to dáno pravděpodobně tím, že model SWAT klade důraz na jiné faktory vstupující do výpočtu, než rovnice RUSLE. U dynamického modelu SWAT je počítáno více s transportem sedimentů v odtokové síti, zatímco u statické rovnice je největší důraz kladen na hodnoty topografického faktoru strmosti a délky svahu. Tento fakt můžeme pozorovat právě na kopcovitých oblastech povodí Rožnovské Bečvy.

Je to dáno i povahou rozdílnou povahou obou modelů, kdy dynamický model simuluje procesy na základě velkého množství volitelných vstupních dat a údajů, zatímco statická rovnice počítá s přesně definovanými vstupy.

Určitá chyba může vznikat i z povahy vstupních dat u modelu SWAT, např. u dat o půdách, o půdním pokryvu apod., kde tento model nabízí jistou variabilitu těchto vkládaných dat a údajů, v porovnání se striktněji vymezenou rovnicí RUSLE.

Proto vzniká dojem, že model SWAT však tuto skutečnost pomyslně vyvažuje svým rozsahem možnosti použití, právě k modelování celé škály procesů, i za cenu menší přesnosti výsledných dat.

Z hlediska přesnosti dosažených reálných výsledků se jeví rovnice RUSLE jako mnohem použitelnější, než model SWAT, kde výsledné údaje míry eroze místy dosahovaly extrémních hodnot. Tato skutečnost pravděpodobně vyplývá z mnohaletého výzkumu a zpřesňování této výpočetní metody. Proto i přes široké možnosti výpočetní techniky a použití komplexních erozních modelů zůstává statická rovnice RUSLE stále použitelným výpočetním postupem.

## Reference

1. DEMEK, Jaromír, et al. Vlastivěda moravská : Neživá příroda. Sv. 1. PhDr. Jaromír Kubíček, CSc.. Brno : Muzejní a vlastivědná společnost, 1992. ISBN 80-85048-30-2. Neživá příroda, s. 242.
2. JANEČEK, Miloslav, et al. Ochrana zemědělské půdy před erozí. 1. vyd. Praha : ISV Nakladatelství, 2002. 202 s. ISBN 85866-85-8.
3. SCHNEIDER, P.. Vodní eroze [online]. 2006 [cit. 2007-04-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.sweb.cz/eroze/rusle.htm>>.
4. SWAT : Swat & Assessment Tool [online]. [2005] [cit. 2007-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.brc.tamus.edu/swat/>>.

5. Neitsch, S.L., et al. SWAT : Theoretical Documentation [online]. 2000 [cit. 2007-04-19]. Dostupný z WWW: <<ftp://ftp.brc.tamus.edu/pub/swat/doc/swat2000theory.pdf>>.