

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA  
OSTRAVA**

Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

**MODELOVÁNÍ FLUVIÁLNÍ EROZE  
A TRANSPORTU SEDIMENTŮ  
NA VYBRANÝCH POVODÍCH  
MORAVSKOSLEZSKÝCH BESKYD**

Diplomová práce

Autor:  
Vedoucí diplomové práce:

Boris Šír  
RNDr. Jan Unucka Ph.D.

**OSTRAVA 2008**

# **OFICIÁLNÍ ZADÁNÍ**

*Prohlašuji, že*

*celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.*

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

*beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).*

*souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.*

*rovněž souhlasím s tím, že kompletní text diplomové práce bude publikován v materiálech zajišťujících propagaci VŠB-TUO, vč. příloh časopisů, sborníků z konferencí, seminářů apod. Publikování textu práce bude provedeno v omezeném rozlišení, které bude vhodné pouze pro čtení a neumožní tedy případnou transformaci textu a dalších součástí práce do podoby potřebné pro jejich další elektronické zpracování.*

*bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst.4 autorského zákona.*

*bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

*V Ostravě dne 29. 4. 2008*

*Boris Šír  
plné jméno autora  
podpis autora*

*Adresa trvalého pobytu diplomanta*

*5. května 276/52  
418 01 Bílina*

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Dr. Janu Unuckovi za čas, který mi i přes svůj plně nabitý harmonogram mohl věnovat. Další díky patří všem těm, kteří mi poskytli zázemí po dobu mého studia.

*Boris Šír*

## **Anotace**

Náplní předkládané diplomové práce je modelování fluviální eroze na vybraných povodích Moravskoslezských Beskyd užitím dvou různých erozních modelů, rovnice RUSLE a modelu SWAT. .

Práci možno strukturovat do dvou celků, teoretického a praktického. Teoretická část seznamuje s problematikou eroze, hydrologického modelování, použitých metod a zájmovými povodími. V praktické části je poté přistoupeno k samotnému modelování, interpretaci výsledků a jejich zhodnocení.

**Klíčová slova:** model, eroze, půda, povodí, RUSLE, SWAT, GIS

## **Annotation**

The aim of this diploma thesis is the modeling of fluvial erosion within two selected basin of Moravskoslezské Beskydy Mountains using two different erosion models, RUSLE and SWAT.

The thesis can be divided into two main parts, theoretical and practical. The content of the first named part are theoretical principles of the processes of erosion, hydrological modeling, used methods and informing about the parameters of pilot basins.

**Keywords:** model, erosion, soil, basin, RUSLE, SWAT, GIS

# Obsah

ANOTACE	7
ANNOTATION	7
OBSAH	8
<b><u>1. ÚVOD</u></b>	<b>11</b>
<b><u>1. CÍLE A METODIKA</u></b>	<b>13</b>
<b><u>2. PROBLEMATIKA EROZE PŮDY</u></b>	<b>14</b>
3.1 VODNÍ EROZE	14
2.2 EROZNÍ FAKTORY	16
3.3 DŮSLEDKY VODNÍ EROZE PŮDY	18
<b><u>3. HYDROLOGICKÉ MODELÝ</u></b>	<b>20</b>
4.1 EROZNÍ MODELÝ	22
<b><u>4. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÝCH POVODÍ</u></b>	<b>24</b>
5.1 GEOLOGICKÁ STAVBA ÚZEMÍ V ŠIRŠÍCH PROSTOROVÝCH SOUVISLOSTECH	25
5.2 POVODÍ BESKYDSKÉ OLŠE	28
5.3 POVODÍ OSTRAVICE NAD HRÁZÍ VODNÍHO DÍLA ŠANCE	33
<b><u>5. MODELOVÁNÍ PŮDNÍ EROZE UŽITÍM ROVNICE RUSLE</u></b>	<b>39</b>
6.1 TEORETICKÉ ZÁKLADY	39
6.1.1 FAKTOR EROZNÍ ÚČINNOSTI DEŠTĚ – EROZIVITY, R	40
6.1.2 FAKTOR ERODOVATELNOSTI PŮDY – ERODIBILITY, K	41
6.1.3 FAKTOR TOPOGRAFICKÝ, LS	41
6.1.4 FAKTOR VEGETAČNÍHO KRYTU A OSEVNÍHO POSTUPU, C	42
6.1.5 FAKTOR ÚČINNOSTI PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ, P	43
<b>6.2 USLE vs. RUSLE</b>	<b>43</b>
<b>6.3 VÝPOČET RUSLE V PROSTŘEDÍ ARCGIS</b>	<b>44</b>
6.3.1 GRID FAKTORU EROZNÍ ÚČINNOSTI DEŠTĚ – EROZIVITY, R	44
6.3.2 GRID FAKTORU ERODOVATELNOSTI PŮDY – ERODIBILITY, K	45
6.3.3 GRID FAKTORU TOPOGRAFICKÉHO, LS	46
6.3.4 GRID FAKTORU VEGETAČNÍHO KRYTU A OSEVNÍHO POSTUPU, C	46
6.3.5 FAKTOR ÚČINNOSTI PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ, P	48
6.3.6 NÁSOBENÍ RASTRŮ	48

<b>6. <u>MODELOVÁNÍ PŮDNÍ EROZE UŽITÍM MODELU SWAT</u></b>	<b>49</b>
<b>7.1 TEORETICKÉ ZÁKLADY</b>	<b>49</b>
7.1.1 MOŽNOSTI PRAKTICKÝCH APLIKACÍ MODELU SWAT	50
7.1.2 TEORETICKÉ PRINCIPY SIMULACE PŮDNÍ EROZE MODELEM SWAT	52
<b>7.2 VÝSTAVBA MODELU SWAT PRO ZÁJMOVÁ POVODÍ</b>	<b>53</b>
7.2.1 SCHEMATIZACE POVODÍ	53
7.2.2 DEFINICE DAT O KRAJINNÉM KRYTU A PŮDÁCH	58
7.2.2.1 Distribuce jednotek hydrologické odezvy - HRU	61
7.2.3 DEFINICE DAT O KLIMATU	62
7.2.4 GENEROVÁNÍ VSTUPŮ MODELEM SWAT	63
7.2.5 SPUŠTĚNÍ SIMULACÍ V MODELU SWAT	65
<b>7. <u>INTERPRETACE VÝSLEDKŮ</u></b>	<b>67</b>
<b>8.1 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MODELOVÁNÍ EROZE UŽITÍM ROVNICE RUSLE</b>	<b>67</b>
8.1.1 POVODÍ BESKYDSKÉ OLŠE	67
8.1.2 ZÁJMOVÁ ČÁST POVODÍ OSTRAVICE	71
<b>8.2 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MODELU SWAT</b>	<b>75</b>
8.2.1 POVODÍ BESKYDSKÉ OLŠE	75
8.2.2 ZÁJMOVÁ ČÁST POVODÍ BESKYDSKÉ OSTRAVICE	79
<b>8. <u>DISKUZE A ZHODNOCENÍ POUŽITÝCH METOD</u></b>	<b>83</b>
<b>9.1 RUSLE vs. SWAT</b>	<b>83</b>
<b>9.2 OLŠE vs. OSTRAVICE</b>	<b>85</b>
<b>9. <u>ZÁVĚR</u></b>	<b>86</b>
<b><u>POUŽITÁ DATA</u></b>	<b>87</b>
<b>RASTROVÁ DATA</b>	<b>87</b>
<b>VEKTOROVÁ DATA</b>	<b>87</b>
<b>TABELÁRNÍ DATA</b>	<b>88</b>
<b><u>POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE</u></b>	<b>89</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>89</b>
<b>MAPOVÉ ZDROJE</b>	<b>92</b>
<b>INTERNETOVÉ ZDROJE</b>	<b>93</b>

<b>SEZNAM ZKRATEK</b>	<b>96</b>
<b>ZKRATKY EKVIVALENTŮ DATABÁZE SWAT KE KATEGORIÍM CORINE LAND COVER</b>	<b>96</b>
<b>ZKRATKY NA OBR. 9</b>	<b>96</b>
<b>ČESKÉ ZKRATKY</b>	<b>97</b>
<b>CIZOJAZYČNÉ ZKRATKY</b>	<b>97</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>99</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>101</b>



## 1. Úvod

Půda je základním přírodním bohatstvím a výrobním prostředkem pro zabezpečení výživy lidstva. Je to styčná zóna mezi ostatními složkami fyzicko-geografické sféry a je aktivním činitelem v procesu výměny látek a energie mezi nimi. Pedosféru, jako integrální složku životního prostředí, je proto nutno chránit a zvyšovat její produkční potenciál (Buzek, 1983).

Jedním z faktorů, který může ovlivnit destrukci pedosféry, je proces zvaný eroze. Je to proces složitý, na jehož průběh a následky má vliv spousta činitelů. Prostřednictvím komplikovaného systému vazeb se pak negativní vlivy eroze odrážejí i v dalších komponentách krajiny, ať už ve sféře fyzicko-geografické nebo socioekonomické. Z těchto důvodů je třeba pochopit nejen důsledky erozních procesů, ale též fyzikální faktory, které mohou erozi modifikovat (Buzek, 1983).

Erozní procesy, jež v nenarušených přírodních podmínkách probíhají velice pozvolna bez škodlivých následků a jsou kompenzovány pedogenezí, se v zemědělsky intenzivně kultivovaných krajinách mnohonásobně urychlují. Se stále rostoucí ekonomickou aktivitou člověka roste antropogenní tlak na krajinnou sféru jako celek a zvyšuje se potenciální nebezpečí poškození, v horších případech až degradace, jednotlivých složek životního prostředí (Pasák a kol., 1984).

První snahy o kvantifikaci míry ohrožení pozemku nebo širší oblasti erozí jsou zhruba datovány do 30. let minulého století, kdy byl tento problém řešen složitými postupy analogovou cestou. Co se týče širšího využití metodik hodnocení eroze, je za zlom možno považovat období nástupu výpočetní techniky a cca od 90. let 20. století, s rozvojem geografických informačních systémů (GIS), jsou hodnocení a kvantifikace erozních procesů řešeny na komplexní úrovni a uživatelsky relativně jednoduše (Vavroš, 2007).

Jedním ze způsobů hodnocení eroze je její modelování. Modelováním se rozumí transformace vybrané části reality, soustavy prvků propojených vzájemnými vztahy, do systému tuto realitu suplujícího s tím, že dle potřeby záměrně opomíjíme pro zvolený účel prvky nepodstatné.

Základy pro matematické vyjádření eroze byly pravděpodobně položeny roku 1936 pracemi L. H. Cooka, jenž definoval hlavní činitele mající podíl na průběhu a intenzitě procesu eroze půdy. Erozní modely byly ve svých počátcích stavěny na dlouhých terénních resp. laboratorních měřeních a pozorováních a za první takovýto empirický model se považuje model odvozený Zinggem r. 1940 na základě rozsáhlého výzkumu vlivu sklonu a délky svahu na intenzitu eroze (Janeček, 2002).

Od těchto dob, za posledních 70. let, postoupila teorie i praxe o notný kus vpřed. Rozvoj metod modelování obecně jde ruku v ruce s pokrokem na poli výpočetní techniky a v současné době již vedle empirických modelů existuje celá řada modelů na bázi simulace fyzikálních pochodů uplatňujících se v průběhu eroze. Modelování nejen erozních pochodů tak dnes již není pouze záležitostí hrstky „vyvolených“, ale je díky četným programovým aplikacím přístupné širšímu okruhu uživatelů informačních a geoinformačních technologií.

## 1. Cíle a metodika

Cílem předkládané práce je modelování vodní eroze půdy dvěma různými metodami, užitím empirického erozního modelu, rovnice RUSLE (Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy), a simulačního modelu SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Eroze je modelována na dvou horských povodích, a to beskydské části povodí řeky Olše a povodí toku Ostravice od hráze díla Šance výše, včetně jejich dvou zdrojnic, Černé a Bílé. V obou povodích je možno nalézt řadu rozdílů v jejich fyzicko-geografické konfiguraci, v managementu krajiny i přímých vodohospodářských zásahů (viz dále).

Jako programový nástroj k dosažení cíle práce posloužily produkty společnosti ESRI, konkrétně programy ArcGIS 9.1 a ArcView 3.2 s extenzí SWAT 2000.

Práci je možno rozdělit do dvou základních celků, teoretického a praktického. První jmenovaná část se zabývá charakteristikou pilotních povodí, teoretickými základy týkajícími se eroze půdy, hydrologického a erozního modelování, seznamuje též s principy fungování užitých modelů. Ve druhé části je pak přistoupeno k samotnému modelování eroze v prostředí GIS, vizualizaci výsledků a jejich interpretaci. Praktickými výsledky pak mohou být na jedné straně závěry týkající se možností aplikačního využití, druhou skupinu těchto výstupů je pak možno spatřit v ověření a verifikaci teoretických tezí pomocí samotných modelových výstupů.

## 2. Problematika eroze půdy

Eroze (z latinského *erosus* – rozhlodaný, vyhlodaný) zahrnuje postupně navazující pochody rozrušování, transportu a depozice půdních a horninových částic (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005). Proces eroze půdy není jednoduchý a jeho průběh a intenzita jsou dány působením a kombinací jednotlivých erozních činitelů (viz níže).

Půdní eroze je ve své přirozené podobě neoddělitelnou součástí krajinných procesů a úbytek půdy jí způsobený je kompenzován pedogenezí. Takovou erozi nazýváme normální. Na druhé straně však rozlišujeme tzv. erozi zrychlenou, jež je dána především, ať už úmyslnými či neúmyslnými, negativními vlivy hospodaření v krajině. Jejimi důsledky jsou pak degradace půdy a vznik erozních forem reliéfu (Buzek, 1983).

Negativním výsledkem urychlené eroze není pouze ztráta jemnozeme, ale též navazující procesy transportu a sedimentace uvolněných částic, spojené se znečišťováním povrchových zdrojů vody či působící mnohé další škody v socioekonomické sféře, zejména ve vztahu k vodnímu hospodářství, zemědělství a lesnictví. Souvislosti mezi erozí a sedimentací a antropogenními zásahy do těchto vazeb často vyúsťují v porušení rovnováhy mezi nimi nejen lokálně v místě působení eroze, ale i v jiných částech povodí. Degradované půdy poté prostřednictvím zpětné vazby negativně ovlivňují veškeré další složky krajinné sféry (Buzek, 1983).

Dle faktorů, které rozhodují o průběhu a charakteru erozních pochodů a následně vzniklých erozních a akumulacích tvarů georeliéfu, rozlišujeme erozi vodní, větrnou, sněhovou a ledovcovou (Buzek, 1983). Z důvodu zaměření předkládané práce je dále v krátkosti z teoretického aspektu pojednáno pouze o erozi vodní.

### 3.1 Vodní eroze

Vodní eroze je v našich podmínkách nejvýznamnější příčinou ztráty půdy a její úrodnosti (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005). Hlavním dynamickým činitelem vodní eroze je srážková voda, resp. voda z tajícího sněhu (Buzek, 1983).

Jako první během dešťové srážky působí na půdu tzv. bombardování vodních kapek, které svou kinetickou energií rozrušují povrch půdy. Hlavním procesem způsobujícím vodní

erozi je však povrchový odtok srážkové vody. Tím je dle Hrádka a Kuříka (2004) gravitační pohyb vody po svahu (hydrografickou mikrosítí) nebo soustředěný odtok říční sítí k závěrovému profilu povodí.

Povrchovému odtoku do jisté míry předchází nasycování půdního profilu vodou, kdy intenzita deště je většinou menší než intenzita infiltrace. Infiltrace tak výrazně ovlivňuje podíl srážek na povrchovém a hypodermickém odtoku (odtok pod povrchem půdy bez dotace zásob podzemních vod) a odtoku podzemních vod. V přírodních podmínkách je proces infiltrace, zejména její rychlost, ovlivňována následujícími faktory:

- fyzikální vlastnosti a stav půdy,
- vegetační kryt půdního povrchu,
- vlhkost půdy,
- intenzita a trvání srážek,
- chemické vlastnosti půd (Hrádek, Kuřík, 2004).

Efektivnost půdy jakožto pro vodu propustného média je dána velikostí, geometrií, množstvím a spojitostí transportních cest, což závisí zvláště na:

- velikosti půdních částic,
- stupni agregace mezi jednotlivými půdními částicemi,
- uspořádání půdních částic a agregátů (Hrádek, Kuřík, 2004).

Během dešťové srážky není intenzita infiltrace vody půdním povrchem konstantní. Její pokles je provázen vytvořením tenké, řádově v mm mocné, kompaktní vrstvy, jejíž vznik je z části výsledkem rozrušení půdní struktury bombardováním kapkami a částečně třídící činnosti tekoucí vody po povrchu, kdy jsou jemné částice nabalovány na částice hrubší frakce za vzniku relativně nepropustného a hladkého půdního povrchu (Hrádek, Kuřík, 2004).

Převýší-li intenzita deště intenzitu infiltrace, pak po saturaci ztrát intercepce a akumulací v povodí stéká voda po svahu ve formě plošného odtoku, posléze pak soustředěného odtoku v říční síti (Hrádek, Kuřík, 2004).

Povrchový odtok je složitý proces, který je ve výsledku dán několika základními faktory, které možno rozdělit na:

- klimatické činitele (hlavně srážky a teplota vzduchu),
- geografické činitele (georeliéf, morfometrie, půdní a vegetační kryt povodí aj.),

- technické zásahy v povodí (Hrádek, Kuřík, 2004).

## 2.2 Erozní faktory

Intenzita a průběh vlastní eroze pak závisí na míře účinku jednotlivých, přírodních i antropogenních, tzv. erozních faktorů a jejich kombinacích a interakcích. Těmito činiteli jsou:

- vlastnosti půd a podložních hornin,
- georeliéf,
- klimaticko-hydrologické podmínky,
- charakter krajinného krytu a technicko-hospodářských zásahů (Buzek, 1983).

Jako základní geologicko-pedologické erozní faktory stačí jmenovat charakter substrátu a jeho odolnost vůči zvětrávání, půdní typ a druh a s nimi související mocnost půdního profilu, zastoupení zrnitostních frakcí, textura, struktura a obsah a forma organických látek a koloidů, taktéž vlhkost půdního profilu, kationová výměnná kapacita aj. (Buzek, 1983), [1].

Základním měřítkem k posouzení odolnosti resp. náchylnosti půd k vodní erozi je půdní druh. Mezi odolné půdy řadíme půdy písčité, hlinitopísčité a taktéž, z hlediska texturního opačný extrém, půdy a zeminy jílovité. První dva jmenované půdní druhy svou hrubozrnností podporují infiltraci, čímž je omezena role povrchového odtoku. Nízká erozní náchylnost půd jílovitých je dána vysokým obsahem koloidů a tmelících komponent. Naopak půdy hlinité a s vysokým podílem prachové frakce jsou k erozi obecně náchylné (Buzek, 1983).

Ze skupiny geomorfologických erozních faktorů třeba zmínit parametry georeliéfu jako jsou nadmožská výška, sklon a délka svahu, jeho orientace, vertikální zakřivení aj. Nejvýrazněji se uplatňují sklon a délka svahu, jež mají podstatný vliv na povrchový odtok vody. Modifikační účinek má pak orientace svahu vůči světovým stranám, tedy oslunění, a k převládajícím směrům větru. Vertikální zakřivení reliéfu hraje svou roli v akceleraci či zpomalení povrchového odtoku v různých partiích svahu.

Určujícím faktorem klimaticko-hydrologickým jsou srážky, konkrétně jejich forma, intenzita a časové rozložení, podružnými činiteli jsou teplota vzduchu a půdy, evapotranspirace, insolace a charakteristiky větru. Erozně nejúčinnější jsou přívalové deště,

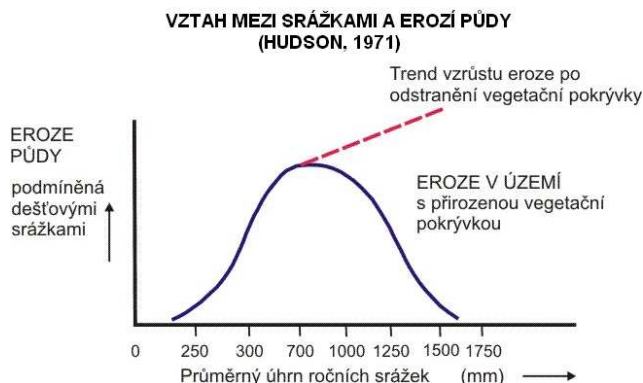
kteře kromě vysoké intenzity odrážející se ve výšce povrchového odtoku působí na povrch půdy i značnou kinetickou energií kapek. Navíc přívalové srážky jsou spojeny se silným poklesem atmosférického tlaku, což vede k pohybu půdního vzduchu profilem směrem vzhůru. Toto pak snižuje infiltrační schopnost půd a naopak zvyšuje koeficient odtoku (Buzek, 1983).

K vegetačním erozním faktorům je třeba předně říci, že rostlinná pokrývka působí jako významný protierozní činitel. Ta půdu chrání před přímými účinky deště i výparem, interceptuje značnou část srážek a tím podporuje infiltraci a snižuje podíl povrchového odtoku na úkor hypodermického a podzemního. Svou rhizosférou půdu zpevňuje, celkově pak vegetace zlepšuje fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půd (Buzek, 1983).

Faktory protierozních opatření třeba uvažovat v antropogenně ovlivněných oblastech a je možno je rozdělit na:

- organizační (pásové střídání plodin, osevní cyklus aj.),
- agrotechnické (orba po vrstevnici, minimální kultivace, ponechání rostlinných zbytků na polích atd.),
- technické (terénní úpravy, zasakovací příkopy, průlehy, terasy, úpravy podélných i příčných profilů odtokových forem georeliéfu a další) (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005).

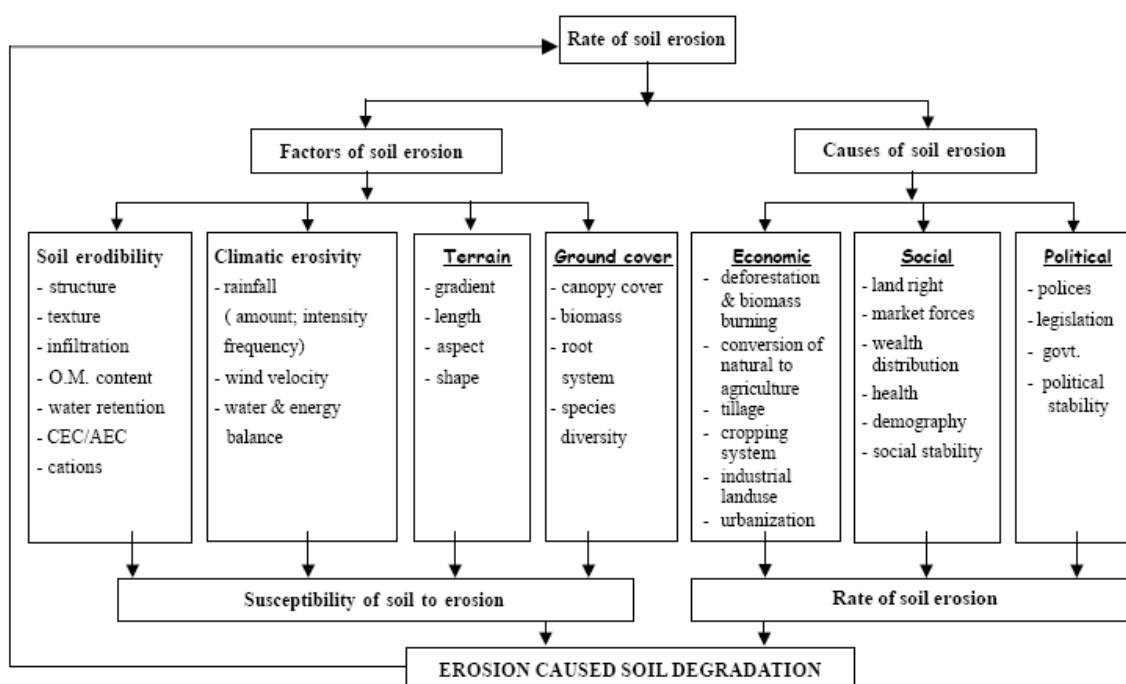
Některé z uvedených faktorů se násobí, jiné působí proti sobě či se jinak vzájemně ovlivňují. Tak např., jak ukazuje graf na obr. 1, větší úhrny srážek zvyšují činnost povrchové vody, nicméně podporují i rozvoj vegetačního krytu, který působí jako faktor ochranný (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005).



Obr. 1: Vztah mezi srážkami a erozí půdy. Zdroj: (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005).

Podobným příkladem může být též fakt, že vzrůstající riziko eroze s nabývajícím sklonem georeliéfu v horských polohách ČR je často pouze teoretickou záležitostí. To z toho důvodu, že rozsáhlé plochy těchto svažitých partií jsou u nás zalesněny a jsou tak ve skutečnosti mnohem méně postiženy reálnou erozí, než je eroze potenciální (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005).

Vedle erozních faktorů, dávajících půdě jistou míru náchylnosti k erozi, existuje celá řada přímých i nepřímých příčin vzniku eroze půdy. Výsledná intenzita a průběh eroze jsou pak důsledkem kombinace jak erozních činitelů, tak i jednotlivých příčin (viz obr. 2)



Obr. 2: Faktory a příčiny eroze půdy. Zdroj: [1].

### 3.3 Důsledky vodní eroze půdy

Vodní eroze znamená fyzikální, chemickou i biologickou degradaci půdy, nenávratnou ztrátu zeminy, humusu i rostlinných živin, vysušení půdy, utlumení mikrobiální aktivity, porušení až zničení kultur a celkovou ztrátu produkce (Pasák a kol., 1984).

Erozní pochody o nižší intenzitě vedou ke ztrátě jemné půdní frakce. Tím se mění půdní struktura i textura a snižuje se vodní kapacita půdy (Holý, 1978). Ochuzením o jemnozem navíc dochází ke ztrátě důležitých nutrietů a pasivnímu hromadění hrubého materiálu (Buzek, 1983). Při intenzivnější erozi, kdy dochází ke smyvu značné části svrchního



půdního horizontu, nepřijímá nižší horizont s obvykle menším obsahem organické hmoty, mnohdy, iluviací způsobeným, vyšším podílem jílové frakce a slabší propustností dostatečné množství srážkové vody. Půdní profil je tedy ochuzen o zásobu vláhy, což se reflektuje v rozvoji vegetace (Holý, 1978).

Významným problémem jsou i smyté půdní částice transportované tekoucí vodou. Ty jsou velmi složitým materiálem s různými fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi a stanou-li se součástí povrchových vod, znečišťují je, zanášejí akumulární prostory nádrží a jiných vodohospodářských zařízení, snižují průtočnou kapacitu, vyvolávají zakalení, poškozují vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu sedimentů (Pasák a kol., 1984).

### 3. Hydrologické modely

Modelování je experimentální informační proces, při němž se zkoumanému systému (originálu, jevu, dílu) jednoznačně přiřazuje podle určitých kritérií jiný systém, model. Zobrazovanou skutečnost nazýváme předmětem modelování. Modelování dynamických systémů s přímým či nepřímým zpětným působením na zkoumaný objekt se nazývá simulací (Pechoušková, 2006).

Model lze generelně mimo jiné chápat jako sadu pravidel a procedur realizace prostorové analýzy, jejímž účelem je odvození nové, dále analyzovatelné, informace, která může pomoci při řešení problému nebo plánování (Neumann, 1996 In: Tuček, 1998).

Základním jádrem výpočtu srážko-odtokových vztahů a hydrologické bilance povodí jsou hydrologické modely, konkrétně pak modely srážko-odtokové, jejichž základní činností je transformace atmosférické srážky na odtok. Obsahem termínu model je převod vybrané části reálného světa (zde většinou povodí určitého řádu) pomocí účelové a zjednodušené abstrakce (hodnot stavových veličin a numerických metod) do náhradního systému, modelu. Ten je pak reprezentantem reálného světa, jehož základní vlastnosti jsou poplatné účelu, za kterým byl vytvořen. Toto možno přiblížit na příkladu, kdy třeba událostní hydrologický model a erozní model se budou lišit souborem stavových veličin popisujících povodí (např. zanedbání evapotranspirace, detailnost popisu vlastností půd aj.) a souborem použitých metod (povrchový odtok, odtok v korytech, plošná a výmolová eroze atd.) (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Jiní autoři označují matematický model srážko-odtokového procesu jako zjednodušený kvantitativní vztah mezi vstupními a výstupními veličinami určitého hydrologického systému (Daňhelka et al., 2002 In: Vavroš, 2007). Tento systém je definován jako soustava převážně fyzikálních procesů, působících na vstupní proměnné, jež pak transformuje ve výstupní veličiny. Při matematickém vyjádření možno tvrdit, že jde o algoritmus řešení soustavy rovnic, které popisují strukturu a chování systému (Clarke, 1973 In: Fleming, 1979 In: Vavroš, 2007).

Kvalita výstupů hydrologického modelování je vedle úrovně použitého modelu nejvíce ovlivněna kvalitou a dostupností vstupních dat. To je nutno chápat tak, že sebevíce sofistikovaný model (na úrovni konkrétního softwarového řešení) není schopen vyprodukovat

kvalitní výstupy, pokud se mu nedostává odpovídajících informací na straně vstupních dat. Naproti tomu pak stojí tzv. robustnost modelu, kdy je model s to poskytnout kvalitní výstupní informace i přes nedostatky v oblasti vstupů (např. lokální výpadky měřících stanic aj.) (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Co se týče vstupních dat hydrologického modelování, můžeme z časového aspektu hovořit o dvou druzích vstupů, a to:

- vstupních datech statických,
- vstupních datech dynamických (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Statická data jsou základem pro výstavbu modelu (schematizace povodí, vlastnosti vodohospodářských objektů atd.) a jejich základní parametry (geometrická a topologická složka, morfometrie reliéfu, krajinný kryt, půdní vlastnosti aj.) se v průběhu simulace nemění. Jsou tedy součástí tzv. okrajových podmínek modelu (Unucka, Horák, Rapantová, rukopis).

Dynamická data jsou pak proměnlivá nejen v horizontu simulace, ale i v časovém kroku jejich sběru. Konkrétně se jedná o hydrometeorologická data a jiné časové řady (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Po stránce prostorové lze pak vstupy, nejen procesu hydrologického modelování, ale i obecně data vstupující do GIS, diferencovat na:

- data prostorově konstantní (krajinný kryt, půdní typ v rámci areálu, apod.),
- data prostorově proměnlivá (morfometrické parametry, hydrometeorologické prvky aj.) (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Hydrologické modely je možno seskupovat dle celé řady aspektů. Z hlediska simulace hydrologického systému (povodí, vodní tok atd.) je možno hydrologické modely rozdělit na:

- modely srážko-odtokové (s-o),
- modely hydrodynamické (HD) (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Srážko-odtokové modely simulují transformaci atmosférické srážky na odtok pomocí hydrologických a hydraulických převodních výpočtů. Příklady s-o modelů jsou modely SWAT, HEC-HMS, HYDROG, GSSHA, SIMWE či MIKE SHE (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Hydrodynamické modely provádí simulaci transformace vodní masy v korytech a vybraných vodohospodářských objektech (Unucka, Horák, Rapantová, rukopis). Praktickými příklady HD modelů jsou HEC-RAS nebo MIKE 11.

Na úrovni schematizace povodí pak možno mezi hydrologickými modely vylíšit tři základní skupiny, kterými jsou:

- modely celistvé,

- modely semidistribuované,
- modely distribuované (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Modely celistvé oproti distribuovaným neuvažují prostorovou variabilitu sledovaných prvků. Tato skutečnost spolu s jemným rozlišením vstupních rastrů, i přes enormní nárůst výkonu osobních počítačů, způsobuje velkou časovou náročnost výpočtu distribuovaného modelu a stále ho předurčuje k použití pro přiměřeně velká povodí (Unucka, Horák, Rapantová, rukopis).

Z těchto důvodů jsou v současnosti nejpoužívanějšími typy modelů modely semidistribuované. Ty jsou schopny velká povodí rozdělit na menší relativně homogenní jednotky, subpovodí, v nichž jsou stavové veličiny vyjádřeny pouze jednou hodnotou (vážený průměr apod.) (Unucka, Horák, Halounová, Rapantová, rukopis).

Pokud model simuluje pouze od minulosti  $t_{i-n}$  do současného času  $t_i$ , hovoříme o tzv. simulaci. Pokud model předpovídá chování hydrologického systému k času  $t_{i+n}$ , potom se jedná o tzv. predikci, neboli prognózu (Unucka, Horák, Rapantová, rukopis).

Závěrem je třeba podotknout, že žádný model nemůže detailně popsat zkoumaný jev v jeho celé šíři, a proto se vybírají pouze jevy podstatné na úkor jevů podružných, které jsou z procesu modelování vypouštěny (Machala, 1982).

#### **4.1 Erozní modely**

Terénní studie pro predikci a hodnocení eroze jsou drahé, časově náročné a vyžadují dlouhodobý sběr dat. Navíc je velmi obtížné obsáhnout v terénu v plné šíři komplexitu interakcí jednotlivých faktorů a příčin eroze [1]. A právě zde se nabízí aplikace erozních modelů.

Erozní modely lze zařadit do skupiny s-o hydrologických modelů už vzhledem k tomu, že spouštěcím mechanismem fluviální eroze je příčinná srážka a jí indukovaný odtok. Jejich klasifikací existuje celá řada beroucí v úvahu různá kritéria. Dle jedné z nich pak mezi nimi možno rozlišit dvě základní skupiny modelů, a to:

- erozní modely empirické,
- erozní modely simulační [2].

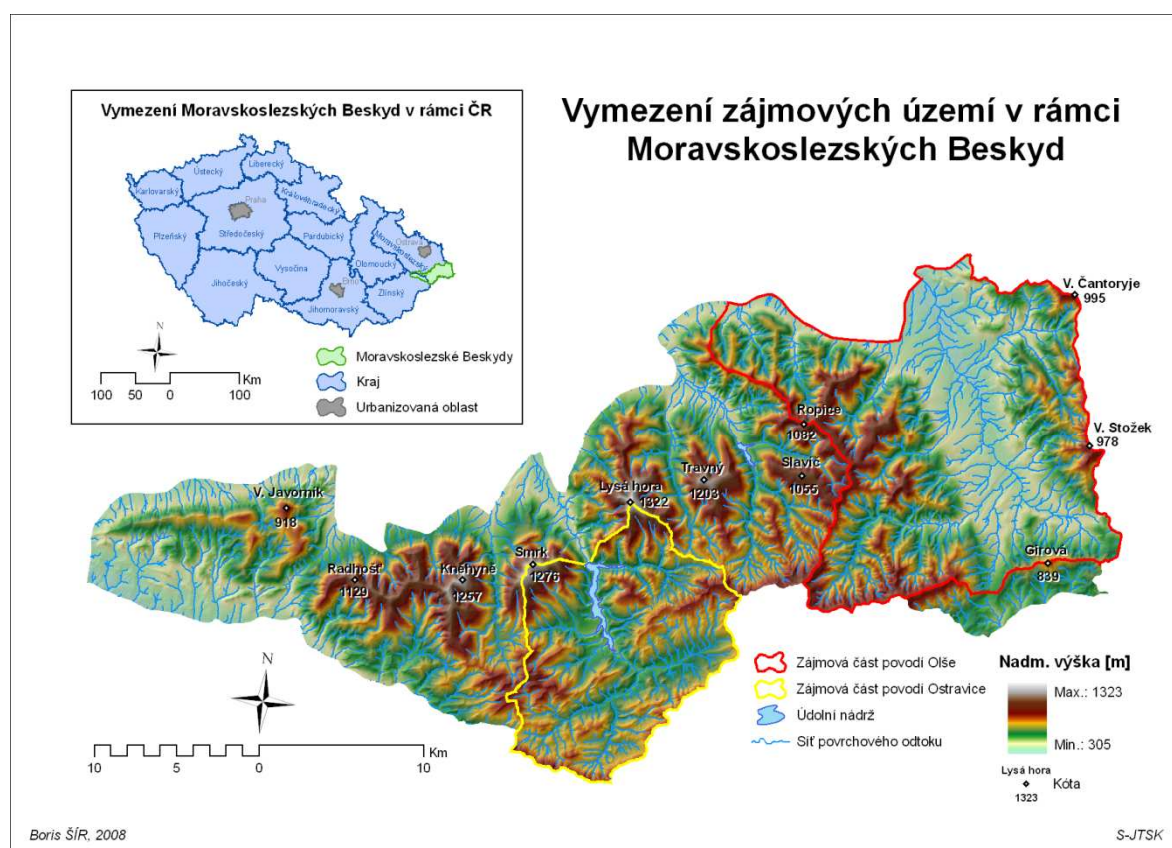
Empirické erozní modely vycházejí z analýzy a statistického vyhodnocení dlouhodobého experimentálního sledování a měření vlivu erozních faktorů na průběh a intenzitu eroze. Jejich výhody spočívají v jednoduchosti výpočtu a relativně snadném určení vstupních parametrů. Nevýhodami jsou pak neschopnost dostatečně popsat především časové,

ale i prostorové, nehomogenity vstupů [2]. Empirické modely mají omezenou platnost na lokality se stejnými podmínkami a složité vzájemné vazby velkého množství erozních faktorů a jejich zjednodušení modelem pak může vést ke snížení únosné meze výpočtů (Pechoušková, 2006). Příkladem empirického modelu je Wishmeierova a Smithova Univerzální rovnice ztráty půdy - USLE (1965) a od ní odvozené rovnice RUSLE (Revidovaná rovnice USLE) a MUSLE (Modifikovaná rovnice USLE).

Simulační erozní modely vycházejí z fyzikálního popisu erozního procesu a matematickým způsobem řeší jeho časový a prostorový průběh, čímž odstraňují nevýhody modelů empirických. Oproti nim jsou zvýhodněny svým fyzikálním základem, teoreticky správnější reprezentací erozního procesu, přímým zahrnutím eroze vzniklé soustředěným odtokem, dále pak procesu ukládání transportovaných částic, schopností řešit jednotlivé s-o situace a vypořádat se s prostorovou i časovou nehomogenitou vstupů. Navíc jejich fyzikální základ umožňuje zahrnout do procesu simulace i transport látek sorbovaných na půdní částice či rozpuštěných v půdě. Nevýhodami těchto modelů jsou vyšší požadavky na vstupní data a výkonnost používaného hardware i software, nutnost alespoň předběžné kalibrace modelu, bohatší teoretické znalosti uživatele i větší schopnost pracovat s výpočetní technikou a informačními technologiemi (Janeček, 2002). Příklady simulačních erozních modelů jsou modely SWAT, CREAMS, ANSWER, AGNPS, WEPP, EUROSEM, EROSION 2D/3D či EPIC.

## 4. Charakteristika zájmových povodí

Jako pilotní povodí předkládané práce byly vybrány beskydské části povodí dvou řek, konkrétně Olše a Ostravice nad hrází vodního díla Šance. Vybraná povodí se nachází v severovýchodním cípu České republiky, v Moravskoslezském kraji a části jejich rozvodnic tvoří současně státní hranici se Slovenskem a Polskem.



Obr. 3: Lokalizace studovaných povodí.

Obě řeky jsou toky druhého řádu, jde o pravostranné přítoky Odry. Povodí jsou tedy součástí úmoří Baltského moře. Řeka Ostravice odvodňuje velkou část centrálních Moravskoslezských Beskyd, tok Olše odvádí vodu z jejich východní části, dále pak Jablunkovské brázdy, severního svahu Jablunkovského mezihoří a české části Slezských Beskyd.

V obou případech jde o horní toky zmiňovaných řek, zejména v případě Ostravice se nad přehradní nádrží Šance jedná o čistě horský tok s poměrně vysokým gradientem údolního dna. Značná část studovaného povodí Olše pak oproti Ostravici kryje plošší reliéf mezihorské deprese Jablunkovské brázdy. Oba toky se též liší typem vodního režimu, kdy řeka Ostravice se časovým výskytem maxim odtoku vody z povodí řadí mezi toky s režimem sněhovým, kdežto právě dotčená část povodí Olše je vlivem místního klimatu jablunkovské sníženiny jediným českým tokem s režimem sněhovo-dešťovým. Navíc řeka Ostravice vzniká soutokem dvou zdrojnic, Černé a Bílé. Oba celky se též kromě jiných odlišují i charakterem antropogenního ovlivnění a managementem krajiny. Povodí Ostravice je z drtivé části zalesněno, což se reflektuje i v relativní homogenitě půdní pokrývky. Významný je fenomén přehradní nádrže Šance. V povodí Olše se žádný srovnatelný vodohospodářský zásah do toku nevyskytuje, z hlediska využití krajiny a charakteru půdního krytu má však mnohem komplikovanější charakter.

## **5.1 Geologická stavba území v širších prostorových souvislostech**

Z geologického hlediska patří Moravskoslezské a Slezské Beskydy k soustavě charakteristické pro okrajový styk Českého masívu s vnějšími Karpaty. Je tvořena dvěma odlišnými, vzájemně se překrývajícími patry – variským a neoidním, které se svým geologickým charakterem a celkovým vývojem ostře odlišují. V jednotný celek byly zformovány až za alpínských (štýrských) horotvorných fází (Menčík a kol., 1983).

Moravskoslezské a Slezské Beskydy náleží ke slezské jednotce vněkarpatských příkrovů. Na severu na ně navazují komplexy jednotky podslezské, na jihu se stýkají s flyšem magurského nasunutí - Jablunkovské mezihoří (Buzek, 1986). Vnější Karpaty v tomto složení jsou součástí allochtonu, nasunutého ve formě příkrovů na miocénní předhlubeň a starší variský podklad. Sedimentační prostor příkrovů se nalézal daleko na jih od jejich dnešní allochtonní pozice (Menčík a kol., 1983).

Celková stavba a základní charakter konstruovaných velkotvarů Moravskoslezských a Slezských Beskyd je výsledkem mladoštýrské fáze dvou dílčích příkrovů, a to těšínského a godulského, odlišených stratigrafickou úrovní tektonického odloučení svých sedimentů od původního podkladu. Nejmarkantnějším projevem staroštýrské tektoniky je pak sníženina Jablunkovské brázdy. Je orientovaná napříč ke stavbě godulského příkrovu, po obou stranách

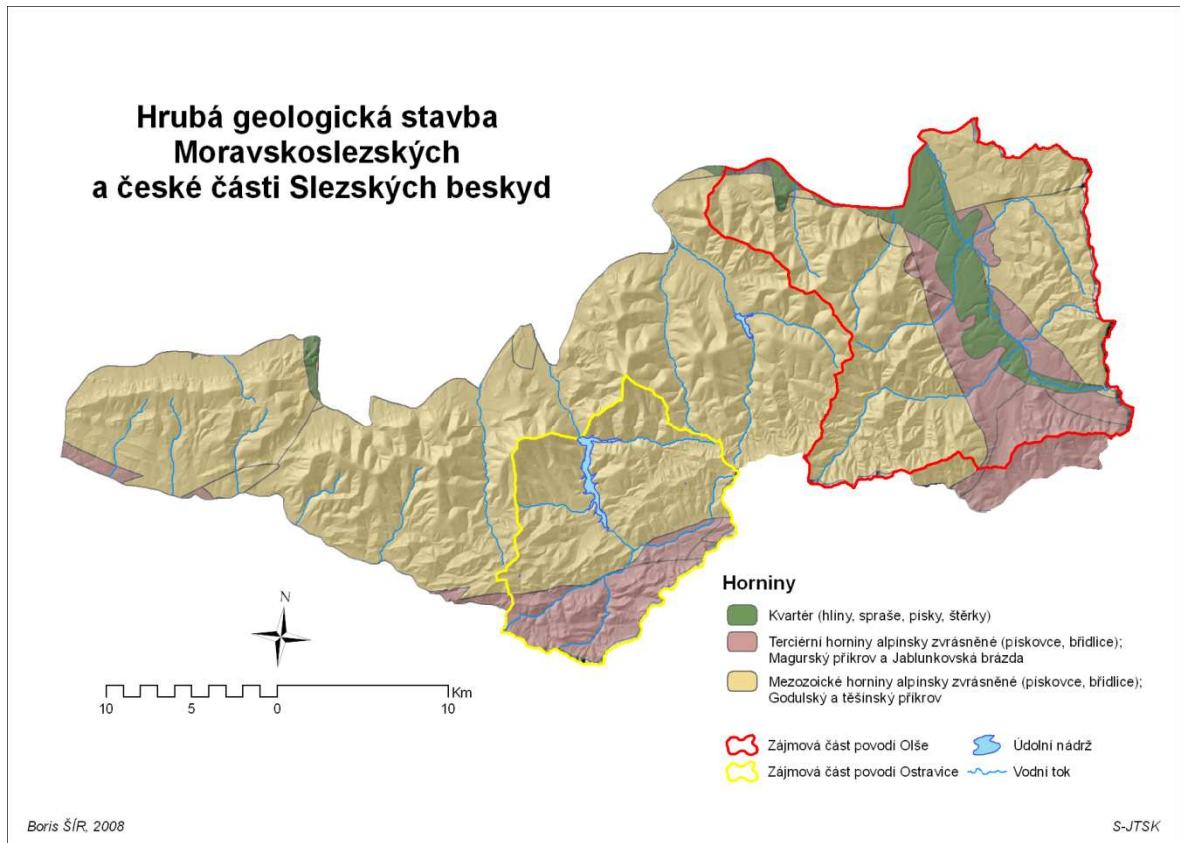
je omezena zlomy a její vývoj souvisí s dosouváním magurského příkrovu v průběhu mladoštýrského vrásnění (Buzek, 1986).

K vrstevnímu sledu godulského vývoje v rozpětí od svrchní jury do oligocénu patří spodní těšínské vrstvy, těšínské vápence, těšínsko-hradištské souvrství (svrchní těšínské a hradištské vrstvy), veřovické vrstvy, lhotecké vrstvy, godulské souvrství, istebňanské vrstvy, podmelinitové a melinitové souvrství a vrstvy krosněnské. Maximální mocnost sedimentární výplně dosahuje 6000 m (Menčík a kol., 1983). Dno Jablunkovské brázdy je vyplněno krosněnskými, melinitovými a podmelinitovými vrstvami s orientací ve směru SSZ-JJV (Buzek, 1986).

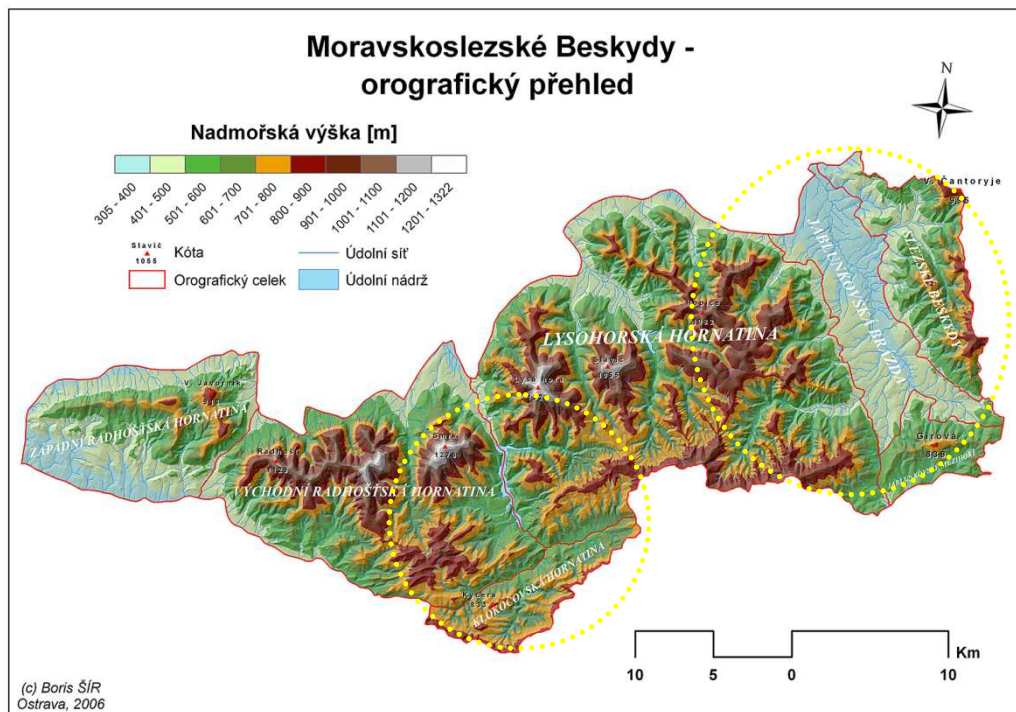
Současná povrchová geologická stavba Moravskoslezských Beskyd nese znaky mladě vyvrásněného pohoří. Ze vztahu k risským a würmským říčním a proluviálními sedimentům vyplývá, že již v této době existovaly základy dnešní vodní soustavy a povrchového reliéfu, které ovlivňovaly současně i rozsah severského zalednění a na něj navazující systém proluviálních, fluviálních i glaciálních sedimentů. V době rissu již existoval ve vrcholové části Moravskoslezských Beskyd vodní předěl, dnešní hlavní rozvodí mezi Baltským a Černým mořem (Menčík a kol., 1983).

Rozdíly v erozně-denudační odolnosti jednotlivých vrstevních komplexů slezské a podslezské jednotky predisponovaly vytváření dnešních základních i dílčích orografických jednotek. Horský masív Moravskoslezských a Slezských Beskyd je spojen s rozsahem godulského souvrství a vrstev istebňanských, rožnovská a jablunkovská brázda s méně odolnými horninami podmelinitových, melinitových a krosněnských vrstev slezské jednotky (Menčík a kol., 1983). Hrubá geologická stavba a základní orografický přehled Moravskoslezských a Slezských Beskyd viz obr. 4 a obr. 5.





Obr. 4: Hrubá geologická stavba Moravskoslezských a české části Slezských Beskyd.



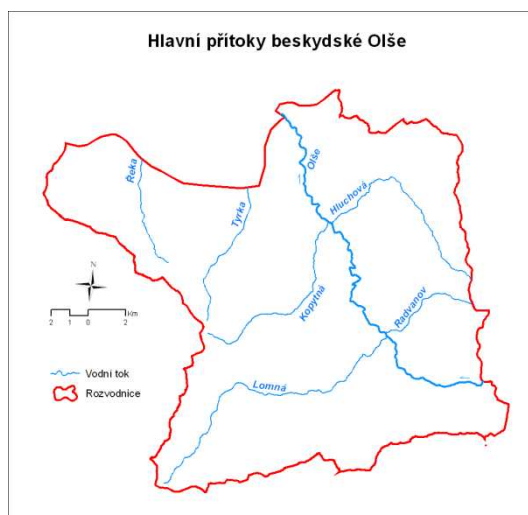
Obr. 5: Orografický přehled Moravskoslezských a české části Slezských Beskyd. Žluté elipsy schematicky vymezují studovaná povodí. Upraveno dle (Šír, 2007).

## 5.2 Povodí beskydské Olše

Vodní tok Olše je řekou II. řádu a pravostranným přítokem Odry. Patří k úmoří Baltského moře. Délka toku měří 99 km (na české straně 83 km). Povodí dosahuje plochy 1120 km<sup>2</sup> (635 km<sup>2</sup> na české straně) a jeho tvar je výrazně protáhlý. Olše pramení u obce Istebná v Polské republice v nadmořské výšce 820 m a na svém šestnáctém kilometru se u obce Bukovec vlévá na území České republiky (Weissmanová, 2004). Místy tvoří mezi oběma státy hranici (mezi Českým Těšínem a Karvinou, od Závady po ústí). Z významnějších měst protéká Jablunkovem, Třincem, Českým Těšínem a Karvinou. U Kopytova se Olše v nadmořské výšce 190 m n. m. vlévá do Odry (Brosch, 2005).

Olše je relativně vodnou řekou, třebaže je pro ni typická rozkolísanost kvůli vysoké amplitudě extrémních průtoků na dolním toku (Kříž, 1971). Obecně je v průběhu roku charakter odtoku spíše nevyrovnaný vzhledem ke geomorfologii a geologii povodí (karpatský flyš). Před vodohospodářskými úpravami koryta, jež započaly v raných letech 20. století, se Olše běžně vylévala ze svého řečiště a zaplavovala široké okolí (Brosch, 2005). Na obr. 7 je mapové znázornění odtokové sítě povodí beskydské Olše a jeho hypsometrie.

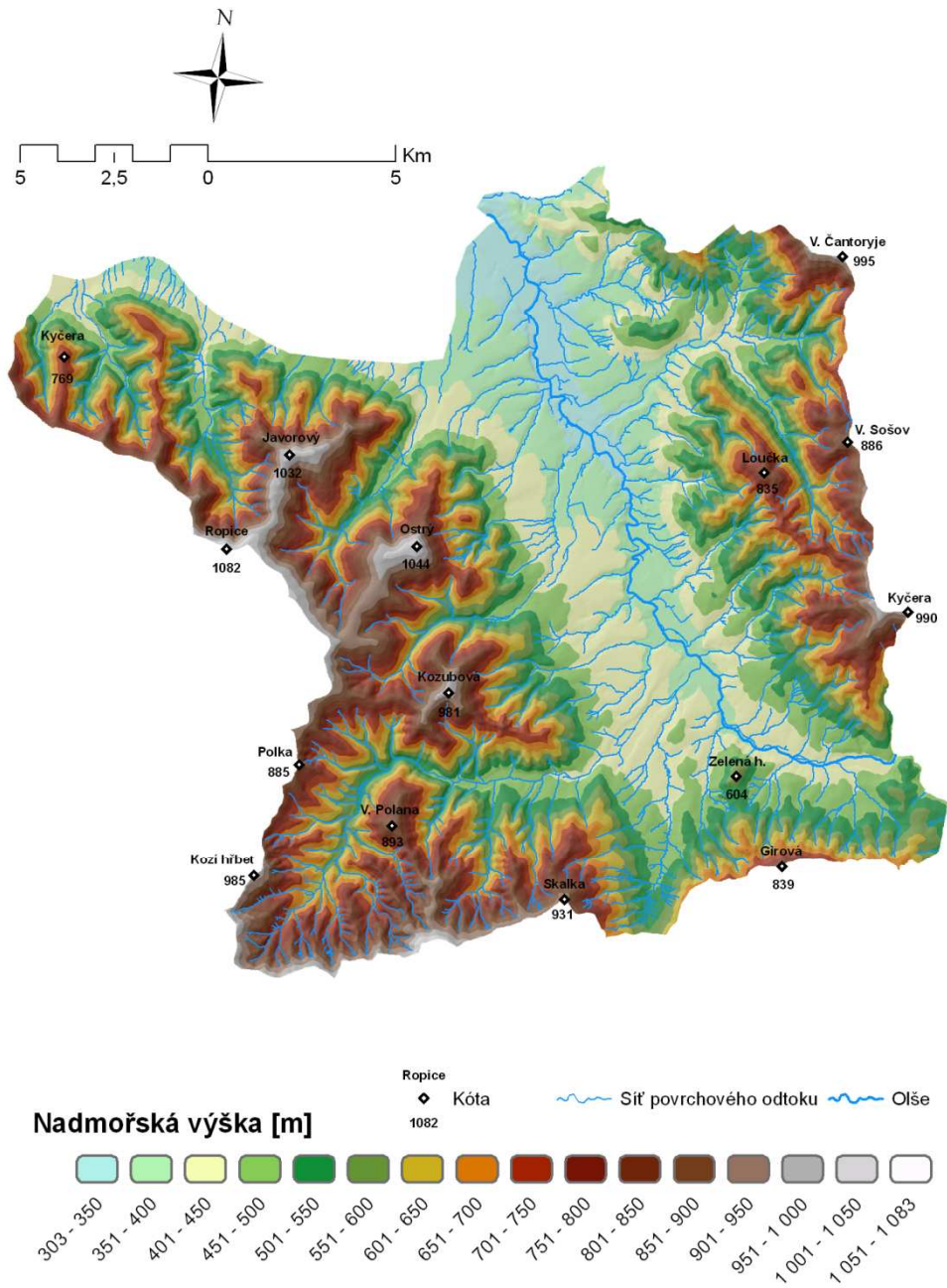
Povodí beskydské Olše	
Délka toku	23,6 km
Plocha povodí	312,3 km <sup>2</sup>
Maximální nadmořská výška	1081,6 m (Ropice)
Minimální nadmořská výška	304,5 m
Střední nadmořská výška	578,9 m
Maximální sklon reliéfu	54,2°
Střední sklon reliéfu	13,8°
Hustota údolní sítě	1,9 km/km <sup>2</sup>
Hlavní přítoky	Hluchová Kopytná Lomná Radvanov Řeka Tyrka



Tab. 1: Základní morfometrické ukazatele povodí beskydské Olše.

Obr. 6: Schematické znázornění hlavních přítoků beskydské Olše.

# Povodí beskydské Olše - hypsometrie



Boris ŠÍR, 2008

S-JTSK

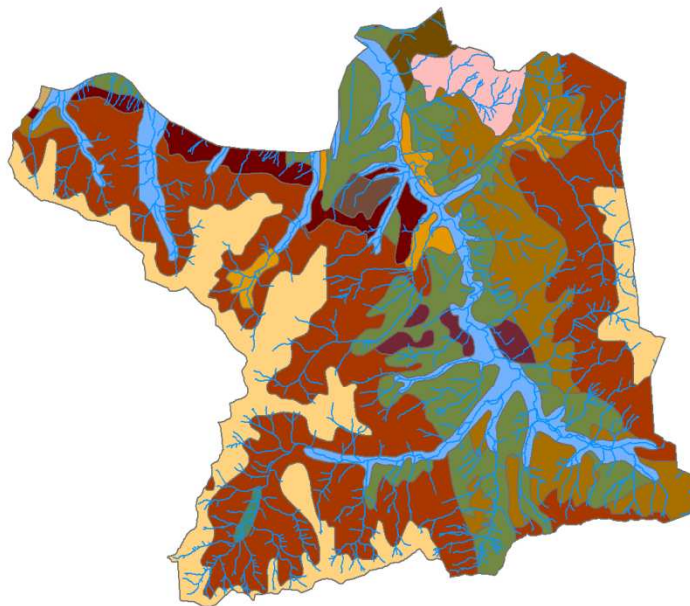
Obr. 7: Hypsometrie povodí beskydské Olše.

Geologická stavba území je reprezentována jak jednotkou slezskou, tak podslezskou i příkrovem magurským. Podslezská jednotka vystupuje pouze omezeně při severním vyústění Jablunkovské brázdy do předpolí Beskyd. Dno celé jablunkovské deprese je kryto mocnými kvartérními uloženinami a podloží horniny slezské i podslezské jednotky vycházejí pouze izolovaně. Zbylá část této sníženiny, stejně tak jako většina celého povodí beskydské Olše, náleží k jednotce slezské, jež je dále tvořena příkrovy těšínským a godulským. Těšínské nasunutí tvoří pouze severozápadní cíp Slezských Beskyd a je budováno zejména různě rytmickými flyši vrstev lhoteckých, hradištských a svrchních těšínských vrstev. Godulský příkrov kryje prostorově největší část povodí a je tvořen hlavně, opět různě rytmickými, flyšovými komplexy godulského souvrství s převahou pískovců a vrstev istebňanských s již větším zastoupením břidlic. Magurský příkrov pak do studovaného území zasahuje pouze severním svahem Jablunkovského mezihoří a je konstruován flyšem souvrství soláňského.

Horizontální členitost půdních poměrů beskydské části povodí Olše je výraznější než u povodí Ostravice. Vyskytuje se zde sedm půdních typů, konkrétně fluvizem, glej, pseudoglej, luvizem, kambizem, podzol a pararendzina. Kambizem je navíc zastoupena pěti subtypy (typická, eutrofní, dystriická, arenická a pseudoglejová) a kyselými varietami subtypu typická a pseudoglejová. Dominantním půdním typem je svými 56,4% rozlohy povodí kambizem, následována pseudogleji (16,4%), podzoly (15,5%), fluvizeměmi (9,1%), pararendzinou (2,3%), gleji (0,3%) a luvizeměmi (0,03%). Mapový přehled půdních poměrů povodí viz obr. 8. Při pohledu na mapu je patrná vertikální zonalita půd, navíc v horizontále prakticky symetrická s osou v nivě řeky Olše. V určitých partiích by se dalo hovořit o tzv. zonalitě předhorské, bariérové.

Rovněž krajinná pokrývka povodí beskydské Olše je v horizontálním směru se svými třinácti typy krajinného pokryvu dosti komplikovaná. Prostorově nejzastoupenější kategorií krajinného krytu klasifikace CORINE Land Cover jsou jehličnaté lesy s 30,0% podílem na rozloze povodí. Dále jsou to sestupně smíšené lesy (22,1%), zemědělské oblasti s přirozenou vegetací (18,0%), louky a pastviny (8,2%), listnaté lesy (6,0%), nesouvislá městská zástavba (5,0%), nezavlažovaná orná půda (4,2%), nízký porost v lese (3,9%), směsice polí, luk a trvalých plodin (2,0%), staveniště (0,2%), sportovní a rekreační plochy (0,1%), sady, chmelnice a zahradní plantáže (0,1%) a průmyslové a obchodní areály (0,1%). Mapa krajinného krytu povodí viz obr 8.

# Povodí beskydské Olše - půdní a krajinný kryt

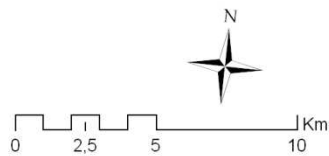


## PŮDNÍ POMĚRY

### Morfogenetický klasifikační systém půd - půdní typy

- Fluvizem (typická)
- Glej (typický)
- Kambizem (typická)
- Kambizem (typická), varieta kyselá
- Kambizem arenická
- Kambizem dystrická
- Kambizem eutrofní
- Kambizem pseudoglejová
- Kambizem pseudoglejová, varieta kyselá
- Luvizem pseudoglejová
- Pararendzina (typická)
- Pozdol kambizemní
- Pseudoglej primární

Síť povrchového odtoku

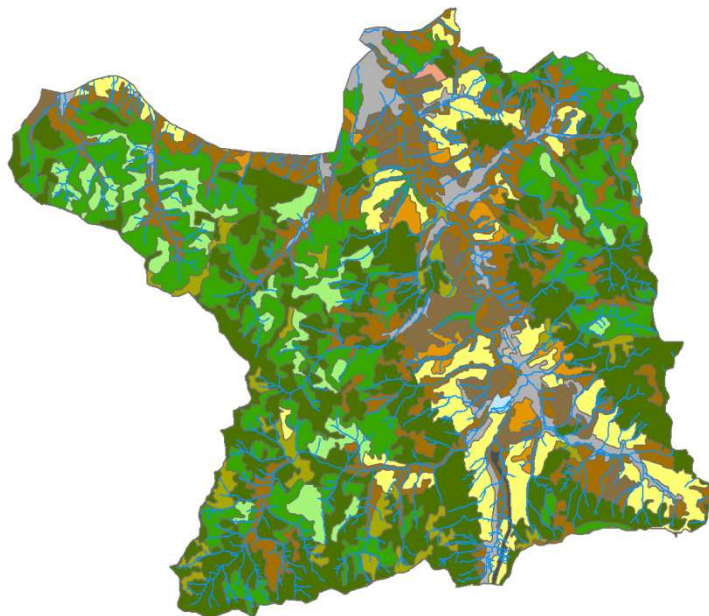


## KRAJINNÁ POKRÝVKA

### CORINE Land Cover - krajinný kryt (ekvivalent databáze SWAT)

- 1.1.2. - Nesouvislá městská zástavba (URLD)
- 1.2.1. - Průmyslové a obchodní areály (UIDU)
- 1.3.3. - Staveniště (UIDU)
- 1.4.2. - Sportovní a rekreační plochy (PAST)
- 2.1.1. - Nezávláňovaná orná půda (AGRR)
- 2.2.2. - Sady, chmelnice a zahradní plantáže (PEAS)
- 2.3.1. - Louky a pastviny (PAST)
- 2.4.2. - Směsice polí luk a trvalých plodin (PAST)
- 2.4.3. - Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací (AGRL)
- 3.1.1. - Listnaté lesy (FRSD)
- 3.1.2. - Jehličnaté lesy (FRSE)
- 3.1.3. - Smíšené lesy (FRST)
- 3.2.4. - Nízký porost v lese (RNGB)

Síť povrchového odtoku

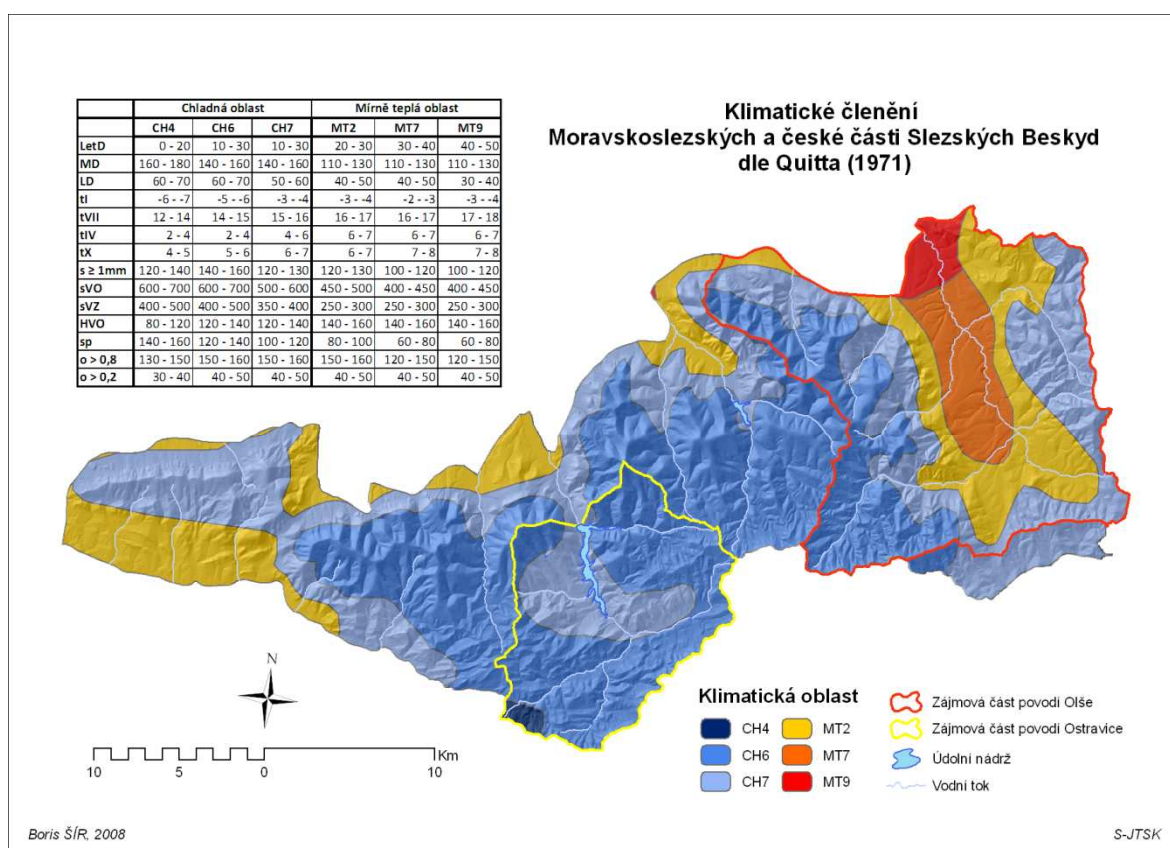


Boris ŠÍR, 2008

S-JTSK

Obr. 8: Půdní poměry a krajinný kryt povodí beskydské Olše.

Co se týče klimatu, tak v případě obou studovaných povodí se výrazně prosazuje vliv topoklimatu a mezoklimatu Beskyd a georeliéf se zde uplatňuje jako velice významný klimatogenetický faktor. Markantní je to zejména právě v případě povodí beskydské Olše, kdy se místním klimatem význačně projevuje deprese Jablunkovské brázd. Dle Quittovy klimatické klasifikace (1971) jsou v povodí zastoupeny oblasti chladná s podoblastmi CH6 a CH7 a mírně teplá s podoblastmi MT2, MT7 a MT9. I v tomto případě je markantní vertikální stupňovitost, taktéž v horizontálním směru souměrná se symetralou v toku řeky Olše (viz obr. 9).



Obr. 9: Quittovo klimatické členění (1971) širšího okolí studovaných povodí.

### 5.3 Povodí Ostravice nad hrází vodního díla Šance

Řeka Ostravice vzniká soutokem Černé a Bílé Ostravice u obce Staré Hamry v Moravskoslezských Beskydech. Její tok tvoří s mírnými oscilacemi historickou zemskou hranici Moravy a Slezska. Řeka získala název podle svého prudkého (ostrého) toku [3]. Tok řeky Ostravice je též linií oddělující od sebe Radhošťskou hornatinu na západě a hornatinu Lysohorskou na východě. Zdrojnice Bílá a Černá pak od těchto dvou orografických celků separují hornatinu Klokočovskou. Hypsometrie a síť povrchového odtoku jsou na obr. 10.

Bílá Ostravice je tokem třetího řádu a pramení v nejjižnější části Moravskoslezských Beskyd v nadmořské výšce kolem 710 m jihozápadně od osady Hlavatá při severovýchodním úpatí hory Vysoká (1024 m n. m.). Podle kilometráže vodohospodářské mapy jsou východněji položené potůčky, stékající ze severních svahů Čartáku (953 m n. m.), považovány za pouhé přítoky, i když jsou mnohdy o stovky metrů delší než oficiální tok Bílé Ostravice. Vysokou zasahuje hlavní evropské rozvodí Odra-Dunaj, takže něco přes kilometr jihozápadním směrem od pramenů Bílé Ostravice tak začíná svůj běh na opačnou stranu Rožnovská Bečva. Celý následující tok Bílé Ostravice pak směřuje horským údolím zhruba k severovýchodu přes osady Hlavatá, Mezivodí a obec Bílá. Po necelých deseti kilometrech se potok mezi Bílou a Starými Hamry ve výšce 510 m n. m. slévá s Černou Ostravicí, čímž vzniká řeka Ostravice [4].

Bílá Ostravice	
Délka toku	9,8 km
Plocha povodí	42,5 km <sup>2</sup>
Průměrný průtok v ústí	0,64 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Hydrologické pořadí	2-03-01-001
Hlavní přítok	Velká Smradlava

Tab. 2: Základní údaje toku Bílá Ostravice. Zdroj [4].

Černá Ostravice je tokem třetího řádu a pramení v jižní části Moravskoslezských Beskyd v nadmořské výšce kolem 850 m při jihozápadním okraji osady Bílý Kříž. V těsné blízkosti pramene probíhá přes vrch Súl'ov (903 m n. m.) státní hranice se Slovenskem a zároveň hlavní evropské rozvodí Odra-Dunaj. Celý tok Černé Ostravice míří liduprázdnou lesnatou krajinou zhruba jihozápadním směrem a po necelých deseti kilometrech se potok

nad obcí Staré Hamry ve výšce 510 m n. m. slévá s Bílou Ostravicí, čímž vzniká řeka Ostravice [5].

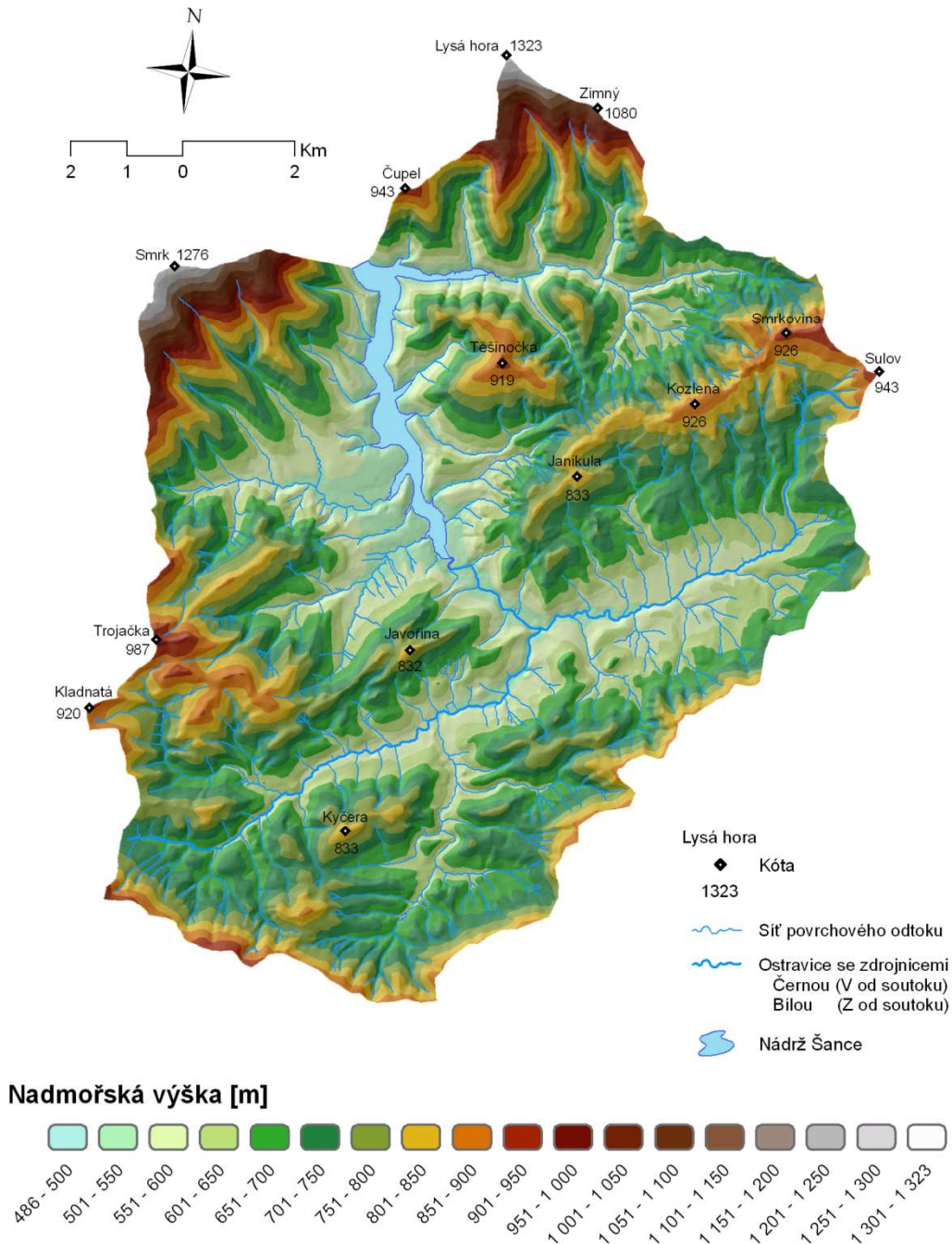
Černá Ostravice	
Délka toku	9,6 km
Plocha povodí	28,9 km <sup>2</sup>
Průměrný průtok v ústí	0,55 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Hydrologické pořadí	2-03-01-006
Hlavní přítok	Lučný potok

Tab. 3: Základní údaje toku Černá Ostravice. Zdroj [5].

Na horním toku řeky Ostravice leží přehradní nádrž Šance. Její hráz tvoří závěrový profil zájmové části povodí toku, jehož celková rozloha je 146,4 km<sup>2</sup>. Dílo Šance bylo vybudováno v letech 1964 až 1969. Název je odvozen od vrchu Šance (576 m n. m.) na levém břehu poblíž hráze. Hlavním účelem přehrady, situované pod řídké zalidněnou oblastí uprostřed Beskyd, je v současnosti shromažďování zásob pro výrobu pitné vody v úpravně Nová Ves ve Frýdlantu nad Ostravicí. Nádrž proto podléhá hygienické ochraně a koupání i jiné rekreační aktivity jsou v ní zakázány. Důležitým vedlejším využitím je regulace průtoku a ochrana před povodněmi [6]. Sypaná kamenitá hráz se šikmým těsnicím jílovým jádrem má celkový objem 1 340 000 m<sup>3</sup>. Podloží hráze je utěsněno jednořadou injekční clonou do hloubky až 70 m [7].



## Zájmová část povodí beskydské Ostravice - hypsometrie

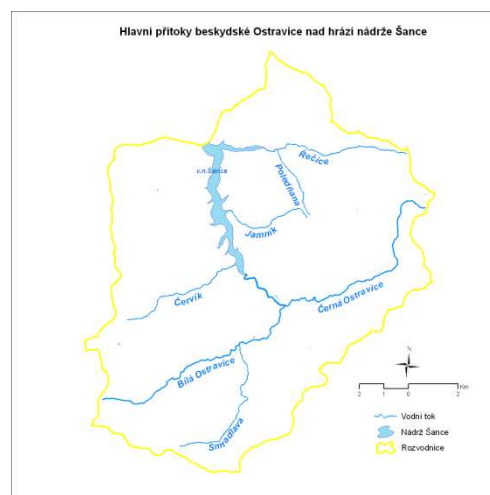


Boris Š/R, 2008

S-JTSK

Obr. 10: Hypsometrie zájmové části povodí beskydské Ostravice.

Ostravice nad hrází díla Šance	
Délka toku (včetně zdrojnic)	27,6 km
Plocha povodí	146,4 km <sup>2</sup>
Maximální nadmořská výška	1323,0 m (Lysá hora)
Minimální nadmořská výška	485,6 m
Střední nadmořská výška	709,3 m
Maximální sklon reliéfu	44,6°
Střední sklon reliéfu	15,4°
Hustota údolní sítě	2,4 km/km <sup>2</sup>
Hlavní přítoky	Červík Jamník Poledňana Řečice Velký potok



Tab. 4: Základní morfometrické ukazatele povodí Ostravice nad hrází vodního díla Šance.

Obr. 11: Hlavní přítoky beskydské Ostravice nad hrází nádrže Šance – schéma.

V geologické stavbě povodí můžeme vymezit tři paralelní pásy JZ-SV orientace. Postupujeme-li od jihu k severu, tak prvním pruhem je čelo magurského příkrovu s flyši soláňského souvrství a izolovanými výchozy spodních pestrých vrstev. Následuje pruh istebňanských vrstev. Ty jsou na jihu omezeny zhruba koryty Bílé a Černé, jež jsou prakticky založena na styku příkrovů magurského a godulského. Istebňanské vrstvy jsou pak vystřídány odolnými komplexy souvrství godulského, a to cca v, s předchozími zónami rovnoběžné, imaginární linii procházející vtokem řeky Ostravice do nádrže Šance.

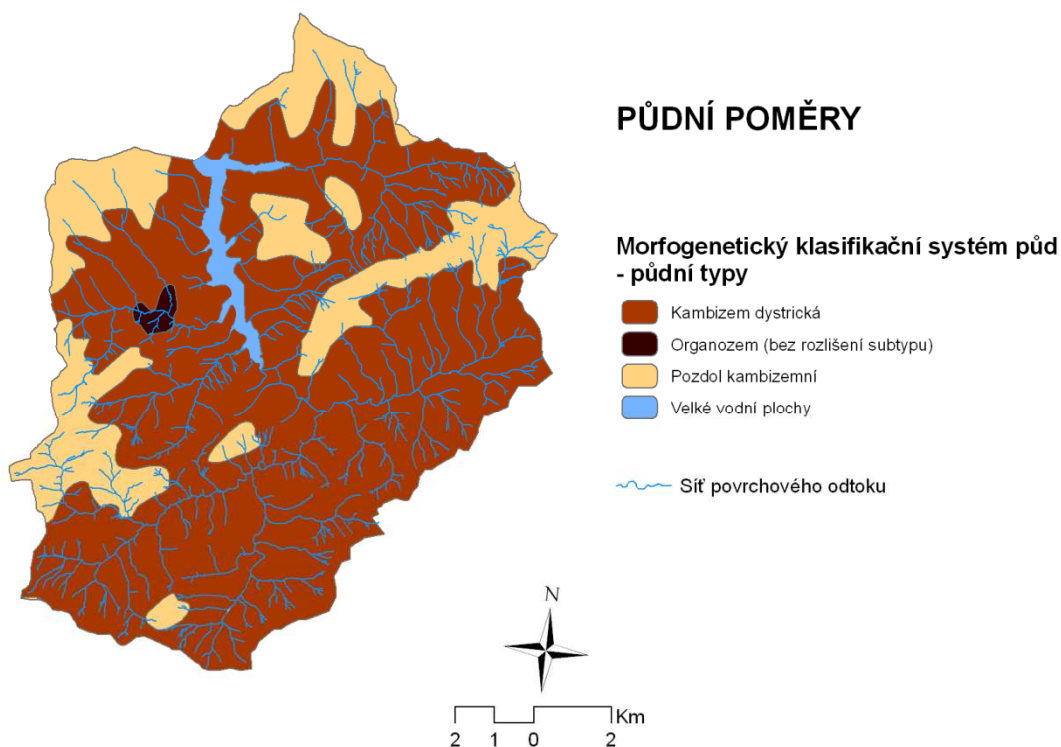
Půdní kryt povodí není nikterak pestrý a je zastoupen třemi půdními typy. Plošně nejrozšířenější je svými 74,1% rozlohy povodí kambizem dystrická. Ve vyšších nadmořských výškách hřbetů a elevací pak dominuje podzol kambizemní, jenž kryje 23,3% povrchu studované oblasti. Posledním přítomným půdním typem je organozem, která se v území vyskytuje pouze v podobě izolované enklávy o rozloze 0,6% plochy povodí. Přesněji se nachází v údolí středního toku Velkého potoka. Zbývající 2% rozlohy připadají na hladinu přehradní nádrže Šance. Mapové vyjádření půdních poměrů povodí viz obr 12.

Podobně jako v případě pedosférické situace je krajinný pokryv povodí Ostravice v porovnání s beskydskou Olší značně jednodušší. Vyjádřeno krajino-ekologickou

terminologií je matrix povodí reprezentována jehličnatým lesem o pokryvnosti 77,3%. Zbýlých sedm kategorií klasifikace CORINE Land Cover nepřesahuje svým horizontálním rozsahem plochu řádově vyšší než několik jednotek procent celkové povrchu zájmové oblasti. Oněmi typy krajinného krytu jsou smíšené lesy (8,1%), nízký porost v lese (6,1%), zemědělské oblasti s přirozenou vegetací (4,3%), listnaté lesy (1,7%), vodní plochy (1,7%), pastviny (0,6%) a nesouvislá městská zástavba (0,2%). Mapa krajinného krytu povodí viz obr. 12.

Klimatická diferenciacce povodí je na tom co do heterogenity stejně jako členění předchozích dvou geosférických komponent. Klima území je chladnější než v případě povodí Olše a dle Quitta (1971) je v něm možno vymezit tři podoblasti jediné klimatické oblasti, a to chladné. Těmito podoblastmi jsou CH4, CH6 a, naše nejchladnější, CH7 (viz obr. 9).

## Zájmová část povodí beskydské Ostravice - půdní a krajinný kryt



### KRAJINNÁ POKRÝVKA

#### CORINE Land Cover - krajinný kryt (ekvivalent databáze SWAT)

- 1.1.2. - Nesouvislá městská zástavba (URLD)
- 2.3.1. - Louky a pastviny (PAST)
- 2.4.3. - Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací (AGRL)
- 3.1.1. - Listnaté lesy (FRSD)
- 3.1.2. - Jehličnaté lesy (FRSE)
- 3.1.3. - Smíšené lesy (FRST)
- 3.2.4. - Nízký porost v lese (RNGB)
- 5.1.2. - Vodní plochy (WATR)

Síť povrchového odtoku



Boris ŠÍR, 2008

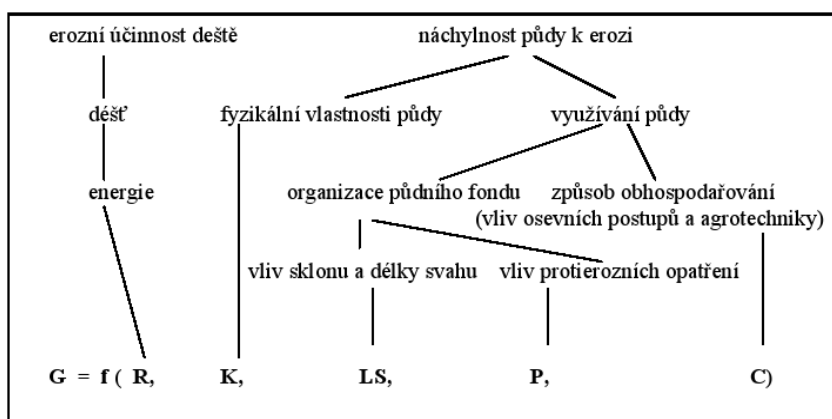
S-JTSK

Obr. 12: Půdní poměry a krajinný kryt zájmové části povodí beskydské Ostravice.

## 5. Modelování půdní eroze užitím rovnice RUSLE

### 6.1 Teoretické základy

Předkládaná práce se zabývá hodnocením půdní eroze užitím jak statického, tak i dynamického modelu. Právě tím statickým modelem je tzv. Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy, RUSLE (z angl. Revised Universal Soil Loss Equation). Jde o revizi Wishmeierovy a Smithovy (1978) Univerzální rovnice ztráty půdy, USLE (z angl. Universal Soil Loss Equation). Její aplikací dojdeme k výsledku, jenž je třeba interpretovat jako dlouhodobou průměrnou roční ztrátu půdy vztahenou k jednotce plochy.



Obr. 13: Hudsonovo blokové schéma USLE. Zdroj: (Holý, 1978).

Matematické vyjádření rovnice RUSLE je následující:

$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ , kde:

$A$  je průměrná roční ztráta půdy [ $\text{t/ha.rok}^{-1}$ ],

$R$  je faktor erozní účinnosti deště,

$K$  je faktor erodovatelnosti půdy,

$L$  je faktor délky svahu,

$S$  je faktor sklonu svahu,

$C$  je faktor vegetačního krytu a osevního postupu,

$P$  je faktor protierozního opatření.

### 6.1.1 Faktor erozní účinnosti deště – erozivity, R

Faktor erozivity byl W. Wischmeierem a D. Smithem definován jako součin kinetické energie deště a jeho maximální třicetiminutové intenzity [8]. Matematicky vyjádřeno:

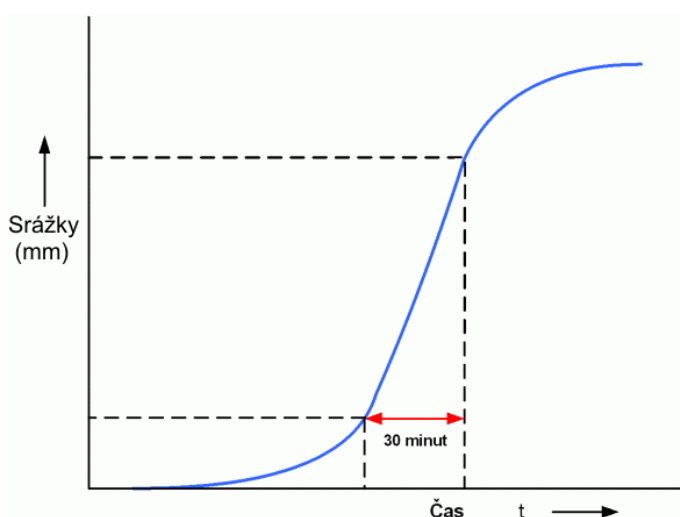
$$R = E \cdot i_{30}/100, \text{ kde :}$$

$R$  je faktor erozní účinnosti deště [ $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ],

$E$  je celková kinetická energie deště [ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ],

$i_{30}$  je maximální 30 minutová intenzita deště [ $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ].

Vyhodnocují se pouze deště, u nichž se předpokládá odtok vody po povrchu pozemku tj. izolované deště (přestávka mezi po sobě následujícími srážkami je delší než 6 hodin) s vydatností větší než 12,5 mm a srážky s vydatností menší než 12,5 mm - pokud v průběhu 15 minut naprší alespoň 6 mm (mají intenzitu větší než 24  $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Průměrná roční hodnota faktoru R se určuje z maximálních ročních hodnot tohoto faktoru, dále je možno hodnoty faktoru R vypočítaných pro jednotlivé deště statisticky zpracovat a mimo jiné i určit rozdělení erozivních srážek v průběhu roku. Reprezentativní údaje průměrné roční hodnoty faktoru R dávají podklady za období alespoň 50 let [8]. Důležité je právě rozložení hodnot faktoru v průběhu roku. V našich podmínkách dosahuje maxim ve vegetačním období s kulminací v červenci. Průměrná hodnota faktoru R pro celé území ČR je 20.

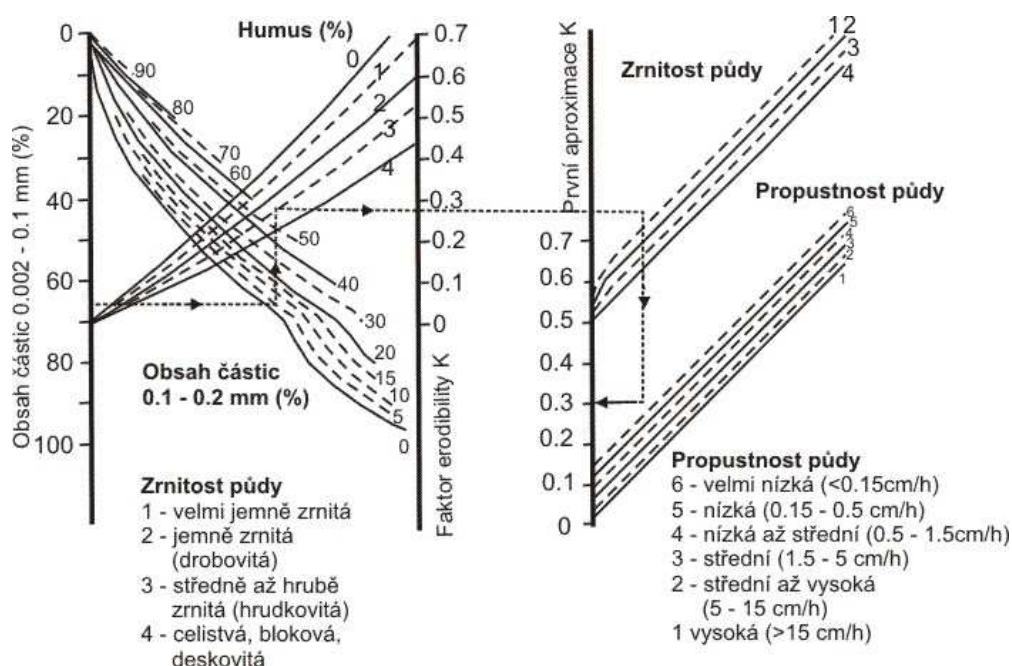


Obr. 14: Určení maximální 30minutové intenzity deště z ombrogramu.

Zdroj: (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005).

### 6.1.2 Faktor erodovatelnosti půdy – erodibility, K

Tento faktor 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 erodovatelnost půdy odvozena ze čtyř charakteristik: zrnitost (frakce 0,002 - 0,01 a 0,1 - 2,0 mm), obsah humusu, struktura a propustnost. Její kvantitativní míra pro různé půdy je určena experimentálně jako odnos půdy z jednotky plochy na jednotku dešťového faktoru ze standartního pozemku [8]. Hodnoty faktoru K je možno odečíst z nomogramu (viz obr. 15).



Obr. 15: Ukázka nomogramu k určení hodnot faktoru erodibility včetně postupu jejich odečítání. Zdroj: (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005).

### 6.1.3 Faktor topografický, LS

V Univerzální rovnici vyjadřuje poměr ztrát půdy na jednotku plochy z daného pozemku ke ztrátě půdy na pozemku délky 22,13 m s přímým sklonem 9 %. Hodnotu topografického faktoru LS pro přímé svahy lze vypočítat pomocí rovnice:

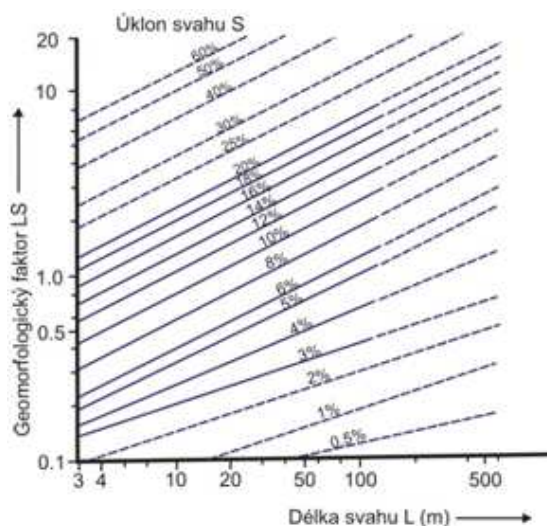
$$LS = l^p(0,0138 + 0,0097s + 0,00138s^2), \text{ kde:}$$

$l^p$  je nepřerušovaná délka svahu [m],

$s$  je sklon svahu [%],

$p$  je exponent zahrnující velikost sklonu svahu.

Hodnoty topografického faktoru lze určit zvlášť jako faktory délky a sklonu svahu, autoři jej však doporučují počítat kombinovaně jako faktor LS. Vliv délky a sklonu svahu na intenzitu eroze je třeba u jednotlivých pozemků uvažovat v předpokládaných trasách soustředěného odtoku. Směrodatná je pak dráha s nejvyšší hodnotou součinu LS [8]. Jeho hodnoty je možno odečíst z nomogramu (viz obr. 16).



Obr. 16: Ukázka nomogramu k učení hodnot faktoru LS. Zdroj: (Raclavský, Raclavská, Matýsek, 2005).

#### 6.1.4 Faktor vegetačního krytu a osevního postupu, 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 zachování stejných ostatních podmínek. Vegetační kryt chrání půdu před přímými účinky dopadajících dešťových kapek, zachycuje část srážek (intercepce), snižuje rychlost povrchového odtoku a ovlivňuje půdní vlastnosti (pórovitost, propustnost, mechanické zpevnění půdy kořenovým systémem). U většiny zemědělských plodin se ochranný vliv vegetace v průběhu vegetačního období výrazně mění. Proto je W. Wischmeier a D. Smith rozdělili do pěti částí:

1. období podmínky a hrubé brázdy,
2. období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí,
3. období druhého měsíce od jarního nebo letního setí (sázení), u ozimů do 30.4.,
4. období od konce 3. období do sklizně,
5. období strniště (posklizňové zbytky na povrchu půdy).



Do universální rovnice se při posuzování ohroženosti pozemku vodní erozí za faktor C dosazuje průměrná hodnota C za celý osevnický postup včetně období mezi střídáním plodin [8].

### 6.1.5 Faktor účinnosti protierozních opatření, P

Faktor účinnosti protierozních opatření je v USLE definován jako poměr zjištěného smyvu na pozemku s použitým protierozním opatřením ke smyvu na standardním pozemku, který je obděláván ve směru spádnice [8]. Jako základní protierozní opatření jsou nejčastěji uvažovány orba po vrstevnici, pásové střídání plodin a terasování. V případě, že protierozní opatření nebereme v úvahu, jsou „nulová“, je hodnota faktoru P rovna 1.

## 6.2 USLE vs. RUSLE

Rozdíl 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 15denním 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 rýhové a mezirýhové 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, staveniště, 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 obdělávání a terasování na snížení ztráty půdy a kontroly produkce splavenin.

Oproti USLE lze RUSLE aplikovat i pro území s nezemědělským využitím a tak je tato rovnice jedním z nejpoužívanějších prostředků pro predikci potenciální dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vodní erozí (Vavroš, 2007).

### 6.3 Výpočet RUSLE v prostředí ArcGIS

Výpočet dlouhodobé ztráty půdy pomocí rovnice RUSLE v prostředí ArcGIS 9.1 není nikterak složitý. Výsledků bylo dosaženo metodou mapové algebry a jako nástroj pro samotný součin faktorů figurujících ve vzorci slouží funkce *Raster Calculator*, která je součástí extenze Spatial Analyst. Ta je schopna provádět četné matematické operace mezi rastry, v našem případě vzhledem k struktuře rovnice RUSLE násobení. Vstupními daty vlastního výpočtu byly gridy jednotlivých erozních faktorů vzorce, které se mezi sebou jednoduše vynásobily. Výstupem pak byl rastr dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy na jednotku plochy.

#### 6.3.1 Grid faktoru erozní účinnosti deště – erozivity, R

Jako základ pro získání rastru faktoru erozivity se k využití nabízí síť měřících stanic ČHMÚ, respektive jejich soubor tvarů. Vycházíme z toho, že pro každou tuto stanic je třeba znát hodnotu buď průměrného faktoru erozního účinku deště anebo alespoň průměrné roční srážky.

Známe-li průměrné hodnoty faktoru R pro každou stanic, můžeme mezi nimi interpolací získat izolinie tohoto erozního činitele, které pak jednoduše převedeme na výsledný vstupní rastr. Není-li k dispozici průměrná hodnota dešťového faktoru, je možno ji dopočítat z hodnoty dlouhodobé průměrné srážky, konkrétně pak dle vztahu:

$$R = 0,058 \cdot H + 10,5 \text{ (Pretel, 1973 In: Motl, 2006), kde:}$$

$H$  je průměrný roční úhrn srážek.

Avšak pouhou interpolací hodnot mezi stanicemi jsme s to docílit výsledku, který by teoreticky odpovídal situaci, kdybychom zanedbávali georeliéf a jeho vliv na rozložení faktoru, tedy interpolovali bychom v plochem terénu. A jelikož georeliéf Beskyd hraje významnou roli ve formování mezoklimatu oblasti, bylo přistoupeno k jinému řešení získání hodnot faktoru erozivity na ploše zájmových povodí.

Východiskem pro získání hodnot faktoru erozního účinku deště byla klimatická klasifikace dle Quitta (1971) a již zmiňovaný Pretelův vztah pro výpočet faktoru R (1973). Při pohledu na Quittovu mapu je zřejmé, že podnebné oblasti kopírují svým rozložením konfiguraci reliéfu. K určení hodnoty faktoru R pro každou klimatickou oblast dle Pretela (1973) je tedy třeba znát průměrný roční úhrn srážek. Ten sám o sobě sice není v Quittově členění zahrnut, jsme však schopni jej dopočítat z dvou klimatických charakteristik klasifikace, jimiž jsou sVO (úhrn srážek za vegetační období) a sVZ (úhrn srážek za zimní období). Součtem těchto dvou úhrnů získáme kýženou hodnotu průměrné roční výšky srážek pro klimatickou oblast, z níž pak dopočteme míru faktoru erozivity dané podnebné oblasti. Třeba podotknout, že jako hodnoty sVO a sVZ byly uvažovány středy intervalů těchto charakteristik.

### **6.3.2 Grid faktoru erodovatelnosti půdy – erodibility, K**

Výchozím bodem tvorby gridu erodibility je znalost faktu, že na každý půdní typ je možno nahlížet jakožto na součást soustavy tzv. hlavních půdních jednotek (HPJ) v rámci klasifikace bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ).

Bonitovaná půdně ekologická jednotka je dle Vyhlášky MZ č. 328/1998 Sb. [9] charakterizována klimatickým regionem, hlavní půdní jednotkou, sklonitostí a expozicí, skeletovitostí a hloubkou půdy, jež specifikují hlavní půdní a klimatické podmínky hodnoceného pozemku, přičemž z našeho pohledu je určující právě již výše zmiňovaná HPJ. Tu chápeme jako účelové seskupení půdních forem příbuzných vlastností, jež jsou určovány genetickým půdním typem, subtypem, půdotvorným substrátem, zrnitostí, hloubkou půdy, stupněm hydromorfismu, popřípadě výraznou sklonitostí nebo morfologií terénu a zúrodňovacím opatřením. V numerickém kódu BPEJ jí přísluší 2. a 3. číslice. Vlastnosti každé HPJ ji pak mimo jiné předurčují jistou míru náchylnosti k erozi, můžeme jí tedy přiřadit hodnotu faktoru K, a to dle převodního klíče publikovaného v [10], [8].

Vstupními daty pro tvorbu rastru faktoru erodibility tak byl soubor tvarů půd, v jehož atributové tabulce byl danému půdnímu typu přidružen kód HPJ a tomu posléze, a to především, přiřazena odpovídající hodnota požadovaného erozního činitele. Tento shapefile byl poté konvertován na rastr, přičemž pro převod směrodatné byly hodnoty faktoru erodibility. Hodnoty faktoru K pro jednotlivé půdní typy zájmových území jsou v tab. 5 a tab. 6.

MKSP	Kód HPJ	Faktor K
Pararendzina (typická)	19	0,25
Kambizem arenická	23	0,19
Kambizem (typická)	24	0,29
Kambizem eutrofní	28	0,23
Kambizem (typická) varieta kyselá	35	0,28
Kambizem dystrická	36	0,20
Luvizem pseudoglejová	46	0,30
Pseudoglej primární	47	0,34
Kambizem pseudoglejová	48	0,34
Podzol kambizemní	49	0,20
Fluvizem (typická)	56	0,31
Glej (typický)	67	0,30

Tab. 5: Hodnoty faktoru K pro půdy povodí beskydské Olše.

MKSP	Kód HPJ	Faktor K
Kambizem dystrická	36	0,20
Podzol kambizemní	49	0,20
Organozem (bez rozlišení subtypu)	76	0,30
Vodní plocha	.	0

Tab. 6: Hodnoty faktoru K pro půdy zájmové části povodí Ostravice.

### 6.3.3 Grid faktoru topografického, LS

K výpočtu topografického faktoru posloužil program GRASS 6.2 a jeho modul r.watershed. Ten ze vstupního výškového gridu spočítá nejprve dva samostatné rastry faktorů délky (L) a sklonu svahů (S), jejichž vzájemným násobkem je pak rastr faktoru LS. Ten je před konverzí do jiného formátu (např. ESRI rastr) a dalším zpracováním nakonec nutno vydělit hodnotou 100, poněvadž modul r.watershed právě touto hodnotou výsledky (v řádu desetinných čísel) násobí pro vizualizaci rastru.

### 6.3.4 Grid faktoru vegetačního krytu a osevního postupu, C

Skutečnost, že výsledné číslo modelování eroze pomocí rovnice RUSLE udává míru dlouhodobé průměrné roční ztráty půdy vztážené k jednotce plochy, usnadňuje tvorbu rastru faktoru C v tom smyslu, že není nutno se zabývat změnami vegetačního krytu v průběhu roku, a je tak možno se zaměřit pouze na krajinnou pokrývku sensu dlouhodobý průměrný stav

krajinného krytu zájmového území. Grid vegetačního faktoru byl tedy vytvořen ze shapefile krajinného krytu klasifikace CORINE Land Cover, v jehož atributové tabulce byla každému typu krajinného krytu přiřazena hodnota faktoru. Převodní klíč je dostupný na [11], [12]. Tabelární přehled hodnot faktoru C na území zájmových povodí nabízí tab. 7 a tab. 8.

<b>Krajinný kryt</b>	<b>Faktor C</b>
1.1.2. - Nesouvislá městská zástavba	0,030
1.2.1. - Průmyslové a obchodní areály	0,030
1.3.3. - Staveniště	0,030
1.4.2. - Sportovní a rekreační plochy	0,010
2.1.1. - Nezavlažovaná orná půda	0,200
2.2.2. - Sady, chmelnice a zahradní plantáže	0,200
2.3.1. - Louky a pastviny	0,050
2.4.2. - Směsice polí luk a trvalých plodin	0,250
2.4.3. - Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	0,100
3.1.1. - Listnaté lesy	0,009
3.1.2. - Jehličnaté lesy	0,004
3.1.3. - Smíšené lesy	0,007
3.2.4. - Nízký porost v lese	0,010

*Tab. 7: Hodnoty faktoru C pro kategorie krajinného krytu klasifikace CORINE Land Cover povodí beskydské Olše.*

<b>Krajinný kryt</b>	<b>Faktor C</b>
3.1.2. - Jehličnaté lesy	0,004
1.1.2. - Nesouvislá městská zástavba	0,030
2.3.1. - Louky a pastviny	0,050
2.4.3. - Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	0,100
3.1.1. - Listnaté lesy	0,009
3.1.3. - Smíšené lesy	0,007
3.2.4. - Nízký porost v lese	0,010
5.1.2. - Vodní plochy	0

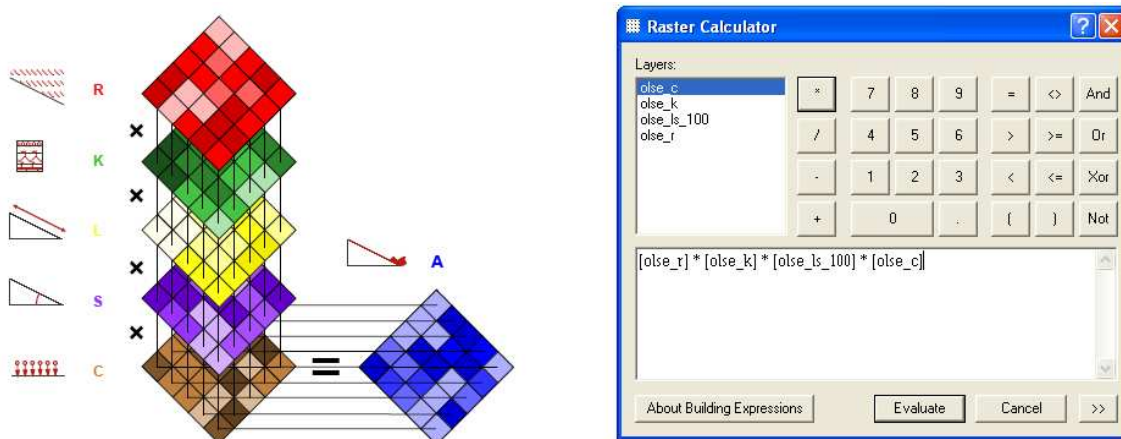
*Tab. 8: Hodnoty faktoru C pro kategorie krajinného krytu klasifikace CORINE Land Cover zájmové části povodí Ostravice.*

### 6.3.5 Faktor účinnosti protierozních opatření, P

Poněvadž protierozní opatření nebyla v průběhu modelování uvažována, nebyl počítán ani příslušný grid faktoru P a jeho hodnota pro celé pilotní území je proto 1.

### 6.3.6 Násobení rastrů

V momentu, kdy byly veškeré vstupní gridy hotovy a připraveny, bylo možno přistoupit k vlastnímu výpočtu RUSLE pomocí mapové algebry a užitím nástroje *Raster Calculator* jednotlivé rastry vynásobit, což vedlo ke vzniku výstupního gridu dlouhodobé průměrné ztráty půdy na jednotku plochy.



Obr. 17: Schéma principu mapové algebry na příkladu rce RUSLE a dialogové okno funkce Raster Calculator programu ArcGIS 9.1. Upraveno dle [13].

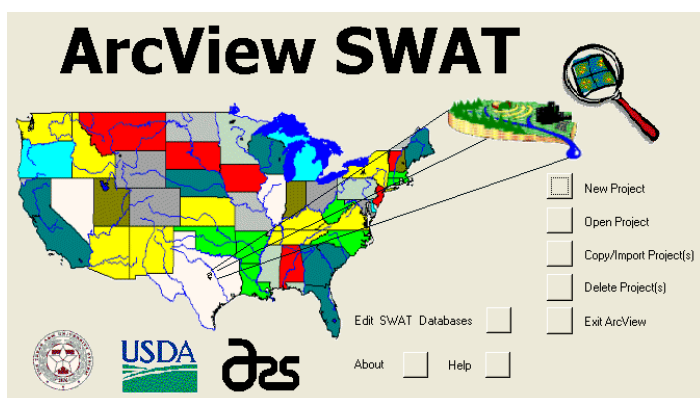
Prostorové rozložení hodnot jednotlivých vstupních faktorů rovnice RUSLE jsou na obr. 37 a obr. 40 v kapitole 8.1 *Interpretace výsledků modelování eroze užitím rovnice RUSLE*.

## 6. Modelování půdní eroze užitím modelu SWAT

### 7.1 Teoretické základy

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) je model primárně vyvinutý k dlouhodobé simulaci a predikci vlivu managementu krajiny na vodu, sedimenty a zemědělské výnosy v povodích s rozličnými půdními, vegetačními a řídicími podmínkami (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Autorem modelu je J. Arnold, který jej vytvořil na přelomu 80. a 90. Let pro Agricultural Research Service (ARS) Ministerstva zemědělství USA (United States Department Of Agriculture, USDA). Model vznikl v Grassland, Soil & Water Research Laboratory, Temple, Texas, ve spolupráci s Blackland Research and Extension Center, Temple, Texas (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).



Obr. 18: Základní okno extenze ArcView SWAT 2000.

Svou podstatou spadá model SWAT do kategorie fyzikálních srážko-odtokových modelů. Vyžaduje řadu informací o počasí, resp. klimatu, půdních poměrech a hospodaření v povodí, s nimiž je pak schopen simulovat procesy pohybu vody, sedimentů, růstu plodin, oběhu látek aj. Model SWAT je primárně modelem kontinuálním, umožňujícím studium v dlouhém časovém horizontu a jeho nasazení pro jednotlivé srážko-odtokové epizody

je vzhledem k náročnému preprocessingu méně frekventované (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

SWAT je pro potřeby modelování schopen vymežit v rámci studovaného povodí menší subpovodí, což je účelné zvláště v případech, kdy se v povodí vyskytují z hydrologického aspektu značně odlišné půdní jednotky, plochy krajinného krytu či využití a managementu krajiny (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Vstupní informace o jednotlivých subpovodích jsou organizovány do kategorií týkajících se klimatu, jednotek hydrologické odezvy (hydrologic response units, HRUs), povrchových akumulací vody a mokřadů, podzemní vody a odtokové sítě. HRU je ploška v rámci subpovodí s unikátní kombinací půdních vlastností, krajinného krytu a využití krajiny (viz dále) (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Bez ohledu na charakter řešeného problému je pro výsledek modelování vždy určující bilance vody v povodí. Simulace hydrologického cyklu v povodí tak možno rozdělit do dvou hlavních částí. V první řadě jde o určení množství vody, sedimentů a látek vstupujících do toku subpovodí, v druhé fázi jde o simulaci pohybu vody, sedimentů a látek odtokovou sítí povodí směrem k závěrovému profilu (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Model SWAT prošel několika stupni vývoje. Každá nová verze měla více funkcí než ta předešlá a u starých funkcí docházelo ke zpřesňování a k většímu přiblížení se k reálným procesům v terénu (Motl, 2006).

SWAT je dostupný pro platformy Microsoft Windows, Unix a Solaris. Pro práci v prostředí GIS je možno využít extenzí pro program ArcView 3.x (AVSWAT 2000, AVSWAT 2005) či novou pro ArcGIS 9.x. Obě verze vyžadují instalaci extenze Spatial analyst, druhá jmenovaná pak i service pack 2. Program SWAT je volně dostupný na [14].

### **7.1.1 Možnosti praktických aplikací modelu SWAT**

Dle předmětu zájmu, příslušnosti k vědní disciplíně či charakteru vstupních dat je možno využití modelu SWAT rozdělit dle následujícího schématu:

1. klima,
2. hydrologie,
3. nutrienty a pesticidy,



4. krajinný kryt a plodiny,
5. zemědělský management a využití půdy,
6. procesy ve vodních tocích,
7. procesy v jezerech a nádržích,
8. eroze půdy (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Uplatnění modelu v klimatologii se opírá hlavně o schopnost simulovat vliv množství srážek, teploty vzduchu, slunečního záření, rychlosti větru, relativní vlhkosti, teploty půdy, sněhové pokrývky a tání sněhu na modelované procesy (Motl, 2006).

V oblasti hydrologického uplatnění modelu je možno rozlišit čtyři širší okruhy, kterými jsou povrchový odtok, evapotranspirace, půdní voda a podzemní voda (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002). Model počítá s procesy vázané na velikost intercepce, infiltrace a rozložení množství vody v půdním profilu, evapotranspirace, laterální podpovrchový odtok, povrchový odtok, dále rovněž do procesu modelace zahrnuje rybníky a řeky jako velmi důležité prvky hydrologického cyklu (Motl, 2006).

Jsou-li předmětem zájmu nutriety a pesticidy, pak je model schopen simulovat procesy jejich mobilizace, migrace, imobilizace, fixace, degradace, vyluhování, vertikálního pohybu směrem vzhůru v půdním profilu aj. (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Co se týče krajinného krytu je model na základě vložených dat s to simulovat potenciální růst rostlin, potenciální a aktuální transpiraci, příjem živin z půdy pro rostliny a dokonce odhaluje stresové faktory pro růst rostlin z oblasti vody, živin a teploty (Motl, 2006).

Krajinné pokrývky a kulturních plodin úzce se dotýkající sférou je zemědělský management a využití krajiny. Na základě vstupních dat dokáže model SWAT vypočítat nejlepší dobu pro začátek a ukončení pěstování jednotlivých plodin, zvládá taktéž odvodit doporučený osevní cyklus na dané lokalitě nebo např. vypočítat možnosti zavlažování. Do této oblasti též spadá modelace odtoku vody a na něj se nabalujících procesů v oblastech městské zástavby (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

V rámci vodních toků a vod stojatých se nabízí možnost využití modelu k simulaci pohybu látek a sedimentů, jejich usazování, dále pak vodní bilance povrchových zdrží vody a další (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

### 7.1.2 Teoretické principy simulace půdní eroze modelem SWAT

Eroze půdy jako důsledek dešťových srážek a povrchového odtoku je modelem počítána pomocí rovnice MUSLE (the Modified Universal Soil Loss Equation) (Williams, 1975 In: Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002), neboli modifikované rovnice USLE (Wischmeier, Smith, 1965, 1978 In: Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Oproti vztahu USLE, jejímž výstupem je průměrná roční ztráta půdy na jednotku plochy coby funkce energie dešťových kapek, je v rovnici MUSLE právě zmiňovaný faktor erozního účinku deště nahrazen faktorem odtoku. Odnoš půdních částic tak není důsledkem pouze energie srážky, ale též dešti předcházející vlhkosti půdy, což se odráží v přesnějších výsledcích predikce půdních ztrát (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Rovnice MUSLE (Williams, 1995), tak jak je definována modelem SWAT, má tuto podobu:

$$Sed = 11,8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0,56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot L_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG, \text{ kde:}$$

$Sed$  je množství odneseného sedimentu za jednotku času,

$Q_{surf}$  je výška povrchového odtoku ( $mm \cdot ha^{-1}$ ),

$q_{peak}$  je nejvyšší objem odtoku ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ),

$area_{hru}$  je plocha jednotlivého povodí (ha),

$K_{USLE}$  je faktor erodibility půdy,

$C_{USLE}$  je faktor půdního krytu,

$L_{USLE}$  je faktor protierozního opatření,

$LS_{USLE}$  je faktor tvaru terénu (sklon a délka svahu),

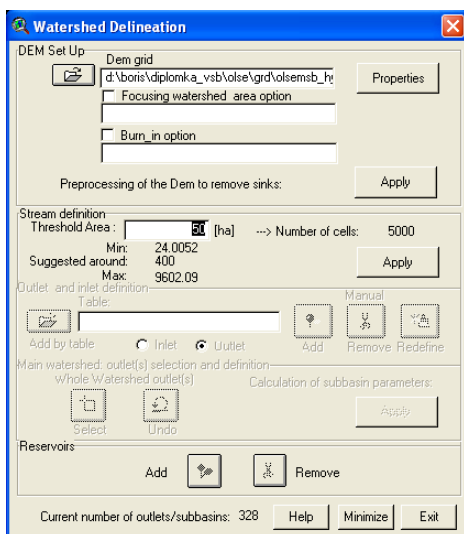
$CFRG$  je faktor hrubosti půdních částic.

## 7.2 Výstavba modelu SWAT pro zájmová povodí

### 7.2.1 Schematizace povodí

Schematizací povodí se rozumí automatický proces vymezení dílčích hydrologicky propojených odtokových jednotek (subpovodí) a jim příslušných segmentů hydrologické sítě (vodních toků) nad DEM zájmového území, kdy jsou uživatelem specifikovány vybrané řídicí parametry schematizace, mj. určující velikost a počet výsledných subpovodí (Di Luzio, Srinivasan, Arnold, Nietsch, 2002).

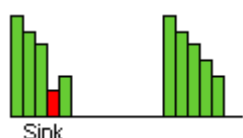
Celá procedura schematizace povodí se děje ve čtyřech dílčích krocích, které jsou zahrnuty v nabídce extenze *Avswat/Automatic Delineation*. Po jejím zvolení se otevře okno pro komunikaci s modelem, kde uživatel nastavuje jednak jednotlivá vstupní data a jednak již zmiňované parametry výstupních subpovodí. Vstupními daty delineace povodí jsou jak DEM zájmového území, tak případně doplňující soubory tvarů odtokových linií. Je-li k dispozici pouze digitální model svým plošným rozsahem překračující rozlohu pilotního území, je možno též definovat masku vymežující právě oblast zájmu modelování. Zde je možno využít jak DEM, tak i shapefile. V našem případě byly k dispozici dva vstupní DEM o rozsahu zájmových území, nebylo tedy třeba grid maskovat. Pro zpřesnění výsledků hydrologické korekce (viz dále) byl využit též vektor údolní sítě pilotních povodí. Na závěr odstavce třeba podotknout, že primárními vstupními daty je pouze digitální model reliéfu, ostatní uváděná data nejsou vyžadována a slouží pouze pro přesnější specifikaci požadavků uživatele.



Obr. 19: Dialogové okno funkce *Automatic Delineation*.

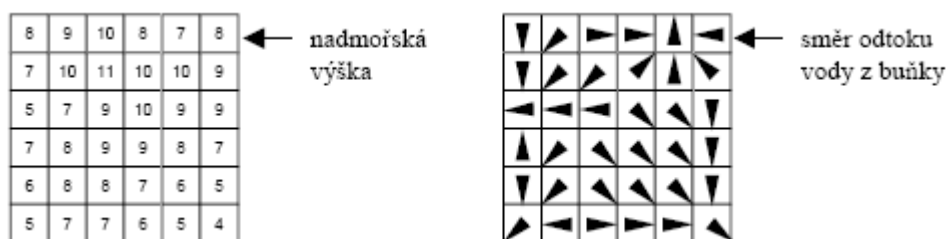
Prvním krokem delineace odtokových jednotek je tzv. *DEM Set Up*, neboli načtení vstupních dat (DEM, shapefile odtokové sítě, maska) a hydrologická korekce gridu. Hydrologicky nekorigované gridy jsou charakteristické přítomností izolovaných depresí (sinks), jež ovlivňují proces povrchového odtoku z „efektivních srážek“ a toku v korytech toků protínajících případné terénní sníženiny, což se může negativně projevit v kvalitě výstupů následného procesu extrahování povodí a odtokových linií.

Depresemi (sinks) nazýváme buňky nebo shluky buněk gridu, jejichž hodnota je vůči jejich okolí nižší. Je možno se též setkat s označením „místa s vnitřním odvodněním“ (Chuchma, 2006). Ve většině případů jde o nepřesnosti gridu, avšak deprese mohou mít i přirozený charakter. Funkce *Preprocessing of the dem to remove sinks* má v sobě zahrnutý algoritmus, který je schopen deprese lokalizovat a následně je „vyplnit“ na úroveň jejich okolí (viz obr. 20). Tím je zajištěn plynulý odtok vody po povrchu gridu, grid je hydrologicky korektní (Šír, 2007).



Obr. 20: Proces vyplňování depresí.

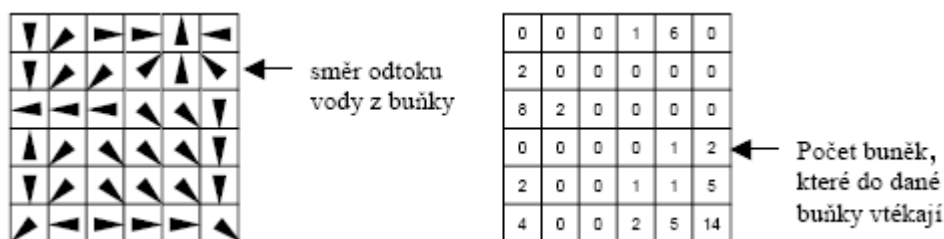
Druhým krokem schematizace povodí je tzv. *Stream definition*. V této fázi model nejprve ze vstupního, již hydrologicky korektního, DEM vypočte grid směru odtoku, dále pak grid akumulace odtoku, grid údolní sítě a klasifikovaný grid segmentů toků. Výpočet gridu směru odtoku spočívá v definování nejstrmějšího spádu, resp. maximálního poklesu pro každou buňku výškového gridu, a to v osmi směrech dle obr. 21.



Obr. 21: Určení směru odtoku na DEM. Zdroj: (Jedlička, Mentlík, 2002).

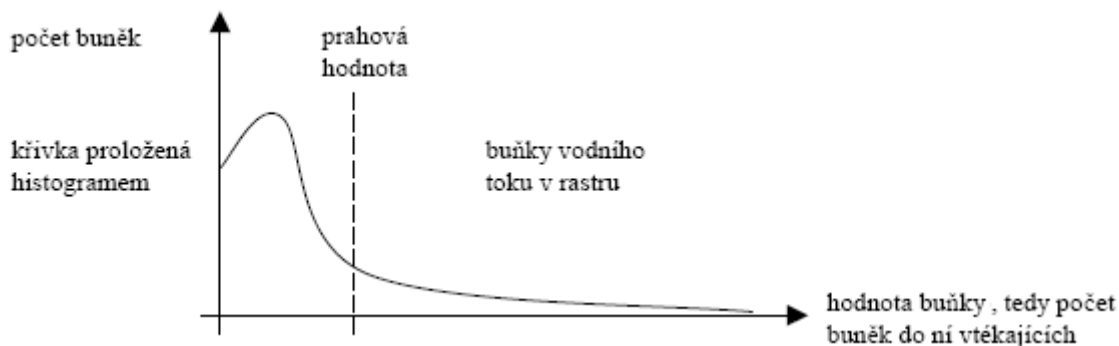
Následuje určení tzv. akumulace povrchového odtoku z efektivních srážek v každé buňce rastru terénu. Grid akumulace odtoku je reprezentován buňkami, jejichž hodnoty jsou dány sumou všech buněk, které příslušnou buňku dotují přítokem vody (Šír, 2007). Lze říci,

že pokud by na každou buňku DEM dopadla jedna kapka vody, tak systém spočítá, kolik těchto kapek doteče až do určité buňky. Výpočet se pak opakuje pro všechny buňky (Jedlička, Mentlík, 2002). Schematicky vyjádřeno viz obr. 22.

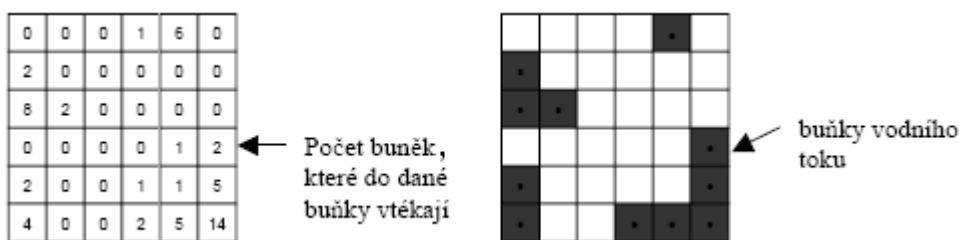


Obr. 22: Určení akumulace odtoku na DEM. Zdroj: (Jedlička, Mentlík, 2002).

Dále jsou klasifikovány buňky s vyšší hodnotou akumulace odtoku, než je právě zvolený práh. Tyto buňky si ponechávají svou hodnotu a buňky, které nevyhovují podmínce, jsou vypuštěny. Ve výsledku jsou tedy zachovány pouze linie vodních toků vyhovující kvality, ve formě rastru údolní sítě (viz obr. 23 a obr. 24). Zmiňovaný práh, neboli *Threshold Area [ha]*, je třeba nastavit na samém počátku celého postupu *Stream definition* a jeho velikost se nepřímo úměrně promítá do počtu a velikosti povodí získaných v dalších krocích. Hodnota prahu v našem případě byla zvolena 50 ha.

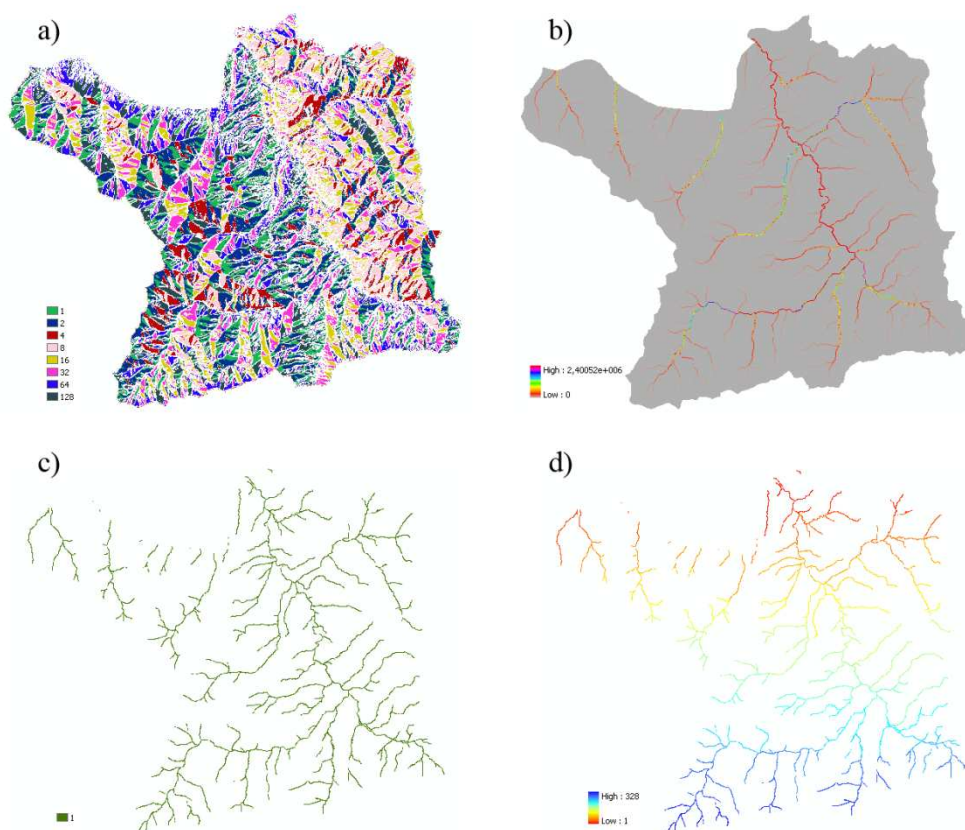


Obr. 23: Určení prahové hodnoty akumulace odtoku na DEM. Upraveno dle (Jedlička, Mentlík, 2002).



Obr. 24: Určení rastru údolní sítě na DEM. Zdroj: (Jedlička, Mentlík, 2002).

Nakonec je rastr údolní sítě konfrontován s gridem směru odtoku, načež jsou automaticky určeny soutoky (uzly) a grid údolní sítě je rozdělen do jednotlivých orientovaných říčních úseků. Ty jsou spojnicemi dvou sousedních uzlů, uzlu a závěrného profilu nebo uzlu a rozvodnice (Chuchma, 2006, Šír, 2007). Výsledný rastr je charakteristický tím, že všechny buňky náležící témuž říčnímu segmentu mají stejnou hodnotu. V podstatě se jedná o zjišťování skupin buněk z rastru směru odtoku z buňky, z nichž voda odtéká do stejného toku. Tyto skupiny buněk pak tvoří jednotlivá povodí (Jedlička, Mentlík, 2002). Výstupy jsou kromě výše vyčtených rastrů též soubory tvarů údolní sítě a jejich jednotlivých uzlů. Ukázky dílčích gridů procesu schematizace povodí jsou na obr. 25.

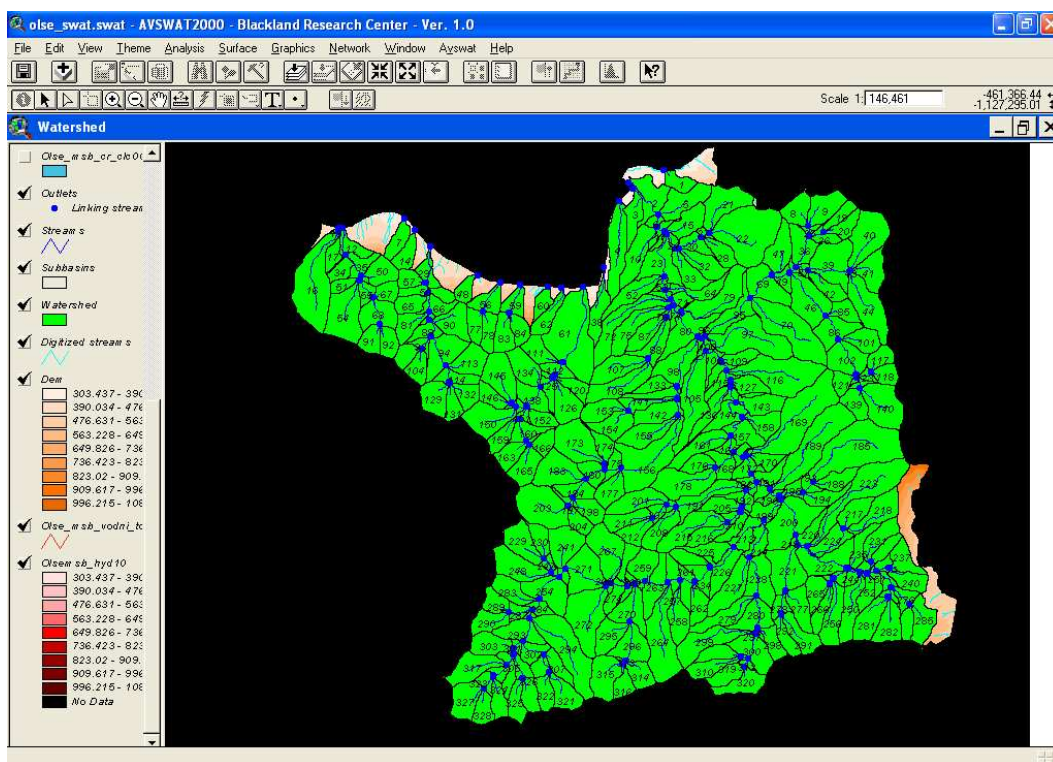


Obr. 25: Ukázka dílčích gridů procesu Stream definition na příkladu povodí beskydské Olše. a) grid směru odtoku, b) grid akumulace odtoku, c) grid údolní sítě, d) klasifikovaný grid segmentů toků.

Prakticky předposledním krokem vedoucím k ukončení schematizace povodí je tzv. *Outlet and inlet definition*. Zde je, pokud nutnou, možno přidat, odebrat či předdefinovat uzly hydrologické sítě. Co se týče předkládané práce, nebylo možností této nabídky potřeba využívat a bylo možno přímo přistoupit k poslednímu bodu delineaace subpovodí, a to k tzv. *Main watershed: outlet(s) selection and definition*, jenž slouží k výběru alespoň

jednoho uzlu odtokové sítě jakožto jejího nejspodnějšího závěrového profilu. V případě povodí Ostravice stačilo určit jako závěrový profil zmiňované kvality pouze uzel v místě hráze nádrže Šance. Co se týče beskydské Olše, bylo nutno definovat uzlů více, neboť horní toky některých podbeskydských přítoků Olše jsou situovány ještě v zájmovém území, konkrétně na severním svahu ropické rozsochy, respektive Slezských Beskyd (viz obr. 7 a obr. 26). Výstupem je zde již polygonový shapefile kýžených subpovodí.

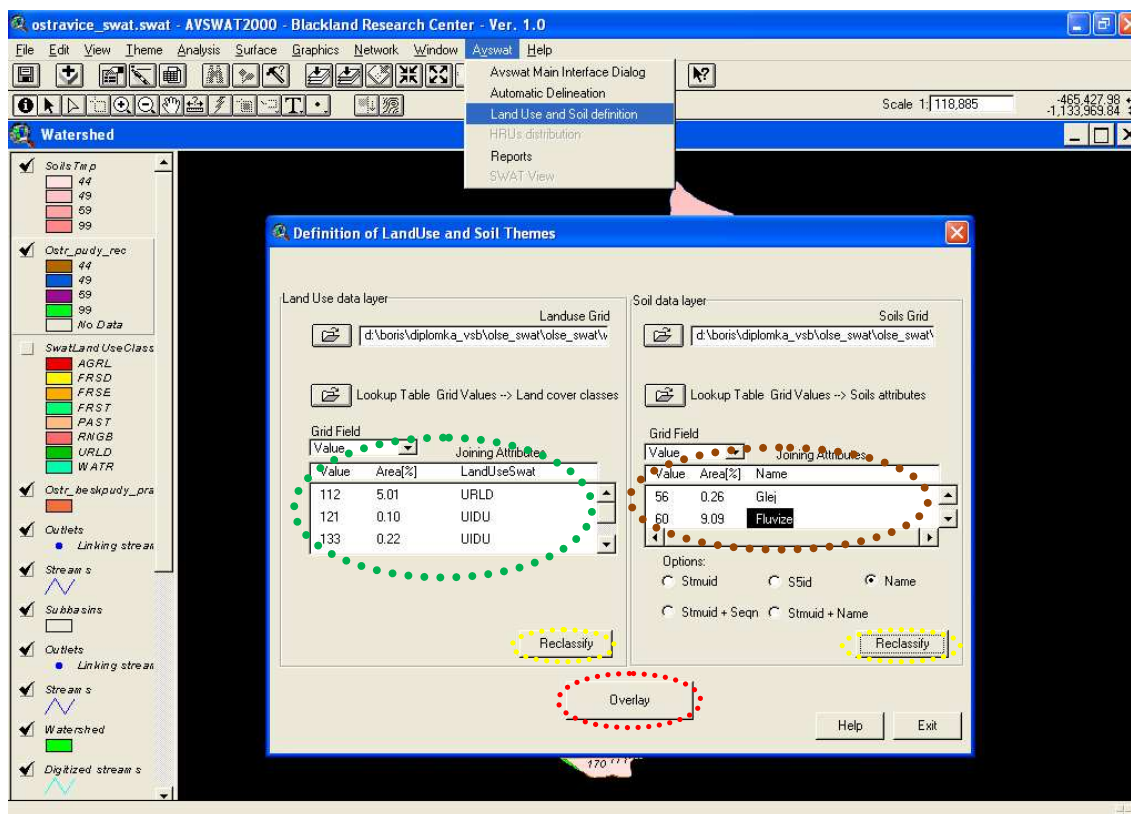
Na samotný závěr je pak třeba pro každou odtokovou jednotku a jí náležící segment hydrologické sítě spočítat parametry jako jsou rozloha, průměrný sklon (koryta, svahů), délka svahů atd, což zajišťuje funkce *Calculation of subbasin parameters*. Tyto parametry jsou pak přiřazeny jako atributy každému subpovodí, potažmo segmentu sítě do jeho atributové tabulky. Pokud tak nebylo učiněno již dříve, je třeba v této fázi nastavit kartografickou projekci vstupních dat. V našem případě tak bylo vykonáno právě zde. Model tu nabízí z výběru vlastních přednastavených projekcí, mezi nimiž bohužel chybí námi požadovaná Křovákova projekce. Tento problém byl vyřešen definicí centrální rovnoběžky Křovákova zobrazení, tedy 49,5. Posléze již byl spuštěn výpočet parametrů jednotlivých povodí a úseků toků, čímž byl dokončen proces schematizace povodí. To se též projevilo jako jakýsi můstek k dalšímu kroku nastavení erozního modelu, a to definice land use a půdních vlastností.



Obr. 26: Schematizované povodí beskydské Olše.

## 7.2.2 Definice dat o krajinném krytu a půdách

V momentě, kdy je úspěšně dokončena delineaace povodí, se v nabídce *Avswat* zpřístupní další funkce, a to *Land Use and Soil definition*. Jejím prostřednictvím jsme schopni modelu definovat situaci na povodích s ohledem na krajinný a půdní kryt.



Obr. 27: Dialogové okno funkce *Land Use and Soil definition*.

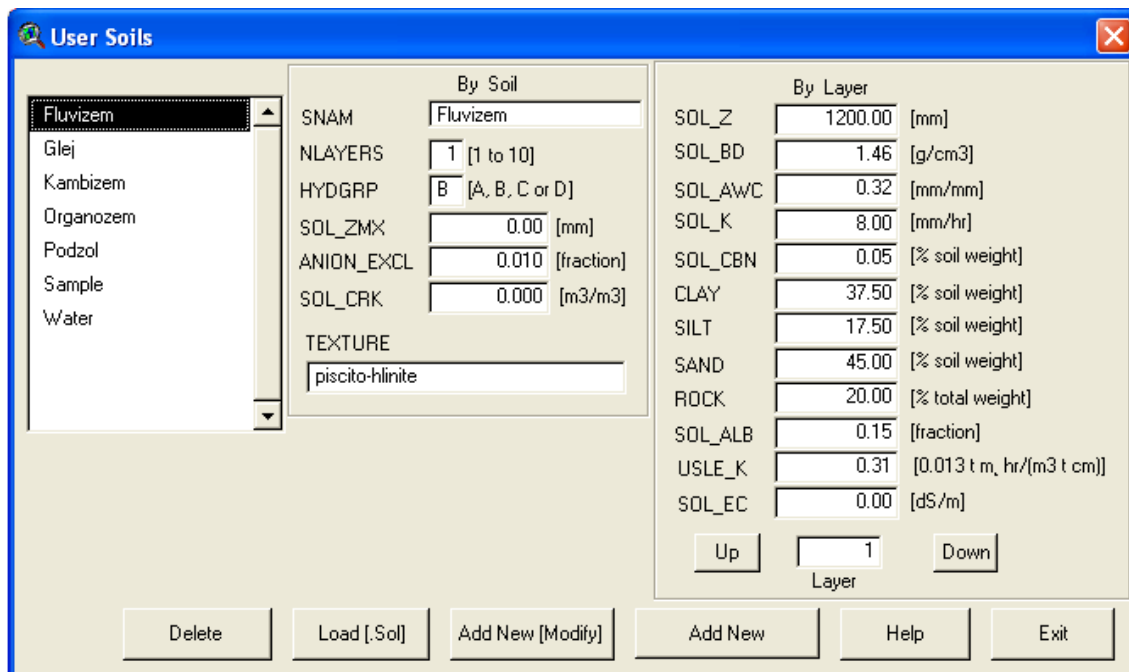
Vstupními daty procesu definice krajinné a půdní pokrývky byly jednak soubor tvarů krajinného krytu dle klasifikace CORINE Land Cover a jednak grid půdních typů vytvořený ze shapefile půdních typů dle Morfogenetického klasifikačního systému půd. Po jejich načtení je třeba modelu specifikovat význam jednotlivých kategorií krajinného, resp. půdního krytu.

V případě krytu krajinného bylo možno využít interní databáze modelu SWAT, kdy byly jednotlivým kategoriím klasifikace CORINE nadefinovány ekvivalenty ze zmiňované databáze modelu (viz obr. 27, zelená elipsa; viz obr. 8 a obr. 12).

V případě krytu půdního bylo třeba v databázi modelu SWAT vytvořit vlastní půdní typy, které byly posléze přiřazeny jednotlivým hodnotám vstupního gridu půd (viz obr. 27, hnědá elipsa). Těmito půdními typy byly fluvizem, glej, kambizem, organozem a podzol.



Půdním typům pak byly v databázi definovány kvantitativní hodnoty vybraných půdních vlastností (viz obr. 28, viz tab. 9).



Obr. 28: Dialogové okno editace parametrů půd v databázi modelu SWAT.

Zkratka	Půdní vlastnost
HYDGRP	Soil Hydrologic Group
SOL_Z	Depth from soil surface to bottom of layer
SOL_BD	Moist bulk density
SOL_AWC	Available water capacity of the soil layer
SOL_K	Saturated hydraulic conductivity
SOL_CBN	Organic carbon content
CLAY	Clay content
SILT	Silt content
SAND	Sand content
ROCK	Rock fragment content
SOL_ALB	Moist soil albedo
USLE_K	USLE equation soil erodibility (K) factor

Tab. 9: Parametry definované půdním typům.

Jelikož informační zdroje jsou omezené a bez terénního šetření nejsme schopni vystihnout vlastnosti půd do detailu tak, abychom dostatečně odlišili jednotlivé půdní typy ba dokonce subtypy, byly geneticky příbuzné či podobné půdní typy sloučeny pod některý s nadefinovaných typů, a to následovně. Nově nadefinovaná půda v databázi modelu SWAT označená jako Fluvizem zahrnovala pouze jeden typ vyskytující se v zájmových povodích, a to fluvizem (typická). Půda označená jako Glej sdružovala půdní typy glej (typický), luvizem pseudoglejová a pseudoglej primární. Jako Kambizem byly modelu nadefinovány veškeré kambizemní subtypy, Organozem reprezentovala půdní typ organozem a Podzol pak spojoval podzol kambizemní a pararenzina (typická).

Po úspěšné specifikaci vlastností krajinné a půdní pokrývky je třeba jednotlivá vstupní data, tedy shapefile land coveru a grid půdních typů reklasifikovat, a to každý zvlášť (viz obr. 27, žlutá elipsa). Reklasifikací vytvoří model sekundární datové vrstvy krajinného krytu a půd ve formátu grid, čímž se aktivuje tlačítko *Overlay*, které představuje poslední krok rozebírané procedury (viz obr. 27, červená elipsa). Model tak syntetizuje dva zmiňované reklasifikované gridy do jedné výstupní vrstvy. Výsledky syntézy rastrů je možno verifikovat zobrazením zprávy užitím funkce *Reports* v nabídce *Avswat*, jenž se zpřístupní právě po překrytí rastrů. Zde je možno vyčíst jak celkové procentuelní zastoupení jednotlivých kategorií obou druhů krytů, tak i jejich podíl v rámci jednotlivých povodí (viz obr. 29).

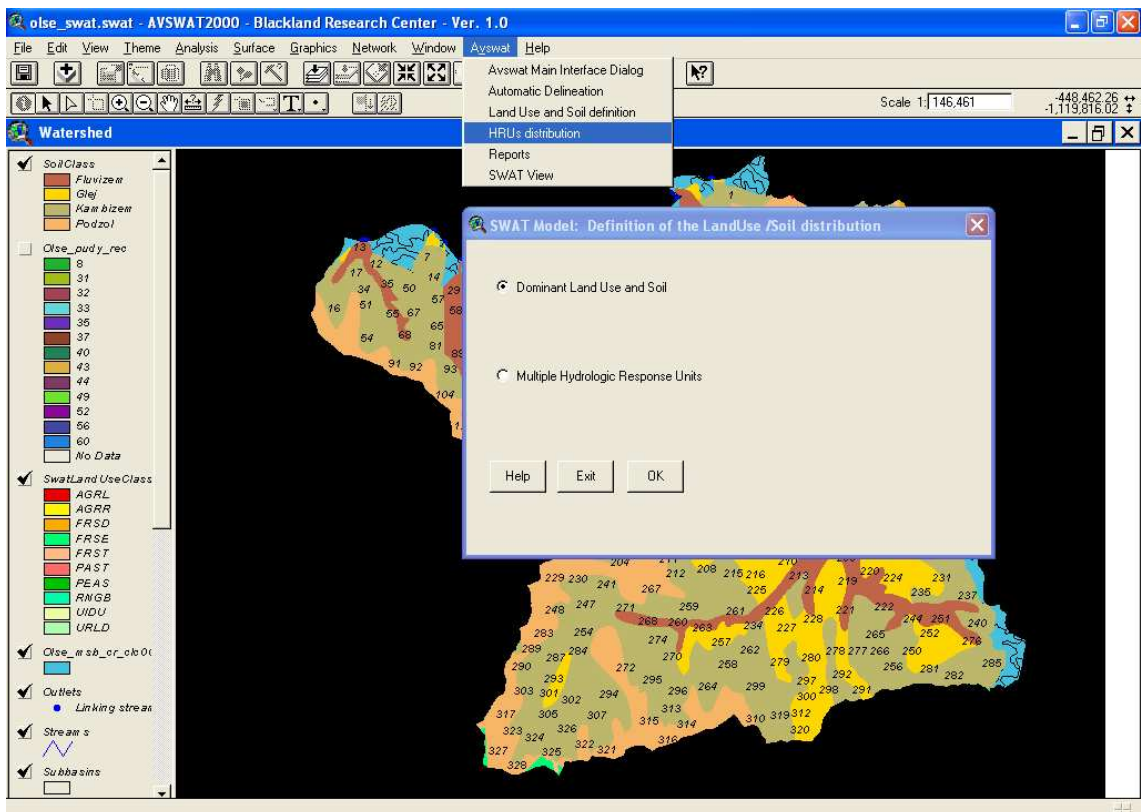
Detailed LANDUSE/SOIL distribution		SWAT model class	Tue Feb 26 13:14:15 2008			
			Area [ha]	Area [acres]		
watershed			29955.8700	74022.4526		
			Area [ha]	Area [acres]	%Wat.Area	
LANDUSE						
	Range-Brush -->	RNGB	1167.2521	2884.3383	3.90	
	Pasture -->	PAST	3121.0730	7712.3275	10.42	
	Garden or Canning Peas -->	PEAS	42.7597	105.6613	0.14	
	Forest-Deciduous -->	FRSD	1776.5727	4389.9999	5.93	
	Forest-Evergreen -->	FRSE	9007.2721	22257.4198	30.07	
	Forest-Mixed -->	FRST	6586.5068	16275.5877	21.99	
	Residential-Low Density -->	URLD	1501.2684	3709.7093	5.01	
	Agricultural Land-Generic -->	AGRL	5413.1306	13376.1163	18.07	
	Industrial -->	UIDU	95.5163	236.0256	0.32	
	Agricultural Land-Row Crops -->	AGRRC	1244.5182	3075.2668	4.15	
SOIL						
		Podzol	5420.8858	13395.2798	18.10	
		Kambizem	16893.4843	41744.6444	56.39	
		Glej	4945.4056	12220.3446	16.51	
		Fluvizem	2696.0943	6662.1838	9.00	
			Area [ha]	Area [acres]	%Wat.Area	%Sub.Area
SUBBASIN #		1	63.1700	156.0962	0.21	
LANDUSE:						
	Forest-Mixed -->	FRST	14.2095	35.1123	0.05	22.49
	Agricultural Land-Generic -->	AGRL	48.9605	120.9839	0.16	77.51
SOIL:						
		Kambizem	59.6050	147.2870	0.20	94.36
		Glej	3.5650	8.8093	0.01	5.64

Obr. 29: Ukázka ze zprávy procesu definice krajinného a půdního krytu – beskydská Olše.

### 7.2.2.1 Distribuce jednotek hydrologické odezvy - HRU

HRU (Hydrologic Response Unit) je myšleno taková hydrologická jednotka, jež je dána jedinečnou kombinací kategorií land use a typů půd. Vznikají právě překrytím dvou výše uváděných reklasifikovaných gridů krajinného a půdního krytu a získávají tak vlastní hydrologické parametry odrážející se v míře celkového odtoku z povodí (Nietsch, Arnold, Kiniry, Srinivasan, Williams, 2002)

Uživatel modelu SWAT má na výběr ze dvou možností definování rozložení HRU v rámci jednotlivých subpovodí. Může jednak definovat jedinou HRU pro každé subpovodí (model bere v úvahu dominantní HRU) nebo jim zadat HRU mnohonásobné s tím, že definuje procentuelní podíl jednotlivých kategorií využití půdy a typů půd. V případě předkládané práce bylo přistoupeno k jednoduššímu způsobu specifikace HRU, tedy k zadání jediné HRU pro každé subpovodí, a to funkcí *Dominant Land Use and Soil* (viz obr. 30).



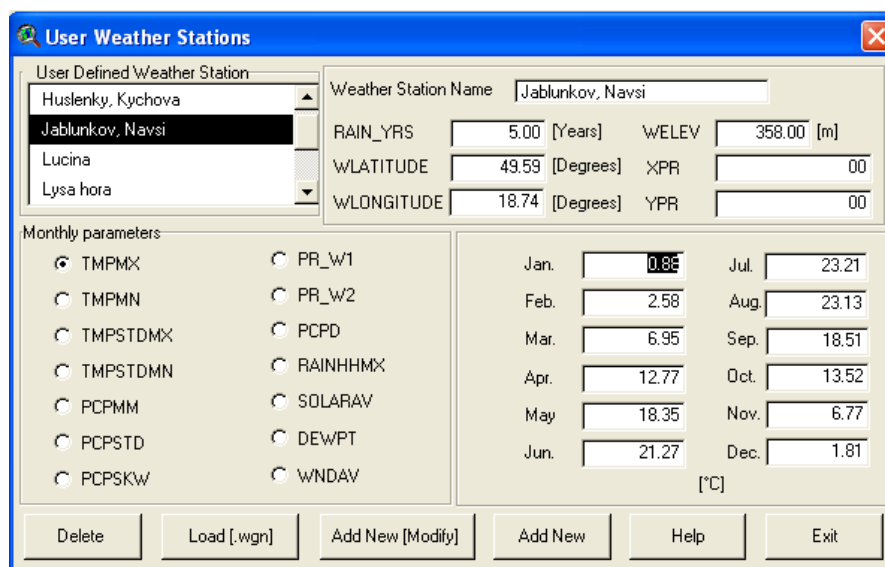
Obr. 30: Dialogové okno funkce nastavení distribuce HRU.

### 7.2.3 Definice dat o klimatu

K vygenerování klimatických dat nebo vyplnění „hluchých míst“ z důvodu chybějících údajů v jejich časových řadách používá SWAT Sharpleyův a Williamsův (1990) generátor počasí, model WXGEN (Nietsch, Arnold, Kiniry, Williams, King, 2002).

Cesta k zadávání dat o klimatu se otevře po úspěšném dokončení definice jednotek hydrologické odezvy (HRU, viz předchozí kapitola), kdy se konečně zpřístupní okno samotného modelu SWAT s několika novými nabídkami funkcí.

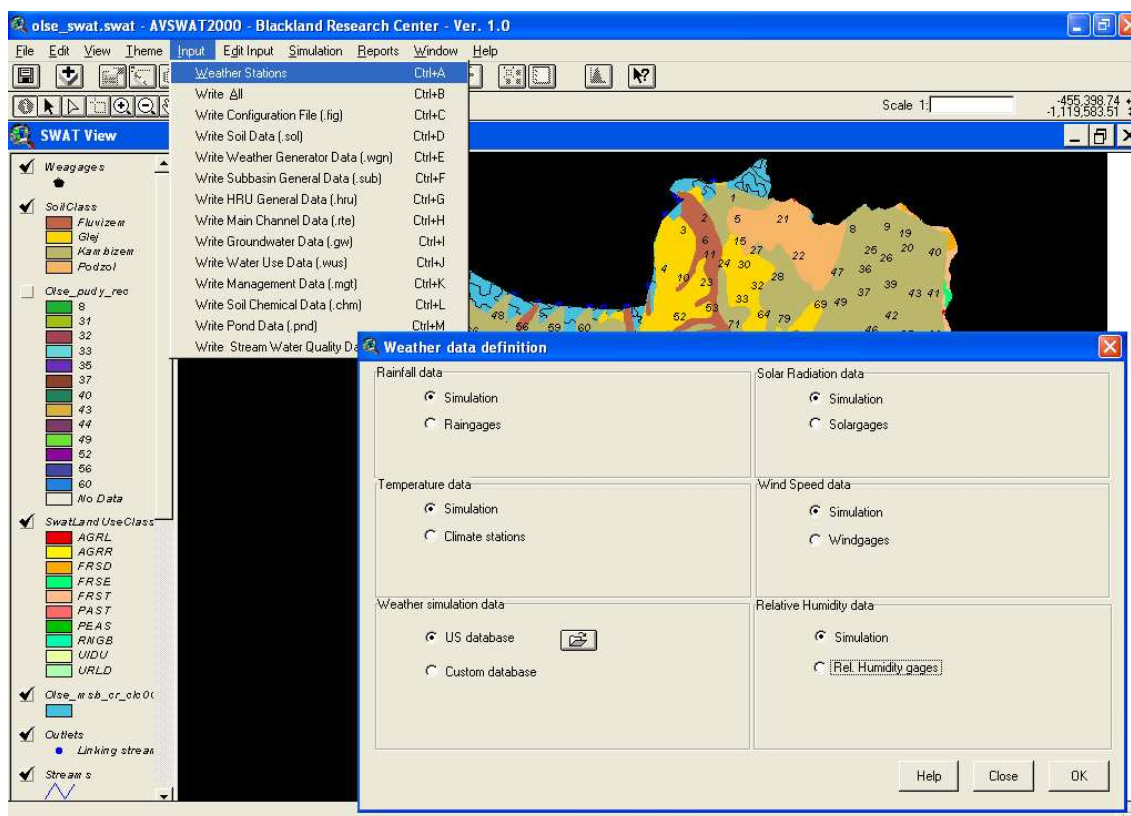
Pro nás je podstatná nabídka *Input* a pod ní spadající funkce *Weather Stations*. Zde může uživatel specifikovat časové i prostorové rozložení meteorologických prvků, jimiž jsou srážky, teplota, solární radiace, rychlost větru a relativní vlhkost. Nadto je zde možno definovat charakter podnebí, resp. počasí tak, že modelu lokalizujeme polohu klimatických stanic, jež jsou spojeny s databází vlastních meteoprvků. Tyto stanice je třeba nejprve zadat do databáze modelu SWAT, podobně jako byly definovány jednotlivé půdní typy (viz obr. 31 a obr. 28).



Obr. 31: Okno pro vkládání klimatických stanic a jim příslušných hodnot meteorologických prvků do databáze modelu SWAT.

Dle množství dostupných dat má uživatel na výběr mezi dvěma možnostmi. Jsou-li k dispozici kvalitní vstupy, nabízí se jejich manuální vkládání do modelu ve formátu \*.dbf. Je-li však uživatel omezen nedostatkem vstupních dat, je možno ponechat simulaci podnebných podmínek na generátoru zahrnutém v modelu (viz obr. 32, možnost *Simulation*).

V případě této práce bylo záměrem využít vlastních dat o klimatu na stanicích ČHMÚ. Vybrané stanice byly vloženy do databáze modelu SWAT (viz obr. 31), avšak později během kroku definice dat o klimatu nastal problém a model SWAT z blíže nespécifikovaného důvodu odmítl stanice přijmout i přes fakt, že jejich vstupní \*.dbf tabulka s veškerými údaji byla vytvořena samotným modelem SWAT. Proto byla klimatická data ponechána simulaci užitím generátoru počasí WXGEN.



Obr. 32: Okno funkce Weather Stations.

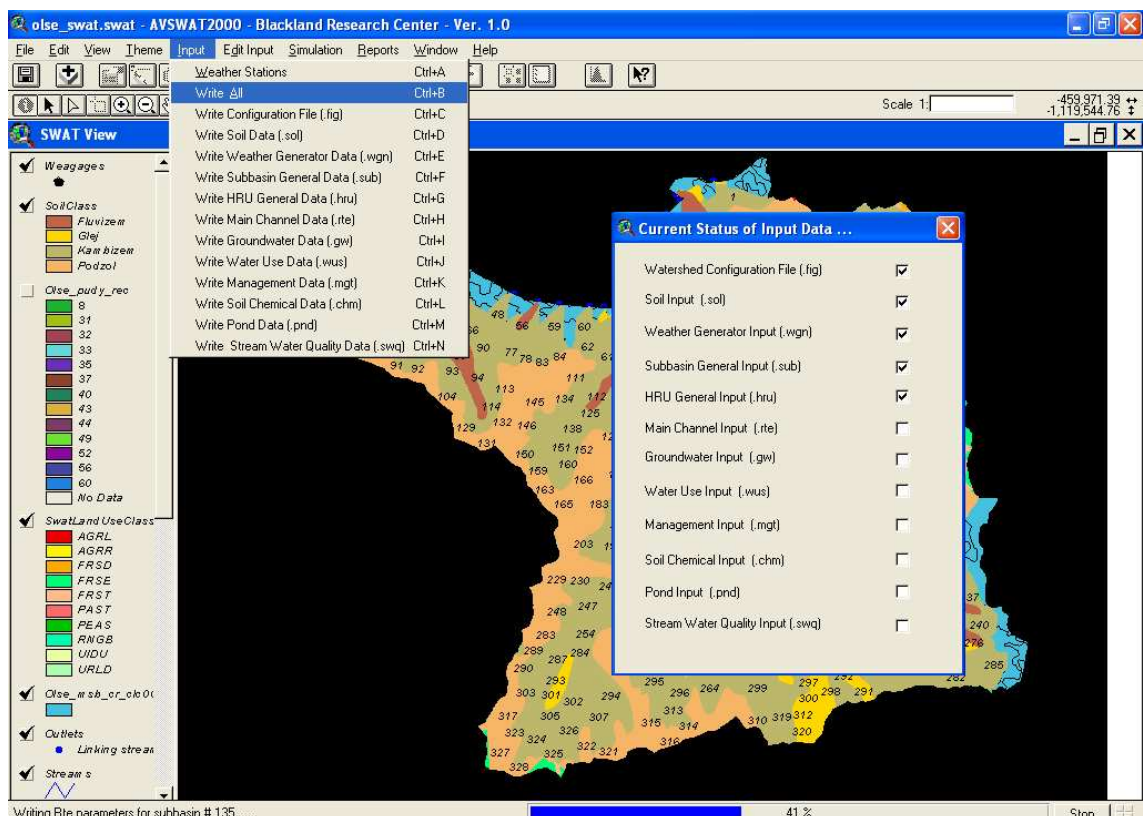
## 7.2.4 Generování vstupů modelem SWAT

Krokem následujícím po definici dat o klimatu a předcházejícím samotnému spuštění modelu SWAT je proces generování jednotlivých vstupů, kterými jsou:

- konfigurace povodí,
- data o půdách,
- data o podnebí,
- data o subpovodích,
- data o HRU,

- data o síti povrchového odtoku,
- data o podzemních vodách,
- data o využití vod,
- data o managementu povodí,
- data o chemismu půd,
- data o nádržích a
- data o kvalitě tekoucích vod.

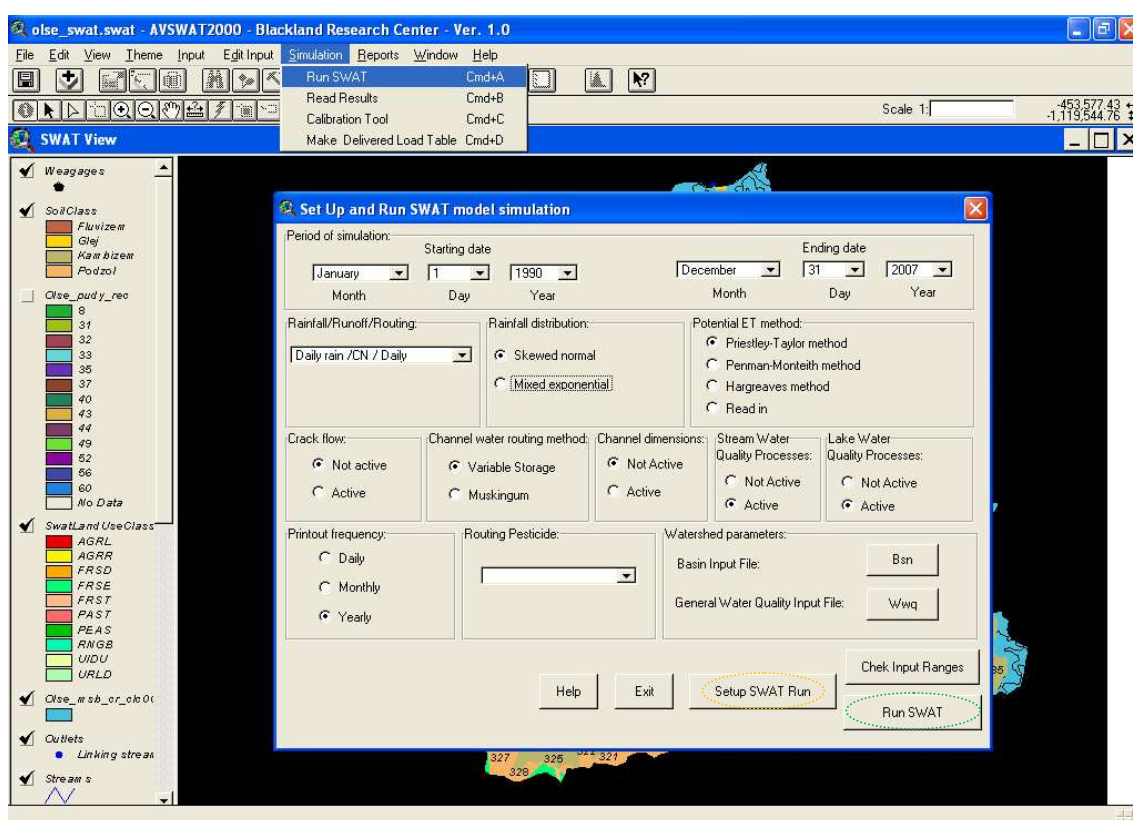
V této fázi si model automaticky utřídí informace z databází, přiřadí je jednotlivým subpovodím resp. HRU a vygeneruje vstupy pro následující simulaci. Některé parametry lze i zde definovat manuálně. Vše se dá učinit opět v nabídce *Input*, a to dvěma způsoby. Jednak je možno nechat model vygenerovat veškeré vstupy najednou nebo je možno přistoupit k postupnému vypsání vstupů jeden po druhém, avšak ve stanoveném pořadí. V této práci bylo využito první možnosti (funkce *Write All*) a vše bylo ponecháno na defaultním nastavení (viz obr. 33).



Obr. 33: Proces generování vstupů.

## 7.2.5 Spuštění simulací v modelu SWAT

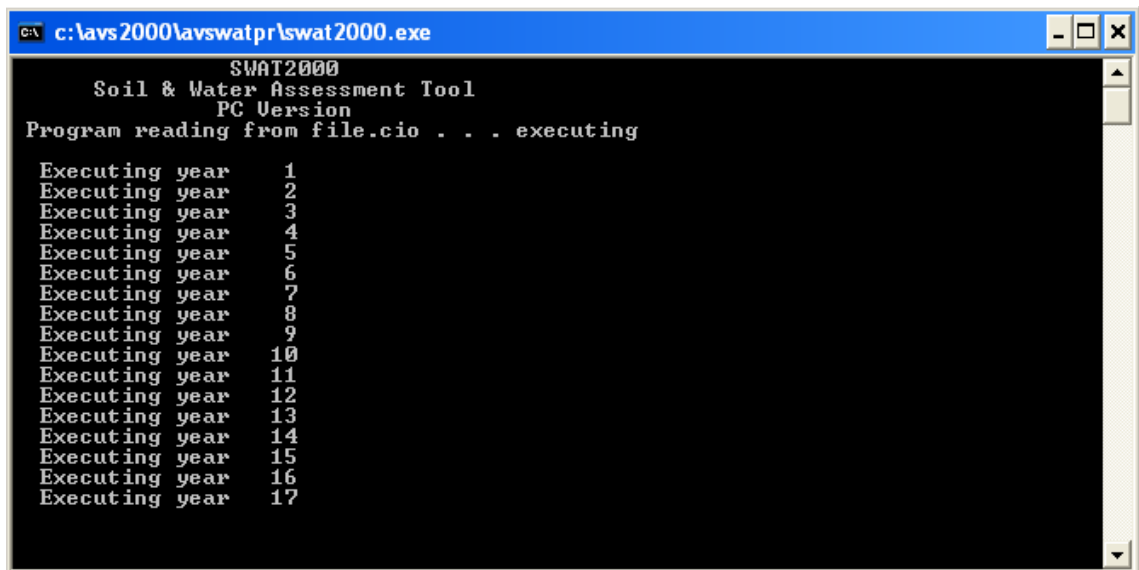
Jakmile model vygeneruje potřebné vstupy, je možno přejít k vlastní simulaci erozního procesu. Tato funkce, *Run SWAT*, je ukryta v nabídce *Simulation*. Tu se dají opět nastavit parametry simulace. V tomto případě byly všechny ponechány na defaultním nastavení, pro nás směrodatná byla pouze perioda simulace, kdy s ohledem na nejkratší řadu měření klimatických prvků vstupních stanic, konkrétně teploty na stanici Bílá – Konečná, bylo nastaveno 18leté období od 1. ledna 1990 do 31. prosince 2007. To pro případ, že by se podařilo zprovoznit možnost definici klimatu užitím vlastních dat o klimatologických stanicích, což se bohužel nestalo. Časové rozlišení výstupů bylo zvoleno roční (viz obr. 34).



Obr. 34: Okno pro nastavení a spuštění simulace.

Dospějeme-li do okamžiku, kdy jsou nastaveny potřebné parametry simulace, je třeba toto modelu potvrdit kliknutím na tlačítko *Setup SWAT Run* (oranžová elipsa na obr. 34). Tím si model připraví data o podnebí a ověří, zda jsou v souladu se zvolenou periodou simulace (Di Luzio, Srinivasan, Arnold, Nietsch, 2002). Po úspěšném zvládnutí tohoto kroku je naposledy možno přepsat vstupní parametry. Toho však nebylo využito a bylo tak přistoupeno ke spuštění simulace, a to kliknutím na nově se objevivší tlačítko *Run SWAT*

(zelená elipsa na obr. 34). Tím se konečně spustí simulace eroze půdy modelem SWAT (viz obr. 35).



```
c:\lavs2000\lavswatpr\swat2000.exe
SWAT2000
Soil & Water Assessment Tool
PC Version
Program reading from file.cio . . . executing
Executing year 1
Executing year 2
Executing year 3
Executing year 4
Executing year 5
Executing year 6
Executing year 7
Executing year 8
Executing year 9
Executing year 10
Executing year 11
Executing year 12
Executing year 13
Executing year 14
Executing year 15
Executing year 16
Executing year 17
```

*Obr. 35: Okno procesu simulace eroze modelem SWAT.*

Výstupy simulace jsou tři \*.dbf tabulky s četnými výstupními parametry náležícími jednotlivým HRU (sbs.dbf), subpovodím (bsb.dbf) či hlavním segmentům sítě povrchového odtoku (rch.dbf), vztaženým vždy k příslušnému subpovodí.



## 7. Interpretace výsledků

### 8.1 Interpretace výsledků modelování eroze užitím rovnice RUSLE

Výsledky modelování eroze pomocí rovnice RUSLE třeba interpretovat jako dlouhodobý průměrný odnos půdní hmoty vztažený na jednotku plochy za rok. Základní prostorovou jednotkou výpočtů v prostředí GIS je buňka rastru, v tomto případě o délce hrany 10 m. Hodnota kvalitativní náplně výstupního gridu je dána součinem hodnot buněk vstupních rastrů, tedy rastrů faktoru erozivity, erodibility, geomorfologického a vegetačního.

#### 8.1.1 Povodí beskydské Olše

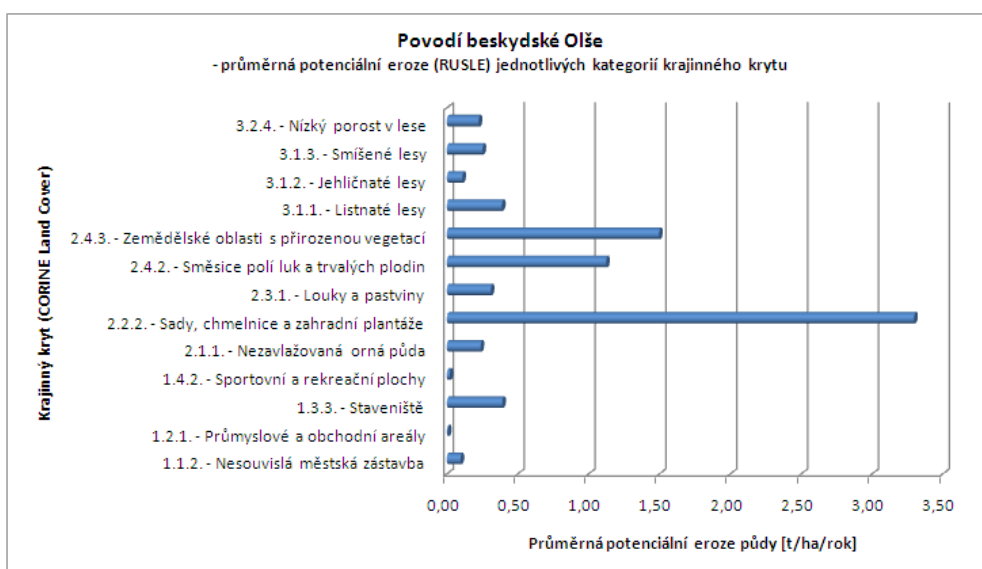
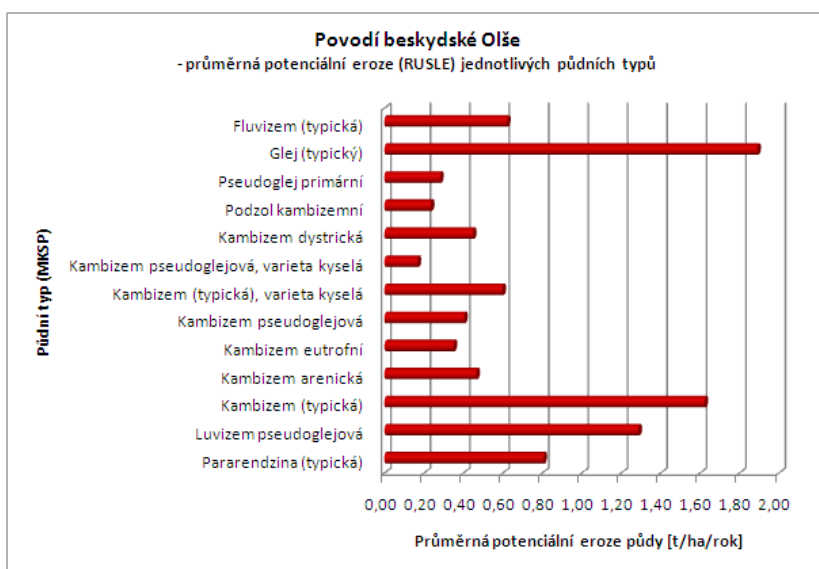
Postup odvození gridů jednotlivých erozních faktorů rovnice RUSLE je podrobně popsán v kapitole 6.3 *Výpočet RUSLE v prostředí ArcGIS*, prostorové rozložení jejich hodnot znázorňuje obr. 37.

Již na začátku lépe odkázat na vizualizaci výsledků modelování eroze pomocí rovnice RUSLE na obr. 38. Variační rozpětí hodnot průměrných ročních ztrát půdní hmoty na hektar je v případě povodí beskydské Olše poměrně široké, a to  $39,77 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , při nulovém minimu. Komplikovanost povodí z hlediska horizontální diference vstupních faktorů a jejich hodnot jakožto základní důvod takto vysokého rozpětí výstupu je nabíledni. Bereme-li v úvahu fakt, že spodní hranicí extrémního ohrožení půdy vodní erozí dle [15] (viz obr. 38) je půdní smyv o hodnotě  $7,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , potom maxima odnosu vystupují v povodí opravdu vysoko.

Je však třeba si povšimnout prostorové konfigurace ploch jednotlivých kategorií zmiňované klasifikace erozní ohroženosti půd. Plošně nejrozšířenějšími jsou půdy velmi slabě ohrožené vodní erozí. Jedná se zejména o dno Jablunkovské brázdy a dále pak o plošší rozvodní oblasti. Střední partie svahů dosahují zpravidla vyšších hodnot odnosu sedimentů, stále však jde vesměs o plochy slabého až středního ohrožení. Maxima se potom nejčastěji vyskytují na příkrých SV svazích čela godulského příkrovu Moravskoslezských Beskyd, případně v různě širokých pásech podél údolních den s vysokým gradientem, často nad těmito svahy pramenících toků, jmenovitě např. Řeka a Tyrka, z jiných pak Lomné. Do kategorie

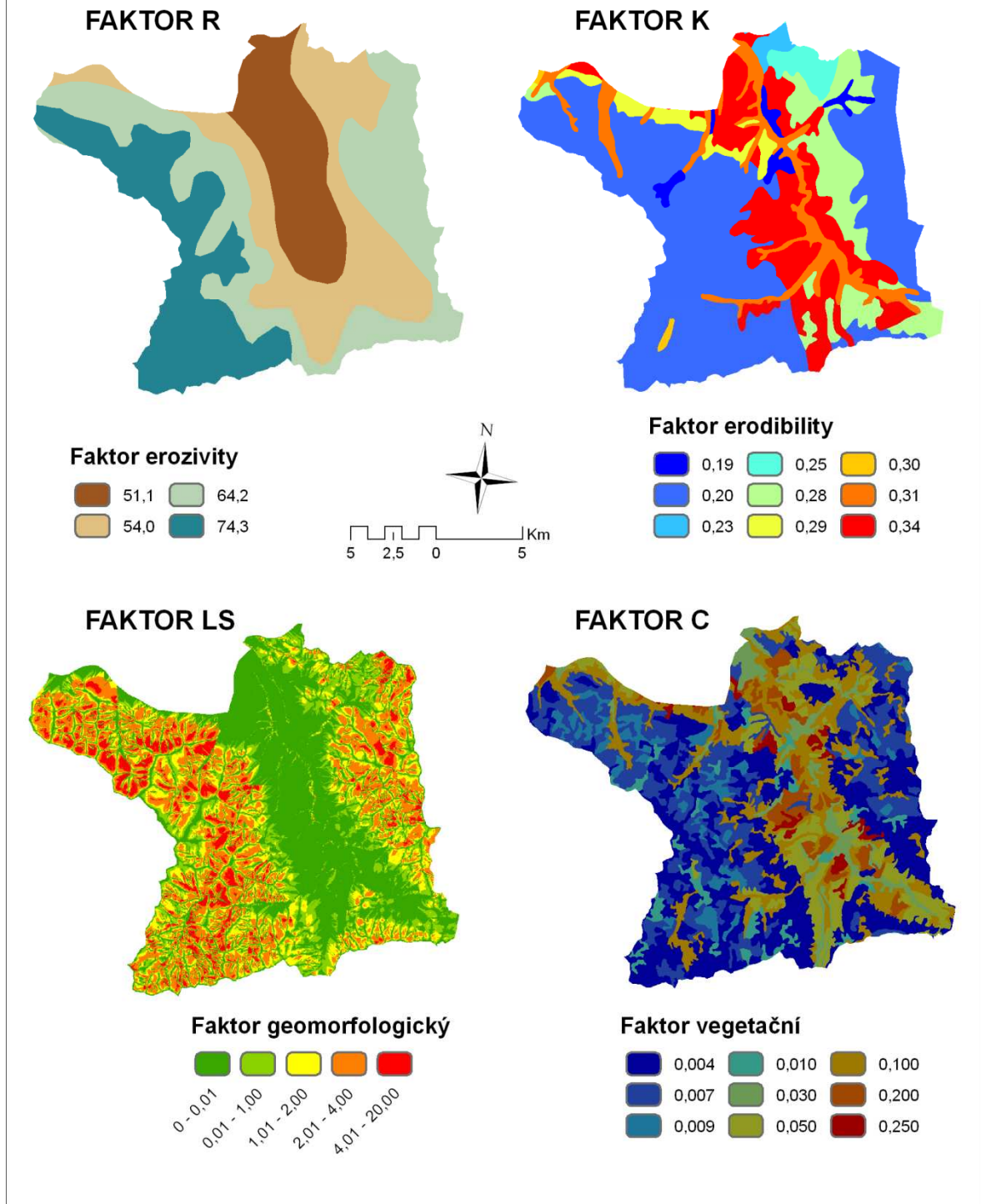
silného až extrémního ohrožení též spadají plochy na zlomových svazích omezujících depresi Jablunkovské brázdy, ať už na straně Beskyd Moravskoslezských, tak i Slezských.

Z uvedeného je patrné, že morfometrie georeliéfu povodí se uplatňuje jako významný erozní činitel. Avšak plochy s nejvyššími hodnotami geomorfologického faktoru dosahují často ve výsledku pouze hodnot ze středu škály průměrných ročních hektarových ztrát půdy, kdežto oblasti s nižšími hodnotami faktoru LS místy reprezentují plochy vysokého erozního ohrožení. Je proto nutno se při interpretaci zaměřit i na ostatní faktory, což ostatně plyne už z matematické podstaty rovnice RUSLE. Vysoké hodnoty potenciální eroze půdy areálů o nízkých hodnotách geomorfologického faktoru, tedy zejména oblasti podsvahové a podél údolních den, jsou dány především vlastnostmi půd a krajinného krytu (viz obr. 36).



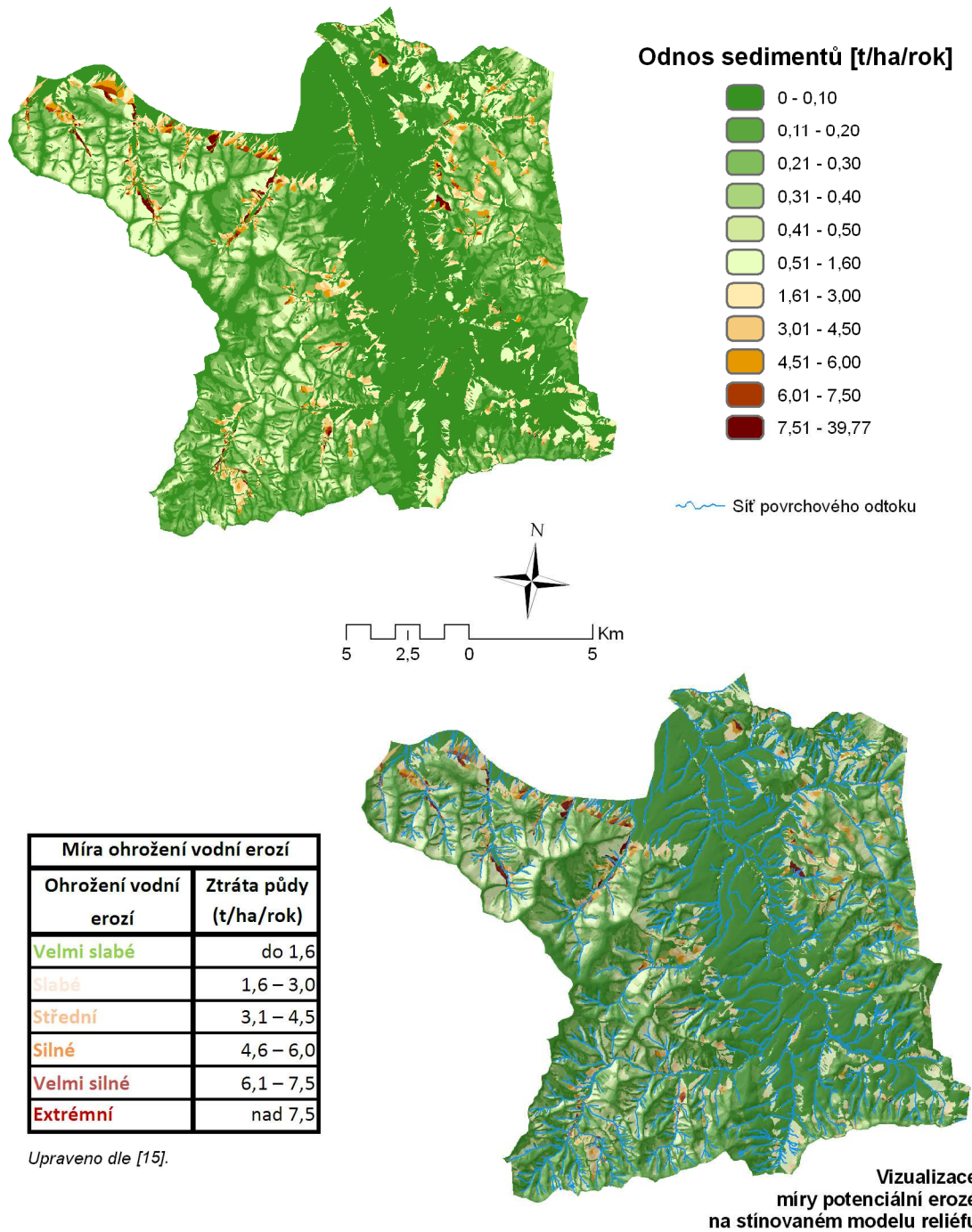
Obr. 36: Diagramy míry eroze v jednotlivých areálech půdních typů a krajinného krytu.

## Povodí beskydské Olše - prostorové rozložení hodnot faktorů rovnice RUSLE



Obr. 37: Prostorové rozložení hodnot faktorů rovnice RUSLE na povodí beskydské Olše.

## Povodí beskydské Olše - potenciální eroze dle výsledků RUSLE



Boris ŠÍR, 2008

S-JTSK

Obr. 38: Vizualizace výsledků výpočtu rovnice RUSLE na povodí beskydské Olše.

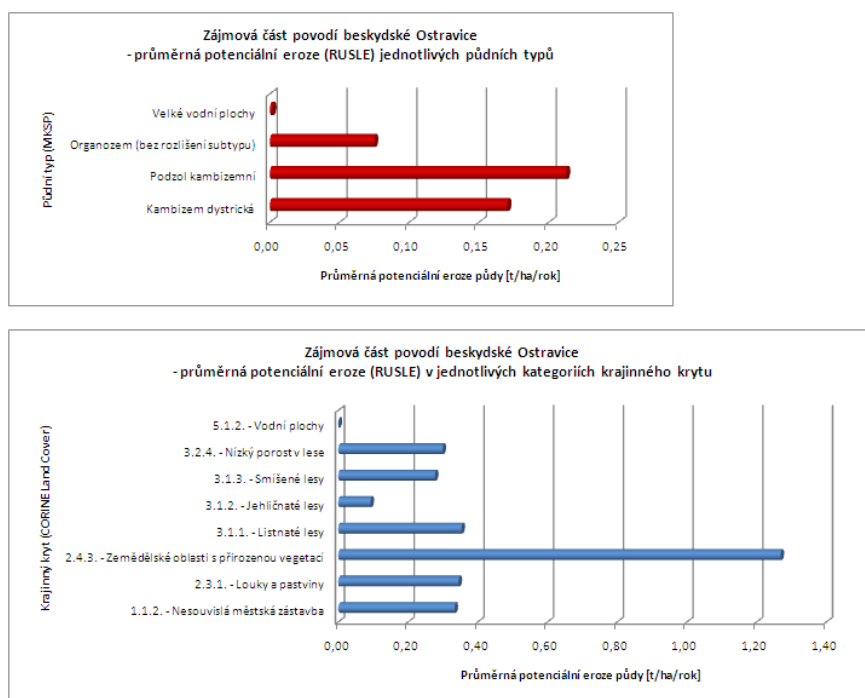
### 8.1.2 Zájmová část povodí Ostravice

Postup odvození gridů jednotlivých erozních faktorů rovnice RUSLE je podrobně popsán v kapitole 6.3 *Výpočet RUSLE v prostředí ArcGIS*, prostorové rozložení jejich hodnot je na obr. 40. Vizualizace výsledků modelování eroze užitím rovnice RUSLE je na obr. 41.

Oproti povodí beskydské Olše je povodí Ostravice nad hrází údolní nádrže Šance z pohledu hodnoceného problému mnohem méně komplikované. Maximální hodnoty průměrného ročního smyvu půdy na jednotku plochy dosahují při nulových minimech  $11,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Ač jde v konfrontaci s maximy půdních ztrát povodí beskydské Olše o hodnoty cirká čtvrtinové, stále jsou oblasti výskytu těchto maxim dle [15] extrémně ohrožené erozí, byť jejich plošný rozsah a frekvence jsou dosti omezené.

Z erozních faktorů má v tomto případě patrně nejvyšší váhu faktor vegetační, kdy se plochy nejohroženější shodují hlavně s výskytem kategorií klasifikace CORINE Land Cover 2.4.3. – Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, přičemž LS faktor sehrává významnou úlohu, zvláště ve středních částech svahů svými maximálními hodnotami.

Opačný extrém potenciálního ohrožení půd erozí, půdy velmi slabě až slabě ohrožené, kryjí drtivou většinu studovaného povodí. Takto masové rozšíření ploch této kvality je dáno vysokým podílem lesa, zvláště pak jehličnatého (viz obr. 39).



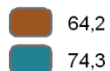
Obr. 39: Diagramy míry eroze v jednotlivých areálech půdních typů a krajinného krytu.

## Zájmová část povodí beskydské Ostravice - prostorové rozložení hodnot faktorů rovnice RUSLE

**FAKTOR R**



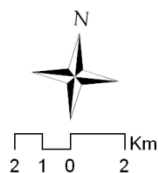
**Faktor erozivní**



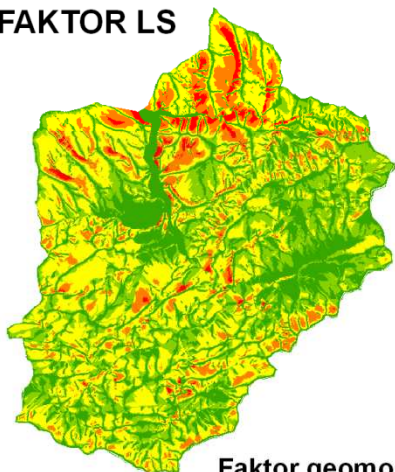
**FAKTOR K**



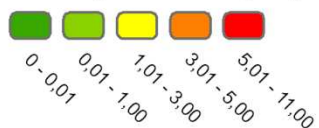
**Faktor erodibility**



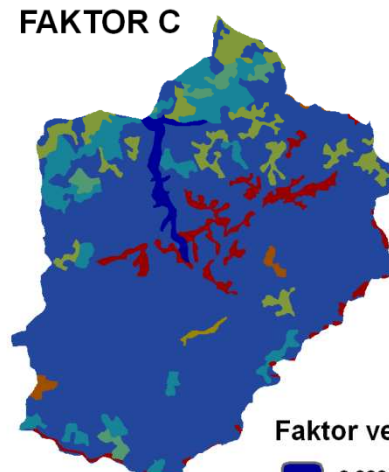
**FAKTOR LS**



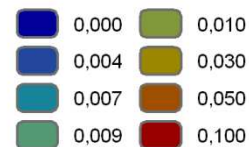
**Faktor geomorfologický**



**FAKTOR C**

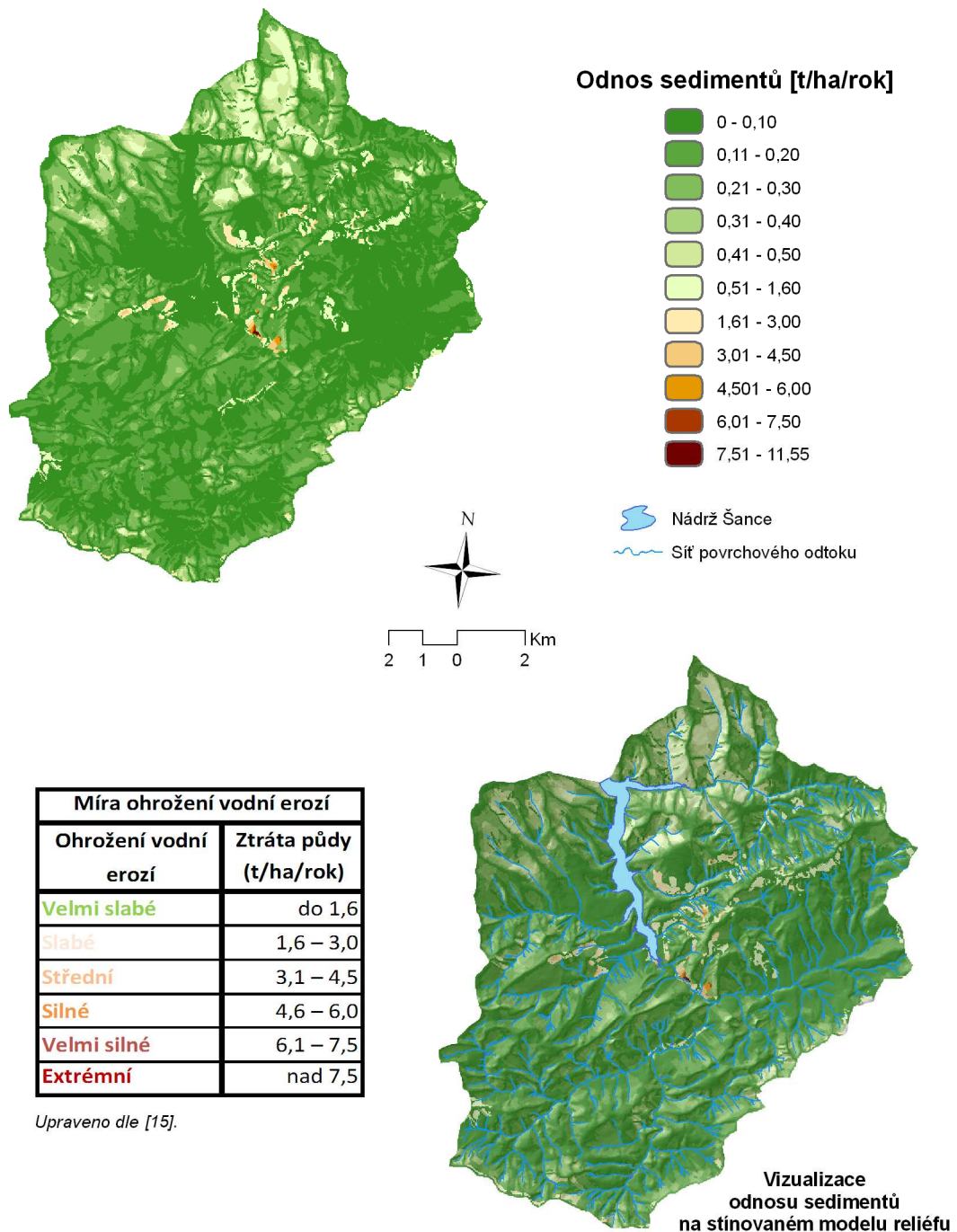


**Faktor vegetační**



Obr. 40: Prostorové rozložení hodnot faktorů rovnice RUSLE zájmové části povodí beskydské Ostravice.

## Zájmová část povodí beskydské Ostravice - potenciální eroze dle výsledků RUSLE



Boris ŠÍR, 2008

S-JTSK

Obr. 41: Vizualizace výsledků výpočtu rovnice RUSLE zájmové části povodí beskydské Ostravice.

Jako poznámku dlužno dodat, že hodnoty prezentované v diagramech na obr. 36 a obr. 39 byly získány v prostředí ArcGIS operací *zonal statistic* nad výstupními rastry rovnice RUSLE, kdy byly jako maska použity soubory tvarů půdních typů a klasifikace CORINE Land Cover. Hodnoty je třeba brát s rezervou a považovat je za orientační, jelikož do jejich výsledné velikosti se jistě promítají značné plošné rozdíly jednotlivých areálů. Navíc jde o průměrné hodnoty, tudíž není uvažováno jejich prostorové rozložení v rámci areálů a lokální vlivy ostatních faktorů, zejména faktoru geomorfologického.



## 8.2 Interpretace výsledků modelu SWAT

Výsledky simulací modelu SWAT jsou již zmiňované tři tabulky ve formátu \*.dbf s řadou hodnot náležící charakteristikám obecným, jako je identifikace či rozloha povodí, geometrie a topologie segmentů toků, přes charakteristiky týkající se meteorologických prvků, sedimentů, živin až po produkci biomasy, vždy vztažené k HRU, subpovodí, potažmo hlavnímu odtokovému segmentu subpovodí. Jelikož při výstavbě modelu byla pro každé subpovodí nadefinována pouze jediná HRU, je proto možno přiřadit výstupy náležící jednotlivým HRU příslušným subpovodí.

Pro naše účely jsou určující následující charakteristiky:

- SYLD – Odnos sedimentů ze subpovodí do toku, [t/ha],
- SEDCONC – Koncentrace sedimentů v toku, [mg/l],
- SED\_OUT – Množství sedimentů opouštějící subpovodí závěrovým profilem, [t],
- USLE – Ztráta půdy vypočtená dle USLE, [t/ha],
- AREA – Plocha povodí [km<sup>2</sup>],

kdy hlavním předmětem našeho zájmu je charakteristika SYLD, kterou do jisté míry můžeme považovat za ekvivalent k výsledkům rovnice RUSLE. Podobně bychom mohli chápat i charakteristiku USLE, budeme se však řídit uživatelským manuálem modelu SWAT (Nietsch, Arnold, Kiniry, Srinivasan, Williams, 2002), jenž ji doporučuje brát pouze jako orientační.

### 8.2.1 Povodí beskydské Olše

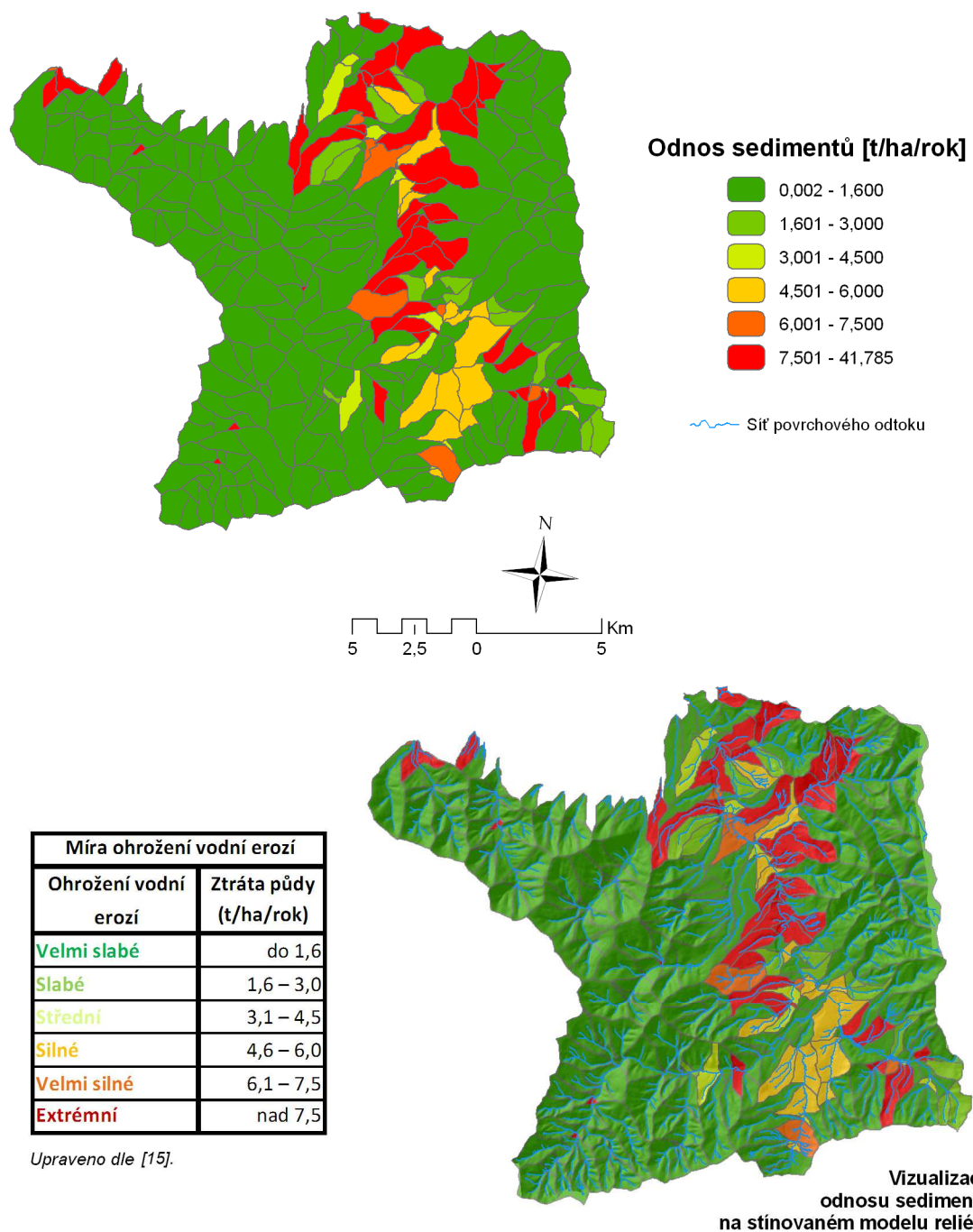
Veškeré námi uvažované sedimentologické charakteristiky vypočtené modelem SWAT pro povodí beskydské Olše vykazují velice podobnou distribuci hodnot mezi jednotlivá subpovodí. Maxima jsou soustředěna do úzkého pruhu podél hydrologické osy zájmového území, řeky Olše, tedy do Jablunkovské brázdy. Drtivá většina subpovodí tak disponuje pouze minimálními hodnotami těchto charakteristik a dle klasifikace míry ohrožení pozemků vodní erozí in [15] spadají tyto dílčí odtokové jednotky do kategorie velmi slabého ohrožení (odnos zeminy do 1,6 t/ha/rok). Subpovodí podél samotné Olše jsou pak oproti těmto s odkazem na stejnou klasifikaci ohrožena erozí až extrémně (odnos zeminy více než 7,5 t/ha/rok).

Důvodem koncentrace subpovodí s maximálními hodnotami eroze půdy do Jablunkovské brázdy je především kombinace charakterů tamního krajinného krytu a půd. Co se týče půd,

tak se na zvýšeném odnosu sedimentů z těchto částí povodí beskydské Olše svými parametry nejvíce podílejí pseudogleje a fluvizemě vyplňující a lemující nivu řeky Olše a dno jablunkovské sníženiny. Ta je jakožto mezihorská deprese oproti výše položeným územím na západ a východ od ní mnohem více zatížena erozi podporujícím antropogenním využitím. Zejména krajinný kryt tvořený mozaikou luk, pastvin, zemědělsky využívané půdy, nesouvislé zástavby aj. nemůže svou protierozní ochrannou funkcí konkurovat lesním porostům kryjícím horské oblasti k Jablunkovské brázdě přiléhající.

Kartogramová vizualizace výstupů modelu SWAT je na obr. 42 a obr. 43, a to včetně krajních hodnot sledovaných charakteristik.

## Povodí beskydské Olše - odnos sedimentů ze subpovodí dle modelu SWAT



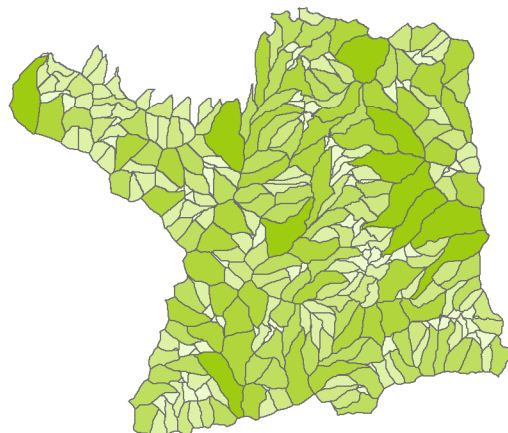
Boris ŠÍR, 2008

S-JTSK

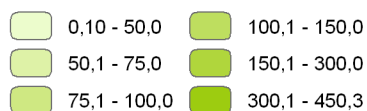
Obr. 42: Míra odnosu sedimentů ze subpovodí v rámci povodí beskydské Olše dle modelu SWAT.

## Povodí beskydské Olše - vybrané výstupy simulace vodní eroze modelem SWAT

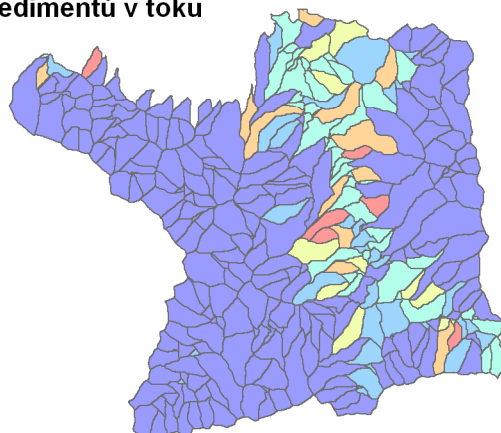
**Rozloha subpovodí**



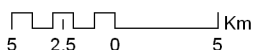
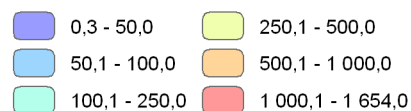
Rozloha [ha]



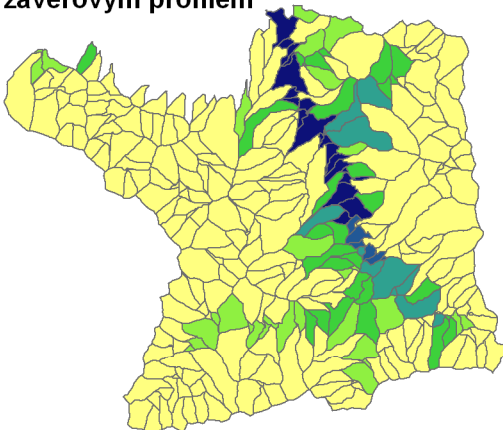
**Průměrná koncentrace sedimentů v toku**



Koncentrace sedimentů [mg/l]



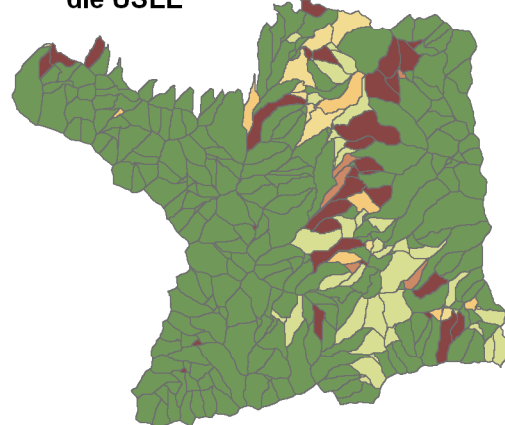
**Odnos sedimentů závěrovým profilem**



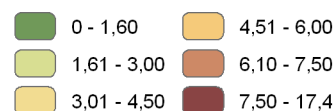
Odnos sedimentů [t/rok]



**Potenciální eroze dle USLE**



Odnos sedimentů [t/ha/rok]



Boris ŠÍR, 2008

S-JTSK

Obr. 43: Vybrané výstupy simulací modelem SWAT pro povodí beskydské Olše.

### 8.2.2 Zájmová část povodí beskydské Ostravice

Dle očekávání se ve výsledcích simulací pro povodí beskydské Ostravice nad hrází nádrže Šance silně projevil charakter managementu krajiny. Totiž více než 87% celkové rozlohy studovaného území je kryto lesem, přičemž 77,3% plochy povodí tvoří les jehličnatý.

Hodnoty roční míry odnosu sedimentů ze subpovodí se tak pohybují v jednotkách až desítkách kilogramů z hektaru, kdy maximum činí rovných 50 kg/ha/rok. Horní hranicí velmi slabého ohrožení půd erozí je pak dle škály publikované in [15] 1,6 t/ha/rok. Podle modelu SWAT tak zájmová část povodí beskydské Ostravice není nikterak ohrožena vodní erozí půdy.

Z tohoto důvodu nemá tedy smysl zabývat se zevrubným osvětlením příčin rozložení jednotlivých tříd vizualizovaných erozních charakteristik v rámci dílčích subpovodí. Postačí snad jen poukázat na fakt, že subpovodí s vyššími hodnotami jsou, většinou kolem rozvodnic, místy kryta enklávami vegetace s menším protierozním účinkem, zejména zemědělskými oblastmi s přirozenou vegetací. Nápadná je též skutečnost, že subpovodí s vyššími hodnotami odnosu sedimentů jsou situována v jižní části povodí. To může mít spojitost také s geomorfologickou a geologickou stavbou území, jelikož právě tyto dílčí odtokové subjednotky leží vesměs na čelním svahu magurského příkrovu a z hlediska litologického pak inklinují k vrstvám ístebňanským, přičemž ístebňanské souvrství se vyznačuje vyšším podílem břidlic než spíše pískovcové souvrství godulské severněji.

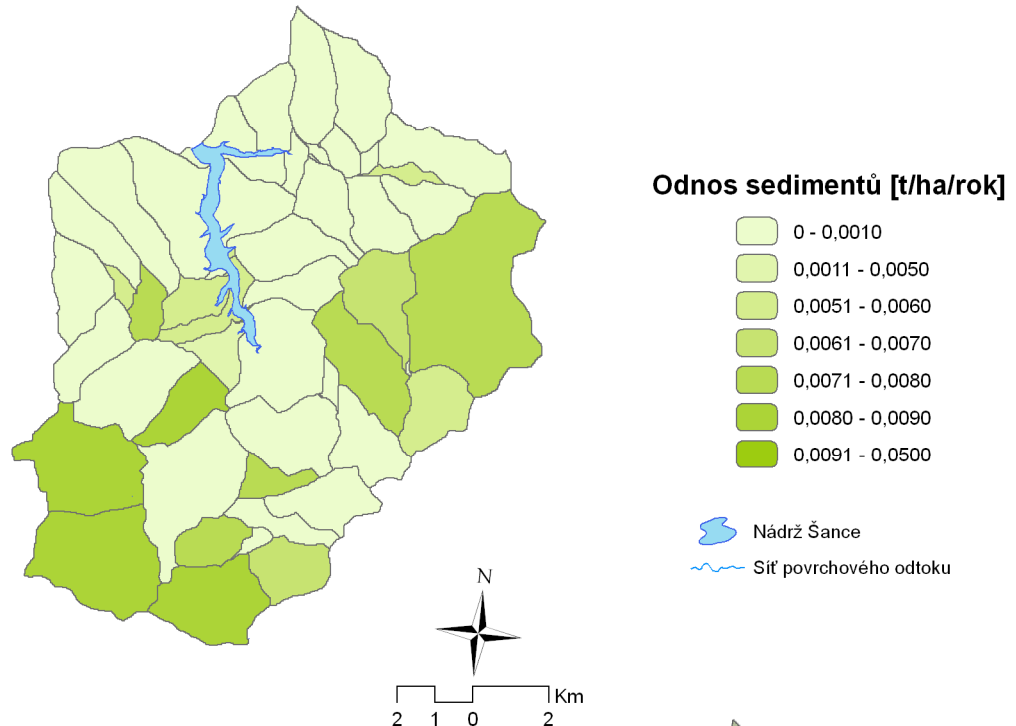
Budeme-li se navíc zabývat interpretací zbylých parametrů, tak zjistíme, že oproti beskydské Olši jsou subpovodí s vyššími hodnotami těchto charakteristik, kromě koncentrace sedimentů v toku, svou pozicí lokalizována spíše do horní části povodí beskydské Ostravice. Jako vysvětlení se nabízí skutečnost, že Ostravice má v celém svém průběhu studovaným územím (pomineme-li nádrž Šance) režim horského toku a její přítoky, a to především, charakter bystřin s vysokou kinetickou energií a unášecí silou. Proto jejich povodí vykazují zvýšenou míru odnosu sedimentů oproti subpovodím situovaným níže po toku. U beskydské Olše je tomu opačně z důvodu zklidnění toku v Jablunkovské brázdě a kumulace plavenin jemnější zrnitostní frakce. U Ostravice je podobná kumulace materiálu v toku patrná v případě odnosu sedimentů závěrovým profilem (SED\_OUT). Zmiňovaná koncentrace sedimentů v toku (SEDCONC) má pak v povodí Ostravice poněkud jiné prostorové rozmístění svých hodnot v subpovodích. Maxima jsou soustředěna spíše do odtokových jednotek na JV svazích Lysé hory (1323 m n. m.) a Smrku (1278 m n. m.).

Zde je nasnadě spojovat tento fakt s protaženým tvarem těchto subpovodí. V takovýchto povodích je odtok rychle odváděn přímo do toku, což může vyústit ve zvýšenou zátěž toku plaveninami a splaveninami oproti povodím s kompaktnějším tvarem.

Otázkou ale zůstává, do jaké míry je možno tyto argumenty při stávajícím nastavení modelu brát na zřetel. Jisté je, že jako nepřímý doklad vzhledem ke komplexitě vztahů v přírodě obecně svou relevanci mají. Nicméně pro detailnější rozbor těchto okolností bohužel není v této práci dostatek prostoru. Vizualizace výstupů simulací pro povodí Ostravice je na obr. 44 a obr. 45.

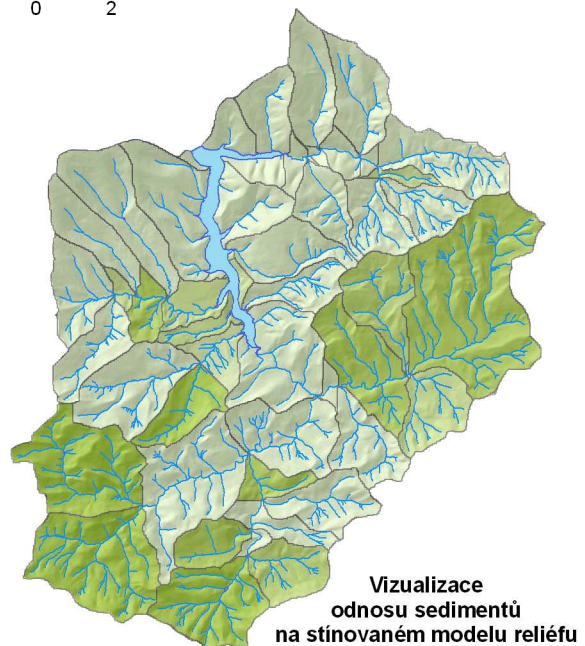
Závěrem celé kapitoly 8. *Interpretace výsledků* proto třeba podotknout, že možnosti zhodnocení výsledků jsou silně limitovány použitými vstupními daty. V obou případech modelování fluviální eroze, ať už užitím rovnice RUSLE nebo modelu SWAT, jsou výstupy závislé na kvalitě a množství vstupů, jež byly pro daný účel k dispozici.

## Zájmová část povodí beskydské Ostravice - odnos sedimentů ze subpovodí dle modelu SWAT



Míra ohrožení vodní erozí	
Ohrožení vodní erozí	Ztráta půdy (t/ha/rok)
Velmi slabé	do 1,6
Slabé	1,6 – 3,0
Střední	3,1 – 4,5
Silné	4,6 – 6,0
Velmi silné	6,1 – 7,5
Extrémní	nad 7,5

Upraveno dle [15].



Boris ŠÍR, 2008

S-JTSK

Obr. 44: Míra odnosu sedimentů ze subpovodí v rámci zájmové části povodí beskydské Ostravice dle modelu SWAT.

## Zájmová část povodí beskydské Ostravice - vybrané výstupy simulace vodní eroze modelem SWAT

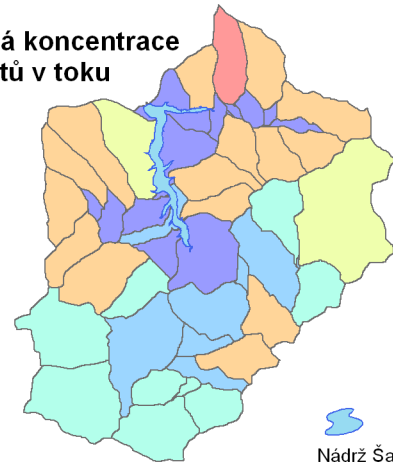
**Rozloha subpovodí**



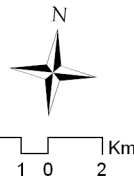
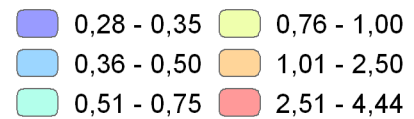
Rozloha [ha]



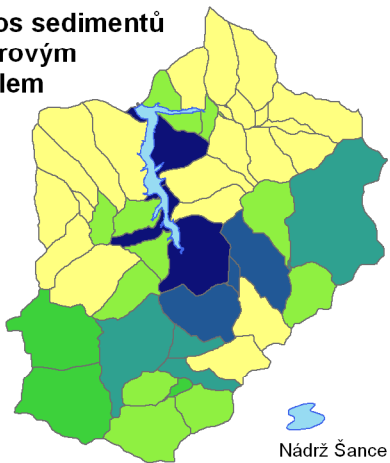
**Průměrná koncentrace sedimentů v toku**



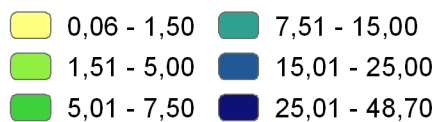
Koncentrace sedimentů [mg/l]



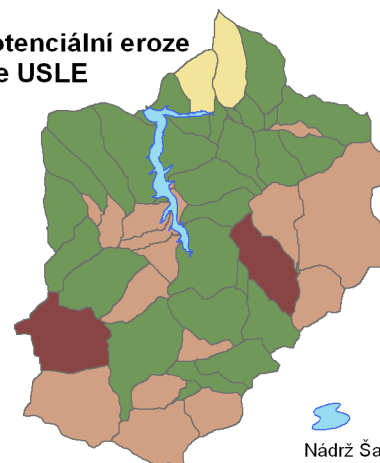
**Odnos sedimentů závěrovým profilem**



Odnos sedimentů [t/rok]



**Potenciální eroze dle USLE**



Odnos sedimentů [t/ha/rok]



Boris Š/R, 2008

S-JTSK

Obr. 45: Vybrané výstupy simulací modelem SWAT pro zájmovou část povodí beskydské Ostravice.



## 8. Diskuze a zhodnocení použitých metod

K hodnocení výsledků modelování je možno přistoupit z několika aspektů. Nám postačí dva základní pohledy, a to porovnání výstupů z modelu SWAT a rovnice RUSLE ve smyslu dvou různých metod modelování či komparace výstupů s ohledem na odlišnosti zájmových území.

### 9.1 RUSLE vs. SWAT

Ač srovnání výsledků těchto dvou odlišných erozních modelů či snad hledání jejich slabín a silných míst nebylo přímým cílem předkládané práce, je tento krok určitě na místě, a proto je možno se ve stručnosti touto problematikou zabírat.

Základní prostorovou jednotkou modelování eroze pomocí rovnice RUSLE je buňka rastru. Tento model je tak z prostorového i časového hlediska statickým. Erozní model SWAT řeší modelaci v rámci hydrologicky relevantních odtokových jednotek na ploše celého studovaného území, subpovodích, v nichž je schopen simulovat pohyb vody, sedimentu a celou řadu dalších procesů jak v prostoru, tak i čase. Jde tedy o model dynamický.

Výstupy modelování eroze v této práci užitými metodami se výrazně odlišují, zejména prostorovou distribucí svých hodnot, a to v případě obou pilotních povodí. Pro porovnání výsledků berme v potaz pouze míru potenciální eroze [ $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ] jakožto výsledek výpočtu rovnice RUSLE a na druhé straně k němu ekvivalentní výstup z modelu SWAT, odnos sedimentů ze subpovodí do toku (SYLD) [ $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ]. Jako příklad nám pro heterogenitu svých výstupů poslouží povodí beskydské Olše, ikdyž následující závěry je možno aplikovat i pro zájmovou část povodí beskydské Ostravice.

Prostorové rozložení hodnot námi uvažovaných výstupů je v případě rovnice RUSLE a modelu SWAT prakticky opačné. Dle rovnice RUSLE dosahuje eroze svých maxim v členitém reliéfu hornatin obou povodí, přičemž minima jsou na pár výjimek situována v plochých údolních partiích reliéfu. To poukazuje na fakt, že velkou váhou mezi vstupními parametry rovnice disponuje především faktor geomorfologický, LS. Skutečnost, že i ostatní vstupní činitele se ve výsledku též nezanedbatelně odrážejí, ilustrují diagramy na obr. 36 a obr. 39 v kapitole 8.1 *Interpretace výsledků modelování eroze užitím rovnice RUSLE*,

přesto slovo „potenciální“ v označení výstupů rovnice, míra potenciální eroze, má své pevné místo a je třeba tak na tyto výsledky nahlížet. Reálná eroze pod lesním porostem, byť na strmých a dlouhých svazích beskydského příkrovu, jistě nebude dosahovat takto vysokých hodnot, co se týče erozního ohrožení. A naopak např. v mnohem intenzivněji využívané krajině Jablunkovské brázdy bude minimálně reálné ohrožení erozí o dosti větší, než tvrdí výstupy z rovnice RUSLE.

Naproti tomu model SWAT uvažuje maximální míru odnosu sedimentů v subpovodích situovaných do plochého reliéfu Jablunkovské brázdy, přičemž hornatých oblastí s vysokou energií reliéfu se erozní ohrožení ve své podstatě netýká. Má-li tedy model dostatek podpůrných dat, není vertikální konfigurace reliéfu pro podobu výstupů toliko podstatná, jako je tomu u rovnice RUSLE. Model SWAT se díky celé řadě parametrů definujících vlastnosti půd a krajinného krytu a schopnosti simulovat pohyb vody v povodí dokáže s otázkou modelování erozního procesu vypořádat o poznání lépe a jeho výsledky se více blíží realitě. Pouze u některých výstupů, jako je našem případě odnos sedimentů závěrovým profilem subpovodí (SED\_OUT) [t.rok<sup>-1</sup>], je třeba si při jejich interpretaci uvědomit, že model pravděpodobně počítá s kumulací sedimentů v odtokové síti směrem po proudu, což je možno soudit z vizualizace zejména na obr. 43 a obr. 45.

Výpočet výstupních parametrů vztažených ke každému subpovodí se potom projevil tak, že některé lokální extrémy erozního ohrožení nejsou ve výsledcích patrné, což je znát hlavně v případě povodí Ostravice, kdy byla veškerá subpovodí modelem SWAT ohodnocena jako povodí velmi slabě ohrožena. To jistě může teoreticky odpovídat skutečnosti, nicméně na tomto místě třeba poznamenat, že do výpočtu nebyly zahrnuty z erozního hlediska oslabené partie krajiny, jako např. síť nezpevněných lesních cest pro těžkou mechanizaci, průseky, holoseče, světliny apod., jejichž přítomnost se ve svažitém terénu Beskyd výrazně promítá do sledovaných erozních charakteristik. Proto myslím, můžeme výstupy modelu SWAT považovat do určité míry za poněkud podhodnocené. S tímto je též trochu spjat problém, že chceme-li postihnout co nejmenší detail v rámci velkého zájmového území, je třeba nastavit schematizaci povodí velmi dopodrobna, a to se nejví jako ideální řešení s poukazem na kvalitu dostupných vstupů.

V otázce praktického využití nabídky obou modelů bych rovnici RUSLE viděl jako kvalitní a zejména rychlý nástroj pro hodnocení potenciálních erozních rizik, krajinného plánování a procesů rozhodování, kdy je třeba odhalit nebo vymezit oblasti POTENCIÁLNĚ

NÁCHYLNÉ k přírodním rizikům a konkrétně vodní erozi. Model SWAT pak spíše vyhovuje inženýrské praxi a potřebám, kdy požadavkem je řešit konkrétní míru eroze v povodí a je nutné, aby se výsledky co nejvíce přibližovali reálné situaci. Nasazen může být též v případě nedostatku vstupních dat, neboť tento model disponuje jistou mírou robustnosti (viz generátor podnebí, vlastní databáze půd, krajinného krytu aj.)

## 9.2 Olše vs. Ostravice

Základní rozdíly mezi geografickými parametry obou modelových povodí jsou vyčteny v kapitole 5. *Charakteristika zájmových povodí* a pestrá paleta odlišností ve stavbě povodí se odráží i ve výsledcích modelování eroze.

Velice heterogenní charakter povodí beskydské Olše se promítá do šíře variačního rozpětí výstupů jak z rovnice RUSLE, tak i modelu SWAT. Z hlediska ohroženosti erozí jsou na povodí přítomny plochy pokrývající celou škálu od velmi slabého ohrožení až po ohrožení extrémní s tím, že rozloha ploch vyššího ohrožení není zanedbatelná. Interval mezi minimem a maximem je v případě rovnice RUSLE i modelu SWAT zhruba  $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

Naproti tomu svou stavbou relativně monotónní povodí beskydské Ostravice nad hrází Šancí se ve výstupech vyznačuje mnohem nižší variabilitou výsledných hodnot. Výstupy rovnice RUSLE taktéž pokrývají celou šíři stupnice erozní ohroženosti, avšak jejich variační rozpětí (cca  $11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) je téměř čtyřikrát menší než v případě povodí Olše a plochy středně a více ohrožené se vyskytují pouze sporadicky a jejich rozměr není nijak zvlášť významný. Navíc míra eroze spočtená modelem SWAT je pro všechna subpovodí zanedbatelná, spadající do kategorie velmi slabého ohrožení a pohybující se řádově maximálně v desítkách  $\text{kg}/\text{ha}/\text{rok}$ . Ve výstupech z modelu SWAT je pak možno z jejich vizualizací částečně usuzovat na difference mezi vodními a geomorfologickými režimy obou řek.

## 9. Závěr

Náplní diplomové práce bylo modelování fluvialní eroze půdy užitím geoinformačních technologií. Jako metody byly zvoleny dva odlišné erozní modely, konkrétně empiricky odvozená Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy (RUSLE) a simulační srážko-odtokový model SWAT 2000. Jako pilotní povodí byla vybrána dvě zdánlivě podobná, nicméně v mnoha ohledech se odlišující, horská povodí, a to beskydská část povodí řeky Olše a horní část povodí beskydské Ostravice se závěrovým profilem v hrázi vodního díla Šance.

Oba modely jsou ve své podstatě zcela odlišné a taktéž jejich výstupy se minimálně prostorovým rozložením rozcházejí. Toto tedy každému z nich předurčuje jinou oblast využití. Konfigurace empirického modelu RUSLE je záležitostí relativně rychlou a jednoduchou a jeho výsledky odpovídají hypotetické, dlouhodobé potenciální ztrátě půdy erozí v tunách z hektaru za rok. Výstupy jsou spojité ve formě rastru a jejich prostorové rozlišení je dáno rozlišením vstupních gridů. Pro potřeby typu hodnocení rizik či plánování v krajině je plně vyhovující, chceme-li však simulovat reálnou erozi v povodí, pak není rovnice RUSLE tím pravým nástrojem a je třeba použít metody jiné, např. modelu SWAT.

Ten řeší erozi v rámci povodí schematizovaného do menších subpovodí a je schopen ji simulovat i v průběhu zadané časové řady. Vedle výstupů odpovídajícím zhruba charakteru výsledku rovnice RUSLE nabízí též celou škálu dalších výstupů. Navíc je s to se vypořádat s nedostatkem vstupních dat. Jeho výstavba je však o dost náročnější, jak z hlediska znalostí uživatele v oblasti GIT, tak z pohledu časového i požadavků na hardware. Proto je třeba při výběru modelu pro zvolený záměr citlivě zhodnotit konkrétní cíl a vlastní možnosti.

Ať už je síla či slabina použitých modelů v tom či onom, jisté je, že softwarové metody modelování v hydrologii obecně jsou pro potřeby praxe nepostradatelné a velkým argumentem hovořícím v jejich prospěch je zejména rychlost aplikace, relativní komplexita a možnost pokrýt velké či těžko přístupné oblasti.

## Použitá data

Během procesu modelování eroze byla v práci jako vstupy použita data rastrová, vektorová a tabelární.

### Rastrová data

Jediným rastrovým vstupem byl digitální model reliéfu, DEM (Digital elevation model). Georeliéf ve formátu DEM je prezentován pravidelnou sítí buněk, tzv. pixelů, o konstantní délce hrany, přičemž středu každého pixelu je přiřazena hodnota dané kvantitativní charakteristiky, v tomto případě nadmořské výšky. DEM byl tím nejzákladnějším vstupem.

Digitální model reliéfu byl převzat z autorovy předchozí diplomové práce (Šír, 2007), kdy byl vytvořen v prostředí ArcGIS 9.1 použitím nástroje *Topo to Raster*. Funkce *Topo to Raster (ANUDEM)* je speciální interpolační metoda vyvinutá pro tvorbu hydrologicky korektního digitálního modelu reliéfu typu grid. Prostorové rozlišení výsledného gridu je 10 m a původní rozsah byl 7 mapových listů výškového modelu ZABAGED v měřítku 1:50 000, ze kterých byl vytvořen. Přesněji se jedná o listy 25-14, 25-21, 25-22, 25-23, 25-24, 26-11 a 26-13, jež plně pokrývají území Moravskoslezských Beskyd a jejich předpolí.

V modelu SWAT byl DEM použit jednak jako prezentace georeliéfu, a také jako podklad při schematizaci povodí. Do rovnice RUSLE vstupuje jako základ pro odvození geomorfologického erozního faktoru LS (viz kapitola 6.3 *Výpočet RUSLE v prostředí ArcGIS*). Důležité uplatnění našel DEM taktéž během interpretace výsledků modelování, kdy z něj spočtený stínovaný model reliéfu napomohl k lepší prostorové orientaci v „terénu“.

Ostatní rastrová data použitá rastrová data není možno považovat za data vstupní, jelikož byla získána buď ze samotného DEM anebo vektorů.

### Vektorová data

Vektorovými daty vstupujícími do procedury modelování eroze byly liniové a polygonové soubory tvarů (formát ESRI shapefile, \*.shp) nesoucí požadovanou kvalitu.

Liniový shapefile figurující v práci jako vstup byl soubor tvarů sítě povrchového odtoku. Byl použit modelem SWAT v procesu delineaace subpovodí.

Polygony použitými v práci byly soubory tvarů půdních typů, klasifikace krajinného krytu CORINE Land Cover a Quittovy klimatické klasifikace (1971). Tyto shapefile byly použity pro odvození rastrových prezentací příslušných kvalit, a to jak v modelu SWAT (pouze půdní typy a krajinný kryt), tak i v rovnici RUSLE (navíc i Quittova klimatická klasifikace).

### **Tabelární data**

Jedinými daty v tabelární podobě, konkrétně ve formát \*.dbf, byla klimatická data vstupující do modelu SWAT. Šlo o data o dlouhodobých průměrných maximálních a minimálních teplotách a dlouhodobých průměrných úhrnech srážek, vše pro jednotlivé měsíce, vztaženo k dané klimatologické stanici. Data byla poskytnuta ČHMÚ.

Bohužel tato data, byť byla do databáze modelu SWAT vložena, nakonec svému účelu z výše zmiňovaného problému neposloužila a zůstala nevyužita.

## **Použité informační zdroje**

### **Literatura**

BROSCH, Otto. Povodí Odry. K vydání připravil PhDr. Jan Machač; Odpovědná redaktorka Mgr. Petra Langrová. Ostrava : ANAGRAM, 2005. 323 s. ISBN 80-7342-048-1.

BUZEK, L. (1981): Eroze proudící vodou v centrální části Moravskoslezských Beskyd. Státní pedagogické nakladatelství Praha, 117 s.

BUZEK, L. (1983): Eroze půdy. Skriptum Pedagogické fakulty v Ostravě, Ostrava, 257 s.

BUZEK, L., HAVRLANT, M., KRÍŽ, V., LITSCHMANN, T. (1986): Beskydy (příroda a vztahy k ostravské průmyslové oblasti). Pedagogická fakulta v Ostravě, skriptum. Ostrava, 349 s.

DI LUZIO, M., SRINIVASAN, R., ARNOLD, J.G., NIETSCH, S.L. (2002): ArcView Interface For SWAT2000. User's Guide. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas. TWRI Report TR-193, 345s.

HOLÝ, M. (1978): Protierozní ochrana. Praha, SNTL, 288s.

HRÁDEK, F., KUŘÍK, F. (2002): Hydrologie. Skriptum ČZU, Praha, 280 s.

CHUCHMA, F. (2006): Morfometricko-statistická analýza digitálního modelu reliéfu Krymských hor. Diplomová práce. Ostravská univerzita v Ostravě, Ostrava, 67s.

JANEČEK, Miloslav, et al. (2002): Ochrana zemědělské půdy před erozí. 1. vyd. Praha: ISV Nakladatelství, 202 s. ISBN 85866-85-8.

JEDLIČKA, K., MENTLÍK, P. (2003): Užití některých prvků morfostrukturní analýzy v prostředí GIS. Geomorfologický sborník 2, ČAG ZČU v Plzni, s 223-232.

KŘÍŽ, Vladislav. Potamologie povodí československé Odry. Josef Zítek. 1. vyd. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1971. 148 s.

MACHALA, J. (1982): Systémová analýza a programování. Brno, Vysoká škola zemědělská v Brně, 188s.

MENČÍK, E., et al., (1983): *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*. ÚÚG v nakl. ČSAV, Praha, 307 s.

MOTL, V. (2006): Hodnocení erozních procesů v Národní přírodní rezervaci Praděd. Diplomová práce. Ostravská univerzita v Ostravě, Ostrava, 78s.

NIETSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J.R. (2002): Soil and Water Assessment Tool User's Manual. Version 2000. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas. TWRI Report TR-192, 378s.



NIETSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R., KING, K.W. (2002): Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2000. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas. TWRI Report TR-191, 458s.

PASÁK, V. a kol. (1984): Ochrana půdy před erozí. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 164s.

PECHOUŠKOVÁ, V. (2006): Modelování mělkých sesuvů a eroze v prostředí GIS GRASS. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 71s.

RACLAVSKÝ, K., RACLAVSKÁ, H., MATÝSEK, D. (2005): Ochrana půd. CD-ROM. VŠB-TU Ostrava, Ostrava.

ŠÍR, B. (2007): Morfometricko-statistická analýza digitálního modelu reliéfu Moravskoslezských Beskyd. Diplomová práce. Ostravská univerzita v Ostravě, Ostrava, 104s.

TUČEK, J. (1998): Geografické informační systémy. Principy a praxe. Praha, Computer Press, 424s.

UNUCKA, J., HORÁK, J., HALOUNOVÁ, RAPANTOVÁ, N. (rukopis): Hydrologické modelování a praktické aspekty jeho využití. Monografie VŠB – TU Ostrava, Vysoká škola báňská – Technická univerzita v Ostravě, datum přechodu do tisku 11/2008, předpokládaný rok vydání 2009.

VAVROŠ, P. (2007): Srovnání výsledků RUSLE a dynamického erozního modelu SWAT na příkladu povodí Rožnovské Bečvy. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita v Ostravě, Ostrava, 74s.

WEISSMANOVÁ, H. et al. (2004): Ostravsko. In: MACKOVČIN, P. et SEDLÁČEK, M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek X. AOPK ČR a EkoCentrum Brno, Praha. 456 s.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agr.Handbook No.537, U.S.Dept.of Agriculture, Washington, D.C.

### **Mapové zdroje**

MENČÍK, E., TYRÁČEK, J. (1985): Beskydy a Podbeskydská pahorkatina, 1:100000. Ústřední ústav geologický, Praha.

Moravskoslezské Beskydy, Velká cykloturistická mapa 1:75000 (2000): SHOCart, Zlín. ISBN 80-85781-63-8.

QUITT, E. (1971): Mapa klimatických oblastí ČSR, 1:500000. Geografický ústav ČSAV, Brno.

ZÁKLADNÍ MAPA ČR, list 25 – 21. 1:50000. Stav k roku 1970.

© Český úřad geodetický a kartografický, 1973.

ZÁKLADNÍ MAPA ČR, list 25 – 22. 1:50000. Stav k roku 1970.

© Český úřad geodetický a kartografický, 1973.

ZÁKLADNÍ MAPA ČR, list 25 – 23. 1:50000. Stav k roku 1970.

© Český úřad geodetický a kartografický, 1973.

ZÁKLADNÍ MAPA ČR, list 25 – 24. 1:50000. Stav k roku 1970.

© Český úřad geodetický a kartografický, 1972.

ZÁKLADNÍ MAPA ČR, list 26 – 11. 1:50000. Stav k roku 1974.

© Český úřad geodetický a kartografický, 1971.

ZÁKLADNÍ MAPA ČR, list 25 – 13. 1:50000.

© Český úřad geodetický a kartografický, 1971.

## **Internetové zdroje**

- [1] SAHA, S.K.: Wate and Wind Induced Soil Erosion Assessment and Monitoring Using Remote Sensing And GIS [online], [cit. 2008-04-04].  
Dostupné z WWW: <<http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-15.pdf>>.
  
- [2] JAKUBÍKOVÁ, A. (2008): Ochrana a organizace povodí [online], [cit. 2008-03-21].  
Dostupné z WWW: <[http://storm.fsv.cvut.cz/on\\_line/yoop/YOPZ\\_3\\_web.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/yoop/YOPZ_3_web.pdf)>.
  
- [3] Wikipedie, otevřená encyklopedie. Ostravice [online]. [cit. 2008-02-03].  
Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Ostravice\\_%28%C5%99eka%2](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ostravice_%28%C5%99eka%2)>.

- [4] Wikipedie, otevřená encyklopedie. Bílá Ostravice [online]. [cit. 2008-02-03].  
Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%AD1%C3%A1\\_Ostravice](http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%AD1%C3%A1_Ostravice)>.
- [5] Wikipedie, otevřená encyklopedie. Černá Ostravice [online]. [cit. 2008-02-03].  
Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cern%C3%A1\\_Ostravice](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cern%C3%A1_Ostravice)>.
- [6] Wikipedie, otevřená encyklopedie. Šance [online]. [cit. 2008-02-03]. Dostupné  
z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0ance\\_%28p%C5%99ehrada%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0ance_%28p%C5%99ehrada%29)>.
- [7] Povodí Odry. Šance [online]. [cit. 2008-02-03].  
Dostupné z WWW: <[http://www.pod.cz/fr\\_profil.html](http://www.pod.cz/fr_profil.html)>.
- [8] KUBÁTOVÁ, E. (2001): Protierozní ochrana půdy – cvičení. Česká zemědělská  
univerzita, Praha. [online]. [cit. 2008-02-03]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.krajinari.com/4rocnik/predmety/po\\_pudy/peo-cv-text.pdf](http://www.krajinari.com/4rocnik/predmety/po_pudy/peo-cv-text.pdf)>.
- [9] Portál Mze ČR. Vyhlášky MZ č. 328/1998 Sb. ze dne 15. prosince 1998,  
kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup  
pro jejich vedení a aktualizaci. Změna: 546/2002 Sb. (2002), [online].  
[cit. 2007-12-12]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.mze.cz/attachments/vyhlaska\\_BPEJ\\_a\\_aktualizace.doc](http://www.mze.cz/attachments/vyhlaska_BPEJ_a_aktualizace.doc)>.
- [10] PODHRÁZSKÁ, J., TOMAN, F. (2002): Vliv hospodaření v povodí na změny  
odtokových poměrů. Rožnovský, J., Litschmann, T. (Ed.): XIV. Česko-slovenská  
bioklimatologická konference, Lednice na Moravě, 2.- 4. září 2002,  
ISBN 80-85813-99-8, s. 352-356 [online]. [cit. 2007-12-13]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.vumopbrno.cz/stazeni/Vystup%20etapy%20106%202005.pdf>>.

- [11] Workshop CORINE Land Cover 2000 in Germany and Europe and It's Use For Environmental Applications, 20-21 January 2004, Berlin (2004). Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Berlin, ISBN 0722-186X, s. 135 [online]. [cit. 2007-12-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2698.pdf>>.
- [12] JUNG, H.C., JEON, S.W., LEE, D.K.: Workshop Development of Soil Water Erosion Module Using GIS and RUSLE. AIM Korea Team5 [online]. [cit. 2007-12-13]. Dostupné z WWW: <[http://www.iam.nies.go.jp/aim/AIM\\_workshop/9thAIM/Session2/AIMImpact2004\(Korea\).pdf](http://www.iam.nies.go.jp/aim/AIM_workshop/9thAIM/Session2/AIMImpact2004(Korea).pdf)>.
- [13] STRAUMANN, R. (2007): Modellierung des Bodenabtrags mit der USLE. Geographisches Institut Universität Zürich [online]. [cit. 2008-15-01]. Dostupné z WWW: <[http://www.geo.unizh.ch/gis/teaching/courses/gis2/ws0708/unterlagen/pdf/E6\\_7\\_USLE.pdf](http://www.geo.unizh.ch/gis/teaching/courses/gis2/ws0708/unterlagen/pdf/E6_7_USLE.pdf)>.
- [14] SWAT : Swat & Assessment Tool [online]. [2005] [cit. 2007-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.brc.tamus.edu/swat/>>.
- [15] SCHNEIDER, P. (2006): Vodní eroze [online]. [cit. 2008-04-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.sweb.cz/eroze/rusle.htm>>.

## Seznam zkratek

### Zkratky ekvivalentů databáze SWAT ke kategoriím CORINE Land Cover

(viz obr. 8 na str. 31 a obr. 12 na str. 38)

<b>AGRL</b>	Agricultural Land-Generic
<b>AGRR</b>	Agricultural Land-Row Crops
<b>FRSD</b>	Forest-Deciduous
<b>FRSE</b>	Forest-Evergreen
<b>FRST</b>	Forest-Mixed
<b>PAST</b>	Pasture
<b>PEAS</b>	Garden or Canning Peas
<b>RNGB</b>	Range-Brush
<b>UIDU</b>	Industrial
<b>URLD</b>	Residential-Low Density
<b>WATR</b>	Water

### Zkratky na obr. 9

Quittovo klimatické členění (1971) širšího okolí studovaných povodí.

<b>LetD</b>	Počet letních dní
<b>MD</b>	Počet mrazových dní
<b>LD</b>	Počet ledových dní
<b>tI</b>	Průměrná teplota v lednu
<b>tVII</b>	Průměrná teplota v červenci
<b>tIV</b>	Průměrná teplota v dubnu

<b>tX</b>	Průměrná teplota v říjnu
<b>s ≥ 1 mm</b>	Počet dní se srážkami alespoň 1 mm
<b>sVO</b>	Průměrný úhrn srážek ve vegetačním období
<b>sVZ</b>	Průměrný úhrn srážek v zimním období
<b>HVO</b>	Počet dní s teplotou alespoň 10°C
<b>sp</b>	Počet dní se sněhovou pokrývkou
<b>o &gt; 0,8</b>	Počet dní jasných
<b>o &gt; 0,2</b>	Počet dní zatažených

### České zkratky

<b>BPEJ</b>	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
<b>GIS</b>	Geografický informační systém
<b>GIT</b>	Geoinformační technologie
<b>HD model</b>	Hydrodynamický model
<b>HPJ</b>	Hlavní půdní jednotka
<b>MKSP</b>	Morfogenetický klasifikační systém půd
<b>s-o model</b>	Srážko-odtokový model
<b>SV</b>	Severovýchodní

### Cizojazyčné zkratky

<b>AGNPS</b>	AGricultural Non-Point Source
<b>ANSWERS</b>	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation
<b>ARS</b>	Agricultural Research Service
<b>CORINE</b>	Coordination of Information on the Environment

<b>CREAMS</b>	Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems
<b>DEM</b>	Digital Elevation Model
<b>EPIC</b>	Erosion Productivity Impact Calculator
<b>ESRI</b>	Environmental Systems Research Institute, Inc
<b>EUROSEM</b>	European Soil Erosion Model
<b>GRASS</b>	Geographic Resources Analysis Support System
<b>GSSHA</b>	Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis
<b>HEC-HMS</b>	Hydrologic Engineering Centers Hydrologic Modeling System
<b>HEC-RAS</b>	Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
<b>HRU</b>	Hydrological Response Unit
<b>MUSLE</b>	Modified Universal Soil Loss Equation
<b>RUSLE</b>	Revised Universal Soil Loss Equation
<b>SIMWE</b>	SIMulated Water Erosion
<b>SWAT</b>	Soil and Water Assessment Tool
<b>USDA</b>	United States Department Of Agriculture
<b>USLE</b>	Universal Soil Loss Equation
<b>WEPP</b>	Water Erosion Prediction Project



## Seznam obrázků

*Obr. 1: Vztah mezi srážkami a erozí půdy.*

*Obr. 2: Faktory a příčiny eroze půdy.*

*Obr. 3: Lokalizace studovaných povodí.*

*Obr. 4: Hrubá geologická stavba Moravskoslezských a české části Slezských Beskyd.*

*Obr. 5: Orografický přehled Moravskoslezských a české části Slezských Beskyd.*

*Obr. 6: Schematické znázornění hlavních přítoků beskydské Olše.*

*Obr. 7: Hypsometrie povodí beskydské Olše.*

*Obr. 8: Půdní poměry a krajinný kryt povodí beskydské Olše.*

*Obr. 9: Quittovo klimatické členění (1971) širšího okolí studovaných povodí.*

*Obr. 10: Hypsometrie zájmové části povodí beskydské Ostravice.*

*Obr. 11: Hlavní přítoky beskydské Ostravice nad hrází nádrže Šance – schéma.*

*Obr. 12: Půdní poměry a krajinný kryt zájmové části povodí beskydské Ostravice.*

*Obr. 13: Hudsonovo blokové schéma USLE.*

*Obr. 14: Určení maximální 30 minutové intenzity deště z ombrogramu.*

*Obr. 15: Ukázka nomogramu k určení hodnot faktoru erodibility včetně postupu jejich odečítání.*

*Obr. 16: Ukázka nomogramu k určení hodnot faktoru LS.*

*Obr. 17: Schéma principu mapové algebry na příkladu rce RUSLE a Dialogové okno funkce Raster Calculator programu ArcGIS 9.1.*

*Obr. 18: Základní okno extenze ArcView SWAT 2000.*

*Obr. 19: Dialogové okno funkce Automatic Delineation.*

*Obr. 20: Proces vyplňování depresí.*

*Obr. 21: Určení směru odtoku na DEM.*

*Obr. 22: Určení akumulace odtoku na DEM.*

*Obr. 23: Určení prahové hodnoty akumulace odtoku na DEM.*

- Obr. 24:** *Určení rastru údolní sítě na DEM.*
- Obr. 25:** *Ukázka dílčích gridů procesu Stream definition na příkladu povodí beskydské Olše.*
- Obr. 26:** *Schematizované povodí beskydské Olše.*
- Obr. 27:** *Dialogové okno funkce Land Use and Soil definition.*
- Obr. 28:** *Dialogové okno editace parametrů půd v databázi modelu SWAT.*
- Obr. 29:** *Ukázka ze zprávy procesu definice krajinného a půdního krytu – beskydská Olše.*
- Obr. 30:** *Dialogové okno funkce nastavení distribuce HRU.*
- Obr. 31:** *Okno pro vkládání klimatických stanic a jim příslušných hodnot meteorologických prvků do databáze modelu SWAT.*
- Obr. 32:** *Okno funkce Weather Stations.*
- Obr. 33:** *Proces generování vstupů.*
- Obr. 34:** *Okno pro nastavení a spuštění simulace.*
- Obr. 35:** *Okno procesu simulace eroze modelem SWAT.*
- Obr. 36:** *Diagramy míry eroze v jednotlivých areálech půdních typů a krajinného krytu.*
- Obr. 37:** *Prostorové rozložení hodnot faktorů rovnice RUSLE na povodí beskydské Olše.*
- Obr. 38:** *Vizualizace výsledků výpočtu rovnice RUSLE na povodí beskydské Olše.*
- Obr. 39:** *Diagramy míry eroze v jednotlivých areálech půdních typů a krajinného krytu.*
- Obr. 40:** *Prostorové rozložení hodnot faktorů rovnice RUSLE zájmové části povodí beskydské Ostravice.*
- Obr. 41:** *Vizualizace výsledků výpočtu rovnice RUSLE zájmové části povodí beskydské Ostravice.*
- Obr. 42:** *Míra odnosu sedimentů ze subpovodí v rámci povodí beskydské Olše dle modelu SWAT.*
- Obr. 43:** *Vybrané výstupy simulací modelem SWAT pro povodí beskydské Olše.*
- Obr. 44:** *Míra odnosu sedimentů ze subpovodí v rámci zájmové části povodí beskydské Ostravice dle modelu SWAT.*
- Obr. 45:** *Vybrané výstupy simulací modelem SWAT pro zájmovou část povodí beskydské Ostravice.*

## Seznam tabulek

**Tab. 1:** *Základní morfometrické ukazatele povodí beskydské Olše.*

**Tab. 2:** *Základní údaje toku Bílá Ostravice.*

**Tab. 3:** *Základní údaje toku Černá Ostravice.*

**Tab. 4:** *Základní morfometrické ukazatele povodí Ostravice nad hrází vodního díla Šance.*

**Tab. 5:** *Hodnoty faktoru K pro půdy povodí beskydské Olše.*

**Tab. 6:** *Hodnoty faktoru K pro půdy zájmové části povodí Ostravice.*

**Tab. 7:** *Hodnoty faktoru C pro kategorie krajinného krytu klasifikace CORINE Land Cover povodí beskydské Olše.*

**Tab. 8:** *Hodnoty faktoru C pro kategorie krajinného krytu klasifikace CORINE Land Cover zájmové části povodí Ostravice.*

**Tab. 9:** *Parametry definované půdním typům.*