



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

# ***Empirické modely vodní eroze v ČR***

-

*nástroje, data, možnosti a rizika výpočtů*

*Habilitační práce*

***Ing. Josef Krása, Ph.D.***

*Praha, 2010*

*Práci bylo třeba nějak uvést, obvyklý bývá citát, latinský pak ukáže autorův  
rozhled a vzdělanost. A čím víc, tím lepší bude dojem:*

***A nihilo nihil  
Vanitas vanitatum et omnia vanitas  
Dubito ergo cogito, cogito ergo sum  
Discas oportet, quamdiu est, quod nescias  
Est rerum omnium magister usus  
Littera scripta manet  
Duo cum faciunt idem, non est idem  
Multi Muta Nemo Omnia Novit  
Scientia est potentia  
Scio me nihil scire  
Omnia vincit amor  
Nihil novi sub sole***

*Z ničeho nic není, z ničeho nic nevznikne  
Marnost nad marnost, vše je marnost  
Pochybuji, tedy myslím, myslím tedy jsem  
Tak dlouho se uč, dokud trvá tvá neznalost  
Praxe je učitelkou všech věcí  
Co je psáno, to je dáno  
Když dva dělají totéž, není to totéž  
Každý něco ví, ale nikdo neví vše  
Vědění je moc  
Vím, že nic nevím  
Nade vším vítězí láska  
Nic nového pod sluncem*

*(Wikicitáty, 2010)*

*aneb  
Internet omnia solvit*

*Internet řeší vše (na všechno stačí Internet)*

*(překladač Google, 2010)*

*Laskavého čtenáře prosím o krátké zamyšlení nad výše uvedeným podobenstvím.  
Celá dále prezentovaná práce nebude o ničem jiném.*

*(autor)*

#### PODĚKOVÁNÍ:

Nedovedu si představit, že bych práci sestavil a že bych se vůbec k přípravě této práce dostal bez pomoci své rodiny, svých blízkých, přátel, kolegů na katedře, se kterými jsem měl tu čest spolupracovat během uplynulých deseti let. Stejně tak děkuji svým studentům, kteří za několik let úplně proměnili můj pohled na vysokoškolskou práci, hodně mi pomohli se naučit a i dnes mi otevírají oči.

Děkuji svým nejbližším. Maminko, tatínku, Šárko, Lenko, Zuzko, Michale, Tomáši, Michale a Petře! Děkuji i Vám všem dalším, kdo jste zůstali vedle mě ve chvílích, kdy to se mnou není k vydržení.

A děkuji svým kolegům. Tomáši, Karle, Jiří, Ádo, Venco, Petře, Hanko, Katko, Martine, Pavlo, Terezo, Václave, Jano, Michale, Martine, Jano, Martine, Lud'ku, Petře, Jano, Mileno, Jarko, Ájo, Tome, Antone, Andreasi! Určitě teď někoho z Vás omylem vynechám, ale věřte, že si Vás všech vážím a často v duchu děkuji za všechno, co jste pro mě udělali. Díky!

**AUTORSKÉ PROHLÁŠENÍ a PODĚKOVÁNÍ ZA FINANČNÍ PODPORU:**

Prohlašuji, že tuto práci jsem napsal samostatně, pouze s využitím řádně ocitovaných vlastních prací. Další publikace, zdroje informací a použité materiály jsou citovány a uvedeny v seznamu literatury. Práce odkazuje rovněž na řadu výstupů pořízených v rámci grantů a výzkumných projektů.

Samotná habilitační práce byla podpořena zejména výzkumným záměrem „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“ a rozvojovým projektem MŠMT 2010 „Podpora profesorských a habilitačních řízení“. Za podporu děkuji.

V Praze dne 15. 12. 2010

Josef Krása



## ABSTRAKT

Kromě přehledu dosavadních výsledků autora v řešení problematiky vodní eroze a transportu splavenin v ČR je cílem práce rovněž ukázat možnosti a limity využití nástrojů prostorové analýzy v GIS k hodnocení erozních procesů v měřítku regionů, krajů a velkých povodí.

Autor práce se v posledních deseti letech zabýval výzkumem vodní eroze z mnoha úhlů pohledu a v několika aspektech. Nové poznatky přináší zejména jeho práce v oboru hodnocení erozního účinku srážek na území ČR. Jejím výsledkem je několik nových celorepublikových map popisujících erozní účinek srážek v různých obdobích za posledních cca 50 let a rovněž podle několika kritérií hodnocení. Srážky jsou pro vodní erozi klíčovým parametrem a přitom parametrem obtížně hodnotitelným. Srážky umíme velmi kvalitně měřit objemově, ale předpovídat a vyhodnocovat jejich časové i prostorové rozložení a jejich erozní účinek je stále obtížným úkolem.

Významnou částí práce je rovněž metodika zajišťování dalších datových zdrojů pro Českou republiku v oblasti eroze a krajinného modelování. Autor se zabýval testováním většiny dostupných podkladů pro nasazení GIS v oblasti srážkoodtokového modelování v různých měřítcích. Významné jsou zejména příspěvky o možnostech a důsledcích použití odlišných výškopisných podkladů, dat dálkového průzkumu Země k mapování využití území a o nových trendech ve vývoji polohopisných podkladů a údajů o vegetačním pokryvu na zemědělských půdách v ČR.

Závěrečný blok kapitol je tvořen případovými studii. I v jejich rámci jsou testovány nové metodiky hodnocení erozních a transportních procesů v povodích, prováděny kalibrace a verifikace použitých postupů. Klíčovým výstupem své doby (2001 - 2008) a řešitelského pracoviště je zejména celorepubliková mapa erozní ohroženosti a transportu splavenin do toků, ta však již byla publikačně široce představena a popis jejího odvození je zde proto pouze stručný. Práce se soustřeďuje zejména na zcela aktuální případové studie představující posun v dosud používaných metodách a postupech (metody navrhování PEO prostřednictvím GIS a transport erozního fosforu).

Závěr práce tvoří shrnutí dosažených výsledků a nástin směřování dalšího výzkumu. Cílem autora je prohloubení našich znalostí o dopadech využití krajiny na povrchové vodní zdroje, a to především z pohledu jejich eutrofizace. Problematika zdrojů eutrofizace v povodích není v ČR dosud uspokojivě řešena, ačkoliv celospolečenský (i ekonomický) dopad znehodnocení vody v nádržích a tocích na kvalitu našeho prostředí je mimořádný.

## ABSTRACT

The aim of the thesis is to demonstrate the possibilities and limits of the spatial analysis in GIS to assess the scale of soil erosion processes in large watersheds.

The author over the past ten years engaged in research of soil erosion from many angles and in several aspects. New findings are presented mainly in the field of erosion effect of rainfall in the Czech Republic. The result is several new nationwide maps describing the erosive effect of rainfall in different periods over the past 50 years (according to several evaluation criteria). Precipitation (being the key parameter for soil erosion) can easily be measured by volume. But to predict and evaluate the temporal and spatial distribution of erosive storms and their effect is still a difficult task.

An important part of this work is also the methodology for providing data sources for the Czech Republic in the field of erosion and landscape modeling in general. The author has dealt with most of the available data for use in GIS modeling of water erosion at different scales. Significant contributions are mainly on the possibilities and implications of using different elevation models and the possibility of using remote sensing data to evaluate land use. New directions are presented in development of land use and land cover databases for agricultural soils.

The case studies are an integral part of the thesis. Even under them a new methodology for assessment of erosion and transport processes in river basins is tested. The key outcome of its time (2001-2008) and of the research work is a nationwide map of soil erosion and sediment transport. The map (already repeatedly published) is only briefly presented. The work then focuses mainly on the current case study representing a shift to modeling the transport of phosphorus by erosion process.

## AUTORSKÁ PŘEDMLUVA

Počet studií, článků, aplikací GIS a testovaných metod v oboru vodní eroze (ve světě i u nás) roste geometrickou řadou. Přinášejí však zlepšení poznání? Lze se na výpočty spolehnout? Kam míří naše poznání?

Motorem vědy jsou schopní doktorandi. Mladí vědci nesvázaní dogmatem, že prezentovaná pravda je navždy platná. Můžeme ale všechny své znalosti ověřit experimentem? Nezbývá nám než důvěřovat svým zdrojům, než stavět na zděděném poznání, než se opřít o strom vědění, vlézt do koruny a čerpat z jeho plodů. Jakmile však narazíme na jediné shnilé jablko, je třeba stromem řádně zatrást a také prořezávat. Zůstat musí jen zdravé větve.

Věřím, že takové bylo motto každého z nás, když jsme se vědou začali více zabývat. Že ve svém podvědomí si neseme toto přesvědčení, že hledáme pravdu a chceme prohlubovat znalosti všech o jevech kolem nás. Že chceme pomáhat řešit problémy – jakékoli – ve svém oboru. Nejprve studujeme. Studujeme s pocitem, že stále víme málo, než abychom mohli cokoli sami navrhnout. Pak nám ale nic jiného nezbývá, první studentská práce, první studie, zakázka, první vědecká spolupráce, konference a nakonec náš první vlastní velký projekt. Už nemáme čas jenom studovat. Musíme produkovat, produkovat výsledky, navrhovat řešení. Ale kde je studentova věda? Neseme ji s sebou? Je v onom přesvědčení, že stojí za to hledat pravdu dál.

Kéž nám naše přesvědčení zůstane. Protože v té době už víme, že pravda není skryta v jedné rovnici a v jedné větě závěru. A už vůbec ne v jediném čísle výsledku! Vyslovit jej přesto vždy musíme, protože každá naše práce už je v dnešní době zakázkou. A protože ve světě vědy a vysokých škol, kdo nepracuje na několika projektech najednou, neroste ani se neuživí. Náš přístup k řešení zvolené problematiky a naši odpovědnost předáváme dál. Teď již svým vlastním studentům. Vyslovovat absolutní závěry, pokud pracujeme se stochastickými jevy, je vždy riskantní. Měli bychom si být vědomi, že analýzy, jimž chybí opora v přímo měřených datech, mohou být vždy zavádějící. Že data (a to i měřená), se kterými pracujeme, rovněž mohou obsahovat chyby. A že ve vodohospodářství výsledný návrh obvykle vede k realizaci se skutečným dopadem!

Tato práce si klade za cíl rovněž motivovat. S geografickými informačními systémy si lze hrát. Lze provádět řadu analýz, jejichž výsledkem jsou opravdu zajímavé výstupy. Podrobnost i dostupnost dat i výstupů roste každým rokem a přece se v uživatelské sféře stále prosazují extrémně zjednodušené přístupy k řešení a expertní odhady založené spíše na tradici, než na skutečné empirii. Zde prezentované možnosti a postupy a nástroje GIS zdaleka nejsou jedinými, spíše mají být vodítkem k vlastním nápadům a návrhům každého řešitele. Zachovejme si však střízlivost a odpovědnost při hodnocení našich výsledků.

Práce čerpá z mého desetiletého hledání různých možností, jak uplatnit nástroje geoinformatiky v erodologii. Nejsem však vystudovaný (geo)informatik a k prostředkům GIS přistupuji jako uživatel. Používám i testuji proto nástroje GIS z hlediska jejich použitelnosti pro erozní výzkum, nikoli z hlediska programátorského.

Práce je souhrnem poznatků dosažených v rámci mnoha projektů a studií a rovněž čerpá z prací diplomantů a studentů, jež jsem měl tu čest během svého působení na katedře vést. Všechny zdroje jsou náležitě citovány. Nepřímo navazuji na svou dizertační práci na téma „Hodnocení erozních procesů ve velkých povodích za podpory GIS“ (Krása, 2004). Zejména metodické

postupy a podrobné principy použitých metod a modelů zde nebudou opět rozepisovány, čtenář na ně bude pouze odkázán. Uvedená dizertační práce je k dispozici rovněž ke stažení na internetových stránkách Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze (<http://storm.fsv.cvut.cz>).

Omezím rovněž rozsah obecného popisu erozních procesů. Rešerše k tomuto tématu byla uvedena v mé výše zmíněné dizertační práci a je součástí všech diplomových prací zabývajících se hodnocením erozních procesů. Škodlivé účinky eroze, způsoby jejího omezování formou protierozních opatření i pomocí správných zásad zemědělské praxe - to vše je kvalitně popsáno v opakovaných vydáních metodik „Ochrana zemědělské půdy před erozí“ (Janeček et al. 1992, 2002, 2007).

Klíčové kapitoly práce se věnují faktoru erozního účinku srážek, datům pro výpočty vodní eroze prostřednictvím GIS, erozním modelům a možnostem při odhadu transportu splavenin a erozního fosforu. Hlavní okruhy práce jsou nastíněny v následující struktuře.

## **STRUKTURA HABILITAČNÍ PRÁCE**

### **1 ÚVOD**

- 1.1 VODNÍ EROZE
- 1.2 ZÁKLADNÍ PRINCIPY MODELŮ VODNÍ EROZE
- 1.3 GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY

### **2 EROZE A TRANSPORT SPLAVENIN VE VELKÝCH POVODÍCH**

- 2.1 UNIVERZÁLNÍ ROVNICE ZTRÁTY PŮDY
- 2.2 TRANSPORT SPLAVENIN
- 2.3 ZACHYCENÍ V NÁDRŽÍCH
- 2.4 PŘEHLED METOD STANOVENÍ PARAMETRŮ USLE S ASISTENCÍ GIS

### **3 ZDROJOVÁ DATA PRO VÝPOČTY EROZNÍ OHROŽENOSTI V ČR**

- 3.1 EROZNÍ ÚČINNOST SRÁŽEK NA ÚZEMÍ ČR
- 3.2 DIGITÁLNÍ MODELY TERÉNU
- 3.3 DATA O PŮDÁCH
- 3.4 VYUŽITÍ ÚZEMÍ A OCHRANNÝ ÚČINEK VEGETACE

### **4 PŘÍPADOVÉ STUDIE – APLIKACE ODVOZENÝCH METOD**

- 4.1 MAPA ZTRÁTY PŮDY A TRANSPORTU SPLAVENIN V ČR
- 4.2 GIS A NÁVRHY PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ
- 4.3 TRANSPORT SPLAVENIN A EROZNÍHO FOSFORU DO VN ŘÍMOV

### **5 ZÁVĚR**

LITERATURA, REJSTŘÍKY A SEZNAMY, OBSAH

## 1 ÚVOD

Práce je věnována hodnocení erozních procesů a jejich důsledkům. Proto je třeba (byť stručně) nezasvěcenému čtenáři představit proces vodní eroze půdy, jeho důsledky a metody jeho hodnocení.

### 1.1 VODNÍ EROZE

Vodní eroze je proces, při němž působením srážek a povrchového odtoku dochází k rozrušování půdního (nebo obecně zemského) povrchu. Povrch je erozí přetvářen, dochází k morfologickým změnám i změnám v částicovém složení. Práce se zabývá výhradně vodní erozi na zemědělských půdách v podmínkách České republiky. Nebudou zde proto popisovány formy eroze, jež se uplatňují v podmínkách jiných. Specifickou součástí erozního procesu je eroze způsobená táním sněhu. Ta je u nás dosud nedostatečně prozkoumána a současné erozní modely určené pro naše klimatické podmínky s ní obvykle nepočítají. Nebude hodnocena ani zde.

Vodní erozi považujeme za jeden z tzv. **plošných zdrojů znečištění ve** vztahu k povrchovým vodám. Formulace není zcela přesná, protože erozní proces je zdrojem znečištění pouze ve vybraných případech, přesto však platí, že erozní proces lze obecně považovat za nejvýznamnější zdroj splavenin ve vodních tocích a nádržích. Tento jeho důsledek je rovněž hlavním motivem výzkumu eroze na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství (Dostál et al., 2001; Krása, 2004). Výsledkem transportu splavenin je nejen snižování kapacity nádrží a toků, ale zejména eutrofizace – nárůst sinic a řas jako důsledek vnosu fosforu vázaného na sediment.

Druhým důsledkem erozního procesu je **degradace zemědělských půd**. Přitom dochází k ohrožení a ztrátám půdního profilu, který nedokáže být dostatečně rychle nahrazován půdotvorným procesem. Ztráta nejúrodnější svrchní vrstvy půdy je obvykle trvalá, protože odnesená půda se ani po případném vytěžení nevrací zpět na pozemek. Při odnosu půdy dochází především ke ztrátě nejjemnější a nejlehčí frakce. To znamená ztrátu organických látek a živin (vázaných na jemných částicích s nejvyšší sorpční kapacitou). S plošnou erozí dochází také ke změně zrnitostního složení směrem po svahu. Nejjemnější částice jsou nahromaděny na úpatí (v dolních partiích) svahu, v horní části je ponechán materiál hrubozrnnější. S tím je spojená ztráta úrodnosti a také mnohem rychlejší vysychání horních částí svahu.

Konečně je erozní proces příčinou **materiálních škod**, jež se týkají zanášení pozemků, intravilánu, komunikací a jiných ploch jemným (a často částečně toxickým) sedimentem. Dále dochází k poškozování a znečišťování budov a inženýrských staveb zvýšeným povrchovým odtokem. Dochází i k odnášení materiálu a k dalším hmotným škodám.

Eroze probíhá ve třech základních formách – jako eroze plošná, výmolová a proudová. Každá z těchto forem se dělí na několik stádií podle rozsahu, intenzity a průběhu procesu (Holý, 1994).

**Plošná eroze** je charakterizována rozrušováním a smyvem půdní hmoty na celém území. Jejím prvním stupněm je eroze selektivní, při níž povrchový odtok odnáší jemné půdní částice a na ně vázané chemické látky. Dochází ke změně půdní textury a obsahu živin v půdě. Půdy podléhající selektivní erozi (horní svahové partie) se stávají hrubozrnnějšími a mají snížený obsah živin, půdy obohacené smyvem (úpatí svahů) jsou jemnozrnnější a bohaté na živiny. Selektivní eroze

probíhá zvolna, často nepozorovaně a nezanechává viditelné stopy. Při větší kinetické energii povrchově stékající vody a nepříznivém utváření půdního profilu (střídání málo odolných a odolných vrstev) dochází ke smyvu půdní hmoty ve vrstvách. Tato eroze se nazývá eroze vrstevná. Projevuje se na celé ploše svahu nebo probíhá v širokých pruzích v závislosti na reliéfu povrchu. Dochází při ní obvykle ke ztrátě celé orníční vrstvy.

**Výmolová eroze** vzniká postupným soustředováním povrchově stékající vody, která vyrývá v půdním povrchu mělké zářezy, postupně se prohlubující. Prvním stadiem výmolové vodní eroze je eroze rýžková a brázdová. Při rýžkové erozi vznikají v půdním povrchu drobné úzké zářezy, které vytvářejí na postiženém svahu hustou síť. Brázdová eroze se vyznačuje mělkými širšími zářezy, jejichž hustota na svahu je menší než u eroze rýžkové. Vzhledem k tomu, že rýžková a brázdová eroze postihují obvykle velkou část povrchu svahu, označuje se tato eroze často jako nejvyšší stadium plošné eroze. Z rýžek a brázd vznikají pokračujícím soustředěným odtokem hlubší rýhy, které se směrem po svahu postupně prohlubují. Jsou výsledkem rýhové eroze. Ta pak přechází ve vyšší stupeň - erozi výmolovou a ta v nebezpečnou, území devastující erozi **stržovou**. Výsledkem výmolové a stržové eroze jsou hluboké výmoly a strže.

**Proudová eroze** probíhá ve vodních tocích působením vodního proudu. Je-li rozrušováno pouze dno, mluvíme o erozi dnové, jsou-li rozrušovány břehy, o erozi břehové. **Dnová** eroze je formou podélné eroze prohlubující osu toku, **břehová** eroze je formou eroze, probíhající směrem kolmo na osu toku. Nejvýrazněji se proudová eroze projevuje v bystřinách, jež obvykle nesou velké množství splavenin.

Celkově jsou vznik a rozvoj erozních procesů ovlivněny řadou společně působících faktorů, ať už ryze přírodních, nebo ovlivnitelných (případně přímo způsobených) člověkem. **Klimatické a hydrologické poměry** jsou kromě množství srážek a povrchového odtoku dány teplotou, vlhkostí ovzduší a povrchu půdy, směrem a rychlostí větrů a slunečním zářením. Vznik výrazného erozního procesu je v našich podmínkách vyvolán především srážkami přívalového charakteru, které jsou charakterizovány vysokou intenzitou, krátkou dobou trvání a relativně malou zasaženou plochou. **Morfologické poměry** jsou dány sklonem, délkou, členitostí a tvarem (částečně též expozicí) svahu. Sklon svahu je z hlediska eroze nejdůležitějším (a také nejobtížněji ovlivnitelným) morfologickým faktorem. Se zvyšujícím se sklonem výrazně roste erozivní schopnost povrchového odtoku a jeho schopnost soustředit se v rýhách. Tvar svahu je třeba vždy posoudit v kombinaci s ostatními faktory. Zejména v dolních partiích svahu se může projevit konvergentní tvar (prostorové uspořádání) svahu, který svádí odtok a podporuje tak vznik soustředěného povrchového odtoku. **Půdní a geologické poměry** jsou charakterizovány fyzikálními vlastnostmi půdy, případně matečné horniny, zejména texturou, strukturou, obsahem organických látek, vlhkostí, apod. Tyto vlastnosti ovlivňují jednak infiltrační schopnost půdy (velikost a časový průběh infiltrace), jednak odolnost vůči destrukčním účinkům vodních kapek a povrchového odtoku. **Vegetační poměry** se protierozně projevují jednak ochranou půdního povrchu před přímým dopadem vodních kapek, jednak zpomalením povrchového odtoku (zvýšením hydraulické drsnosti povrchu), a dále podporou vsakovací schopnosti půdy (rozrušením, zvýšením pórovitosti, podporou růstu mikroorganismů, atd.). Zlepšením celkových fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy (údržbou vlhkého mikroklimatu aj.) přispívá vegetace ke zvýšení soudržnosti (zpevnění půdních agregátů), k propojení kořenovým systémem a k obohacení o organické látky. **Hospodářsko-technické poměry** ovlivňuje činnost



člověka. To se týká způsobu využití pozemků, hospodaření, umístění plodin, volby vhodných protierozních opatření atp.

## 1.2 ZÁKLADNÍ PRINCIPY MODELŮ VODNÍ EROZE

Jak již bylo naznačeno výše, naším **cílem je především odhad transportu splavenin** (případně fosforu – jako klíčového „spouštěče“ eutrofizačního procesu). Historicky zde byla vyvinuta řada modelů jako nástrojů výhradně protierozní ochrany, jejich výstupem jsou pak návrhy protierozních opatření bez kvantifikace erozního smyvu nebo množství splavenin. Prakticky žádný z modelů není stavěn přímo pro kvantifikaci vnosu fosforu do vodních útvarů. Tyto nástroje jsou odvozovány především pro popis vlastního procesu eroze, ty sofistikovanější z nich pak zahrnují přímo i transport sedimentu. Primární účel takových modelů je především ochrana kvality půdy, pokud je jím i ochrana vodních zdrojů, pak spíše v kvantitativním pohledu na vnos sedimentu z hlediska zanášení vodních nádrží. Využití erozních a transportních modelů pro odhad transportu fosforu je proto vždy do jisté míry překročením jejich původního účelu a s ohledem na to je třeba vždy s výsledky pracovat a i je interpretovat.

Základní problém využití výsledků erozních a transportních modelů pro odhad transportu fosforu do vodních toků vyplývá již z celkové koncepce stavby těchto nástrojů. Ty, ať už jsou empirické nebo fyzikálně založené, popisují vždy tři na sebe navazující a sebe navzájem podmiňující procesy: V prvním kroku je vždy **hydrologická část**, která řeší **vznik povrchového odtoku**, bez něž nemůže nastat transport sedimentu a částečně ani eroze. Druhým krokem je **vlastní eroze**, způsobená jednak dopadem dešťových kapek a jednak vlastním odtokem. Třetí částí je pak odhad transportní kapacity povrchového odtoku a z toho vyplývající **transport splavenin**. Část zabývající se chemickými procesy, obsahem fosforu v půdě, jeho vazbou na půdní částice a následně případně jeho dostupností pro využití organismy již v běžných modelech řešena není. Z uvedeného vyplývá komplikovanost celého procesu a náročnost na skloubení jednotlivých dílčích procesů a jejich submodelů. Pochopitelně, v případě jednodušších empirických modelů je proces chápán jako komplexní a jeho jednotlivé části jsou integrovány do jediného silně zjednodušeného celku.

V této souvislosti je třeba si připomenout další dvě základní charakteristiky modelů. A to na jakém principu je model sestaven a pro jaké prostorové a časové měřítko byl odvozen. Z hlediska popisu procesu se modely obecně dělí na **modely empirické**, které nepopisují proces jako takový v jeho fyzikální podstatě, ale byly odvozeny na základě statistické analýzy velkého množství naměřených dat. Takové modely jsou sice jednoduché z hlediska použití, ale jejich aplikace mimo meze dat, na kterých byly odvozeny, postrádá ospravedlnění. Vyšším stupněm jsou **modely fyzikálně založené**, které popisují skutečnou fyzikální podstatu procesu. U nich je možno s výsledky pracovat na podstatně vyšší úrovni, na druhou stranu bývají tyto modely podstatně náročnější jak na vstupní data, tak na výpočetní techniku a v neposlední řadě i na kvalifikaci uživatele. Příkladem empirického modelu je dále popisovaná metoda USLE (Wischmeier et al., 1978) a všechny modely z této metody odvozené (RUSLE, WATEM/SEDEM, USPED, RUSLE2, aj.). Příklady fyzikálně založených modelů jsou EROSION3D, WEPP, SMODERP aj. (Krása, 2004).

Druhou významnou charakteristikou je časové měřítko. Podle něj lze modely dělit na epizodní a kontinuální. **Modely epizodní** pracují v krátkém časovém kroku a řeší jedinou srážkovou epizodu. Výhodou je, že zpravidla je možno řešit konkrétní stav pozemku a průběh srážky, což

oboje má zcela zásadní vliv na erozní proces, na druhou stranu lze jen velmi těžko výsledky využít k dlouhodobější bilanci. Výše uvedené fyzikálně založené modely patří obvykle do skupiny modelů epizodních. Naopak, empirické modely jsou zároveň velmi často **modely kontinuální**. Se srážkou pracují ve formě dlouhodobého indexu (obvykle v ročním kroku) a výstupem jsou hodnoty smyvu za celé hodnocené období.

Z pohledu prostorového členění se modely dělí na **distribované**, které pokrývají popisované území sítí většinou pravidelných elementů, a **celistvé**, které ho popisují pomocí jediné sady parametrů, jejichž hodnoty představují průměry pro celou reprezentovanou oblast (obvykle povodí). Je jasné, že distribuovaný přístup poskytuje podstatně podrobnější popis území se zahrnutím lokálních nehomogenit. Z hlediska transportu sedimentu především u epizodních modelů je prakticky nezbytný, i když jednodušší modely, dosud v praxi hojně využívané jsou založené právě na celistvém přístupu. Mezi celistvými a distribuovanými modely existuje řada přechodných verzí, někdy jsou distribuované řešeny pouze určité části erozního procesu, nebo jsou distribuované parametry agregovány do celků proměnné velikosti podle rozsahu řešeného území apod.

Z výše uvedeného vcelku jasně vyplývá, že běžně dostupné, využívané a kalibrované modely a metody jsou schopné s větší či menší spolehlivostí popisovat procesy uvolnění částic na pozemku a jejich transport v rámci pozemku, případně ještě jejich transport v rámci různých velkých povodí. Neřešeny zůstávají otázky **transportu chemických látek** (výjimkou jsou některé verze novějších modelů – např. SWAT, nebo WATEM/SEDEM METALS, nicméně komponenty popisující transport prvků vázaných na splaveniny nejsou v ČR úspěšně kalibrovány). Zcela oddělenou otázkou je chování transportovaného sedimentu v korytech a vodních nádržích. 1-D modely popisující **transport splavenin tokem** (GSTARs, HEC-6, FLUVIAL, DREAM-1, TUG,...) nejsou v podmínkách ČR dosud kalibrovány, složitější 2-D a 3-D modely nejsou využitelné pro řešení transportu v komplexních povodích (Yang et al., 2006).

V případě, že cílem je skutečně odhad **množství transportovaného fosforu** (přičemž otázka jeho forem a dostupnosti, stejně jako dostupnost a uvolnitelnost fosforu ze sedimentů deponovaných na dně nádrže zůstává zcela stranou, protože to je již specifická hydrochemická a hydrobiologická záležitost, závisající na celé řadě dalších okrajových podmínek), je třeba v první řadě získat obsah fosforu v půdách v zájmovém území. Již tento údaj je poměrně těžko dostupný a v zásadě je možno ho zjistit pro menší oblasti vlastním rozborem, pro oblasti rozsáhlejší pak z celostátně řešené databáze agrochemického zkoušení zemědělských půd, kterou spravuje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Tato data však nejsou zcela volně dostupná a hodnoty v nich uvedené nemusí vždy odrážet aktuální stav živin na daném pozemku.

### 1.3 GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY

Pro řešení v úrovni celých povodí již v dnešní době nepřipadá v úvahu manuální výpočet pomocí modelu. Výpočty jsou vždy realizovány s podporou mapových dat zpracovávaných na počítačích. Proto je základní složkou přípravy vstupů do erozních modelů práce s geografickými informačními systémy (Dostál et al., 2009).



Celý obor práce s geografickými informačními systémy dnes zastřešuje nová vědní disciplína – **geoinformatika**. Jako odštěpený obor obecné informatiky je dnes geoinformatika vyučována na řadě (nejen technických) vysokých škol.

Základem GIS jsou mapy a informace o mapovaných místech. Odhlédneme-li od propojení s periferiemi, jako jsou skener, plotr, monitory atp., samotný software se dělí na dvě části: databázovou a vykreslovací. Bez obou částí se neobejde ani nejjednodušší GIS. Veškeré informace o prostorových objektech a prvcích mapy je třeba ukládat, zálohovat, organizovat, třídít, statisticky zpracovávat, vyhledávat, provádět s nimi matematické a jiné analytické operace, atd. O to vše se stará **databázová část – DBMS. Vykreslovací část** má poté na základě pokynů uživatele a výsledků z DBMS za úkol převést analyzovanou informaci do mapy, tu upravit a zobrazit přesně dle pokynů. Obsahuje rovněž rozhraní potřebné pro editaci mapy atd.

GIS jsou obvykle systémy modulárními. **Moduly** jsou samostatné programy a skupiny programů určené pro odlišné typy úloh – správu a organizaci dat, převody odlišných formátů (import-export) a datových typů (rastr vektor, binární, ASCII,...), kartografické operace, georeference, rastrové analýzy, editace dat, klasifikace dat DPZ, mapovou algebru, prostorovou statistiku aj.

Součástí GIS jsou rovněž kompletní **modely** – tedy algoritmy sestavené z modulů a vstupních i výstupních rozhraní, vystupující jako integrovaná složka GIS. Řada erozních modelů (RUSLE, SEDIMENTATION, RUNOFF, HEC-HMS, aj.) je takto přímo integrována do některého z komerčních nebo nekomerčních GIS software.

GIS lze klasifikovat (třídít) podle účelu, datových formátů, velikosti, rozšířenosti apod. Dle účelu je možné mezi hlavními představiteli rozlišit tři základní skupiny: plně **integrované software**, s důrazem na mapové výstupy (typický představitel je ArcGIS); programy orientované na **vyhodnocení dat dálkového průzkumu Země** (DPZ) a obecně klasifikace „snímků“ všech typů (typický představitel je Geomatica); programy charakterizované jako vývojové prostředí pro **environmentální modely** (typickým představitelem jsou IDRISI).

Podle těchto účelů rovněž jsou programy rovněž odlišně datově orientovány. Programy zaměřené na práci s daty DPZ obsahují rozsáhlý aparát pro práci s **rastrovým formátem dat**. Programy určené pro přípravu působivých vizuálních výstupů a map a programy pro síťové analýzy pracují kvalitně především s **vektorovým formátem dat**. Všechny současné programy umožňují alespoň základní datové operace s oběma formáty a převody mezi nimi.

I v případě hodnocení erozních procesů je naprosto klíčovým parametrem pro dosažení potřebné přesnosti výstupu **kvalita a podrobnost dat**. Datům v České republice bude věnována samostatná kapitola.

V současné době je na trhu k dispozici přinejmenším několik set programů distribuovaných pod hlavičkou GIS. Řada z nich jsou specifické a jednoduché softwarové aplikace nebo modely určené pro konkrétní využití v různých oblastech mapování. Mnoho programů je distribuovaných zdarma jako **freeware** (např. prostřednictvím <http://freegis.org>), případně jako **otevřený software**. Asi v polovině 90. let všeobecně nastala přeměna – cílem je přiblížení GIS k řadovému uživateli. Hlavní zákazník je prostý uživatel, ne vývojář. Softwary přecházejí na předdefinované funkce, příjemné rozhraní, zjednodušení ovládání. Za cenu zjednodušení už uživatel nemá v základních verzích programů plnou kontrolu nad procedurami – ty jsou předdefinovány napevno. U „velkých“ GIS je pak přípustné i vlastní programovací rozhraní.

Největší výrobci se zaměřují buď více na databázové analýzy, nebo na přípravu dat z DPZ a jiných zdrojů. Jsou to především:

Firma ESRI (skupina produktů ArcGIS). Profesionální, poměrně drahé, vektorové software. Rastry a konverze dat DPZ zajišťují nadstavby jiných firem (Leica Geosystems – Erdas Imagine). U nás i v Evropě je velmi rozšířen, zejména v úřadech a organizacích státní správy. Asi nejrozšířenější vektorový formát SHAPEFILE.

Firma Bentley (Microstation – skupina vektorového GIS/CAD), hlavně pro infrastrukturu a výkresy i CAD systémy. U nás používán např. ČÚZK – data ZABAGED, většina geodetických aplikací.

Firma INTERGRAPH (MGE, Geomedia). Pro běžného uživatele je MGE poměrně složité. Skupina programů využívající rozhraní Microstation. Jednodušší verzí byla GeoMedia, která dnes již převzala vedoucí úlohu a v různých mutacích jsou hlavním GIS produktem firmy.

Firma PCI Geomatics (Geomatica). Především rastrový software určený k úpravám a vyhodnocování dat DPZ. Umožňuje i řadu vektorových operací a analýz. Zvládá velké množství zejména rastrových formátů, u řady z nich dokáže v nich přímo pracovat, nevyžaduje konverzi.

Clark Labs, USA (IDRISI). Asi nejrozšířenější školní software – levný, především rastrový, hodně rozšířený na univerzitách. Jako rastrový GIS má ve světě množství uživatelů a vývojových center (v cca 175 zemích).

Rozhraní GNU/GPL – GRASS – původně vyvinut v U. S. Army laboratořích. Freeware. GNU platforma pro Linux/UNIX, neměl centrálního správce, který by poskytoval podporu a garantoval správnost,... používán v NASA, USGS a dalších organizacích, velmi rozšířen (nejrozšířenější?), dnes ale vytlačován komerčními programy pro Windows. Pro práci s vektory jej dnes nahrazuje popularitou free software Q-GIS.

K dispozici je řada dalších účelových software (včetně českých), často specifických pro konkrétní úlohy – Atlas DMT (geodézie, geologie), TopoL (lesnictví).

## 2 EROZE A TRANSPORT SPLAVENIN VE VELKÝCH POVODÍCH

V České republice stejně jako kdekoli jinde na světě je nejrozšířenějším nástrojem pro hodnocení erozních procesů Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE). Rozšířena je řada dalších modelů a metod, z nichž ty nejčastější jsou opět postaveny na principu USLE a nebo její revidované novější formy – RUSLE. Původní metodika postavená na principu určení charakteristických profilů povrchového odtoku a jednotlivých erozních činitelů k nim vztažených je jednoznačná a vyžaduje jedinou formu použití. S rozvojem GIS a aplikací USLE ve zcela nových souvislostech, v podstatně větším rozsahu oproti jejímu původnímu zaměření byla rovnice modifikována do řady nových forem, které se liší nejen svou aplikovatelností, ale také svými výsledky.

V řadě modelů byla rovnice doplněna o komponenty umožňující stanovit nejen smyv, ale i transport splavenin v povodích, nebo dokonce transport chemických prvků. Zmíněné metody si ovšem vyžadují kalibraci pro každé použití v nových podmínkách. V této kapitole jsou dále shrnuty v ČR používané metody a modely, včetně jejich porovnání s původní metodikou USLE.

V úvodu byly popsány základní principy erozních modelů, z nichž je zřejmé dělení na modely fyzikálně založené a modely empirické. Cílem této práce je především popis možností hodnocení erozních procesů v měřítku velkých povodí. Modely fyzikálně založené a epizodní nejsou v uvedeném měřítku obvykle aplikovatelné a aplikované. Existují výjimky, ale přesto v následném výčtu bude kladen důraz především na empirické modely postavené na principu USLE.

Kombinovaná metodika nasazení USLE a následného výpočtu transportu splavenin ve velkých povodích doplňujícími nástroji byla autorem a týmem Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT odvozena a ověřena v rámci několika grantů během uplynulých deseti let. Základní výsledky jsou publikovány v pracích: (Dostál et al. 2001; Dostál et al., 2002; Krása, 2004; Dostál et al., 2006; Krása et al., 2008; Krása et al., 2010b).

### 2.1 UNIVERZÁLNÍ ROVNICE ZTRÁTY PŮDY

Univerzální rovnice ztráty půdy (Wischmeier et al., 1978) je typickým představitelem empirických metod výpočtu ztráty půdy. Jedná se o jednoduchý vztah se šesti parametry, jejichž přesnost se ovšem výrazně podílí na získaných výsledcích. USLE byla řadu let využívána pouze pro návrhové postupy na jednotlivých pozemcích – jako manuální výpočet se stanovováním charakteristických podélných profilů jednotlivých svahů. V posledních 15 letech se stále více prosazuje ve spojitosti s GIS pro výpočty v celých povodích. Rovnice byla postupně odvozena v USA a jejím výstupem je průměrná roční hodnota ztráty půdy v tunách na hektar ( $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ ).

Základní tvar univerzální rovnice ztráty půdy je tvořen součinem šesti faktorů:

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

R. 2-1

Všechny faktory byly určeny empiricky statistickým vyhodnocením smyvu na jednotkových pozemcích délky 22 m a sklonu 9 % a na pozemcích s jednotkovými pozemky porovnávaných.

První dva faktory určují skutečnou ztrátu půdy na jednotkových pozemcích pro definované půdy a intenzivní srážky a lze je proto vyjádřit ve fyzikálních jednotkách (např. soustavy SI).

$R$  je faktor erozní účinnosti srážek, definovaný jako součin kinetické energie deště a jeho největší 30 minutové intenzity. Pro danou úlohu (sečtený pro dobu celého roku) je tedy závislý též na četnosti výskytu srážek ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ), resp. po úpravě ( $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

$K$  je faktor erodovatelnosti půdy, vyjadřující náchylnost půdy k erozi v závislosti na struktuře půdy, její propustnosti, obsahu humusu a dalších vlastnostech ( $\text{t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), resp. po úpravě ( $\text{t}\cdot\text{N}^{-1}$ ).

$L$  je faktor délky svahu a zohledňuje vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku).

$S$  je faktor sklonu svahu, velikost sklonu svahu zohledněná tímto faktorem erozi velmi výrazně ovlivňuje (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku sklonu 9 %). Součin faktorů

$LS$  bývá často určován pomocí kombinovaného vzorce nebo společného postupu. Dohromady je potom nazýván „topografický faktor“.

$C$  faktor vyjadřuje vliv osevního postupu a agrotechniky, udává poměr ztráty půdy z vyšetřovaného pozemku a z jednotkového pozemku s trvalým úhorem při zachování zbylých parametrů, zohledňuje tedy ochranný vliv vegetace (bezrozměrný).

$P$  faktor vyjadřuje vliv protierozních opatření (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku).

Při klasickém způsobu výpočtu se na každém pozemku stanoví charakteristické odtokové dráhy plošného odtoku (tzv. profily) a všechny faktory rovnice se určují pro plochy těmito profily reprezentované. Podrobnost a kvalita řešení je výrazně závislá na správném stanovení profilů.

Výpočet pomocí GIS není založen na určování jednotlivých průměrných hodnot  $G$  pro pozemek (neboli jeho charakteristický odtokový profil), ale na určení velikosti ztráty půdy pro dílčí jednotkové (malé) elementy pozemku (resp. povodí) a následnou analýzu (součet na ploše pozemků, určení průměrných hodnot pro pozemky apod.). Každému elementu je přiřazena informační hodnota dané veličiny (nadmožské výšky, sklonu, faktorů USLE atp.). Velikost elementů je dána rozlišením mapových podkladů a kapacitou počítače a pohybuje se řádově v rozmezí  $10^0$  až  $10^3$  metrů čtverečních. Tak jsou vytvořeny informační vrstvy, složené z jednotlivých elementů, pro každý z faktorů USLE. Protože elementy všech vrstev si odpovídají svou polohou, je možné průměrnou ztrátu půdy pro každý element určit jednoduchým vynásobením vrstev v prostředí GIS. Celý postup je objektivní a transparentní, a je-li smyv určován pro každý element velikosti např.  $25\times 25$  metrů nebo menší, snadno lze do výpočtu zahrnout nehomogenity terénu a prostorového vyčíslení faktorů USLE.

## 2.2 TRANSPORT SPLAVENIN

Transportem splavenin se zde myslí transport povrchovým odtokem do jednotlivých vodních toků nebo dokonce do uzávěrového profilu povodí. Velká část erodovaného materiálu se zachytí již přímo při zpětné sedimentaci na pozemcích a dále v povodí. Proto celková ztráta půdy

vypočtená metodou USLE výrazně převyšuje množství splavenin. Celkové množství splavenin transportované z povodí se ve vědecké terminologii označuje pojmem „sediment yield“ (SY). Poměr mezi množstvím splavenin a celkovým erozním smyvem potom označujeme spojením „sediment delivery ratio“ (SDR) – česky poměr odnosu splavenin. Platí tedy:

$$SDR = \frac{SY}{A} \quad \text{R. 2-2}$$

resp.

$$SY = A \times SDR \quad \text{R. 2-3}$$

SY	celkový průtok (objem) splavenin za časový úsek (např. t.rok <sup>-1</sup> )
A	celkový erozní smyv za časový úsek (např. t.rok <sup>-1</sup> )
SDR	poměr odnosu splavenin pro dané povodí

Pokud erozní smyv a transportované množství splavenin vztahujeme k ploše povodí nebo ploše zemědělské půdy, označujeme je jako specifický smyv (SA – t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>), resp. specifický transport splavenin (SSY – t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>).

Transportované množství můžeme určit řadou metod: jednak stanovením poměru odnosu (SDR) pro celé povodí, pro jeho části, nebo pro tzv. dílčí hydrologické jednotky (hydrological response unit – HRU); dále pomocí transportních rovnic povrchového odtoku fyzikálními modely; a konečně stanovením transportní kapacity povrchového odtoku všech prvků území (nebo opaku - jejich retenční kapacity) a jejím porovnáním s místně transportovaným množstvím. Tento princip je základem dále používaného modelu WATEM/SEDEM.

### 2.2.1 POMĚR ODNOSU SEDIMENTU SDR

Pro výpočty poměru odnosu na základě celkových charakteristik povodí byla ve světě odvozena celá řada metod a statistických závislostí. Podrobně se jejich porovnáním a přehledem zabýval ve své práci Bečvář (Bečvář, 2006). Nicméně v České republice je dlouhodobě testována a ověřena pouze Williamsova metoda (Williams, 1977), která je doporučena i metodikou Ochrana zemědělské půdy před erozí (Janeček et al., 2007). Tato metoda byla využita i pro stanovení transportu sedimentu na území celé ČR (Krása et al., 2010a), stejně jako při studii transportu sedimentu do VN Brno (Dostál et al, 2004), kde se ukázala být dostatečně přesná pro stanovení dlouhodobého průměrného transportu sedimentu z povodí.

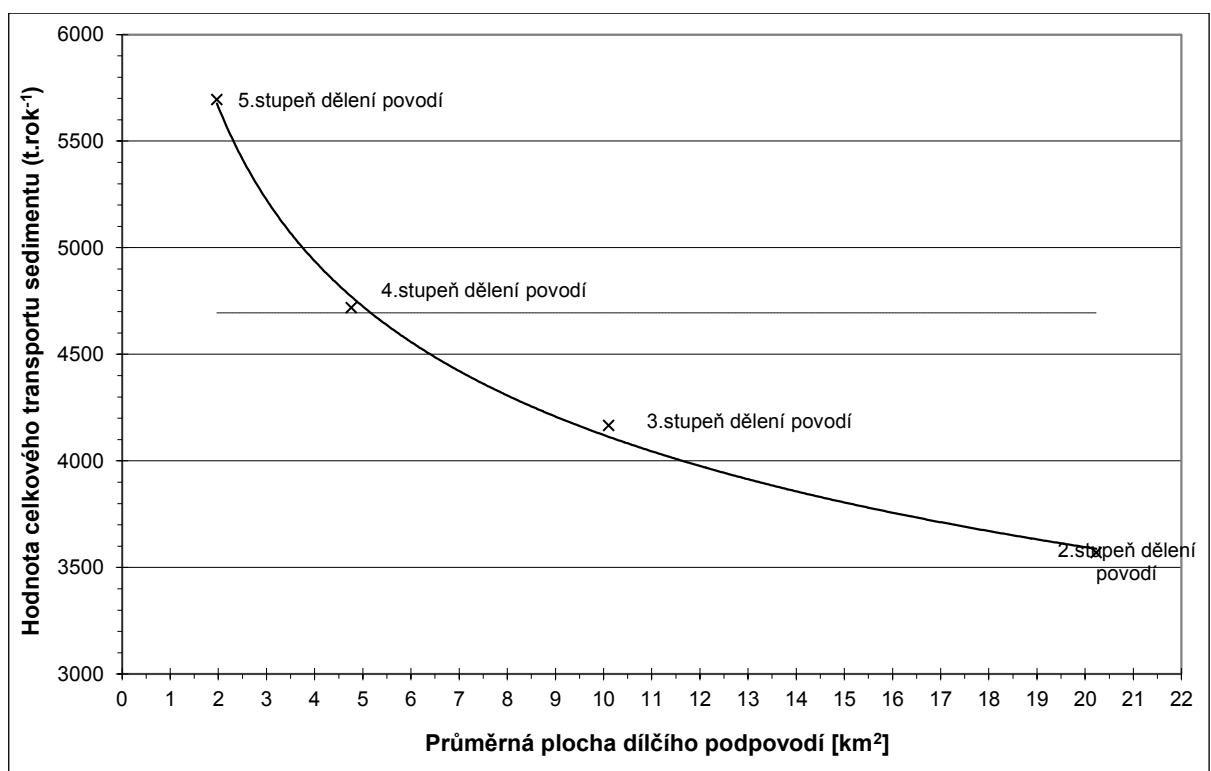
Ve vztahu dle Williamse je SDR závislý na velikosti povodí, jeho sklonitosti, propustnosti půd a retenci vegetačního krytu a je možno jej určit pomocí následujícího vzorce:

$$SDR = 1,366 \cdot 10^{-11} \cdot F^{-0,0998} \cdot RP^{0,3629} \cdot CN^{5,444} \quad \text{R. 2-4}$$

F	plocha povodí (km <sup>2</sup> )
RP	reliéfový poměr (m/km) – (poměr výškového rozdílu mezi nejnižší a průměrnou výškou rozvodnice a největší délky odtokové dráhy v povodí)
CN	číslo odtokové křivky (průměrná hodnota pro povodí)

Vztah byl odvozen v USA na přelomu 70. a 80. let. Jeho výhodou je relativní jednoduchost a dostupnost vstupních dat. Nevýhodou pak to, že do výpočtu není zahrnut vliv prostorového rozmístění retenčních prvků v povodí. Stejně hodnoty SDR tak dosáhnou povodí, která mají louky a les na rozvodnici a orná půda zasahuje až k vodoteči jako povodí, kde je orná půda na rozvodnici a podél vodoteče je široký pás trvalého travního porostu a lesa.

Williamsův vztah pro SDR samozřejmě není univerzální. Byl původně odvozen na souboru 15 povodí (Williams, 1977) a při využití v odlišných morfologických podmínkách má svou omezenou platnost. Navíc velikost celkového poměru odnosu z větších povodí je závislá i na počtu a velikosti dílčích povodí a jejich návaznosti. Obecně lze říci, že se zmenšováním plochy povodí dochází k nárůstu hodnoty SDR i celkového transportu sedimentu do toku (Krejza, 1999). To je dáno nárůstem reliéfového poměru se zmenšující se plochou povodí. Při výpočtu je třeba proto vhodně zvolit rozdělení výpočtu na jednotlivá dílčí povodí (Obr. 2-1)



**Obr. 2-1: Závislost celkového transportu sedimentu z povodí při použití SDR na průměrné ploše dílčího podpovodí, aplikace v povodí Sedlického potoka (Krejza, 1999)**

I přes řadu úspěšných testů a značnou rozšířenost v našich podmínkách nedokáže tato metoda přesně alokovat dílčí zdroje sedimentu v rámci povodí a správně ocenit konektivitu odtoku v případě netypických povodí. Zejména pokud je rozmístění zemědělské půdy a ostatních ploch uspořádáno vzhledem k říční síti výrazně asymetricky, např. vlivem následujících anomálií:

- retenční prvky, lesní plochy a ochranné pásy TTP jsou rozmístěny podél většiny toků a orná půda je od toku vždy oddělena výrazným retenčním prostorem – vede k nadhodnocení SDR.
- povodí obsahuje vysoký podíl neerozních ploch (lesů, TTP), ty jsou však rozmístěny podél rozvodnice povodí a orná půda je naopak rozmístěna v přímé návaznosti na síť vodních toků – vede k podhodnocení SDR.



- povodí je charakterizováno netypickou hustotou říční sítě (zvýšenou, nebo naopak potlačenou), případně je charakterizováno mimořádnou fragmentací vlivem cestní sítě.

Pro přesnější výpočty je proto vhodnější pracovat se záchytným účinkem každého krajinného prvku samostatně. Jedním z modelů, který podobné řešení umožňuje, je WATEM/SEDEM, představený v následujícím textu.

### 2.2.2 SIMULAČNÍ MODEL WATEM/SEDEM

WATEM/SEDEM je **distributivní model** erozních a transportních procesů vyvinutý jedním z předních evropských výzkumných týmů v oblasti erozní problematiky - KU Leuven v Belgii. Jedná se stále ještě o **model empirický**, který na rozdíl od fyzikálně založených modelů nemá přílišné nároky na vstupní data a lze tedy předpokládat jeho širokou využitelnost (Van Rompaey et al. 2000). Podrobný popis modelu a popis všech parametrů, vstupů i výstupů je uveden v autorově dizertační práci (Krása, 2004). Velká část této kapitoly je přímo převzata (případně zjednodušená) z uvedeného textu.

Popis se věnuje verzi programu **WATEM/SEDEM 2.1**. Model je nadstavbou GIS software IDRISI a využívá jeho formátu souborů.

Ztrátu půdy počítá model na bázi **RUSLE** (Renard et al., 1993) v rastrovém GIS (výše popisovanou metodikou), jeho výstupem jsou tedy průměrné roční hodnoty. Dále jsou stanoveny **odtokové dráhy** vycházející z každého elementu povodí. Ty jsou dány morfologií terénu (je využíván např. algoritmus Multiple flow – Desmet et al., 1996), přičemž jsou zohledňovány hranice pozemků, změny kultur a rozdílné odtokové poměry území, směr orby a cestní síť. Těmito odtokovými drahami je pak erodovaná půda distribuována dokud nedosáhne nejbližšího vodního toku. Její odpovídající část sedimentuje již v rámci povodí, což je zajištěno pomocí stanovení tzv. **transportní kapacity** jednotlivých elementů.

Celkové množství splavenin, které dosáhne vodního toku, je porovnáno s celkovým množstvím ztráty půdy v rámci povodí, čímž je stanovena hodnota **poměru odnosu SDR** pro dané povodí. Tím jsou také určeny hlavní produkované výstupy původního modelu:

- celková ztráta půdy v povodí,
- celkový transport splavenin do vodních toků,
- celková depozice splavenin v rámci povodí.

Díky svému distributivnímu charakteru výpočtu se zahrnutím prostorových nehomogenit území je model WATEM/SEDEM využitelný pro řadu úkolů, například následujících:

- výpočet ztráty půdy a opětovné sedimentace a jejich prostorové variability v rámci povodí – vlivem vodní eroze,
- simulování scénářů hospodaření v povodí a dopadu variant na odnos půdy a zanášení toků,
- odhad zanášení nádrží v povodí,
- odhad průměrného transportovaného množství splavenin uzávěrovým profilem povodí.

Model neuvažuje proudovou erozi ani sedimentaci ve vodních tocích.

**Transportní kapacita** jednotlivých elementů DMT je přímo závislá na náchylnosti k rýhové erozi (Van Rompaey, 2001):

$$T_C = K_{TC} \cdot E_{PR}$$

R. 2-5

$T_C$	transportní kapacita ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ )
$K_{TC}$	kalibrační koeficient transportní kapacity (m)
$E_{PR}$	potenciál náchylnosti k rýhové erozi ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ )

Náchylnost k rýhové erozi je pak dána konvergencí svahu, sklonitostí, půdní texturou a vegetačním krytem. Pro její určení jsou využity vrstvy K faktoru, C faktoru, DMT a pozemků. Kalibrační koeficient  $K_{TC}$  je stanovován odděleně pro erozně náchylné a odolné povrchy v závislosti na mezní hodnotě C faktoru.

Dalšími koeficienty modelu jsou:

**PTEF** (parcel trap efficiency): jedná se o poměr zachycení splavenin (odtoku) jednotlivými typy povrchu. Hodnota snižuje přispívání zdrojové plochy pozemků v závislosti na retenční kapacitě každého povrchu. Hodnotu je možno zadat číselně pro les, ornou půdu a TTP, nebo formou mapy.

**Parcel connectivity**: tato volba odpovídá poměru zachycení na hranicích pozemků. Jedná se zahrnutí vlivu hranic pozemků na modelování množství odtoku a splavenin. Hodnoty jsou opět zadávány v procentech, odlišně pro ornou půdu a les/TTP. Zadanou hodnotou je redukována celková zdrojová plocha daného elementu při vstupu na pozemek (překročení hranice pozemku).

Podrobně jsou vstupy a jejich určení popsány v (Krása, 2004), nicméně od doby napsání uvedené práce proběhla řada kalibrací v dalších povodích (Dostál et al., 2005; Dostál et al., 2008) a pro výpočet v rozlišení 5 – 20 m (nejlépe 10 m) jsou v současné době doporučena a testována následující rozmezí parametrů:

**Tab. 2-1: Vstupní parametry modelu WATEM/SEDEM – doporučené hodnoty pro ČR**

	orná půda rozmezí (doporučeno)	les rozmezí (doporučeno)	TTP rozmezí (doporučeno)
PTEF	0	60 – 100 (75)	50 – 100 (75)
Parcel connectivity	0 – 100 (40)	0 – 100 (75)	
$K_{TC}$	30 – 100 (35)	30 – 200 (55)	

Vstupními parametry jsou kromě několika kalibračních koeficientů jednotlivé **vrstvy GIS**.

Jedná se zejména o vrstvy shodné se vstupy pro výpočet podle USLE metodou GIS, pouze v následujících jednotkách:

- **R faktor** (zadává se jednou hodnotou pro celé povodí) -  $\text{MJ mm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ; odpovídá 1/1000 hodnot používaných pro ČR.
- **K faktor** (rastrová mapa) -  $\text{t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ; odpovídá stonásobku hodnot používaných běžně v ČR.
- **C faktor** (rastrová mapa) – hodnoty odpovídají hodnotám používaným v ČR.
- **DMT** (rastrová mapa) – vyhlazený a se zajištěním konektivity odtoku.

Dalším vstupem je **rastrová mapa využití území** se specifickými hodnotami kategorií:



-2	cestní síť a intravilán
-1	vodní toky
0	oblast mimo řešenou plochu (povodí)
1-n	zemědělské pozemky orné půdy s maximální možnou hodnotou 9999
10 000	les
20 000	louky a pastviny

Dále do výpočtu vstupuje **rastrová mapa vodních nádrží** s hodnotami odpovídajícími jejich poměru zachycení TE v procentech. Nádrž by vždy měla ležet zcela mimo tok, nebo pouze na jediném číslovaném úseku toku.

Základním vstupem je potom **rastrová mapa vodních toků**, kde každý úsek v odtokovém schématu je charakterizován pixely s unikátním identifikátorem pouze pro daný úsek. Toky mohou přesahovat řešené území (povodí) – a proto je možno zpracovat jednu celkovou topologickou tabulku a vrstvu pro území řešené modelem z kapacitních důvodů po částech. Číslování úseků musí souhlasit s topologickou tabulkou toků, a pokud chceme zajistit, aby v nádržích bylo zachyceno správné množství splavenin, je vhodné za každým profilem nádrže začít nový úsek toku. Proto je třeba přípravě vrstvy toků věnovat značnou pozornost. Zejména je třeba zkontrolovat, zda při převodu na rastr z původní databáze toků žádný nevypadl z důvodu nízkého rozlišení (jinak by nebyla zachována topologie). Příliš krátké úseky je proto třeba připojit k okolním. Samostatnou kapitolou je pak řešení obtokových nádrží a obtokových kanálů.

Posledním vstupem je **topologická tabulka** vodních toků (Tab. 2-2), obsahující nejméně následující sloupce:

- **Idrid:** V prvním řádku je uveden celkový počet úseků (n) odpovídající počtu řádku následující databáze. Dále jsou identifikátory úseků toku počínaje 1. Identifikátory musí počínat 1, musí být v rostoucím pořadí a žádný nesmí být vynechán (úseků musí být n a řádků též). Přitom v mapě nemusí být úseky všechny, databáze může být vytvořena pro větší (ale vždy úplnou) vodní síť, než je řešené území.
- **FNODE\_:** počáteční uzly jednotlivých úseků (tedy body kde splaveniny do úseků vstupují).
- **TNODE\_:** koncové uzly jednotlivých úseků (tedy body, kde splaveniny přechází do následujícího úseku).
- **LENGHT ARC\_:** délka jednotlivých úseků. Tato hodnota v současné verzi software nemusí odpovídat realitě, program s touto hodnotou dosud nepočítá.
- Případné další sloupce (nepovinné, nezahrnuté do výpočtu, obvykle součástí databáze příslušející vektorovému souboru tvarů (linií) při uložení ve vektorovém GIS, nebo při výpočtu topologie toků pomocí vektorových GIS) – mohou v tabulce při zadání do WATEM/SEDEM zůstat.

**Tab. 2-2: Příklad vstupního souboru \*.txt**

idrid	FNODE_	TNODE_	lenght_arc_	atd.
8				
1	1	2	100	....
2	3	2	100	....
3	4	3	100	....
4	8	4	100	....
5	9	8	100	....
6	5	3	100	....

Tabulka \*.txt může být sestavena manuálně – očíslováním uzlů všech úseků toku daného povodí a vypisáním seznamu všech uzlů. V případě rozsáhlejší databáze vodních toků lze tuto tabulku vytvořit automaticky ve většině vektorových GIS software, tzv. vytvořením topologie souboru tvarů.

Hlavní vypočtené výsledky jsou zobrazeny v dialogovém okně „Results“ (Obr. 2-2), které se objeví jako nová záložka v dialogích programu. Pokud před zavřením programu projekt uložíme, tato výsledková tabulka bude zachována a při dalším otevření se opět zobrazí. Výsledky zde zobrazené jsou uloženy v iniciačním souboru projektu, při novém výpočtu a uložení dojde k jejich přepsání. Je vhodné tedy každý výpočet ukládat jako nový projekt.

Total number of ponds : 5						
ID	STE	input (t)	output (t)	deposition (t)	on river ?	
1	40	233	140	93	TRUE	
2	70	67	20	47	FALSE	
3	70	63	19	44	FALSE	
4	70	66	20	46	FALSE	
5	30	1863	1304	559	TRUE	

**Obr. 2-2: Rozhraní modelu WATEM/ SEDEM 2.1.0; hlavní výstupy modelu**

Všechny prezentované hodnoty jsou celková množství v t.rok<sup>-1</sup>:

- Total sediment production: suma celkového množství ztráty půdy v zájmové oblasti (povodí);
- Total sediment deposition: suma celkového množství sedimentujícího v zájmové oblasti (povodí) před vstupem do vodních toků;
- Total sediment export: veškeré množství splavenin vstupující do vodních toků po odečtení depozice v nádržích. Spolu s hodnotou „Total pond deposition“ se jedná o tzv. „total sediment yield“, tedy celkové množství transportovaných splavenin po redukci ztráty půdy hodnotou SDR;
- Total river export: celkové množství splavenin transportované vodním tokem uzávěrovým profilem povodí (po zachycení v nádržích);
- Total pond deposition: celkové množství sedimentu zachycené ve všech nádržích povodí.

V dialogu vpravo od těchto hodnot je uvedena jednoduchá tabulka ukazující přehled jednotlivých nádrží, jejich poměru zachycení, vstupního množství splavenin, výstupního množství splavenin, zachyceného sedimentu a obsahující poznámku, zda nádrž leží na vodním toku, nebo mimo něj.

Program výsledky zapíše do několika textových souborů, ze kterých je možno získat informaci o jednotlivých nádržích, segmentech vodních toků a nalezených bezodtokých místech.

Jedná se o soubory:

- pitdata.txt – seznam a pozice nalezených bezodtokých míst
- pond sediment deposition.txt – množství sedimentu v nádržích
- ponddata.txt – seznam (číslování) a pozice nalezených nádrží
- projectriversediment.txt – seznam jednotlivých úseků toků a množství splavenin v nich.

Nejdůležitější jsou tabulky „**pond sediment deposition**“ a „**projectriversediment**“. Jejich struktura je uvedena v následujících tabulkách.

**Tab. 2-3: Struktura souboru Pond Sediment Deposition.txt**

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
ID	Pond PTEF	input ton	output ton	deposition ton	on river
26					
1	70	0	0	0	FALSE
2	70	1449	435	1015	TRUE
3	70	3968	1134	2834	TRUE
4	70	919	271	649	TRUE
5	70	1905	571	1334	TRUE
6	70	919	81	838	TRUE
.....	.....	.....	.....	.....	.....

- [1] Počet nalezených nádrží, identifikační čísla nádrží (odpovídají výstupnímu souboru pondnr.rst);
- [2] Poměr zachycení splavenin v nádrži (stanoven uživatelem v souboru „pond map“);
- [3] Celkové množství splavenin vstupující do nádrže (součet splavenin ze svahů a protékajícího segmentu);
- [4] Množství splavenin pokračující dále po toku;
- [5] Množství sedimentu zachycené v nádrži;
- [6] Umístění nádrže – FALSE = nádrž je mimo síť toků, TRUE = nádrž je na toku. Poznámka: číslo toku odpovídající dané nádrži je uvedeno v souboru ponddata.txt.

**Tab. 2-4: Struktura souboru projectriversediment.txt**

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
Riverid	NextRiverid	Hillslope sediment input	Sediment input upstreamriver	Sediment output river
1	-2	144	2116	2260
2	1	548	0	548
3	1	0	1568	1568
4	6	522	0	522
5	6	222	0	222
6	3	705	744	435
7	3	289	3679	1134
.....	.....	.....	.....	.....

- [1] Identifikační čísla úseků toku.
- [2] Úsek navazující po proudu (-2 = uzávěrový profil povodí).
- [3] Celkové množství splavenin vstupující do daného úseku ze svahů (plochy povodí).
- [4] Množství splavenin vstupující z předchozího úseku.
- [5] Množství splavenin pokračující dále po toku (případně po částečném zachycení v nádrži).

Výstupní generované soubory jsou ve formátu IDRISI32 rastr a svou velikostí a rozlišením odpovídají vstupním vrstvám. Jedná se o následující soubory (v případě, že jako výstupní jednotky jsou zvoleny tuny):

- Pit.rst – umístění nalezených bezodtokých míst
- Pondnr.rst – seznam nádrží s programem přiřazenými čísly
- Uparea.rst – velikosti zdrojových ploch jednotlivých elementů DMT
- LS.rst – hodnoty topografického faktoru vypočtené podle zvolených parametrů a rovnic
- Inflowton.rst – množství splavenin vstupující do jednotlivých elementů řešených ploch (t.rok<sup>-1</sup>)
- Outflowton.rst - množství splavenin vystupující (pokračující) z jednotlivých elementů řešených ploch (t.rok<sup>-1</sup>)
- Netto water erosion in ton per ha.rst – hodnoty ztráty půdy (záporné hodnoty) nebo depozice (kladné hodnoty) v jednotlivých elementech DMT (t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>).

Model je použitelný i pro odhad transportu znečišťujících látek, testováno bylo i jeho použití pro transport celkového erozního fosforu z povodí. Nová verze modelu umožňující řešit transport těžkých kovů a dalších látek je vyvíjena a kalibrována v současné době.

## 2.3 ZACHYCENÍ V NÁDRŽÍCH

Pro určení množství splavenin transportovaných až do uzávěrového profilu řešeného povodí (např. do nádrže kde je sediment zjišťován) je třeba ještě určit **poměr zachycení (trap efficiency – TE, %)** splavenin v dílčích povodích, resp. jejich průtočných nádržích, a sestavit schéma návaznosti dílčích povodí.

Úloha zadržení splavenin ve vodních nádržích je v simulačních modelech řešena různými způsoby individuálně, často jsou využity empirické přístupy sledující závislost poměru zachycení na průtokových charakteristikách a morfologii nádrže. Hlavními citovanými metodami v této souvislosti bývají (Brown, 1944), (Brune, 1953) a (Churchill, 1948), přičemž metoda Bruneho křivek je obvykle považována za nejvýhodnější (např. Halcrow, 2001; Šálek et al., 1989).

### 2.3.1 POMĚR ZACHYCENÍ PODLE BROWNA

**Brownova metoda** (Brown, 1944) je užitečná v případě, že nejsme schopni určit průměrný roční přítok do posuzované nádrže. Vyjadřuje totiž závislost poměru zachycení TE (%) na objemu nádrže C a na velikosti povodí F při zavedení kalibračního parametru K. Rovnice byla odvozena pro použití v jednotkách US (akry, stopy); do jednotek SI ji převedl ve své práci Krása (Krása, 2004). Výsledná rovnice má tvar:

$$TE = 100 \cdot \left(1 - \frac{10000}{10000 + K \cdot C / F}\right) \quad \text{R. 2-6}$$

TE	poměr zachycení (%)
C	zásobní objem nádrže (m <sup>3</sup> )
F	plocha povodí (km <sup>2</sup> )
K	kalibrační parametr (0,966 - 21.0), obvykle 2,10 pro jednotky SI

### 2.3.2 POMĚR ZACHYCENÍ PODLE BRUNEHO

Podle **Bruneho křivky** (Brune, 1953) je poměr zachycení splavenin v nádrži TE (%) závislý na poměru velikosti zásobního prostoru nádrže k ročnímu průměrnému průtoku vody nádrží (v podstatě teoretická doba zdržení). Uvedený poměr (Capacity/inflow ratio) je označován C/I. V tomto případě není třeba závislost při přechodu na metrickou soustavu modifikovat, neboť hodnota C/I je dána podílem stejných objemových jednotek a je vyjádřena v letech. Brune vyjádřil empirickou závislost graficky.

**Dendy** (Dendy, 1978) z amerického USDA-ARS doplnil Bruneho databázi o další nádrže a na základě rozšířeného souboru dat sestavil analytické vyjádření **střední Bruneho křivky**, které je uvedeno v rovnici.

$$TE = 100 \cdot 0,97^{0,19 \log(C/I)} \quad \text{R. 2-7}$$

TE	poměr zachycení (%)
C	zásobní objem nádrže (m <sup>3</sup> )
I	roční průměrný průtok nádrží (m <sup>3</sup> /rok)

Brune upozorňuje, že uvedená závislost platí pouze pro běžné nádrže, tedy ne nádrže částečně vypuštěné, nádrže s extrémním přísunem splavenin a podobně. Vypočteným (nebo odečteným z křivky) poměrem zachycení je pak redukováno množství splavenin vstupující do nádrže, stanovené předchozími kroky (ztráta půdy a SDR).

U menších nádrží a rybníků se v praxi často postupuje tak, že, pokud jsou nádrže rozmístěny v povodí přibližně rovnoměrně, je pro ně vypočteno procento zachycení sumárně za celé dílčí povodí. Takto je po provedení všech dílčích kroků výpočtu určena průměrná roční hodnota objemu splavenin, zachycených v uzávěrovém profilu povodí.

Obvykle je v zahraniční literatuře používána Bruneho závislost. Nicméně podle zkušeností z Velké Británie (Halcrow, 2001) je v případě velké nevyrovnanosti srážkových a odtokových poměrů v povodí, kdy je obtížné přesvědčivě stanovit průměrný roční přítok do nádrže, vhodnější Brownova metoda.

## 2.4 PŘEHLED METOD STANOVENÍ PARAMETRŮ USLE S ASISTENCÍ GIS

Celou problematiku použití Univerzální rovnice ztráty půdy (dále USLE) v prostředí rastrového GIS je možno rozdělit na dvě možné aplikace – přehledový výpočet pro rozsáhlé oblasti (tisíce km<sup>2</sup>) nebo výpočet jako součást posouzení území před návrhem PEO – tedy podrobné řešení jednoho katastru apod. Tomu je třeba do určité míry přizpůsobit i způsob stanovení jednotlivých parametrů. Uvedené problematice byla v uplynulých deseti letech věnována řada výzkumných

aktivit v rámci týmu Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT a jejich výsledkem je mnoho publikací věnujících se strukturovanému přístupu k hodnocení erozních a transportních procesů (Dostál et al., 2008; Dostál et al., 2009; Krása et al., 2005; Krása, 2004). Cílem této kapitoly není opakovat již publikované informace týkající se faktorů R, K, C a P. S maximální stručností lze prohlásit, že všechny uvedené faktory je možné stanovit podle podrobnosti:

- paušálně pro celé řešené území (případně celý region) – např. podle platné metodiky (Janeček et al., 2007)
- z dostupných mapových podkladů a digitálních databází
- na základě místního šetření, zjištění technologických a agrotechnických postupů, odběru a vyhodnocení vzorků atp.

Do kvality a přesnosti výsledku se pak promítne u všech uvedených faktorů (R, K, C, P) pouze podrobnost zdrojových informací, prakticky bez ohledu na další metodiku výpočtu (GIS nebo manuální zpracování dat, použitý software, rozlišení a prostorová podrobnost řešení apod.).

Zcela jiná situace nastává v případě topografického faktoru LS, který přitom zcela zásadním způsobem ovlivňuje nejen celkové hodnoty erozního smyvu, ale rovněž umístění případných technických protierozních opatření, pokud se rozhodneme pracovat s USLE jako pomocným nástrojem pro předběžný návrh ochranných opatření.

V GIS existuje řada přístupů a modelů, jež nám mohou pomoci nalézt významné dráhy plošného i soustředěného odtoku a to rovněž s pomocí stanovení topografických faktorů LS. Pokud chceme v příslušném měřítku využít těchto analýz, je třeba dbát všech jejich omezení, použít vhodná vstupní data a správně definovat všechny vstupní parametry. Přitom je nutné mít stále na paměti, že podrobnou konfiguraci terénu a skutečné preferenční dráhy eroze je třeba ověřit místním šetřením ještě před návrhem technických prvků.

Kromě dále popisovaných metod lze nalézt řadu dalších simulačních modelů, jež pracují na matematickém základu USLE a proto ve svém schématu využívají i výpočet LS faktoru. Jsou proto v některých případech použitelné – nicméně nejsou vhodné rutinní pro inženýrské nasazení bez doplňujících analýz. Základní dostatečně testované metody aplikovatelné v ČR tedy jsou:

---

#### 2.4.1 MANUÁLNÍ VÝPOČET NA ZÁKLADĚ AKUMULACE ODTOKU

Většina rastrově orientovaných GIS produktů umožňuje pro rastrovou vrstvu DMT automaticky určit plochu povodí v každém bodě (pixelu) rastru. Pro každý pixel je tak definována zdrojová plocha, z níž dochází k akumulaci odtoku do pixelu. V různých GIS jsou k tomuto účelu používány různé kombinace modulů, jež lze snadno najít v manuálech daných programů (ArcGIS používá Flow length a Flow accumulation; IDRISI používá Runoff, apod.).

Aby byl eliminován vliv rozlišení konkrétního řešení, je třeba plochy povodí převést na tzv. jednotkovou zdrojovou plochu. Jednotková zdrojová plocha může být definována jako plocha (od počátku povrchového odtoku), ze které je povrchový odtok do dané buňky směřován, vztažená na jednotku šířky buňky (velikost plochy na jeden metr běžný). Pro její určení je třeba dělit celou zdrojovou plochu tzv. účinnou délkou vrstevnice (effective contour length). Ta je

dána délkou vrstevnicové linie, kterou povrchový odtok překročí při průtoku jednou buňkou čtvercové sítě a závisí na šířce buňky (rozlišení rastru) a na směru odtoku.

Na základě této jednotkové zdrojové plochy a sklonu lze podle několika vztahů dle různých autorů určit L faktor, případně přímo LS faktor. Jsou to především následující vztahy.

L faktor dle Desmeta a Goverse (Desmet et al., 1996):

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j),in} + D^2)^{(m+1)} - A_{(i,j),in}^{(m+1)}}{x_{(i,j)}^m \cdot D^{(m+2)} \cdot (22,13)^m} \quad \text{R. 2-8}$$

$L_{(i,j)}$	faktor L pro daný pixel o souřadnicích i,j
D	rozlišení rastru (šířka buňky)
$A_{(i,j),in}$	celková zdrojová plocha na vstupu do buňky,
m	exponent pro výpočet L faktoru zohledňující sklon svahu

Exponent m (původně dle Wischmeier, 1978) je v rovnici určen dle nových vztahů:

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad \text{R. 2-9}$$

kde

$$\beta = \frac{\sin \theta}{0,0896 \cdot (3,0 \sin^{0,8} \theta + 0,56)} \quad \text{R. 2-10}$$

$\theta(i,j)$	sklon (%) pro daný pixel o souřadnicích i,j
---------------	---

Uvedená rovnice (R. 2-8) je rovněž využívána níže popisovaným programem USLE2D. K vyřešení rovnice, stejně jako níže uvedeného vztahu (4), lze využít prostředků mapové algebry rastrového GIS. Tak lze přímo určit lokální hodnotu LS faktoru v každém bodě rastru DMT. Podmínkou je znalost místního sklonu v procentech, který je výstupem jednoduché analýzy DMT většiny GIS.

LS faktor dle Mitášové (Mitášová et al, 1998):

$$LS_{(x,y)} = (m + 1) \cdot \left[ \frac{A_{(x,y)}}{22,13} \right]^m \cdot \left[ \frac{\sin b_{(x,y)}}{0,09} \right]^n \quad \text{R. 2-11}$$

$LS_{(x,y)}$	faktor LS pro daný pixel o souřadnicích x,y
A	jednotková zdrojová plocha na vstupu do buňky ( $m^2$ na bm),
m	kalibrační parametr (obvykle 0,6)
n	kalibrační parametr (obvykle 1,3)
b	sklon buňky (rad)

Klíčovým určujícím faktorem pro použití rovnic (R. 2-8) resp. (R. 2-11) je správné stanovení rastru zdrojových ploch. Běžně používané GIS aplikace – zejména v ČR nejčastěji používaný ArcGIS – však nabízí při výpočtu akumulace odtoku pouze variantu pracující s jednosměrným



odtokem – tedy ve směru největšího sklonu. To vede ke značné konvergenci odtoku a lokálnímu nadhodnocení smyvu.

Dalším základním problémem výše uvedených metod je správné zjištění dílčího povodí (jednotkové zdrojové plochy) v každém pixelu. V ČR je tato úloha často nesprávně řešena pouze na základě DMT bez zohlednění přerušení povrchového odtoku a smyvu na hranicích pozemků, např. při aplikaci v povodí Dědiny (Dumbrovský et al., 2007). Při správné aplikaci je třeba zohlednit krajinnou mozaiku a vrstvu akumulace odtoku tak počítat pouze na jednotlivých pozemcích, resp. na plochách kontinuálního nepřerušeno odtoku se zohledněním všech překážek a retenčních prvků. Toho je možné dosáhnout poměrně komplikovaným naprogramováním výpočtu přímo v prostředí GIS nebo s využitím dále uvedeného modelu USLE2D.

---

#### 2.4.2 MODEL USLE2D V PROSTŘEDÍ RASTROVÉHO GIS

Jako základní vhodný modelový prostředek pro určení LS faktoru při výpočtu v aplikaci USLE v prostředí rastrového GIS lze doporučit program USLE2D. Hodnota S faktoru je určována pro každý pixel na základě jeho lokálního sklonu (určeného z devíti okolních buněk) podle jedné ze čtyř nabízených rovnic. Mezi ně patří i rovnice Wischmeiera a Smithe dle původní metodiky (Wischmeier et al., 1978) a rovnice McCoola dle metodiky RUSLE (McCool, 1989). Každá z uvedených rovnic je vhodná pro jiné podmínky vzniku erozního procesu a jejich testování bylo provedeno v (Krása, 1999).

Základním přínosem programu je však výpočet jednotkové plochy povodí každého pixelu pomocí několika metod, zejména optimalizovaného postupu vícecestného směřování odtoku (multiple flow) na základě DMT a vrstvy pozemků. Do programu vstupují jako vstupní vrstvy nejen DMT, ale rovněž mapa pozemků. Uživatel má možnost si zvolit míru prostupnosti jejich hranic pro povrchový odtok a vrstva akumulace odtoku (zdrojových ploch) je tak počítána se zohledněním krajinné mozaiky.

Program zjištěné hodnoty jednotkové plochy povodí a sklonu v každém pixelu automaticky dosadí do rovnic (R. 2-8 až R. 2-10) a do uživatelem zvolené rovnice pro výpočet S faktoru. Jako vhodná nastavení pro podmínky ČR byly doporučeny následující parametry výpočtu (Krása, 2004):

- Flow direction (směřování odtoku) – varianta multiple flow (vícesměrný odtok)
- LS algorithm (rovnice pro S faktor) – McCool (1989) (rovnice RUSLE)

Jediným omezením programu pro použití v podmínkách ČR jsou formáty souborů, jež USLE2D používá (IDRISI rastr), nicméně nejčastěji používaný ArcGIS i ostatní GIS programy umožňují konverzi do příslušného formátu a proto není omezení vážné.

---

#### 2.4.3 MODUL EROZE V PROGRAMU ATLAS DMT

Program Atlas DMT je vyvíjen českou firmou Atlas, spol. s r.o. Hlavním účelem programu Atlas DMT je tvorba a upravování digitálních modelů terénu (DMT) a vytváření grafických výstupů nad nimi. Jeho použití je však širší. Důležitou součástí je vlastní vývojové prostředí, které umožňuje rychlý a efektivní vývoj nadstavbových aplikací nad digitálním modelem, či bez něj.



Lze jej považovat za aplikaci typu CAD, která poskytuje některé služby nedostupné v jiných grafických systémech. Atlas pracuje s DMT v podobě trojúhelníkových sítí, přičemž pracovat je možno s lineární (lomenou) sítí, případně je DMT generován jako hladká plocha - v rámci jednotlivých trojúhelníků je nadmořská výška ještě zpřesňována s pomocí vlastního algoritmu na základě Béziérových ploch.

USLE je v programu využívána v rámci modulu Eroze. Aplikace pracuje v grafickém prostředí Kres a ke své práci vyžaduje data z digitálního modelu terénu Atlas DMT. Hydrologické nástroje jsou založeny na metodě spádových křivek, nazývaných v této aplikaci kapky. Jedná se v podstatě o lomenou čáru ležící na terénu a mající směr kolmý k vrstevnicím této plochy. Kapka tedy vychází ze zadaného bodu a postupuje po spádnici, "stéká" směrem ze svahu.

Uživatel si na základě hydrologické analýzy území zadá spádovou křivku nebo polygon, na kterém se provádí další výpočet. Programová aplikace vykreslí trasu polygonu a vynese podélný profil, popř. pro kontrolu i příčný profil ve zvoleném území a místě. Hranice výpočtu a umístění příčného profilu je možné interaktivně měnit, přičemž program okamžitě aktualizuje všechny údaje. Na základě podélného profilu programová aplikace určí topografický faktor podle standardní metodiky Wischmeiera a Smithe (Janeček et al., 1992), dělíci profil na 10 úseků.

Příprava DMT a práce s programem jsou poměrně náročné na vstupní data i čas pro editaci údajů a zrychlení výpočtu oproti plně manuálnímu postupu je dáno především možným náhledem na směry odtoku a umístěním charakteristického profilu. Řešení rozsáhlých území automatizovaně proto není s pomocí Atlas DMT příliš vhodné a výsledek řešení stále podléhá subjektivní volbě uživatele při umísťování počátečního bodu kapky. Z hlediska určení prostorové variability (lokálního ohrožení zvýšenou plošnou nebo rýhovou erozí) program nepřináší žádná výrazná zpřesnění oproti manuálnímu postupu.

---

#### 2.4.4 MODEL RUSLE V PROSTŘEDÍ GIS IDRISI

Do modelu RUSLE v prostředí GIS IDRISI (ve verzi Andes nebo nověji Taiga) vstupují všechny dílčí faktory USLE již připravené v rastrové podobě, získané standardním postupem (Krása, 2004). Modelové schéma je založeno na principu určení morfologicky homogenních ploch na pozemcích a stanovení LS faktoru probíhá pro tyto plochy samostatně, jako by se jednalo o izolované pozemky. Pro určení skutečného smyvu z pozemků je třeba ještě využít modul SEDIMENTATION, který propojí jednotlivé plochy a zahrne je do komplexního odtokového schématu na pozemcích, nebo v rámci celého povodí.

Metodicky je přístup použitý uvedeným modelem značně odlišný od ostatních GIS asistovaných postupů k určení LS faktoru, neboť tyto obvykle počítají L faktor jako funkci plochy povodí v řešeném bodě a jsou tedy charakterizovány zcela distributivním přístupem a zohledněním konvergence odtoku. Zde je počítáno výhradně s plošným odtokem a s omezenou délkou odtokových drah a homogenizovaný DMT na dílčí plochy už není dále dělen. Přístup tedy není zcela, ale pouze částečně distributivní.

Homogenizace, rozdělení na dílčí plochy, probíhá na základě uživatelem nastavených limitů pro lokální změnu sklonu svahu, orientace svahu a délky odtokové dráhy. Rastrový DMT a vrstva pozemků definují řešené území a to je dále rozděleno na dílčí plochy podle uvedených pravidel – na základě souborů planární křivosti (míry změny orientace svahu) a profilové křivosti (míry

změny sklonu svahu). Každá homogenní plocha je poté charakterizována průměrnou délkou odtokové dráhy a průměrným sklonem. Z uvedených hodnot je LS faktor vypočten dle rovnic metodiky RUSLE (McCool, 1989).

Výsledek je značně závislý na detailnosti, rozlišení a kvalitě DMT, a proto jej nelze doporučit k univerzálnímu použití (Szomolaiová, 2007).

#### 2.4.5 POROVNÁNÍ METOD PRO URČENÍ LS FAKTORU NA PŘÍPADOVÝCH STUDIÍCH

Na případových studiích v řadě povodí byly porovnávány výstupy a hodnoty LS faktoru při použití všech výše zmiňovaných postupů. Při správném nastavení vstupních parametrů lze prokázat poměrně těsnou závislost mezi všemi uvedenými postupy s pouze mírnými odlišnostmi ve výsledných stanovených hodnotách průměrného LS faktoru na pozemcích. Použití programu Atlas DMT vykazuje prakticky shodné výsledky s manuálním postupem, jak prokázala analýza v povodí Kolečovického potoka (Šimek, 2009). Výsledky s použitím modulu RUSLE v GIS IDRISI vykazují značnou míru variability dle komplexnosti morfologie území. Zejména v plochých oblastech s nízkým sklonem jsou rozdíly oproti manuálnímu postupu i proti použití distribuovaného plošného přístupu (např. USLE2D) značně odlišné (Szomolaiová, 2007), se zvyšujícím se sklonem území se metoda přibližuje ostatním postupům.

Výrazné zpřesnění přináší využití 2D topologie území a nahrazení odtokové dráhy zdrojovou plochou. Testování v povodí Kolečovického potoka prokázalo, že z hlediska stanovení dlouhodobé průměrné ztráty půdy na pozemcích je metoda přesnější zejména v případě velkých pozemků s komplexní morfologií, kde je obtížné manuální stanovení charakteristického odtokového profilu (Křížová, 2008). Při správném použití obou metod se vypočtené hodnoty dlouhodobého průměrného smyvu oběma metodami liší jen minimálně.

Významné je porovnání obou metod pracujících s 2D topologií, rovnice dle Mitášové (R. 2-11) a programu USLE2D (R. 2-8). Porovnání v povodí Moštěnky (Holubová, 2009) potvrzuje porovnatelnost obou metod při respektování nutnosti zjistit přerušování odtoku a zahrnout do výpočtu akumulace pouze skutečné plochy pozemků. Pokud je ovšem akumulace odtoku počítána s využitím algoritmu maximálního sklonu (např. ArcGIS), jsou hodnoty LS faktoru v údolnicích výrazně nadhodnoceny a to může vést i přes malou plochu těchto koncentrovaných odtoků k celkovému nadhodnocení výsledného smyvu. Vhodnější je proto použití odtokového algoritmu Multiple Flow v programu USLE2D.

Všechny dosavadní studie rovněž ukazují velkou náročnost výpočtů na přesná a správně připravená vstupní data a riziko nedostatečné přesnosti dosavadních komerčních mapových podkladů pro konkrétní návrhy prvků PEO. Zde je třeba vyzdvihnout nutnost konkrétního posouzení a průzkumu na lokalitách, kde jsou prvky PEO navrhovány.

### 3 ZDROJOVÁ DATA PRO VÝPOČTY EROZNÍ OHROŽENOSTI V ČR

Příprava vrstev GIS se v dnešní době, zjednodušeně řečeno, může ubírat dvěma směry:

- nákup a konverze hotových komerčních mapových vrstev GIS
- vlastní tvorba potřebných vrstev na základě dostupných digitálních (případně analogových) dat

V případě modelování erozních procesů ve velkých povodích jsou manuální postupy přípravy dat zdánlivě vyloučeny čistě z kapacitních důvodů řešitelských pracovišť. Nicméně není tomu tak. Jednak všechny potřebné vrstvy nejsou z komerčních důvodů dostupné, zároveň se však stále setkáváme se stavem, kdy i v případě zajištění kompletních datových podkladů jsou v datech nalézány chyby. Jejich výčet je uveden např. v (Dostál, 2007). Pro časově proměnná data je případně navíc třeba provést aktualizace.

Do výpočtu erozního smyvu ve velkých povodích metodikou USLE vstupují v různých podobách a variantách zejména následující vrstvy (Krása, 2004):

- srážková data (faktor R erozního účinku srážek a povrchového odtoku)
- výškopis (rastrový digitální model terénu – DMT)
- mapa využití území (land-use) a mapa vegetačního krytu (Land Cover)
- půdní mapy a charakteristiky

Autor práce se zejména při přípravě celorepublikové mapy erozní ohroženosti a transportu splavenin (Krása et al., 2010a), ale i při řadě dalších výzkumných úkolů a rovněž ve spolupráci se studenty, zabýval testováním dostupných zdrojů dat v ČR a odvozením metod přípravy dat tak, aby vypočtené hodnoty erozního smyvu byly maximálně věrohodné při daných měřících použitích. Výsledky těchto analýz jsou prezentovány v následujících kapitolách.

Zde je třeba předeslat, že chybám v datech a zkreslením ve výsledcích jakýchkoli modelových výpočtů se v absolutní míře nelze vyhnout. Proto nelze z modelování eroze ve velkých povodích vyvozovat absolutní závěry a na základě takových výpočtů např. dimenzovat konkrétní technická protierozní opatření. Ukázka rizika takového postupu je uvedena v případové studii v kapitole (4.2).

Vlivem kvality dat na výslednou přesnost výpočtu erozního smyvu empirickými modely se zabývá též řada zahraničních prací (Nearing, 1998; Van Rompaey, 2001; Liu et al., 2009; aj.).

#### 3.1 EROZNÍ ÚČINNOST SRÁŽEK NA ÚZEMÍ ČR

Erozní účinek srážek lze vyjádřit mnoha způsoby, nicméně pro výpočet dlouhodobého průměrného smyvu je světovým územ využití kinetické energie srážky – obvykle ve formě R-faktoru používaného v metodě USLE. Tato veličina je využívána nejen v empirických modelech přímo pracujících s metodou USLE, ale i v řadě dalších. Epizodní modely pracují přímo s průběhem návrhové srážky, jejím stanovením se ale tato kapitola nebude dále zabývat.

Srážky jsou základním erozním činitelem a jejich forma a intenzita přímo rozhodují o míře i průběhu erozního procesu. Jejich měření, hodnocení a měření závislosti smyvu na srážce patří

k základním úlohám erodologie (Janeček et al., 2008). Od počátku rozvoje této disciplíny bylo vědeckým týmům zřejmé, že klima je rozhodujícím faktorem – vodní eroze v různých klimatických regionech světa probíhá s naprosto odlišnou intenzitou a v různém rozsahu. Rovněž v České republice (resp. v tehdejší Československu) se od samých počátků experimentální praxe týmy erodologů zabývaly hodnocením vlivu srážek na erozní proces.

Hodnocením erozní účinnosti dešťů v ČR se dále zabývali Pretl (Holý et al., 1975) a Toman (Toman et al., 1993; Toman, 1995). V posledních 15 letech pak ještě Kubátová s Janečkem (Kubátová et al., 2009) a Bek (Bek et al., 2010a). Porovnáním R faktoru na území České republiky s dlouhodobě užívanými hodnotami na území Rakouska, Německa, Polska, Slovenska, Maďarska, Ukrajiny a Nizozemí a Belgie se zabývala Jakubíková (Dostál et al., 2007).

Na Katedře hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT byl obnoven výzkum erozního účinku srážek v roce 2001, kdy se v rámci evropské spolupráce ukázalo, že výzkum v okolních státech dospěl k výrazně vyšším hodnotám R faktoru, než byla u nás běžně doporučovaná hodnota 20 (N.h<sup>-1</sup>). V dalších letech byla zajišťována nová dostupná data umožňující R faktor opětovně stanovit (Dostál et al., 2006). Tento výzkum nekončí. Jeho dosavadní výsledky jsou shrnuty v následujících kapitolách.

### 3.1.1 METODIKA STANOVENÍ R FAKTORU PODLE WISCHMEIERA A SMITHE

Podle provedených měření na jednotkových pozemcích (Wischmeier et al., 1978) je erozní účinnost deště určena zejména jeho kinetickou energií a intenzitou. Empirický vztah předpokládá, že jsou-li ostatní faktory konstantní, ztráta půdy je přímo úměrná celkové kinetické energii deště ( $E$ ) násobené jeho maximální třicetiminutovou intenzitou ( $I_{30}$ ).

Výsledný faktor erozní účinnosti jednoho deště  $R$  je definován vztahem (R. 3-1):

$$R = E \times I_{30} \quad \text{R. 3-1}$$

R	je faktor erozní účinnosti deště (N.h <sup>-1</sup> )
E	celková kinetická energie deště (J.m <sup>-2</sup> )
$I_{30}$	maximální třicetiminutová intenzita tohoto deště

Celková kinetická energie se pak určuje ze vztahu:

$$E = (206 + 87 \log I_s) \times H_s \quad \text{R. 3-2}$$

$I_s$	je intenzita deště (cm.h <sup>-1</sup> )
$H_s$	úhrn přívalového deště (cm)

**Celková roční hodnota faktoru R** (určuje se z dlouhodobých záznamů o srážkách) je určena jako součet erozní účinnosti jednotlivých přívalových srážek s úhrnem větším než 12,5 mm (s maximální intenzitou přesahující 24 mm.h<sup>-1</sup> a časově vzdálených alespoň 6 hodin), vypočtených podle vztahu (R. 3-1).

**Dlouhodobá průměrná hodnota R faktoru** je poté určena jako průměr ročních hodnot (ročních součtů) za celé hodnocené časové období.

Jak již bylo výše řečeno, USLE (a tedy veškeré její parametry) byla původně odvozena a validována pro manuální výpočet a charakteristické profily pozemků. Dnes je v mnoha zemích využívána zejména pro výpočty v měřítku celých povodí a to pomocí výpočetní techniky ve spojení s GIS. Toto její využití v prostorově orientovaných databázích bylo podmíněno dlouhým vývojem, novými kalibracemi jednotlivých parametrů a modifikacemi původních vztahů.

V Česku je běžně užívána kombinovaná jednotka R faktoru vyplývající z výše uvedené Wischmeierovy rovnice ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Po převedení do soustavy SI tato odpovídá kombinaci základních jednotek ( $\text{N}\cdot\text{h}^{-1}$ ). V dalším textu bude používána výhradně základní zjednodušená podoba jednotky v SI.

### 3.1.2 VÝSLEDKY STANOVENÍ EROZNÍHO ÚČINKU SRÁŽEK V ČR PŘED ROKEM 2000

Hodnocením erozní účinnosti dešťů v ČR se od začátku šedesátých let minulého století zabýval výzkumný tým Katedry hydromeliorací ČVUT v Praze, výsledky výzkumu shrnul Pretl (Holý et al., 1975). V Brně se obdobným výzkumem později začal zabývat na VUT Toman (Toman et al., 1993; Toman, 1995) a v Praze tým Výzkumného ústavu meliorací (dnes VÚMOP, v.v.i.) pod vedením Janečka (Janeček et al., 1992).

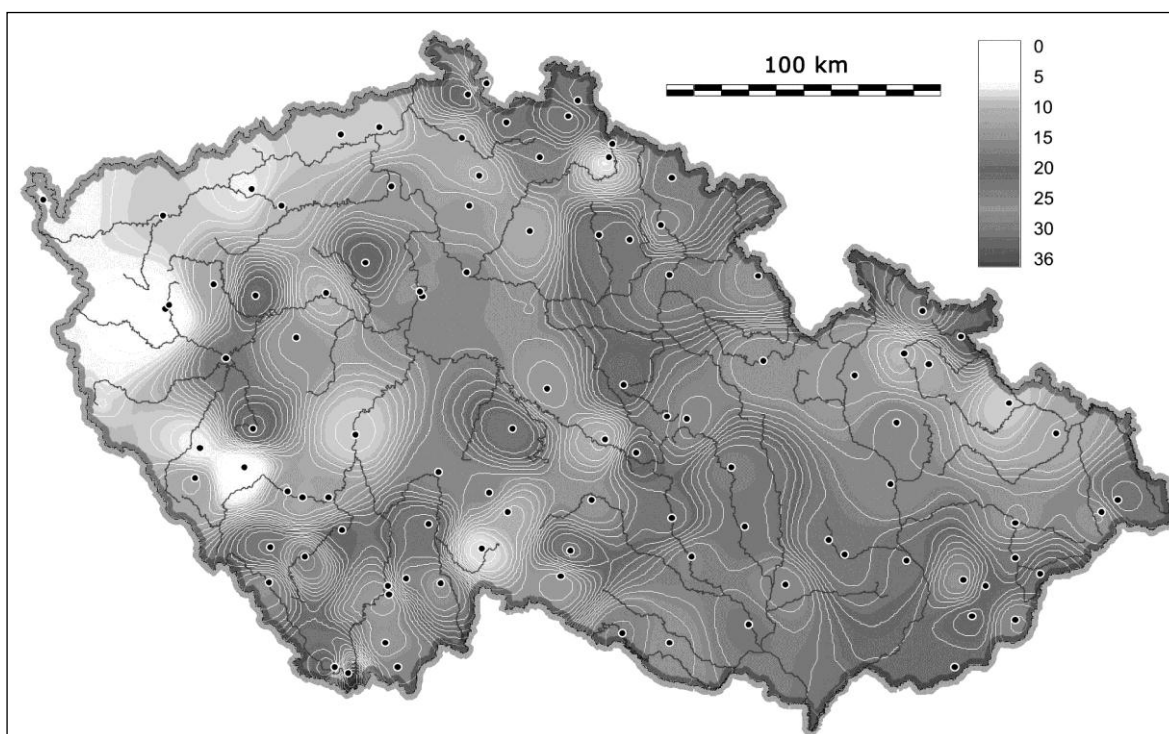
Pretl (Holý et al., 1975) na základě vyhodnocených dat dlouhodobého sledování srážek na měrném objektu ve Velkých Žernosekách a v dalších osmi stanicích v severních a severovýchodních Čechách odvodil hodnoty R faktoru podle původní metodiky Wischmeiera (Wischmeier, 1965). Dospěl k rozmezí ročního R faktoru mezi 30 a 72 ( $\text{N}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Na základě vlastních vyhodnocení a korelace mezi uvedenými výpočty a celkovými ročními srážkovými úhrny s přihlédnutím k morfologii pak sestavil mapu izolinií R faktoru pro celé území České republiky, v níž se roční hodnoty pohybují v rozmezí 30 až 100 ( $\text{N}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

Měření srážek a výpočty jejich erozního účinku pokračovaly v následujících letech nejen ve Velkých Žernosekách, ale i v dalších stanicích. Přesto během osmdesátých a devadesátých let došlo k ustálení zjednodušené praxe, která vliv erozního činitele při hodnocení eroze minimalizovala. Na základě experimentálních dat ze stanic Praha - Klementinum, Tábor a Bílá Třemešná byla ve VÚMOP stanovena hodnota průměrné erozní účinnosti srážek 20 ( $\text{N}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Tato hodnota však byla odvozena upravenou metodikou, v níž byly úhrny dešťů použité k výpočtu sníženy o 12,5 mm jako o základ srážky před vyvoláním povrchového odtoku (Janeček et al., 2007). Tak byla získána podhodnocená hodnota, jež se však v ČR vžila a po dobu téměř třiceti let byla používána jako průměr na území ČR, byla doporučována Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy a do praxe se dostala zejména formou schválených metodik vydávaných za účelem ochrany zemědělské půdy před erozí (Janeček et al., 1992, 2002, 2007). V metodikách byly prezentovány rovněž hodnoty přípustné ztráty půdy (pro mělké, středně hluboké a hluboké půdy) a kombinace USLE, průměrné roční hodnoty  $R = 20$  ( $\text{N}\cdot\text{h}^{-1}$ ), a hodnot přípustných doporučených ztrát půdy se stala nejobvyklejší praxí při návrhu protierozních opatření v ČR, ať již v rámci pozemkových úprav nebo při jiných projektech. V případě návrhu protierozní ochrany na základě takto stanovených mezí přípustného smyvu je proto třeba zvážit použití skutečných hodnot R faktoru, neboť při jejich využití se snadno dostáváme k mimořádně přísným návrhovým parametrům. Sníženou hodnotu  $R = 20$  ( $\text{N}\cdot\text{h}^{-1}$ ) je tak možno považovat v současné době za jakousi návrhovou hodnotu při projektování PEO.



Toman v devadesátých letech publikoval výsledky výpočtu erozní ohroženosti na základě vyhodnocených ombrogramů ze stanice Telč (Toman, 1995) a pro řadu stanic na Jižní Moravě (Toman et al., 1993). Výsledné hodnoty se pohybují v rozmezí 17,6 až 25,7 ( $N \cdot h^{-1}$ ). Vycházel však z experimentálně ověřeného předpokladu, že erozní účinek srážek je podmíněn minimálním úhrnem srážky 10 mm. Tento předpoklad odpovídá empiricky ověřeným hodnotám i na jiných lokalitách, nicméně vybrané erozně účinné srážky je třeba do výpočtu zahrnout celým jejich úhrnem.

Metodika (Janeček et al., 1992) uvádí zpracování hodnot R faktoru pro řadu stanic z celého území ČR. Tyto hodnoty byly zpracovány geodetickými metodami a byla tak vytvořena mapa izolinií. Nevýhodou tohoto materiálu je, že vyhodnocované časové řady, z nichž byly určeny hodnoty R faktoru na jednotlivých meteorologických stanicích, nebyly stejně dlouhé - mají proto různou vypovídací schopnost a hodnoty pro jednotlivé stanice jsou jen omezeně srovnatelné. Hodnoty ze všech tří uvedených zdrojů se pohybují v mírném rozmezí kolem průměrné stanovené hodnoty 20 ( $N \cdot h^{-1}$ ). Jedná se opět o redukované hodnoty vypočtené na základě snížených úhrnů. Naznačují však trend prostorového rozložení přívalových srážek v ČR.



**Obr. 3-1: Mapa izolinií R faktoru dle původní doporučené metodiky (Janeček et al., 1992)**

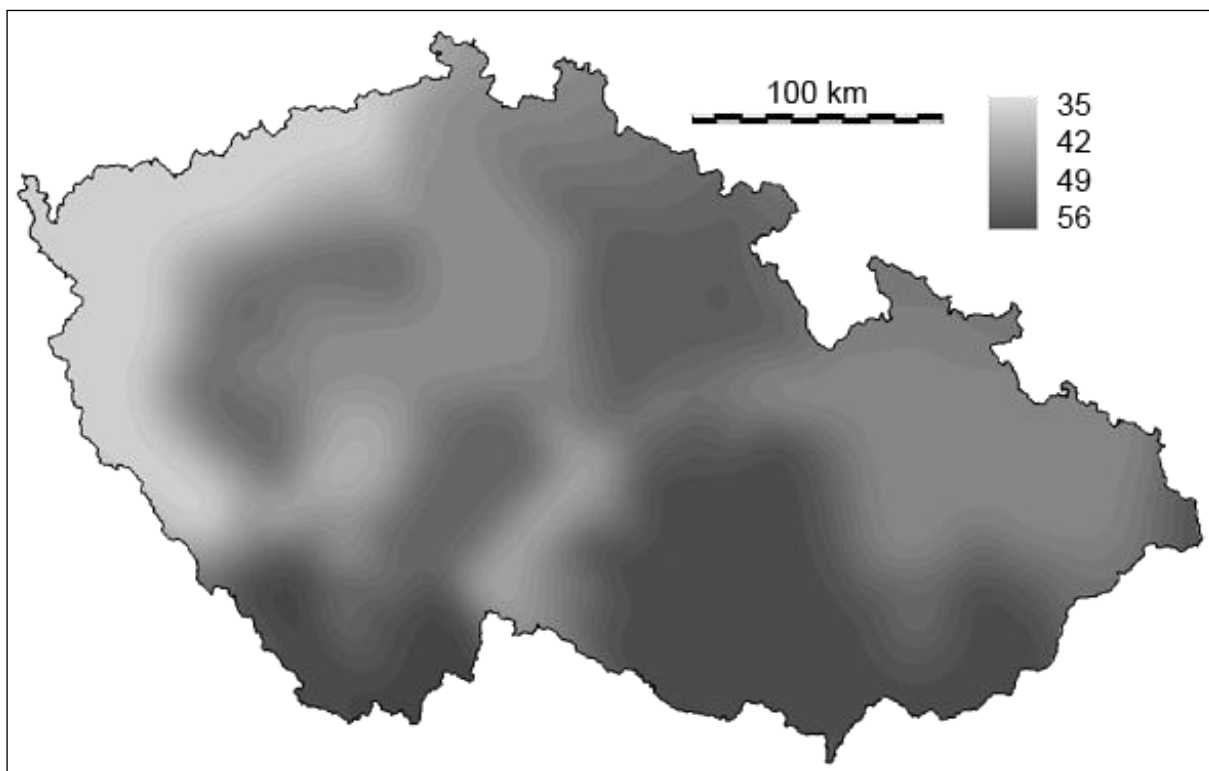
### 3.1.3 REVIZE R FAKTORU PRO ČR NA ZÁKLADĚ ČTYŘ STANIC

V rámci nově probíhajícího výzkumu erozní ohroženosti srážek na Katedře hydromeliací a krajinného inženýrství FSV ČVUT se v roce 2003 podařilo získat vyhodnocené kompletní (cca padesátileté) řady ombrografických záznamů ze čtyř stanic na území ČR, a tak mohla být provedena revize R faktoru pro ČR. Hodnoty R faktoru byly pro uvedené stanice vypočteny (Tab. 3-1) podle původní metodiky (Wischmeier et al., 1978).

Aby mohl být R faktor alespoň nějak regionalizován, byly hodnoty z uvedených čtyř stanic prostorově korelovány vůči původní mapě izolinií R (Obr. 3-1) pro stanice uvedené v metodice – nejprve ovšem zjednodušené tak, aby byly vyloučeny značné rozdíly v hodnotách blízkých oblastí. Výsledkem byla mapa vytvořená v roce 2003 (Obr. 3-2), použitelná v centrálních oblastech ČR, ovšem zcela nerespektující morfologické a s nimi související klimatické rozdíly v horských pásmech příhraničních oblastí, kde však malé plochy orné půdy nevedou k tak časté eskalaci erozních jevů na zemědělsky využívaných půdách (Krása, 2004).

**Tab. 3-1: Vypočtené hodnoty R faktoru na základě ombrogramových záznamů**

Cheb:	$R = 34,07 \text{ N.h}^{-1}$
Karlov (Praha):	$R = 45,55 \text{ N.h}^{-1}$
Vír:	$R = 56,41 \text{ N.h}^{-1}$
Olomouc:	$R = 53,82 \text{ N.h}^{-1}$



**Obr. 3-2: Výsledná mapa první regionalizace R faktoru pro ČR**

Pro celkovou revizi hodnot faktoru R by bylo ideální získat datové řady třicetiminutových intenzit erozně účinných srážek z většího množství stanic ČR. To se do roku 2003 nepodařilo; další revize byly proto provedeny nejen na základě skutečných průběhů srážek, ale i pro data o dlouhodobých srážkových úhrnech. V evropském kontextu bylo provedeno několik pokusů propojit hodnoty faktoru R s obecnými charakteristikami srážek (celkovými úhrny za určitá období), které jsou obvykle k dispozici v mnohaletých datových řadách.



## 3.1.4 MAPA R FAKTORU NA ZÁKLADĚ SRÁŽEK Z OBDOBÍ 1962 - 2001

## 3.1.4.1 METODY ODVOZENÍ R FAKTORU Z DLOUHODOBÝCH ÚHRNŮ SRÁŽEK

Z postupů popisovaných v literatuře mohou být v ČR v případě úspěšné verifikace uplatnitelné následující dva způsoby.

**Prvním** je postup odvozený pro sousední Bavorsko a využitý též pro výpočet přehledové mapy erozní ohroženosti střední a severní Evropy podle USLE (Van der Knijff et al., 2000), jíž je pokryto i území ČR. Vztah je dán následující regresní rovnicí:

$$R = 10 \cdot (-1,48 + 1,48 \cdot N_s) \quad \text{R. 3-3}$$

R faktor erozní účinnosti deště v jednotkách SI ( $N \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ )

$N_s$  Průměrný srážkový úhrn za letní období (květen až říjen) (mm)

Poznámka: POZOR, výsledek v jednotkách SI (mm) vychází ve stovkách, tedy 10x větší vzhledem k hodnotám běžně používaným v ČR (cm).

Druhý postup je odvozen na univerzitě v belgickém Ghentu, několikrát publikován v minulých letech a definitivně představen jako metodika pro státy západní Evropy na sympoziu „25 let hodnocení eroze“ v září 2003 (Gabriels et al., 2003). Postup využívá tzv. **Modifikovaný Fournierův index** (MFI). Původní Fournierův index (FI) byl odvozen v 60. letech pro odhad zanášení vodních toků. Pro použití v USLE byl upraven jako MFI v roce 1980 (Arnoldus, 1980) do vztahu:

$$MFI = \frac{\sum p^2}{P} \quad \text{R. 3-4}$$

MFI modifikovaný Fournierův index

p měsíční srážkový úhrn (mm)

P roční srážkový úhrn (mm)

MFI určuje erozní účinnost deště, k porovnání účinnosti v jednotlivých státech Evropy byl využit i v projektu CORINE, nicméně hodnoty MFI neodpovídají hodnotám faktoru R a v případě využití dlouhodobých průměrů MFI je jejich hodnota závislá na přístupu řešitele, jiný výsledek dává celkový průměr MFI spočtený z hodnot MFI v jednotlivých letech a jiný výsledek, pokud za všechny roky určíme jednu hodnotu MFI z měsíčních úhrnů podle původního vzorce.

V evropském projektu CORINE (CORINE, 1992) byla erozní účinnost srážek posuzována indexy podle MFI rozděleného do 5 tříd (Tab. 3-2):

**Tab. 3-2: Klasifikace MFI podle projektu CORINE**

Rozsah MFI	erozní účinek	Třída
< 60	velmi nízký	1
60 - 90	nízký	2
90 - 120	střední	3
120 - 160	vysoký	4
> 160	velmi vysoký	5

Dále pro stanovení nerovnoměrnosti srážek během roku a jejího vlivu na erozní procesy je toutéž metodikou dále využíván **index rozdělení srážek** (PCI) v podobě (Gabriels et al., 2003):

$$PCI = 100 \frac{\sum P^2}{P^2} \quad \text{R. 3-5}$$

PCI	index rozdělení srážek
p	měsíční srážkový úhrn
P	roční srážkový úhrn

PCI určuje rovnoměrnost rozdělení srážek během roku. Pokud je srážkový úhrn v každém měsíci roku stejný, PCI = 8,3. Pokud je celkový roční úhrn způsoben srážkami v jediném měsíci, PCI = 100. Hodnota průměrného PCI pro řadu let se liší i podle toho, zda nejprve spočítáme hodnoty PCI v jednotlivých letech (a poté průměr za celé období), nebo zda nejprve tvoříme průměrné měsíční srážkové úhrny a z nich teprve výslednou hodnotu PCI (jakási hodnota PCI „průměrného roku“).

V navržené metodice (Tab. 3-3) je klasifikace PCI provedena podle (Olivier, 1980), přičemž velké koncentrace srážek způsobené nerovnoměrným rozdělením předpokládají větší erozní účinnost:

**Tab. 3-3: Klasifikace PCI**

Rozsah PCI	popis rozdělení
8,3 – 10	rovnoměrné
10 – 15	středně sezónní
15 – 20	sezónní
20 – 50	výrazně sezónní
50 – 100	ojedinělé srážky

Metodika MFI slouží v současné době k porovnání erozních účinností srážek v jednotlivých evropských zemích. Nestanovuje pro řešená území přesné hodnoty R faktoru (USLE) vztahené k hodnotám podle původní metodiky Wischmeiera a Smithe. Pouze na jejím základě tedy nyní nelze stanovit přesné hodnoty R faktoru na našem území, nicméně při známých hodnotách R faktoru používaných v okolních zemích může napomoci stanovení úrovně erozní účinnosti srážek v ČR v evropském kontextu. A při znalosti většího množství stanic se skutečnými hodnotami R faktoru lze metodu využít k tvorbě mapy erozních účinností.

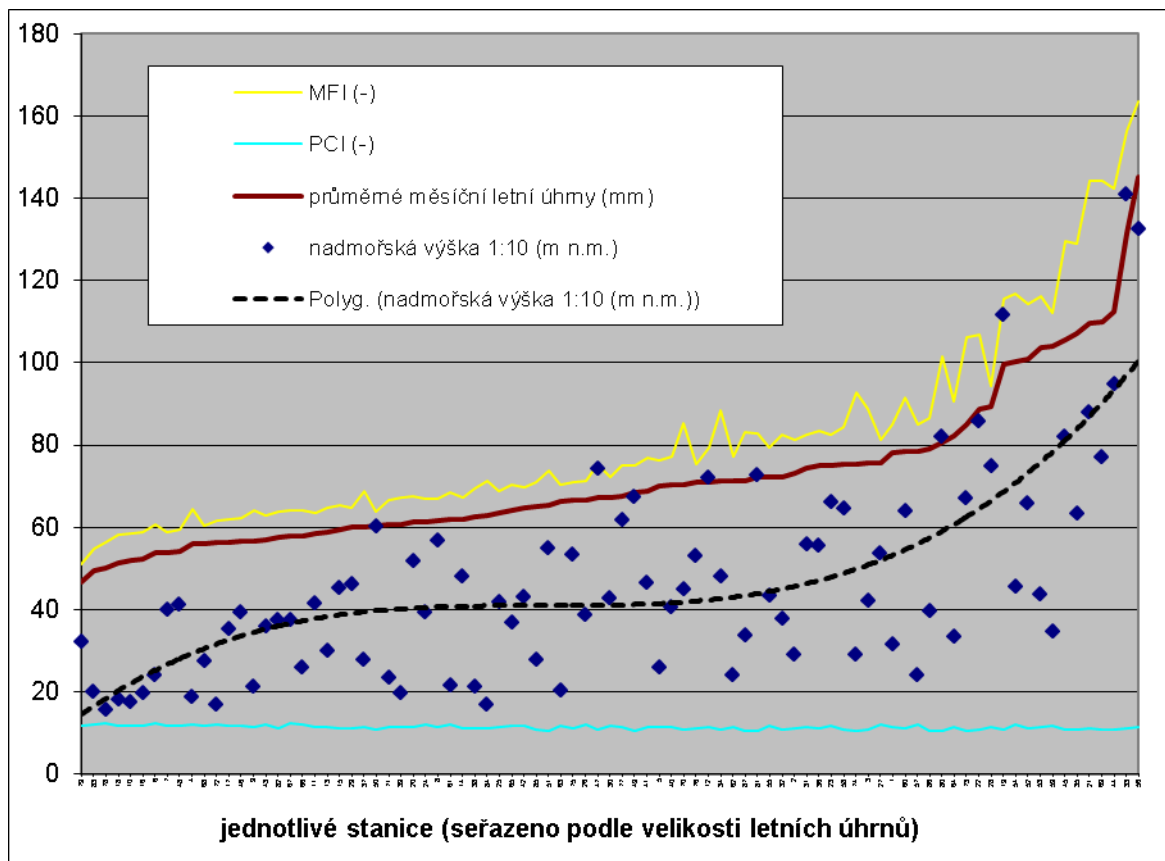
#### 3.1.4.2 ODVOZENÍ MAPY R FAKTORU Z DLOUHODOBÝCH ÚHRNŮ

Postup odvození mapy ČR byl následující:

Ve spolupráci s ČHMÚ byly vypočteny hodnoty Modifikovaného Fournierova indexu MFI, indexu PCI, R faktoru podle (R. 3-3) a průměrných měsíčních úhrnů v období květen – říjen pro 87 stanic v ČR (Tab. 3-4). U všech stanic byly hodnoty získány na základě kompletních 40-letých řad srážek z let 1962 - 2001. Poloha stanic byla z formátu UTM (Latitude, Longitude) převedena do systému S-JTSK. Hodnoty uvedených veličin byly přiřazeny jednotlivým stanicím jako bodovým vektorovým vrstvám GIS v referenčním systému S-JTSK.

Získané hodnoty nejprve byly porovnávány s hodnotami vypočtenými podle původní metodiky pro stanice Cheb, Praha, Vír a Olomouc i s hodnotami dostupnými v literatuře pro okolní státy. Je

zřejmé, že hodnoty žádného z uvedených indexů není možno přímo převzít a je třeba je normalizovat vzhledem ke skutečným hodnotám R faktoru podle původní metodiky. Jako nejvhodnější podklad pro normalizaci (Obr. 3-3) byly nakonec vybrány přímo celkové průměrné srážkové úhrny za letní období (květen-říjen).



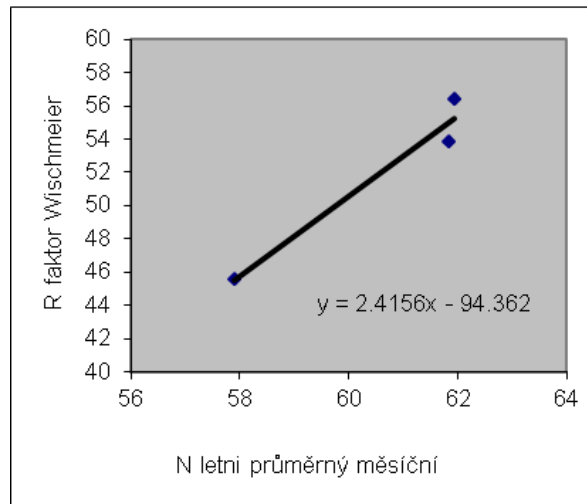
**Obr. 3-3: Vzájemná korelace indexu MFI, letních úhrnů a nadmořské výšky jednotlivých stanic**

Stanice Cheb bohužel není mezi 87 stanicemi s dostupnými úhrny z let 1962 - 2001 zastoupena, a proto nemohla být k normalizaci využita. Nejbližší dostupná stanice Luby u Chebu leží v jiné nadmořské výšce a není se stanicí Cheb přímo porovnatelná. K hodnotě  $R = 35$  ( $N.h^{-1}$ ), vypočtené pro stanici Cheb podle původní metodiky Wischmeiera, bylo nicméně přihlédnuto při odhadu minimálních hodnot R faktoru na připravované mapě.

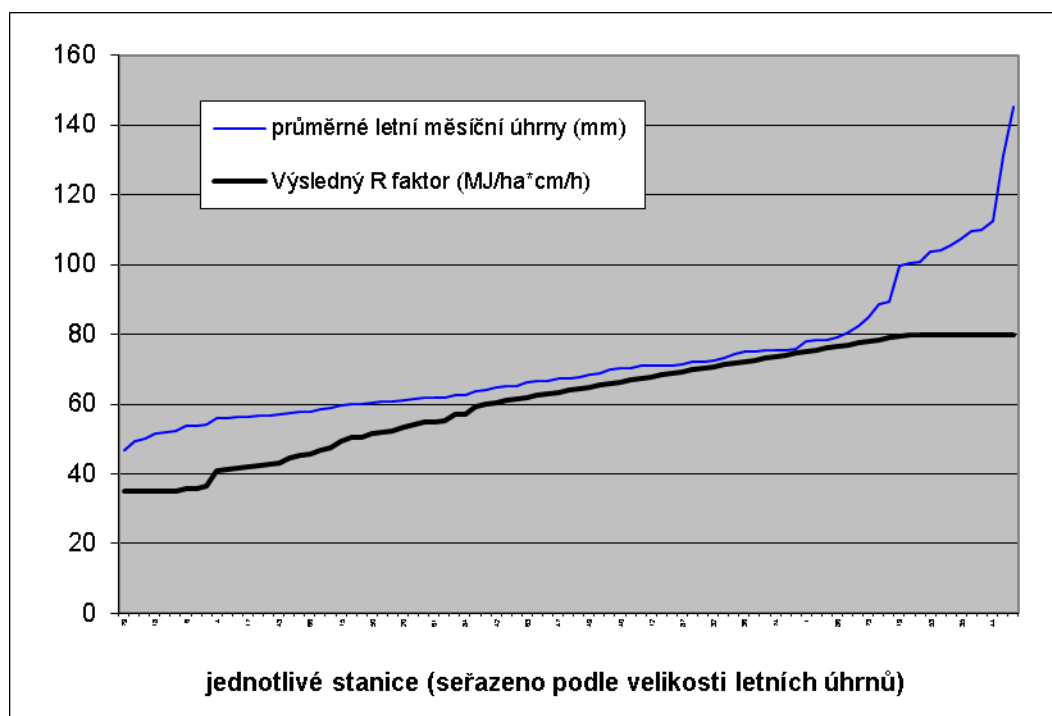
Normalizace byla tedy provedena lineární interpolací mezi známými hodnotami stanic Praha, Vír a Olomouc, a meze normalizovaných hodnot byly stanoveny na 35 a 60 ( $N.h^{-1}$ ). V tomto rozmezí (nepříliš přesahujícím hodnoty R stanovené původní metodikou na uvedených 4 stanicích) byl dodržen lineární vztah uvedený v grafu (Obr. 3-4). Pro ostatní extrapolované hodnoty byla stanovena horní hranice  $R = 80$  ( $N.h^{-1}$ ), odpovídající průměrným měsíčním letním úhrnům přesahujícím 100 mm a mezi  $R = 60$  ( $N.h^{-1}$ ) a  $R = 80$  ( $N.h^{-1}$ ) byly hodnoty opět interpolovány lineárně.

Stanicím přesahujícím po přepočtu uvedené rozmezí (35 - 80) byly přiřazeny limitní hodnoty. V případě stanic s výslednými hodnotami  $R = 80$  ( $N.h^{-1}$ ) se jednalo víceméně pouze o horské oblasti s vysokým srážkovým úhrnem, nicméně vzhledem k stabilnímu vegetačnímu pokryvu (TTP, lesy) obvykle málo erozně ohroženým (lokálními výjimkami jsou samozřejmě sjezdovky

a plochy obdobného charakteru). Pokud by byla provedena pouhá normalizace docházelo by u stanic s extrémními hodnotami úhrnů k předpokladu ročních hodnot R faktoru přesahujících 100 ( $\text{N.h}^{-1}$ ), což je v principu v horských oblastech snadno možné, ovšem při započítání tání sněhu, jež není postiženo v žádných jiných oblastech původní metodikou. Omezením hodnotami 35 - 80 ( $\text{N.h}^{-1}$ ) není zřejmě přesně vystižena skutečnost v některých oblastech, ale vyhýbáme se tak nekontrolovatelné chybě v odhadu extrémních hodnot.

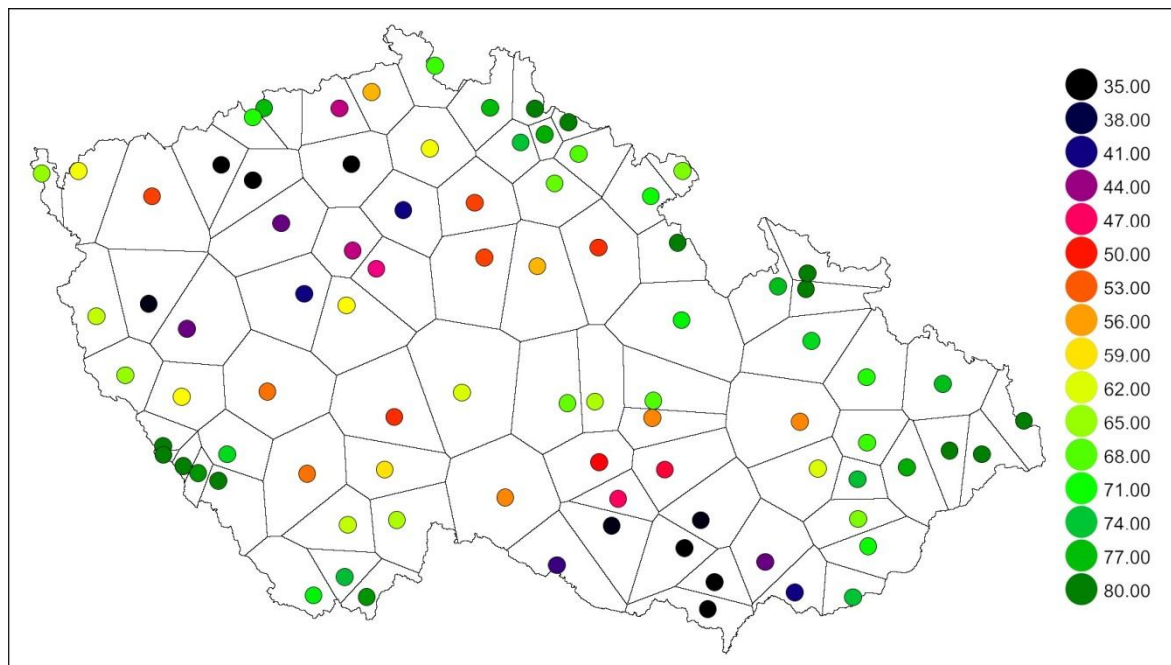


Obr. 3-4: Normalizace R faktoru



Obr. 3-5: Výsledné rozmezí hodnot R faktoru stanoveného na základě průměrných letních měsíčních úhrnů (květen - říjen)

Výsledek normalizace (při seřazení stanic podle velikosti R faktoru) ukazuje graf (Obr. 3-5). Lze přitom říci, že hodnoty přesahující 70 ( $N \cdot h^{-1}$ ) již jsou dosahovány výhradně v horských a podhorských oblastech a zjednodušené lineární reprezentování hodnot v rozmezí 60 - 80 ( $N \cdot h^{-1}$ ) tedy zdaleka nepostihuje většinu území ČR, zejména pak ta území, která jsou erozně ohrožená svým typem hospodaření a množstvím zemědělské půdy.

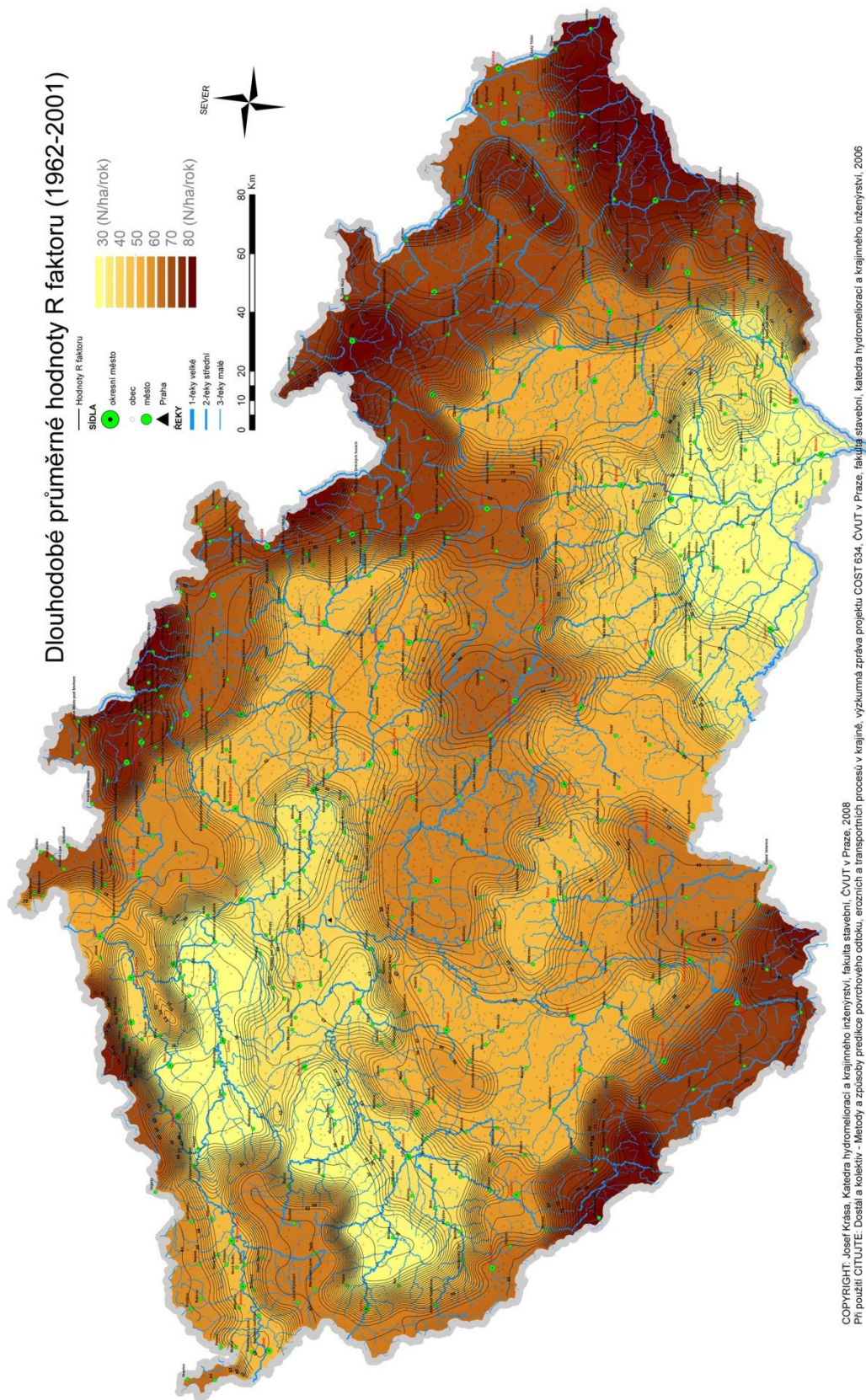


**Obr. 3-6: Rozložení stanic a jejich výsledné hodnoty R faktoru**

Vzhledem k nerovnoměrnému prostorovému rozmístění stanic na území ČR a vzhledem k jejich malé prostorové hustotě (87 stanic pokrývajících celé území ČR) nebylo možno stanovit hodnoty R faktoru na celém území jednoduchou přímou interpolací mezilehlých hodnot ani využít Thiessenových polygonů pro odhad ploch příslušejícím daným stanicím. Na obrázku (Obr. 3-6), ukazujícím rozmístění stanic i jim příslušné polygony, je zřetelně vidět, že vyšší prostorová hustota stanic s dostupnými souvislými datovými řadami byla v podhorských a horských oblastech, zatímco v jiných místech republiky připadá na jednu stanicí reprezentovaná plocha mnoha set kilometrů čtverečních.

Při nedostatku vyššího datového pokrytí bylo třeba hledat reprezentativnější příslušnost hodnot R faktoru jednotlivým stanicím než pouze geometrickou vzdálenost. Nakonec byla jako druhý klíčový faktor postihnutelný pro celé území ČR, na základě alespoň částečné logické korelace s využitými srážkovými úhrny, vybrána nadmořská výška. Pro odhad příslušejících oblastí byl tedy zvolen postup manuální digitalizace na základě nadmořských výšek daných měřených stanic. Nejprve byla na základě DMT celé ČR odvozeného z databáze DMÚ 25 (Dostál et al., 2001) vytvořena přibližná vyhlazená vrstevnicová mapa s výškovým krokem 50 m a na jejím podkladě byly zakresleny přibližné výškopisně definované oblasti příslušející všem 87 stanicím. Tyto oblasti byly brány jako polygony s definovanou hodnotou R faktoru odpovídající příslušné stanici na základě výpočtu.





Obr. 3-7: Výsledná mapa druhé regionalizace R faktoru pro ČR

Teprve mezilehlé plochy mezi definovanými oblastmi (dlouhé svahy oddělující jednotlivé výškopisné oblasti, podhůří a údolní svahy apod.) byly vyplněny spojitou prostorovou interpolací v prostředí GIS IDRISI v rastru s výsledným rozlišením 1 km (vyšší podrobnost je při uvedeném přístupu zcela bezdůvodná). Výsledkem je vyhlazená rastrová mapa průměrného ročního R faktoru ( $N \cdot h^{-1}$ ) pro celé území ČR v rozlišení 1km (velikost elementu 1 km<sup>2</sup>) v souřadném systému JTSK (Obr. 3-7).

Při hodnocení vytvořené mapy erozní účinnosti srážek je třeba si uvědomit, že se jedná o mapu přibližnou, získanou na základě hodnot měsíčních srážkových úhrnů, tedy nikoli podle původní metodiky Wischmeiera. Použitá metodika je nicméně v případě nedostatku informací o erozně účinných srážkách využívána rovněž v ostatních evropských zemích, a to i k přehledovým výpočtům pro území celé Evropy, v nichž jsou na jejím základě odhadovány též odpovídající údaje pro ČR (Van der Knijff et al., 2000).

Tato mapa byla již podstatně přesnějším podkladem, přesto se k ní váže celá řada nejistot, daná především velmi volnou závislostí mezi dlouhodobými (měsíčními) srážkovými úhrny a srážkami přívalovými. Proto se v dané fázi výzkum nezastavil a cílem bylo získat co další dostupná data jakmile budou k dispozici.

**Tab. 3-4: Základní erozní parametry srážek na základě měsíčních úhrnů pro 87 stanic ČR**

index stanice (ČHMÚ)	nadmořská výška (m n. m)	R faktor dle Roglera	průměrný MFI (-)	průměrný PCI (-)	průměrný úhrn duben-říjen (mm/měsíc)	výsledný R (zaokrouhleno) ( $N \cdot h^{-1}$ )
C1PRAS01	317	1 140.7	85.0	11.6	78.1	75
C2TABO01	290	1 068.2	81.2	11.0	73.2	71
C1STRS01	421	1 103.8	88.9	10.9	75.6	74
U1DOKS01	187	814.6	64.4	12.1	56.0	41
H5BROU01	261	1 021.4	76.4	11.4	70.0	66
U1NOVE02	241	781.5	60.8	12.3	53.8	36
U1KLIN01	400	782.8	58.7	11.8	53.9	36
O1RYMA01	569	899.5	66.9	11.4	61.8	55
P2VYSO01	213	825.4	64.1	11.4	56.8	43
U1ZAT001	176	755.7	58.6	11.9	52.1	35
P1ZDIC01	415	850.8	63.4	11.5	58.5	47
H2USTI01	722	1 037.0	79.5	11.4	71.1	68
P1PRUZ01	300	855.2	64.6	11.6	58.8	48
O1LYSA01	480	902.0	67.3	11.1	61.9	55
P1PBRA01	452	865.8	65.4	11.1	59.5	49
U1ULK001	196	761.1	58.8	11.8	52.4	35
P3KRES01	354	821.1	61.8	11.7	56.5	42
U2DEC002	180	746.1	58.1	11.8	51.4	35
B2NEDV01	1118	1 461.1	115.6	10.7	99.7	80
O2BRAN01	519	891.6	67.5	11.6	61.2	54
B1ZLIN01	880	1 607.9	144.1	11.0	109.6	80
B2VIRP01	857	1 298.4	106.7	10.8	88.7	79
C2CBUD01	662	1 097.1	82.5	11.8	75.1	73
O1TRIN01	395	895.0	66.9	12.2	61.5	54
O1FREN01	419	926.9	68.8	11.5	63.6	59
L2KRUS01	388	972.0	71.3	12.1	66.7	63



index stanice (ČHMÚ)	nadmořská výška (m n. m)	R faktor dle Roglera	průměrný MFI (-)	průměrný PCI (-)	průměrný úhrn duben-říjen (mm/měsíc)	výsledný R (zaokrouhleno) (N.h <sup>-1</sup> )
C1SRNI01	536	1 106.5	81.4	12.2	75.8	75
B2TISN01	750	1 306.0	94.4	11.5	89.2	79
P1MNIS01	461	872.9	64.6	11.2	60.0	51
L1SPIC01	429	980.7	72.3	11.7	67.3	64
C2PVES01	559	1 086.0	82.4	11.3	74.4	72
C2TREB01	378	1 056.2	82.4	10.9	72.4	71
B1POZL01	1410	1 929.4	156.3	11.2	131.4	80
H2DEST01	482	1 038.4	88.3	10.9	71.2	68
B2BTUR01	635	1 572.4	128.9	10.8	107.2	80
C2KAPL01	557	1 095.1	83.6	11.0	75.0	72
O3VALM01	278	873.2	68.7	11.5	60.0	51
O1KRUZ01	213	912.4	69.3	11.2	62.7	57
O2OLKL01	196	883.8	67.3	11.5	60.7	52
H4PODE01	405	1 024.3	77.2	11.4	70.2	66
L1DOMA01	465	1 003.9	77.0	11.3	68.8	65
L3LUBY01	430	943.7	69.7	11.7	64.8	60
P2TUHA01	360	828.3	62.9	12.1	57.0	43
B1STRN01	947	1 651.1	142.2	10.8	112.6	80
B2DUKO01	820	1 548.7	129.5	10.7	105.6	80
P2ZBRO01	395	824.0	62.3	11.9	56.7	43
L1ZRUD01	742	980.3	75.4	10.9	67.2	63
U1KATU01	412	786.4	59.5	11.7	54.1	36
L1KLAT01	675	999.2	75.1	10.4	68.5	65
O3PRER01	603	880.3	63.9	10.9	60.5	52
L3AS0001	550	950.7	73.8	10.6	65.2	61
B2LEDN01	657	1 477.1	114.2	11.2	100.8	80
B2KYJO01	436	1 520.7	116.2	11.6	103.8	80
B2NAMO01	456	1 470.5	116.7	12.1	100.4	80
C2VBRO01	435	1 054.9	79.5	11.8	72.3	70
B1BYSH01	1324	2 134.1	163.4	11.4	145.2	80
C1CHUR01	242	1 147.0	85.1	12.0	78.5	76
C2BORK01	645	1 100.3	84.5	10.8	75.3	73
B2KMYS01	347	1 523.3	112.1	11.7	103.9	80
C1KOCE01	641	1 144.2	91.5	11.2	78.3	76
O1PORU01	215	900.3	68.4	12.2	61.8	55
H1VRCH01	241	1 038.5	77.3	11.3	71.2	69
L2STRI01	203	968.1	70.3	11.9	66.4	62
B2VPAV01	334	1 202.7	90.6	11.6	82.3	78
O1BELA01	367	933.8	70.3	11.8	64.1	60
P2DESN01	260	842.2	64.1	12.1	57.9	46
P2NPAK01	374	841.7	64.1	12.5	57.9	45
P3ZDAR01	275	815.4	60.5	11.7	56.1	41
B1STRZ01	772	1 612.1	144.3	10.7	109.9	80
H4CHLM01	450	1 025.1	85.4	10.8	70.3	67
O3DRAH01	234	882.0	66.7	11.4	60.6	52
P3PRIB01	168	817.5	61.5	12.1	56.2	41
B2VMEZ01	670	1 245.3	106.3	10.6	85.1	78
C1VODN01	290	1 102.3	92.8	10.6	75.5	74

index stanice (ČHMÚ)	nadmořská výška (m n. m)	R faktor dle Roglera	průměrný MFI (-)	průměrný PCI (-)	průměrný úhrn duben-říjen (mm/měsíc)	výsledný R (zaokrouhleno) (N.h <sup>-1</sup> )
L2PRIM01	534	971.7	71.1	11.1	66.7	62
H3HRAD01	530	1 036.5	75.4	11.2	71.0	67
L1PLZD01	617	985.3	75.0	11.3	67.6	64
U2DOKY01	158	725.7	56.3	12.4	50.0	35
U2VARN02	322	676.9	51.0	11.7	46.7	35
B2VRAN01	820	1 180.4	101.6	10.5	80.8	77
H1HRON01	726	1 054.0	82.7	10.5	72.2	70
P2SEMC01	375	837.2	63.7	11.1	57.6	45
U2LIBC01	201	717.8	54.8	12.1	49.5	35
O1JESE01	170	914.1	71.3	11.0	62.8	57
L3KVAL01	279	949.9	71.1	10.8	65.2	61
B2ZIDL01	398	1 154.3	86.6	10.6	79.0	77
H1VITK01	338	1 042.1	83.0	10.5	71.4	69

### 3.1.5 MAPA R FAKTORU PŘÍVALOVÝCH DĚŠŤŮ PRO OBDOBÍ 2000 - 2005

V závěru roku 2005 (Dostál et al., 2005) se podařilo ve spolupráci s ČHMÚ vypočítat R faktor podle původní metodiky pro přepracovaná data z minutových srážkoměrných záznamů pro 37 stanic. Jednalo se o data pouze ze šesti ročních období (2000 - 2005), nicméně po podrobných analýzách provedených na uvedených datech v roce 2006 bylo možno provést další významný krok ke zkvalitnění mapy erozní účinnosti srážek.

#### 3.1.5.1 PŘEHLED A POPIS DATOVÝCH ŘAD AKTUÁLNĚ ZPRACOVANÝCH STANIC

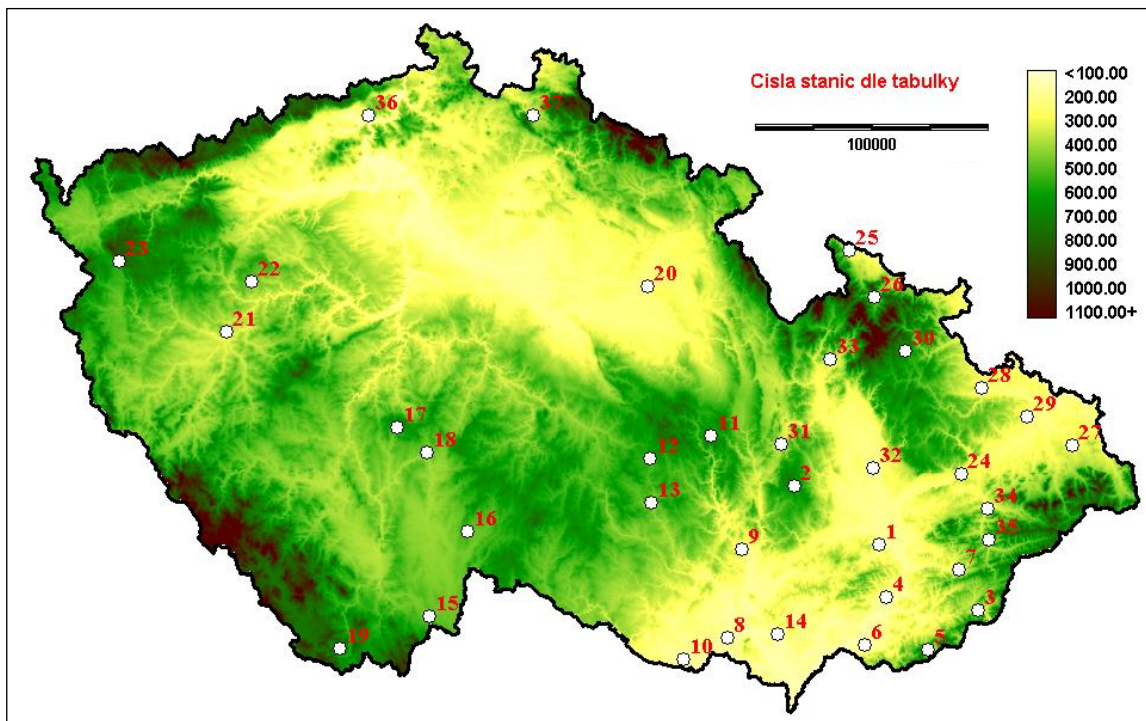
Přehled stanic je uveden v tabulce (Tab. 3-5) a na obrázku (Obr. 3-9):

**Tab. 3-5: Stanice s dostupnými minutovými úhrny a vypočtená hodnota R faktoru**

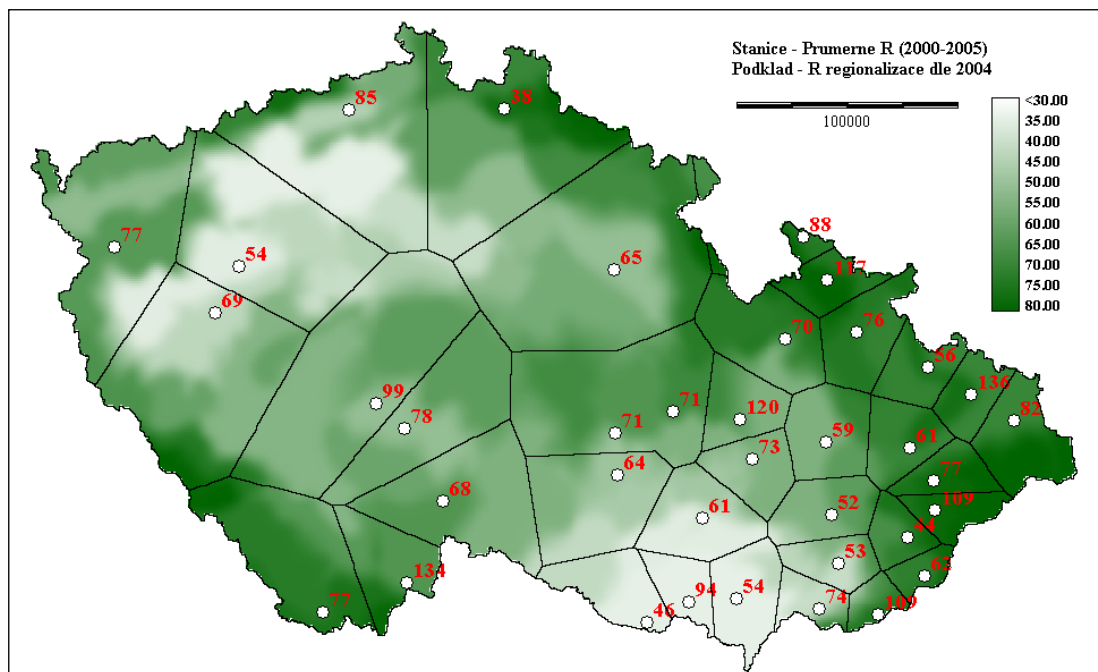
ID	stanice	jméno	nadmořská výška (m n- m)	průměrný roční R faktor v letech 2000-2005 (N.h <sup>-1</sup> )
01	B1KROM01	Kroměříž	235	52
02	B1PROT01	Protivanov	670	73
03	B1STIT01	Štítná nad Vláří	315	62
04	B1STME01	Staré Město	235	53
05	B1STRN01	Strání	385	109
06	B1STRZ01	Strážnice na Moravě	176	74
07	B1VIZO01	Vizovice	315	44
08	B2BROD01	Brod nad Dyjí	175	94
09	B2BZAB01	Brno Žabovřesky	235	61
10	B2DYJA01	Dyjákovice	201	46
11	B2NEDV01	Nedvězí	722	71
12	B2VATI01	Vatín	555	71
13	B2VMEZ01	Velké Meziříčí	452	64
14	B2VPAV01	Velké Pavlovice	196	54
15	C2BYNO01	Byňov	475	134
16	C2JHRA01	Jindřichův Hradec	525	68
17	C2NADV01	Nadějkov	615	99
18	C2TABO01	Tábor	461	78

ID	stanice	jméno	nadmořská výška (m n- m)	průměrný roční R faktor v letech 2000-2005 (N.h <sup>-1</sup> )
19	C2VBRO01	Vyšší Brod	559	77
20	H3HRAD01	Hradec Králové	278	65
21	L1PLZB01	Plzeň Bolevec	328	69
22	L2KRAL01	Kralovice	468	54
23	L2MLAV01	Mariánské Lázně	691	77
24	O1BELO01	Bělotín	298	61
25	O1JAVO01	Javorník	289	88
26	O1JESE01	Jeseník	465	117
27	O1LUCI01	Lučina	300	82
28	O1OPAV01	Opava	270	56
29	O1PORU01	Ostrava Poruba	242	136
30	O1SVET01	Světlá Hora	593	76
31	O2JEVI01	Jevíčko	342	120
32	O2OLOM01	Olomouc	210	59
33	O2SUMP01	Šumperk	328	70
34	O3VALM01	Valašské Meziříčí	334	77
35	O3VSET01	Vsetín	387	109
36	U1ULKO01	Ustí nad Labem Kočkov	375	85
37	U2LIBC01	Liberec	398	38

Souřadnice stanic byly převedeny z geografického formátu do souřadného systému S-JTSK a stanice byly vyneseny nad digitálním modelem terénu i poslední revidovanou verzí mapy R faktoru (Obr. 3-8).



Obr. 3-8: Přehled stanic s dostupným kontinuálním měřením nad DMT



**Obr. 3-9: Přehled stanic nad mapou R faktoru (1962 - 2001)**

Z obrázku je zřejmé, že stanice nejsou rozmístěny po celé ploše ČR rovnoměrně, nicméně podle vyjádření ČHMÚ jsou to jediné „použitelné“ stanice – od roku 2000 vybavené digitálními srážkoměry. Počet původně navrhovaných stanic byl 45, některé však musely být pro chyby v kontinuitě a kvalitě dat z výpočtu vyřazeny. Zejména v roce 2002 byla řada srážkoměrů v oblasti jižních Čech poškozena při povodních a zprovozněna až v roce 2003. U některých dalších stanic docházelo k výměně typů přístrojů a výpadkům v datech.

Při hrubém odhadu ploch příslušejících (na území ČR) jednotlivým stanicím na základě Thiessenových polygonů (Obr. 3-9) je zřejmý nepoměr mezi hraničními oblastmi, jižní Moravou a zejména středními Čechami. Především z důvodu nerovnoměrného rozmístění stanic opět nemohla být využita žádná z jednoduchých geodetických metod pro interpolaci plošného rozdělení R faktoru a bylo třeba přistoupit k podrobnějším analýzám jednotlivých lokalit.

### 3.1.5.2 POSTUP VÝPOČTU A VYHODNOCENÍ DAT

Pro každou z použitých 37 stanic byly k dispozici údaje o všech zaznamenaných srážkách a průběh intenzit v minutových intervalech – od 1. 1. 2000 do 30. 11. 2005. Na podkladě přesných metodických pokynů (Dostál et al. 2005) byly v ČHMÚ z těchto údajů nejprve izolovány jednotlivé přívalové srážky podle pravidel stanovených metodikou Wischmeiera a Smithe:

- srážky s celkovým úhrnem větším než 12,5 mm u srážek oddělených od okolních vždy min 6 hodinovou pauzou (menší pauza = sekvence uvažována jako 1 srážka a opět musí celá sekvence přesáhnout 12,5 mm)
- a zároveň s maximální intenzitou dosahující aspoň 24 mm.h<sup>-1</sup> (kdykoli v průběhu srážky)

Alespoň jedna srážka splňující uvedená kritéria se vyskytla v každé ze stanic ve všech šesti hodnocených letech. U pěti z hodnocených stanic se v některém roce vyskytla přívalová srážka

pouze jediná (ve stanici Brno Žabovřesky dvakrát - v letech 2000 a 2005). Maximum přívalových srážek v jedné sezóně se vyskytlo v roce 2001 ve stanici Lučina, a to 16 dešťů. Průměrný roční počet identifikovaných srážek v každé stanici byl šest.

Řešitel si je vědom, že metodika používaná v ČR počítá pouze s přívalovými srážkami ve vegetačním období: duben - říjen. Digitální srážkoměry jsou ovšem schopny zaznamenávat dešťové přívalové srážky i v zimním období a srážky byly proto jako podklad pro další statistické porovnání v první fázi vyhledávány vždy v celém období roku. Z celkového zaznamenaného počtu 1372 přívalových srážek za šest let v 37 stanicích se pouze 36 srážek (tedy cca 2,6%) vyskytlo mimo období duben - říjen (z toho převážná většina v březnu a listopadu). V případě jejich zahrnutí do výpočtu je výsledný R faktor ovlivněn zcela zanedbatelně. Srážky byly proto, i přes neznalost stavu půdního povrchu v době srážek, ve výpočtu ponechány.

Pro každou identifikovanou srážku byla dále stanovena přesná doba jejího trvání, vypočten celkový úhrn, kinetická energie deště  $E_d$ , maximální 30-minutová intenzita  $I_{30}$  a poté samotný R faktor (Dostál et al. 2005).

Shrnutí základních charakteristik vystihujících erozní účinnost srážek v jednotlivých stanicích a letech je uvedeno v tabulce (Tab. 3-8).

Kompletní soubor hodnot R faktoru nelze ovšem bez dalších analýz smysluplně vztáhnout jedním průměrem na celou Českou republiku, zejména ne pro využití k výpočtům na zemědělské půdě, protože stanice se nachází v různých morfologických podmínkách, řada z nich v podhorských oblastech a mimo centrální oblasti republiky. Celkový průměrný R faktor ze všech stanic v letech 2000 - 2006 je roven 76,2 ( $N.h^{-1}$ ), což je jistě hodnota pro řadu zemědělských oblastí ČR dlouhodobě nadhodnocená. Na druhou stranu tato hodnota správně ukazuje na opravdu vysokou míru erozní účinnosti srážek v letech 2000 - 2005 v ČR. Na mnoha stanicích v oblastech s velkým územním podílem orné půdy přesáhla v jednotlivých extrémních letech hodnota R faktoru výrazně mez 100 ( $N.h^{-1}$ ), někde dokonce i její dvojnásobek (Obr. 3-17).

Výraznou variabilitu hodnot R faktoru v jednotlivých stanicích a letech ukazuje tabulka (Tab. 3-8) a obrázek (Obr. 3-17). Ze zaznamenaných směrodatných odchylek tabulky ukazujících na mimořádně vysoký rozptyl hodnot je zřejmé, že z krátkého časového období šesti let lze jen velmi obtížně odhadovat dlouhodobý trend a dlouhodobé průměrné hodnoty erozní účinnosti srážek. Graficky je rozložení hodnot R faktoru v jednotlivých stanicích a letech vyjádřeno na obrázcích (Obr. 3-10 až Obr. 3-15). Tyto grafy především ukazují, že z krátké časové řady zaznamenaných hodnot nelze v měřítku ČR prokázat žádnou korelaci mezi erozivitou přívalových dešťů a nadmořskou výškou. Vazba není patrná pro žádný zaznamenaný rok, ať už srážkově průměrný, nebo mimořádný. Na rozdíl od dlouhodobých srážkových úhrnů je zde vazba na konkrétní lokalitu velmi volná. Proto je při tvorbě mapy erozivity srážek na základě uvedeného postupu třeba postupovat velmi opatrně.

Z uvedené tabulky a grafů je též zřejmé, že jednotlivé roky se od sebe výrazně lišily co do celkové průměrné erozivity srážek, ale rovněž co do jejich prostorového rozdělení. Roky 2000 - 2005 byly i z hlediska celkových srážkových úhrnů velmi nevyrovnané a mnohdy mimořádné. Rok 2002 byl rokem velkých povodní s mimořádnými srážkami v regionálním (i evropském) měřítku, což se v hodnocení erozivity srážek projevilo i v tomto srovnání, jak lze vidět

i na nejjednodušším přímém porovnání celkových průměrných ročních hodnot R faktoru ze všech dostupných stanic (Tab. 3-6).

V každém roce se měnící prostorová variabilita R faktoru je nejlépe znázorněna na mapách s hodnotou erozivity v jednotlivých stanicích a letech (Obr. 3-17). Z tohoto porovnání je zřejmé, že věrohodná regionalizace R faktoru na základě šestiletých řad je nemožná. Pro nalezení trendu v pravděpodobnosti výskytu přívalových dešťů v jednotlivých lokalitách ČR je třeba pracovat s řádově delší dobou pozorování a i v takovém případě nebude možno žádnou průměrnou dlouhodobou hodnotu R považovat za reprezentativní v daném roce, resp. za použitelnou pro hodnocení erozní ohroženosti konkrétního území v krátkodobém časovém horizontu.

**Tab. 3-6: Průměrné hodnoty R faktoru (N.h<sup>-1</sup>) pro celou ČR v jednotlivých letech**

2000	2001	2002	2003	2004	2005	R průměr
63	89	134	47	52	73	76

Konkrétní výpočet pro určité časové období bude třeba vždy realizovat za pomoci reálných srážkoměrných dat a přesně vypočtené erozní účinnosti srážek v dané lokalitě, což je zpětně a historicky záležitost problematická, nicméně s přibývajícím počtem digitálních stanic v celé ČR lze předpokládat, že uvedená data z jedné konkrétní stanice budou v budoucnu za přijatelnou cenu dostupná. V současné době je reálná pouze regionalizace přibližná, a to na základě kombinace všech dosud sesbíraných podkladů – dlouhodobých historických i údajů z posledních let.

**Tab. 3-7: Hlavní statistické údaje o erozivité srážek v jednotlivých stanicích a letech**

Stanice	Rok	R faktor	Počet srážek	Začátek první srážky	Konec poslední srážky
01 B1KROM01 Kroměříž	2000	32,8	5	18. květen 2000	3. srpen 2000
	2001	84,6	4	16. červenec 2001	10. srpen 2001
	2002	51,7	4	13. červenec 2002	11. srpen 2002
	2003	39,3	5	18. červen 2003	30. srpen 2003
	2004	38,8	3	2. červen 2004	22. červen 2004
	2005	63,4	5	30. květen 2005	21. srpen 2005
02 B1PROT01 Protivanov	2000	65,0	4	4. červenec 2000	18. srpen 2000
	2001	29,5	3	18. květen 2001	4. srpen 2001
	2002	191,0	12	5. květen 2002	1. září 2002
	2003	32,2	5	2. leden 2003	7. říjen 2003
	2004	35,5	4	11. duben 2004	22. červenec 2004
	2005	86,1	5	23. květen 2005	13. září 2005
03 B1STIT01 Štítná nad Vláří	2000	51,6	6	18. květen 2000	16. listopad 2000
	2001	100,5	7	10. červen 2001	8. září 2001
	2002	63,9	9	7. červen 2002	15. září 2002
	2003	8,2	2	25. červenec 2003	5. říjen 2003
	2004	81,0	8	2. květen 2004	16. říjen 2004
	2005	65,6	4	3. květen 2005	23. srpen 2005
04 B1STME01 Staré Město	2000	22,0	3	18. květen 2000	4. srpen 2000
	2001	70,2	6	5. květen 2001	18. září 2001
	2002	151,7	6	16. červen 2002	18. říjen 2002
	2003	32,0	5	1. červenec 2003	2. listopad 2003
	2004	19,7	2	1. červen 2004	20. červen 2004
	2005	25,0	4	3. květen 2005	16. srpen 2005



Stanice	Rok	R faktor	Počet srážek	Začátek první srážky	Konec poslední srážky
05 B1STRN01 Strání	2000	53,3	5	18. květen 2000	16. listopad 2000
	2001	62,3	11	28. květen 2001	18. září 2001
	2002	168,2	14	14. duben 2002	24. říjen 2002
	2003	82,2	5	2. leden 2003	5. říjen 2003
	2004	166,8	7	2. květen 2004	22. červenec 2004
	2005	123,3	4	3. květen 2005	4. srpen 2005
06 B1STRZ01 Strážnice na Moravě	2000	57,3	3	18. květen 2000	16. září 2000
	2001	190,4	6	25. březen 2001	21. září 2001
	2002	35,7	5	5. květen 2002	12. srpen 2002
	2003	4,4	1	18. červenec 2003	18. červenec 2003
	2004	75,2	5	2. červen 2004	9. říjen 2004
	2005	78,9	7	3. květen 2005	16. srpen 2005
07 B1VIZ001 Vizovice	2000	26,3	6	18. květen 2000	26. říjen 2000
	2001	45,8	6	1. červenec 2001	10. srpen 2001
	2002	80,1	7	26. duben 2002	18. říjen 2002
	2003	25,7	4	1. červenec 2003	6. říjen 2003
	2004	48,6	9	1. červen 2004	9. říjen 2004
	2005	36,4	4	3. květen 2005	4. srpen 2005
08 B2BROD01 Brod nad Dyjí	2000	54,5	7	18. květen 2000	18. září 2000
	2001	24,6	3	6. květen 2001	20. srpen 2001
	2002	263,5	12	13. květen 2002	18. říjen 2002
	2003	19,0	3	25. červenec 2003	30. srpen 2003
	2004	181,3	4	8. květen 2004	9. listopad 2004
	2005	19,3	5	10. květen 2005	29. září 2005
09 B2BZAB01 Brno Žabovřesky	2000	42,9	1	28. červenec 2000	29. červenec 2000
	2001	66,0	4	20. červenec 2001	20. srpen 2001
	2002	111,5	9	5. květen 2002	6. září 2002
	2003	30,9	5	9. květen 2003	30. srpen 2003
	2004	38,7	4	11. květen 2004	13. srpen 2004
	2005	73,6	5	30. květen 2005	22. srpen 2005
10 B2DYJA01 Dyjákovice	2000	36,7	6	18. květen 2000	3. říjen 2000
	2001	28,5	4	15. květen 2001	26. září 2001
	2002	100,7	12	14. duben 2002	18. říjen 2002
	2003	26,5	3	13. květen 2003	18. červenec 2003
	2004	13,7	2	3. červen 2004	20. červen 2004
	2005	71,4	4	18. duben 2005	22. srpen 2005
11 B2NEDV01 Nedvězí	2000	24,3	5	28. květen 2000	7. srpen 2000
	2001	66,7	6	5. květen 2001	20. srpen 2001
	2002	177,0	10	6. červen 2002	26. říjen 2002
	2003	51,5	5	9. květen 2003	18. červenec 2003
	2004	25,0	2	2. červen 2004	22. červenec 2004
	2005	83,2	8	30. květen 2005	22. srpen 2005
12 B2VATI01 Vatín	2000	130,9	2	12. duben 2000	4. červenec 2000
	2001	61,3	5	5. květen 2001	4. srpen 2001
	2002	63,5	8	4. květen 2002	1. září 2002
	2003	48,1	6	9. květen 2003	19. srpen 2003
	2004	57,6	7	12. květen 2004	14. srpen 2004
	2005	62,3	5	30. květen 2005	27. září 2005



Stanice	Rok	R faktor	Počet srážek	Začátek první srážky	Konec poslední srážky
13 B2VMEZ01 Velké Meziříčí	2000	112,6	7	18. květen 2000	4. prosinec 2000
	2001	70,1	5	5. květen 2001	3. srpen 2001
	2002	118,0	7	6. červen 2002	1. září 2002
	2003	18,8	3	9. květen 2003	22. červenec 2003
	2004	23,1	6	19. duben 2004	23. září 2004
	2005	38,6	5	30. květen 2005	29. září 2005
14 B2VPAV01 Velké Pavlovice	2000	45,2	5	6. červen 2000	17. září 2000
	2001	96,4	5	15. květen 2001	20. srpen 2001
	2002	89,8	7	9. červen 2002	18. říjen 2002
	2003	28,8	5	26. květen 2003	5. říjen 2003
	2004	40,9	3	2. červen 2004	20. červen 2004
	2005	24,0	3	23. květen 2005	2. červenec 2005
15 C2BYNO01 Byňov	2000	19,5	3	1. květen 2000	16. září 2000
	2001	37,3	5	4. květen 2001	5. srpen 2001
	2002	314,0	10	5. květen 2002	1. září 2002
	2003	117,6	9	9. květen 2003	3. říjen 2003
	2004	54,5	7	23. duben 2004	24. září 2004
	2005	262,0	8	8. duben 2005	27. září 2005
16 C2JHRA01 Jindřichův Hradec	2000	118,3	6	22. květen 2000	3. říjen 2000
	2001	109,9	7	4. květen 2001	8. září 2001
	2002	95,2	9	6. červen 2002	1. září 2002
	2003	36,4	6	9. květen 2003	9. říjen 2003
	2004	8,1	2	10. červen 2004	13. srpen 2004
	2005	42,9	9	20. leden 2005	29. září 2005
17 C2NADV01 Nadějkov	2000	59,2	6	5. červen 2000	25. červenec 2000
	2001	99,3	8	5. květen 2001	8. září 2001
	2002	319,5	9	24. červen 2002	26. říjen 2002
	2003	41,4	5	9. květen 2003	9. říjen 2003
	2004	26,2	4	15. květen 2004	30. srpen 2004
	2005	48,2	6	20. leden 2005	13. září 2005
18 C2TABO01 Tábor	2000	22,2	5	22. květen 2000	6. srpen 2000
	2001	62,3	7	4. květen 2001	1. září 2001
	2002	252,3	13	27. květen 2002	26. říjen 2002
	2003	20,9	4	10. květen 2003	19. srpen 2003
	2004	47,3	5	2. červen 2004	8. červenec 2004
	2005	55,4	6	20. leden 2005	21. srpen 2005
19 C2VBRO01 Vyšší Brod	2000	28,9	5	21. duben 2000	16. září 2000
	2001	17,6	4	17. květen 2001	9. září 2001
	2002	249,7	10	22. únor 2002	1. září 2002
	2003	62,9	7	30. březen 2003	16. prosinec 2003
	2004	23,6	6	9. červenec 2004	23. listopad 2004
	2005	81,6	6	8. duben 2005	27. září 2005
20 H3HRAD01 Hradec Králové	2000	106,9	5	4. duben 2000	22. září 2000
	2001	77,9	7	18. červen 2001	18. září 2001
	2002	99,7	9	5. květen 2002	6. říjen 2002
	2003	60,5	7	10. květen 2003	19. srpen 2003
	2004	22,0	4	11. květen 2004	19. listopad 2004
	2005	20,2	6	10. únor 2005	17. září 2005

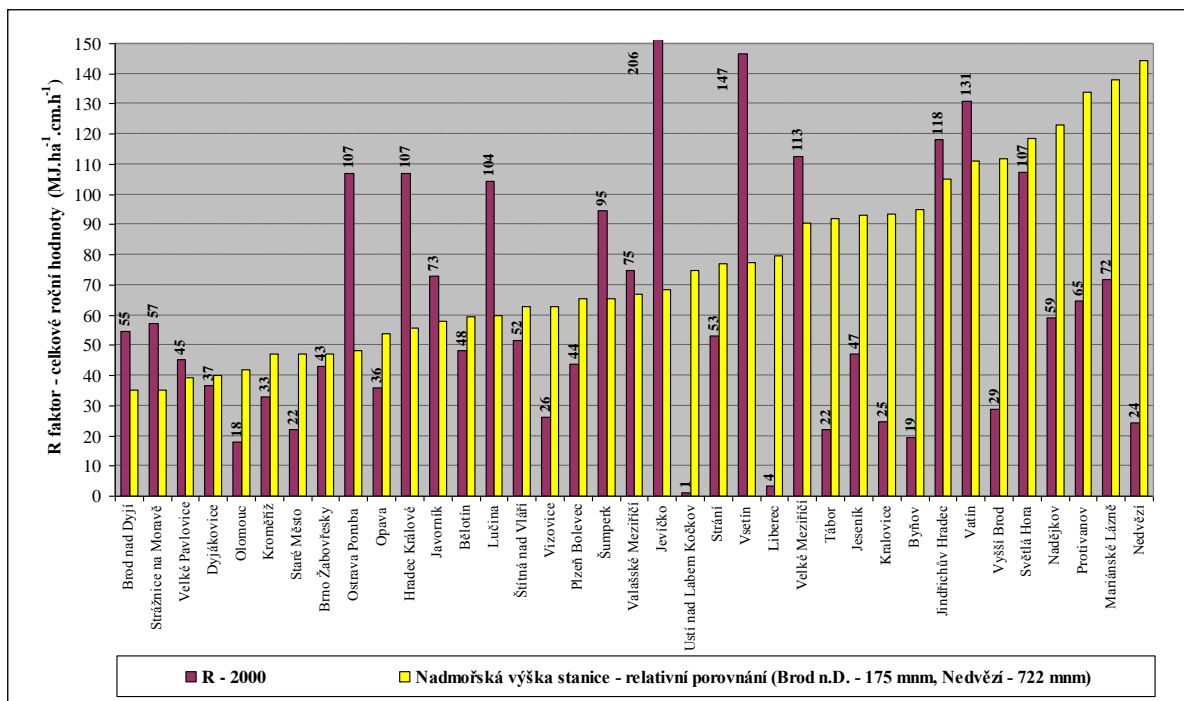
Stanice	Rok	R faktor	Počet srážek	Začátek první srážky	Konec poslední srážky
21 L1PLZB01 Plzeň Bolevec	2000	43,7	5	3. červenec 2000	2. říjen 2000
	2001	71,9	7	10. červen 2001	9. listopad 2001
	2002	202,7	8	10. květen 2002	5. září 2002
	2003	19,0	4	12. červen 2003	19. srpen 2003
	2004	31,2	4	2. červen 2004	23. září 2004
	2005	44,3	7	20. leden 2005	23. srpen 2005
22 L2KRAL01 Kralovice	2000	24,8	5	5. červen 2000	22. srpen 2000
	2001	61,2	2	8. červenec 2001	15. červenec 2001
	2002	122,4	7	21. červen 2002	5. září 2002
	2003	15,1	3	18. červen 2003	25. červenec 2003
	2004	57,0	7	6. květen 2004	23. září 2004
	2005	46,2	5	23. květen 2005	12. září 2005
23 L2MLAV01 Mariánské Lázně	2000	72,0	11	29. leden 2000	2. říjen 2000
	2001	82,8	8	24. březen 2001	23. listopad 2001
	2002	49,9	10	19. únor 2002	28. říjen 2002
	2003	113,5	8	26. květen 2003	10. říjen 2003
	2004	39,5	6	17. červen 2004	23. listopad 2004
	2005	107,1	8	20. leden 2005	11. září 2005
24 O1BELO01 Bělotín	2000	48,2	6	18. květen 2000	26. červenec 2000
	2001	108,8	12	18. květen 2001	18. září 2001
	2002	34,2	3	5. červen 2002	11. srpen 2002
	2003	92,0	6	13. květen 2003	7. říjen 2003
	2004	24,9	2	19. červen 2004	9. říjen 2004
	2005	56,3	5	1. červenec 2005	11. září 2005
25 O1JAV001 Javorník	2000	73,0	10	9. březen 2000	5. listopad 2000
	2001	153,7	9	18. červen 2001	18. září 2001
	2002	109,4	9	6. květen 2002	16. září 2002
	2003	57,1	5	13. květen 2003	19. srpen 2003
	2004	35,0	4	12. květen 2004	19. listopad 2004
	2005	100,2	9	23. květen 2005	17. září 2005
26 O1JESE01 Jeseník	2000	47,3	7	18. květen 2000	7. září 2000
	2001	195,1	11	4. květen 2001	4. říjen 2001
	2002	54,9	5	2. srpen 2002	7. říjen 2002
	2003	135,8	9	13. květen 2003	13. září 2003
	2004	71,1	7	24. duben 2004	20. listopad 2004
	2005	197,6	10	8. duben 2005	17. září 2005
27 O1LUCI01 Lučina	2000	104,3	10	9. březen 2000	5. září 2000
	2001	112,4	16	18. květen 2001	29. říjen 2001
	2002	80,5	8	26. květen 2002	18. říjen 2002
	2003	27,4	6	1. červenec 2003	1. leden 2004
	2004	46,2	4	23. květen 2004	21. srpen 2004
	2005	123,1	9	3. květen 2005	17. září 2005
28 O1OPAV01 Opava	2000	36,0	4	4. červenec 2000	7. srpen 2000
	2001	72,3	6	18. květen 2001	18. září 2001
	2002	126,7	8	17. květen 2002	12. srpen 2002
	2003	17,9	3	13. květen 2003	30. srpen 2003
	2004	13,8	3	13. květen 2004	9. říjen 2004
	2005	68,6	6	3. květen 2005	17. srpen 2005

Stanice	Rok	R faktor	Počet srážek	Začátek první srážky	Konec poslední srážky
29 O1PORU01 Ostrava Poruba	2000	106,9	13	9. březen 2000	18. říjen 2000
	2001	92,4	8	8. duben 2001	10. srpen 2001
	2002	265,1	10	28. květen 2002	16. září 2002
	2003	109,1	8	9. květen 2003	6. říjen 2003
	2004	41,8	6	23. únor 2004	9. říjen 2004
	2005	201,8	11	15. únor 2005	13. září 2005
30 O1SVET01 Světlá Hora	2000	107,3	7	30. březen 2000	21. září 2000
	2001	209,0	7	28. červen 2001	21. srpen 2001
	2002	66,9	8	19. duben 2002	28. říjen 2002
	2003	23,9	4	9. květen 2003	8. říjen 2003
	2004	21,2	4	1. červen 2004	1. srpen 2004
	2005	24,8	6	21. únor 2005	16. srpen 2005
31 O2JEVI01 Jevíčko	2000	206,2	7	9. březen 2000	7. srpen 2000
	2001	37,3	5	18. květen 2001	21. srpen 2001
	2002	294,6	6	14. duben 2002	2. srpen 2002
	2003	80,2	5	2. leden 2003	25. červenec 2003
	2004	30,0	3	19. červen 2004	20. srpen 2004
	2005	72,7	7	30. květen 2005	22. srpen 2005
32 O2OLOM01 Olomouc	2000	17,9	3	27. březen 2000	29. červenec 2000
	2001	51,2	6	18. květen 2001	24. září 2001
	2002	113,6	6	14. květen 2002	16. srpen 2002
	2003	55,0	6	9. květen 2003	2. listopad 2003
	2004	105,7	9	16. duben 2004	9. říjen 2004
	2005	11,0	1	30. květen 2005	31. květen 2005
33 O2SUMP01 Šumperk	2000	94,5	5	13. červen 2000	29. červenec 2000
	2001	161,8	7	17. květen 2001	4. srpen 2001
	2002	84,9	5	21. červen 2002	6. září 2002
	2003	9,3	3	3. únor 2003	18. červenec 2003
	2004	42,2	6	11. leden 2004	19. listopad 2004
	2005	28,8	4	23. květen 2005	22. srpen 2005
34 O3VALM01 Valašské Meziříčí	2000	74,8	6	6. červen 2000	4. srpen 2000
	2001	147,8	11	18. květen 2001	10. srpen 2001
	2002	80,0	11	14. duben 2002	7. říjen 2002
	2003	112,3	6	14. květen 2003	6. říjen 2003
	2004	6,2	1	8. říjen 2004	9. říjen 2004
	2005	38,1	6	3. květen 2005	24. srpen 2005
35 O3VSET01 Vsetín	2000	146,9	10	24. únor 2000	4. srpen 2000
	2001	226,7	15	11. březen 2001	26. prosinec 2001
	2002	112,8	14	26. duben 2002	27. říjen 2002
	2003	63,5	7	1. červenec 2003	1. leden 2004
	2004	36,7	7	19. leden 2004	31. říjen 2004
	2005	66,4	9	31. leden 2005	24. srpen 2005
36 U1ULK001 Ustí nad Labem Kočkov	2000	1,3	1	6. říjen 2000	6. říjen 2000
	2001	83,1	5	17. červen 2001	4. říjen 2001
	2002	49,0	5	20. červen 2002	6. říjen 2002
	2003	10,0	2	24. červenec 2003	28. červenec 2003
	2004	268,6	14	6. květen 2004	29. září 2004
	2005	99,4	9	6. červen 2005	16. září 2005

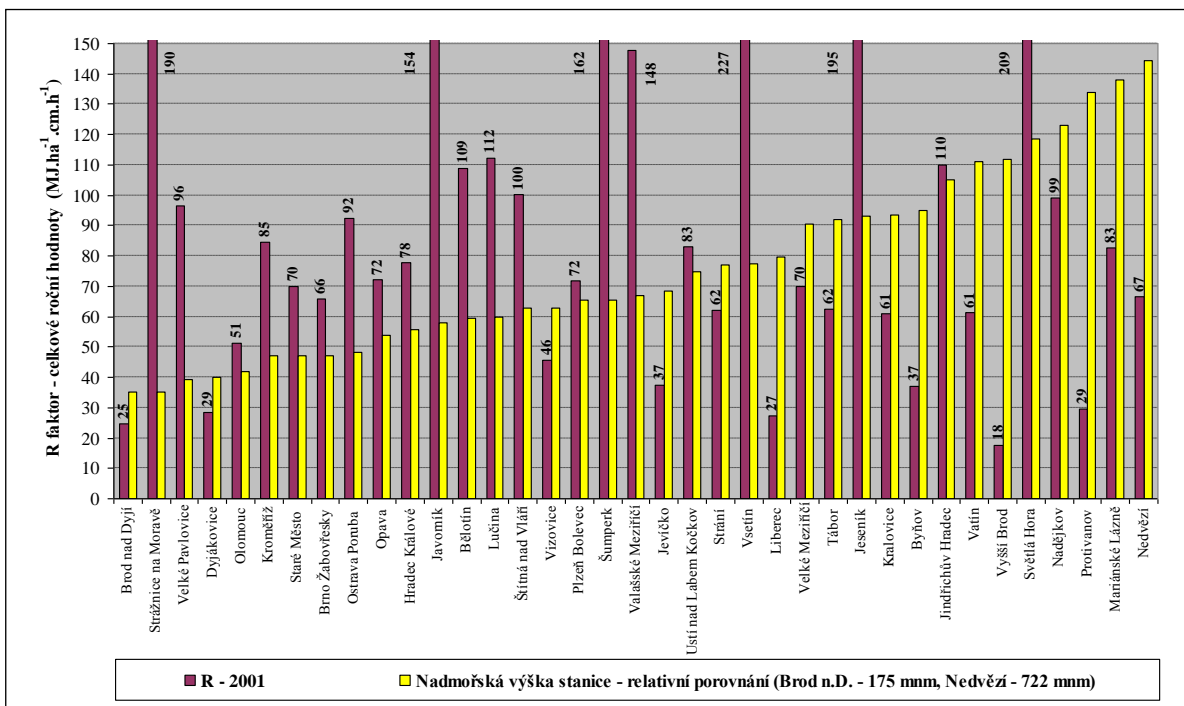
Stanice	Rok	R faktor	Počet srážek	Začátek první srážky	Konec poslední srážky
37 U2LIBC01 Liberec	2000	3,6	1	21. srpen 2000	22. srpen 2000
	2001	27,2	4	28. červen 2001	21. srpen 2001
	2002	110,7	10	11. únor 2002	6. říjen 2002
	2003	11,3	3	11. březen 2003	28. červenec 2003
	2004	30,3	5	20. červenec 2004	19. listopad 2004
	2005	43,5	9	4. červen 2005	27. září 2005

Tab. 3-8: Základní přehled stanic a hodnot R faktoru v jednotlivých letech

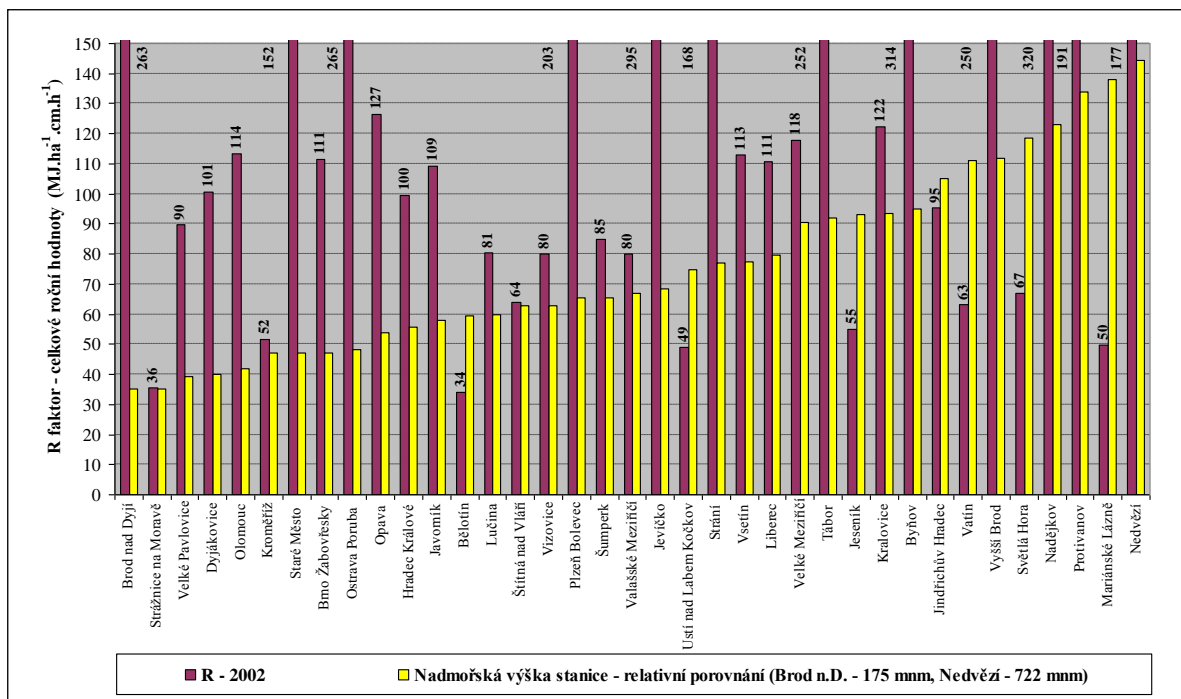
ID	Nadm. Výška (m n- m)	R průměr 2000-2005 (N.h <sup>-1</sup> )	R - 2000 (N.h <sup>-1</sup> )	R - 2001 (N.h <sup>-1</sup> )	R - 2002 (N.h <sup>-1</sup> )	R - 2003 (N.h <sup>-1</sup> )	R - 2004 (N.h <sup>-1</sup> )	R - 2005 (N.h <sup>-1</sup> )	Směrodatná odchylka
08	175	94	54,5	24,6	263,4	18,9	181,3	19,3	95
06	176	74	57,2	190,4	35,6	4,4	75,2	78,8	58
14	196	54	45,2	96,4	89,7	28,7	40,8	23,9	28
10	201	46	36,6	28,5	100,6	26,5	13,6	71,4	30
32	210	59	17,9	51,2	113,5	54,9	105,6	11	39
01	235	52	32,8	84,5	51,7	39,3	38,7	63,4	18
04	235	53	22	70,1	151,7	32	19,6	24,9	47
09	235	61	42,9	65,9	111,4	30,8	38,6	73,5	27
29	242	136	106,8	92,3	265	109,1	41,8	201,8	75
28	270	56	35,9	72,3	126,6	17,9	13,7	68,5	39
20	278	65	106,8	77,9	99,6	60,5	22	20,1	34
25	289	88	72,9	153,6	109,3	57,1	35	100,1	39
24	298	61	48,1	108,7	34,2	92	24,9	56,2	30
27	300	82	104,3	112,4	80,5	27,3	46,2	123	35
03	315	62	51,6	100,4	63,8	8,2	80,9	65,5	28
07	315	44	26,2	45,8	80,1	25,6	48,5	36,4	18
21	328	69	43,7	71,9	202,7	18,9	31,1	44,2	62
33	328	70	94,5	161,8	84,9	9,2	42,2	28,7	51
34	334	77	74,8	147,8	79,9	112,3	6,2	38,1	46
31	342	120	206,1	37,3	294,5	80,2	30	72,7	97
36	375	85	1,3	83,1	49	10	268,6	99,3	89
05	385	109	53,2	62,2	168,1	82,2	166,8	123,2	47
35	387	109	146,8	226,6	112,8	63,5	36,7	66,4	64
37	398	38	3,5	27,2	110,6	11,3	30,3	43,5	35
13	452	64	112,6	70,1	117,9	18,7	23	38,5	40
18	461	78	22,1	62,3	252,2	20,9	47,2	55,4	80
26	465	117	47,2	195,1	54,9	135,7	71	197,6	63
22	468	54	24,7	61,1	122,4	15,1	57	46,1	35
15	475	134	19,4	37,2	314	117,5	54,5	262	114
16	525	68	118,3	109,8	95,2	36,3	8,1	42,8	41
12	555	71	130,8	61,2	63,4	48,1	57,6	62,3	27
19	559	77	28,9	17,6	249,6	62,9	23,6	81,6	80
30	593	76	107,3	209	66,9	23,8	21,1	24,8	67
17	615	99	59,2	99,3	319,5	41,4	26,1	48,2	101
02	670	73	64,9	29,4	190,9	32,1	35,4	86	56
23	691	77	71,9	82,8	49,8	113,5	39,5	107,1	27
11	722	71	24,3	66,7	176,9	51,5	25	83,2	52



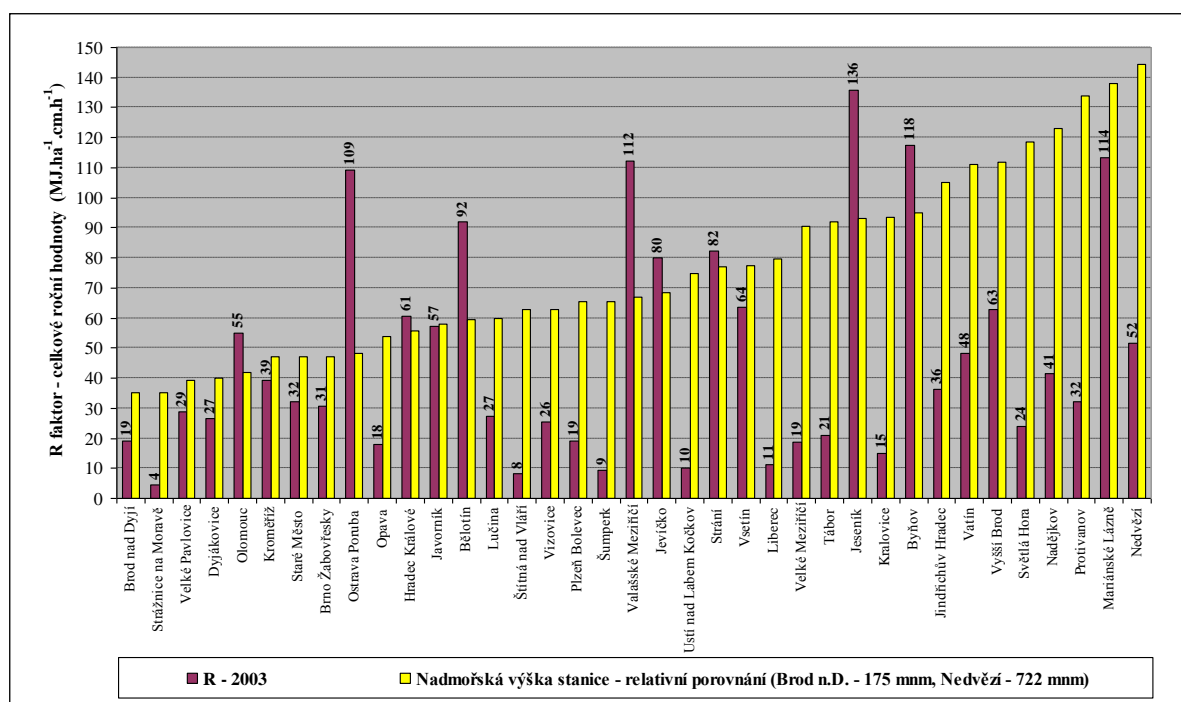
Obr. 3-10: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmožskou výšku stanice v roce 2000



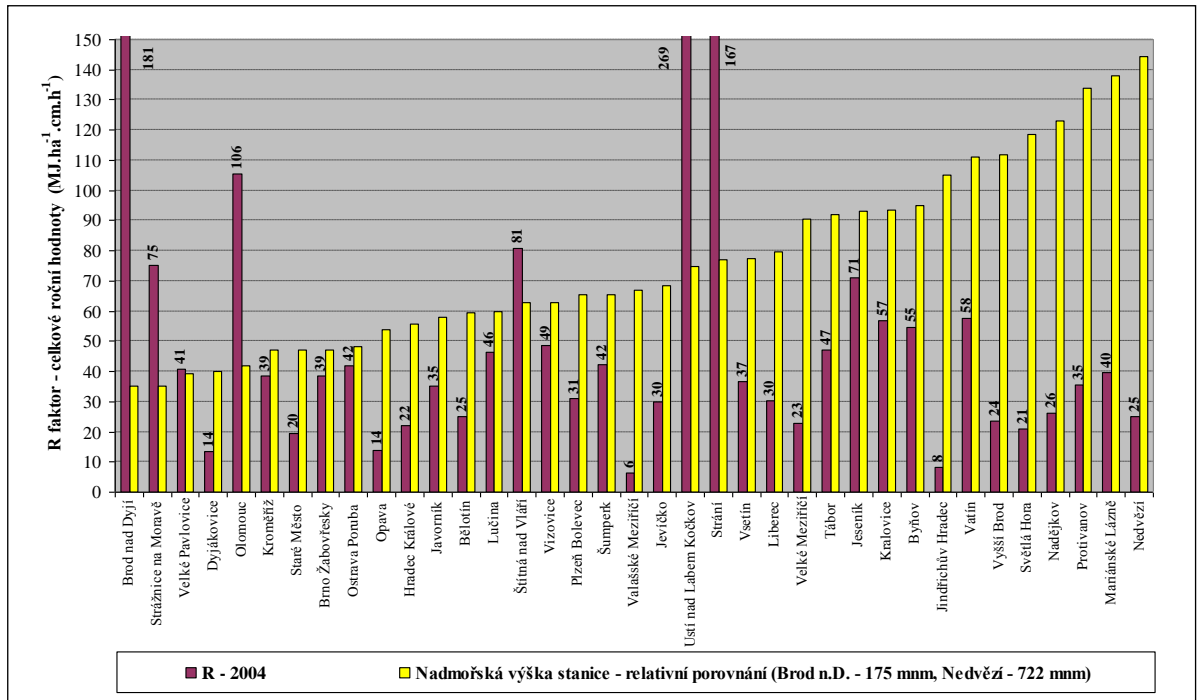
Obr. 3-11: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmožskou výšku stanice v roce 2001



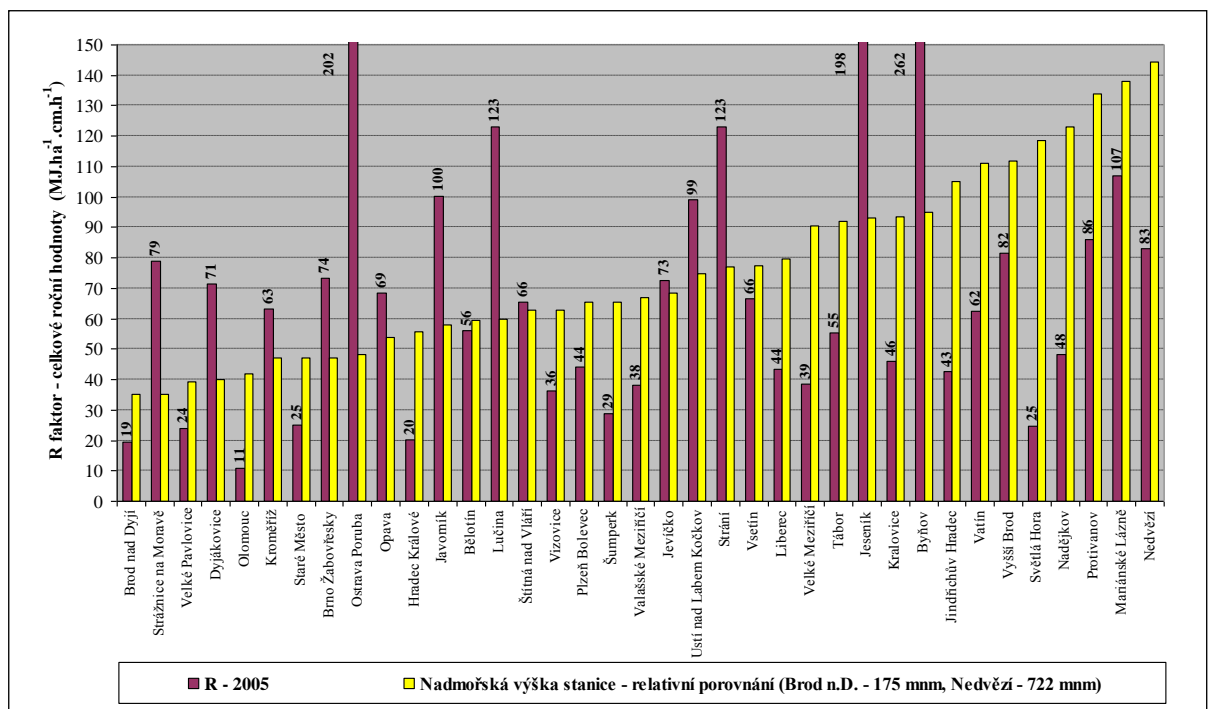
Obr. 3-12: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2002



Obr. 3-13: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2003

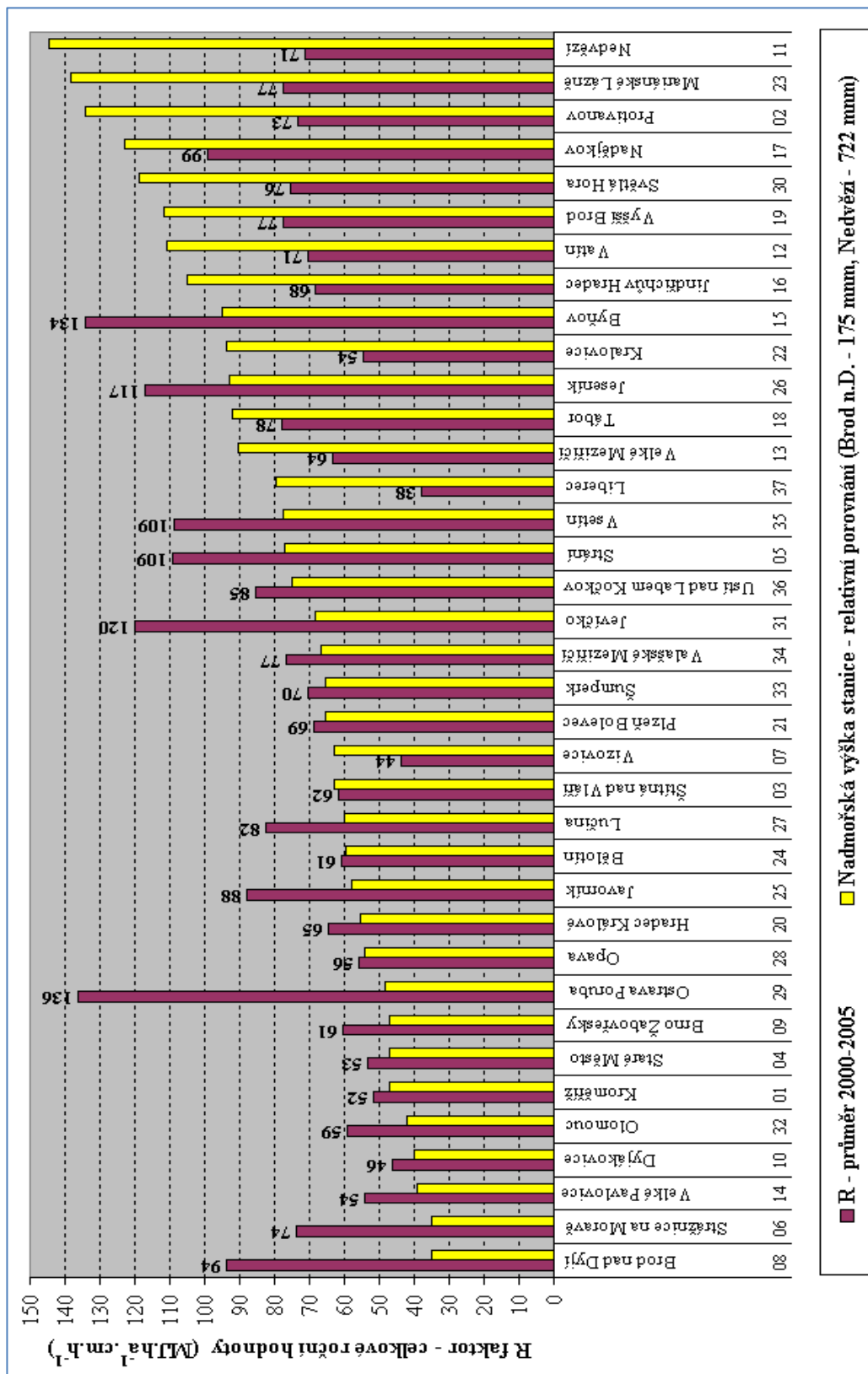


Obr. 3-14: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2004

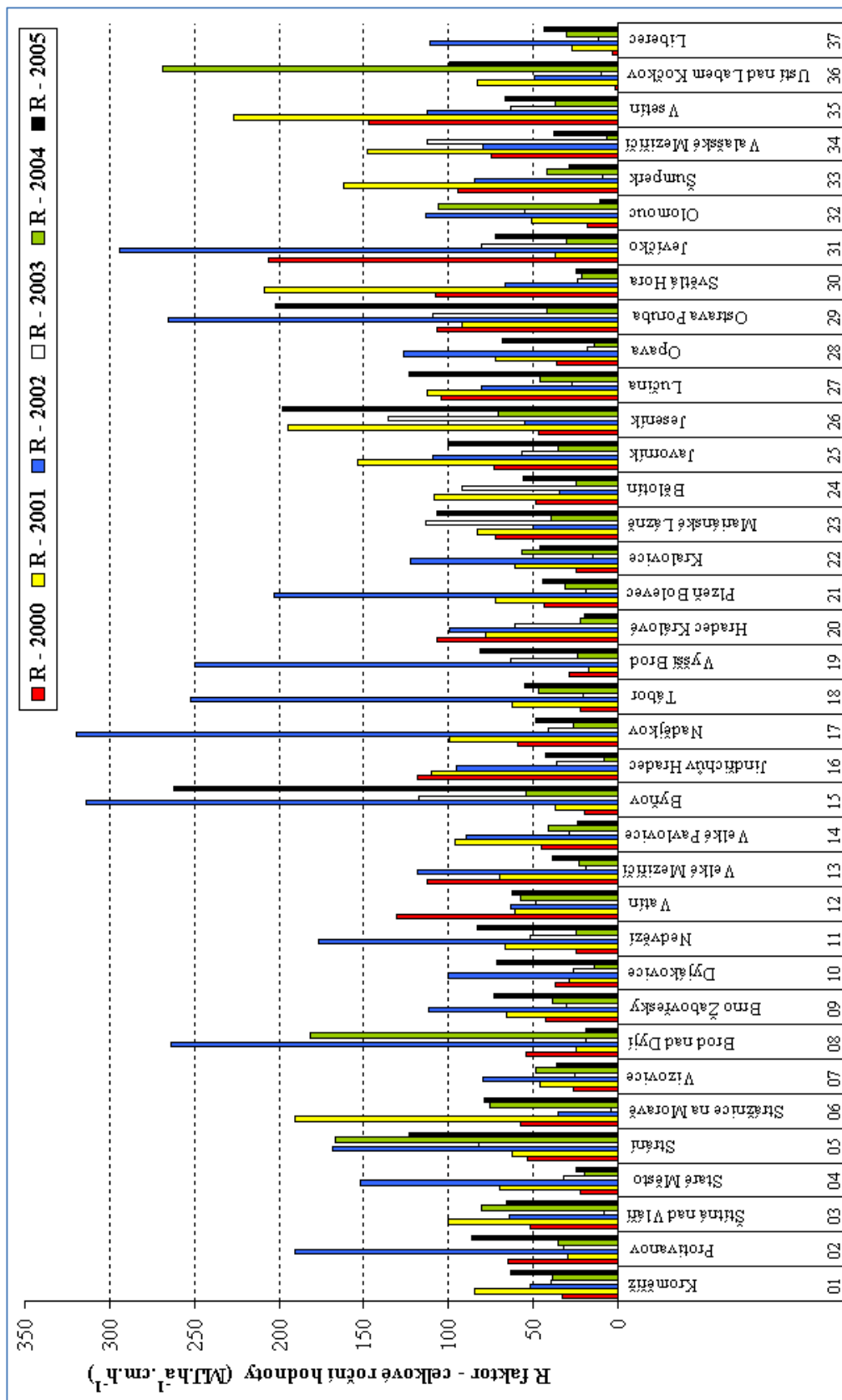


Obr. 3-15: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2005

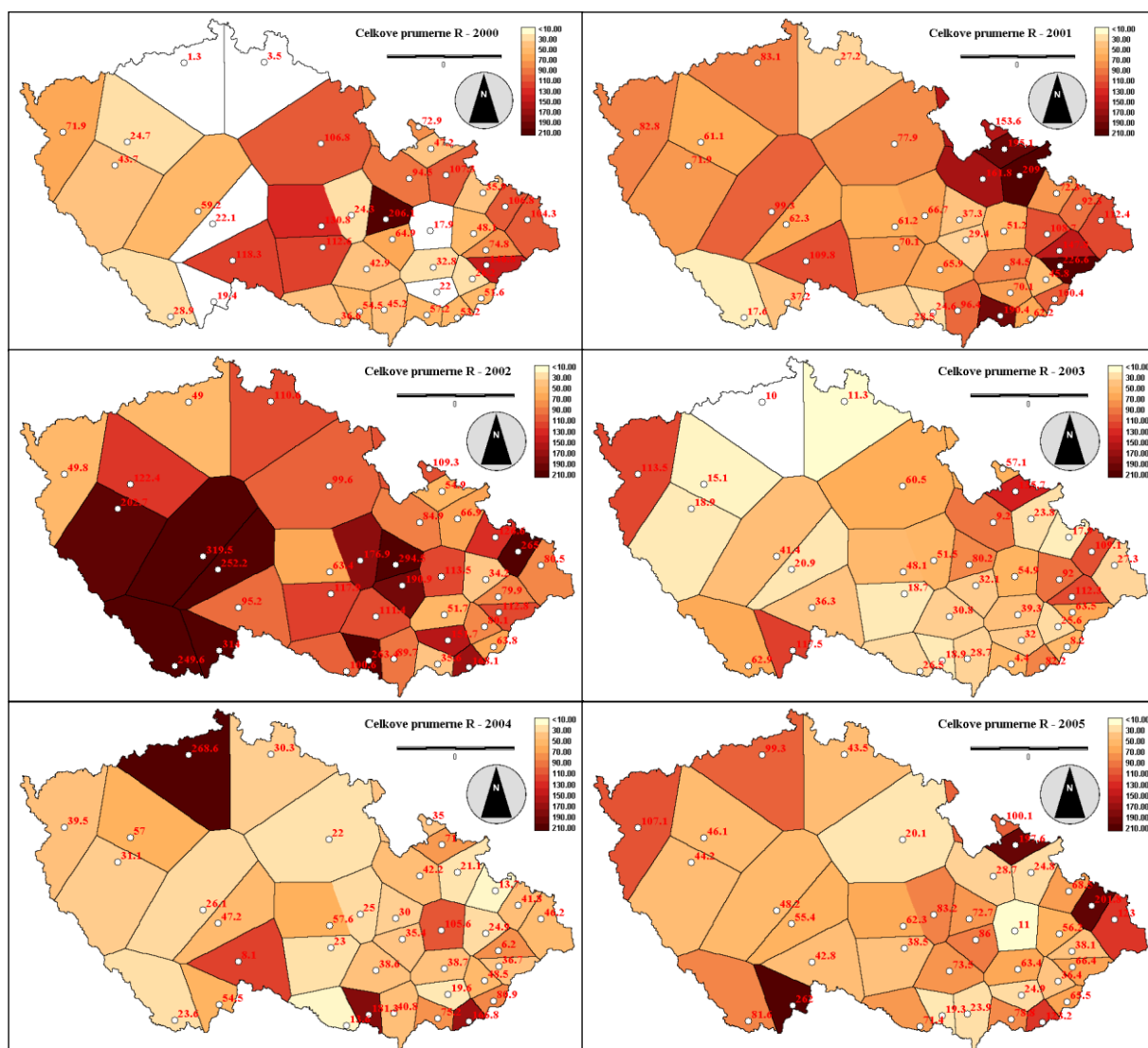




Obr. 3-16: Grafické vyjádření vzájemného vztahu R faktoru a nadmořských výšek jednotlivých stanic při seřazení stanic podle nadmořské výšky



Obr. 3-17: Vývojový trend celkových hodnot R faktoru v jednotlivých stanicích a letech



Obr. 3-18: Mapy rozložení R faktoru v jednotlivých stanicích (oblastech) a letech

### 3.1.5.3 REGIONALIZACE R FAKTORU (2000 - 2005)

Podle dosavadních analýz je 37 stanic příliš malý počet pro vystižení věrohodných údajů o erozivité na celém území ČR (a tedy v oblastech mimo hodnocené stanice) zejména proto, že erozně účinné a tedy přívalové srážky jsou obvykle lokálního charakteru. Ze všech dosud hodnocených dat je pouze zřejmé, že průměrná erozivita srážek v celé ČR v posledních šesti letech výrazně narostla, přesto však zůstává v relacích předpokládaných na základě údajů z posledních 40 let.

Regionalizace vychází rovněž z údajů a zdrojů použitých při předchozím výzkumu, se zapojením nejnovějších dat do původního schématu. Morfologické hledisko přitom není podle provedeného statistického porovnání při hodnocení přívalových srážek rozhodující. Přesto je do jisté míry významné – především z hlediska celkových srážkových úhrnů hraje velkou roli.

Nejjednodušší možnost pro vizuální porovnání hodnot R v jednotlivých stanicích a variability v relativních vzdálenostech stanic je opět vztáhnutí průměrných hodnot R faktoru ze všech šesti

let na oblasti vyjádřené Thiessenovými polygony (Obr. 3-19). Jako mapa ovšem samozřejmě není takový podklad využitelný. Je třeba dát do souvislosti velikosti a rozložení hodnot R faktoru odvozené pro období 1962 - 2001 a hodnoty současné. To je částečně naznačeno již v přehledu hodnot nad revidovanou mapou z roku 2004 (Obr. 3-9).

V souvislosti s tímto úkolem vyvstávají před řešitelem především dva základní problémy:

- Předchozí úrovně řešení pracovaly nejen s erozivitou podle Wischmeiera a na základě přívalových srážek, ale rovněž s dlouhodobými srážkovými úhrny a jejich prostorovým rozložením. S tímto problémem se potýká většina evropských řešení; zde a v předchozích zprávách (Dostál et al., 2004) byla prezentována řada nevýhod takového postupu, např. zmiňovaná korelace dlouhodobých úhrnů a nadmořských výšek, jež je naopak zcela neprokazatelná u srážek přívalových (Obr. 3-16). Přesto je při nedostatku jiných podkladů nutno dostupná data využít a kombinovat, a to i s rizikem snížené validity výstupu.
- Nově použitá data nereprezentují dostatečně dlouhou dobu pozorování a anomálie v získaných hodnotách tudíž přinášejí riziko velkých chyb. Evidentní jsou mimořádné srážkové události ze srpna 2002, jež v několika stanicích v jižních Čechách zvedly hodnotu R faktoru pro rok 2002 nad všechny běžné meze (Obr. 3-12) a výrazně zvýšily celkovou hodnotu R faktoru pro ČR i v dlouhodobém průměru. Přestože jsme si vědomi, že se již nejednalo o srážky lokálního charakteru, ale o zasažení velkých oblastí mimořádnou událostí, je obtížné vyjmout tato data z výpočtu a celou srpnovou událost vynechat z řešení – zejména proto, že celá metodika R faktoru je postavena na přívalových srážkách a tyto deště byly erozně vysoce účinné, a pokud se vyhneme našemu regionálnímu českému pohledu, měly významný vliv na rozdělení erozivit v evropském kontextu v uvedené době. Událost může též ukazovat na nastávající dlouhodobý trend, ostatně povodňové události nastaly během posledního desetiletí na našem území i v řadě dalších případů.

V regionalizaci proto vycházíme z úplných datových řad, tak jak nám byly k dispozici, extrémní hodnoty ve vybraných stanicích jsou nicméně v průběhu regionalizace korigovány, jak je vysvětleno dále.

Nejjednodušší regionalizace vychází obdobně jako již uvedené Thiessenovy polygony z pouhé lineární prostorové interpolace a euklidovské vzdálenosti jednotlivých stanic (Obr. 3-18). Zásadním nedostatkem je však zmiňované nerovnoměrné pokrytí území stanicemi a proto ani tento podklad nelze jako mapu R faktoru využít.

Následuje podrobnější obrazové porovnání hodnot regionalizace z roku 2004 a současných hodnot (Obr. 3-21). Obrázek ukazuje, které stanice byly k dispozici v datech obou výpočtů a jak se v uvedených stanicích i jejich okolí lišily výsledné hodnoty erozivity pro dané výpočty.

Další obrázek (Obr. 3-22) lépe ukazuje nedostatečnou shodu obou podkladů pomocí rozdílové vrstvy plošných regionalizací uvedených na obrázcích (Obr. 3-7) a (Obr. 3-19). Regionalizace z roku 2004 na základě DMT a dlouhodobých úhrnů byla odečtena od plošné interpolace průměrů R z přívalových dešťů za roky 2000 - 2005. Z výsledku jsou lépe patrné některé základní rozdíly v obou mapách a zdrojových datech:

- Současné hodnoty R faktoru téměř na celém území ČR (s výjimkou Jizerských hor, Krkonoš a přilehlé oblasti a širokého severo-j jižního pásu vedoucího od Opavy) přesahují hodnoty získané na základě dlouhodobých úhrnů. Na většině území jsou hodnoty překročeny o cca 5 až 35 ( $N \cdot h^{-1}$ ), s nepatrným náznakem poklesu rozdílu s růstem nadmořské výšky. Tento trend je ovšem v řadě stanic naprosto opačný, a proto jej nelze při interpretaci využít. Trend tak lze spatřovat jedině v celkovém obecném nárůstu hodnot, ovšem bez prostorového určení relevantních oblastí.
- Současné hodnoty R faktoru místy přesahují hodnoty získané na základě dlouhodobých úhrnů výrazně. V některých oblastech až o více než 50 ( $N \cdot h^{-1}$ ) – to se týká přibližně šesti regionů ČR s extrémní průměrnou hodnotou R (vyšší než 100) způsobenou zejména mimořádnými srážkovými událostmi v letech 2001 a 2002, jak je patrné z předchozích map (Obr. 3-12). Stanice s uvedenými extrémními hodnotami jsou: 05-Strání, 08-Brod nad Dyjí, 15-Byňov, 17-Nadějkov, 25-Javorník, 26-Jeseník, 29-Ostrava Poruba, 31-Jevíčko, 35-Vsetín, 36-Ustí nad Labem Kočkov.
- Ve dvou izolovaných oblastech jsou současné hodnoty R faktoru nižší cca o 5 až 30 ( $N \cdot h^{-1}$ ), než byly hodnoty odhadnuté na základě dlouhodobých úhrnů. Jedná se o severočeskou oblast – kde je rozdíl způsoben jednou stanicí Liberec s relativně nízkými hodnotami erozivity ve všech šesti letech, vzhledem k nedostatku okolních stanic je nízká hodnota interpolací propagována v širokém okolí a v horských oblastech jsou dlouhodobé úhrny ve všech okolních stanicích samozřejmě naopak velmi vysoké. Druhou takovou oblastí je pás protínající Moravu od severu k jihu. Zde rozdíly nejsou tak vysoké. Jsou způsobeny hodnotami ze zhruba šesti stanic (28-Opava, 32-Olomouc, 24-Bělotín, 01-Kroměříž, 07-Vizovice a 03-Štítná nad Vláří). Uvedené stanice ovšem nevykazovaly extrémně nízké erozivity (hodnoty se pohybují kolem 50 - 60 ( $N \cdot h^{-1}$ )) a pokrytí digitálními stanicemi na Moravě je kvalitnější než v Čechách. Lze tedy s větší pravděpodobností předpokládat, že se jedná o reprezentativní hodnoty celé oblasti.

V souladu s dosavadním výzkumem a zjištěními nedostatky v korelaci s dalšími dostupnými podklady nebylo možno provést přesnější mapování. Proto je výsledná regionalizace provedena pouze lineární plošnou interpolací mezi jednotlivými stanicemi, přičemž extrémní hodnoty (jak minimální tak maximální – v okolí stanic zmíněných v předchozích bodech) byly korigovány plynulým vyrovnáním průběhu gradientu R na základě předchozí regionalizace (pomocí mapových nástrojů GIS) tak, aby vzhledem k nejistotě z důvodu nedostatku kvalitnějších podkladů nebyla vlivem výjimečných srážkových událostí erozivita a tím i dlouhodobá průměrná ztráta půdy mimořádně nadhodnocována v postižených oblastech.

Postup v prostředí GIS byl následující. K regulaci extrémních hodnot R faktor u byla využita rozdílová vrstva současné a předchozí regionalizace (Obr. 3-22). Její hodnoty (kladné i záporné) byly redukovány na 30%, výsledná vrstva byla následně důkladně vyhlazena filtrací typu MEAN tak, aby se maximální rozdílové hodnoty pohybovaly v rozmezí (-10, +30). Z této mapy byla odvozena vrstva převrácených hodnot a sečtením s původní interpolovanou vrstvou průměrných hodnot R (2000-2005) byla vytvořena první redukováná vrstva R (předchozí regionalizace na základě dlouhodobých úhrnů se tak projevila 30% účinkem na posunu současných hodnot, což má význam především v místech vyšších rozdílů a extrémů hodnot). Hodnoty vrstvy byly převedeny do formátu celých čísel. Tato redukováná vrstva byla ještě shora omezena maximální uvažovanou hodnotou faktoru R rovnou 85 ( $N \cdot h^{-1}$ ) z důvodu krátkých

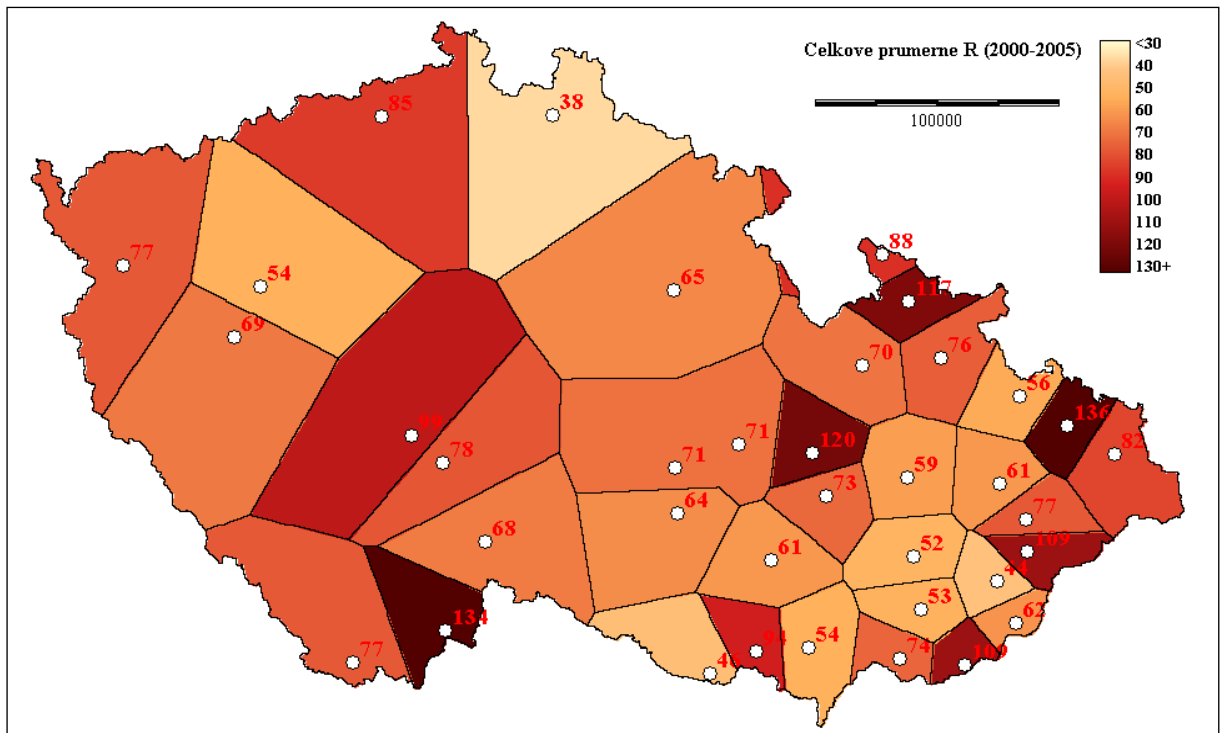
zdrojových časových řad pozorování a tedy nejistoty v maximálních hodnotách. Z výsledné vrstvy byly zpětně odvozeny opravené hodnoty R faktoru v jednotlivých stanicích, jež jsou se skutečnými vypočtenými hodnotami za roky 2000-2005 porovnány v tabulce (Tab. 3-9).

Výsledkem je nová mapa faktoru R pro ČR charakterizující erozní účinnost dešťů po roce 2000 (Obr. 3-23). Pro předcházející období by uvedený podklad měl být využíván pouze s maximální opatrností. Pro výpočet v blízkém okolí stanic s měřenými hodnotami pro konkrétní období v rozmezí let 2000-2005 by měly být využity skutečné hodnoty erozivity získané ze srážkových úhrnů v sledovaném období, jež jsou k dispozici ve zdrojových datech a shrnuty v tabulce (Tab. 3-8) a původní mapě.

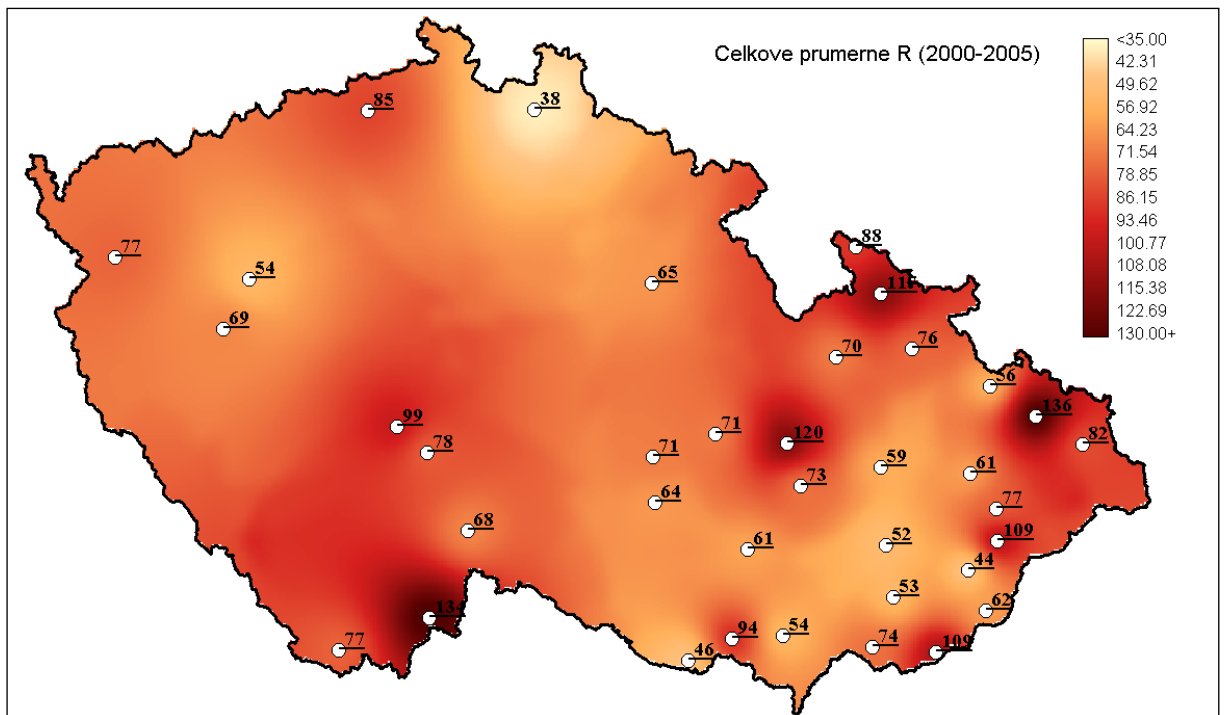
Zároveň byla provedena analýza euklidovských vzdáleností všech míst ČR vzhledem k stanicím, jež jsou podkladem současné regionalizace, a analýza relativní hustoty pokrytí území stanicemi. Kombinací obou analýz byla vytvořena mapa nejistoty hodnoty R (Obr. 3-24). Tato mapa by měla vždy sloužit jako doplněk při použití poslední regionalizace a napomoci řešiteli erozních procesů v libovolném území k pochopení a zahrnutí nejistoty v hodnotě R do celkové nejistoty výpočtu. Mapa obsahuje hodnoty od 100 do 0 a není přímo mapou pravděpodobností správnosti R. Pouze indikuje větší nebo menší relativní přesnost hodnoty R v dané lokalitě. Čím více se blíží hodnotě 100, tím přesnější lze očekávat shodu mezi reálnou erozivitou a erozivitou uváděnou v mapě regionalizace. Hodnoty 100 nabývá mapa nejistot pouze přímo v místech jednotlivých stanic, pro které je známa skutečná hodnota erozivity na základě kontinuálního měření přívalových dešťů.

**Tab. 3-9: Výsledná tabulka hodnot R po regionalizaci a redukcí extrémních hodnot.**

ID	Jméno	R 2000 - 2005	R reduko vaný	rozdíl	ID	Jméno	R 2000 - 2005	R redukováný	rozdíl
01	Kroměříž	52	54	-2	20	Hradec Králové	65	61	4
02	Protivanov	73	67	6	21	Plzeň Bolevec	69	61	8
03	Štítná nad Vláří	62	65	-3	22	Kralovice	54	49	5
04	Staré Město	53	51	2	23	Mariánské Lázně	77	73	4
05	Strání	109	85	24	24	Běloutín	61	64	-3
06	Strážnice na Moravě	74	66	8	25	Javorník	88	85	3
07	Vizovice	44	54	-10	26	Jeseník	117	85	32
08	Brod nad Dyjí	94	77	17	27	Lučina	82	79	3
09	Brno Žabovřesky	61	54	7	28	Opava	56	61	-5
10	Dyjákovice	46	44	2	29	Ostrava Poruba	136	85	51
11	Nedvězí	71	69	2	30	Světlá Hora	76	75	1
12	Vatín	71	67	4	31	Jevíčko	120	85	35
13	Velké Meziříčí	64	59	5	32	Olomouc	59	58	1
14	Velké Pavlovice	54	48	6	33	Šumperk	70	69	1
15	Byňov	134	85	49	34	Valašské Meziříčí	77	77	0
16	Jindřichův Hradec	68	66	2	35	Vsetín	109	85	24
17	Nadějkov	99	85	14	36	Ústí nad Labem Kočkov	85	75	10
18	Tábor	78	70	8	37	Liberec	38	49	-11
19	Vyšší Brod	77	76	1					

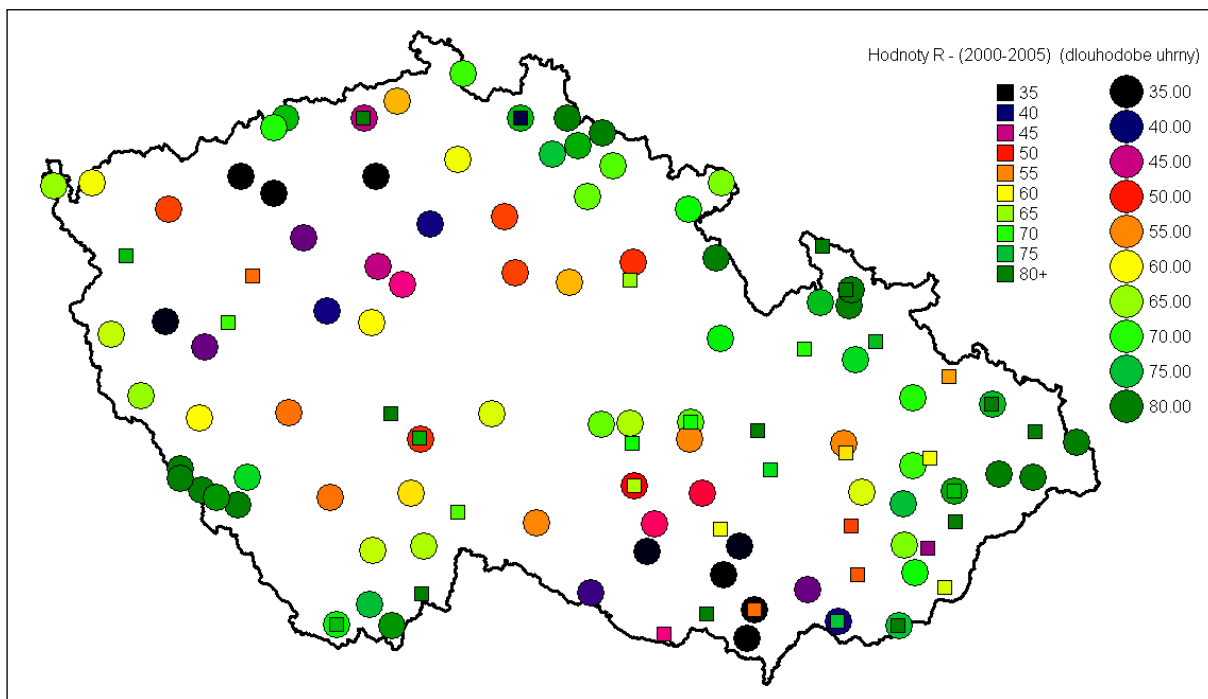


Obr. 3-19: Hodnoty erozivty v jednotlivých stanicích – průměr let 2000 - 2005

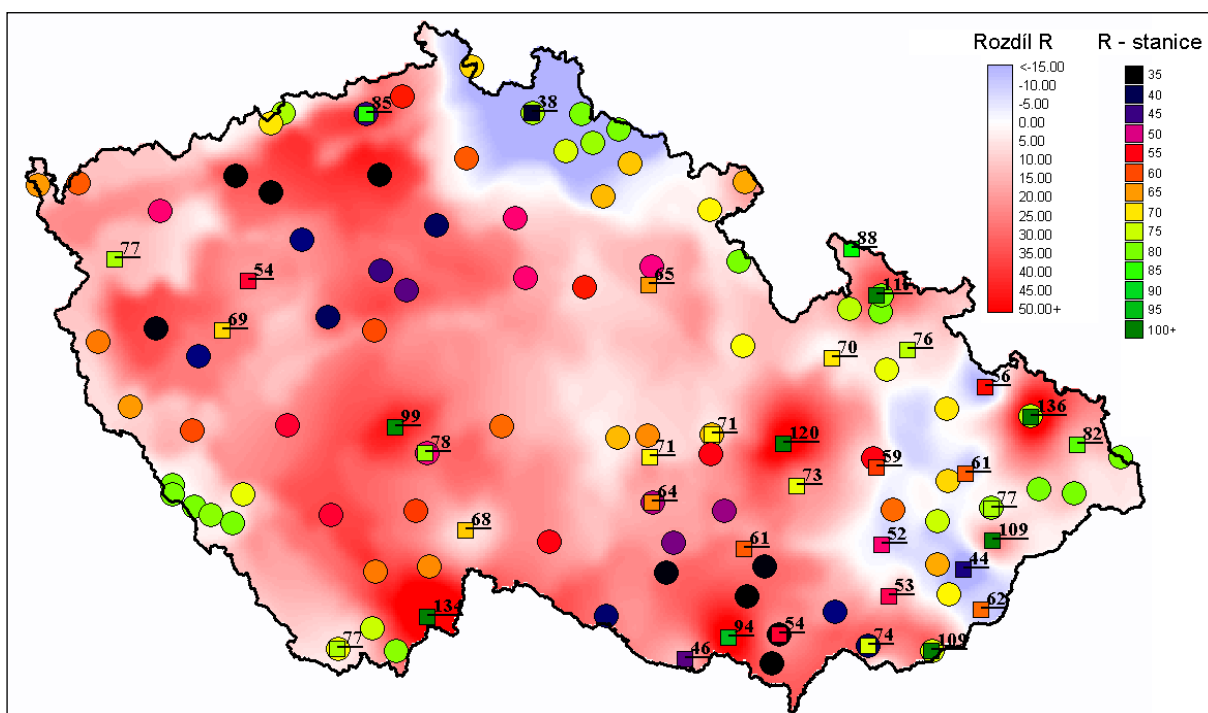


Obr. 3-20:: Plošná interpolace hodnot erozivty – průměr z let 2000 - 2005

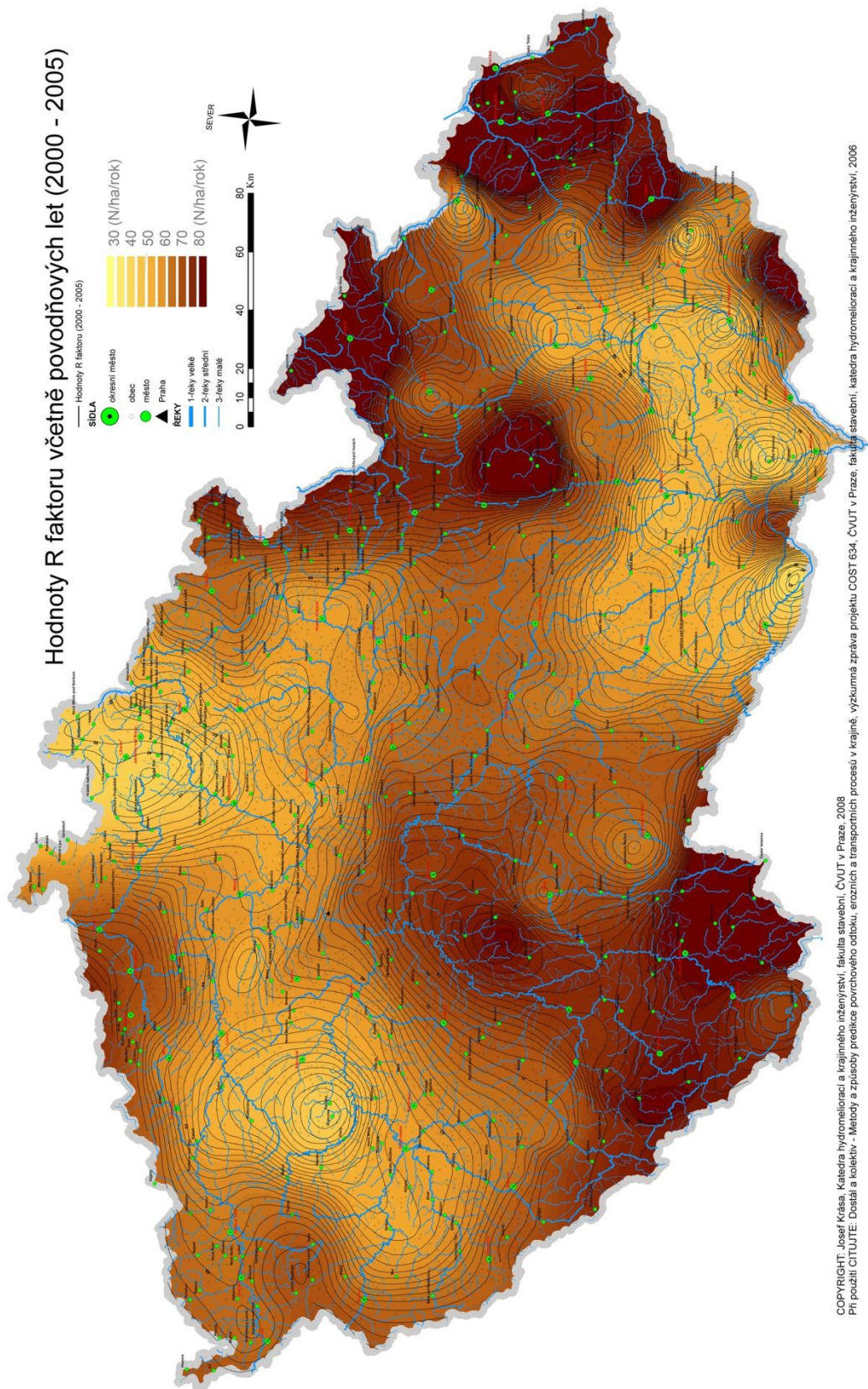




Obr. 3-21: Porovnání erozivity a umístění stanic regionalizace z let 1962 – 2001 (kroužky) a regionalizace z let 2000 – 2005 (čtverce); odpovídající si hodnoty vyznačeny stejnou barvou

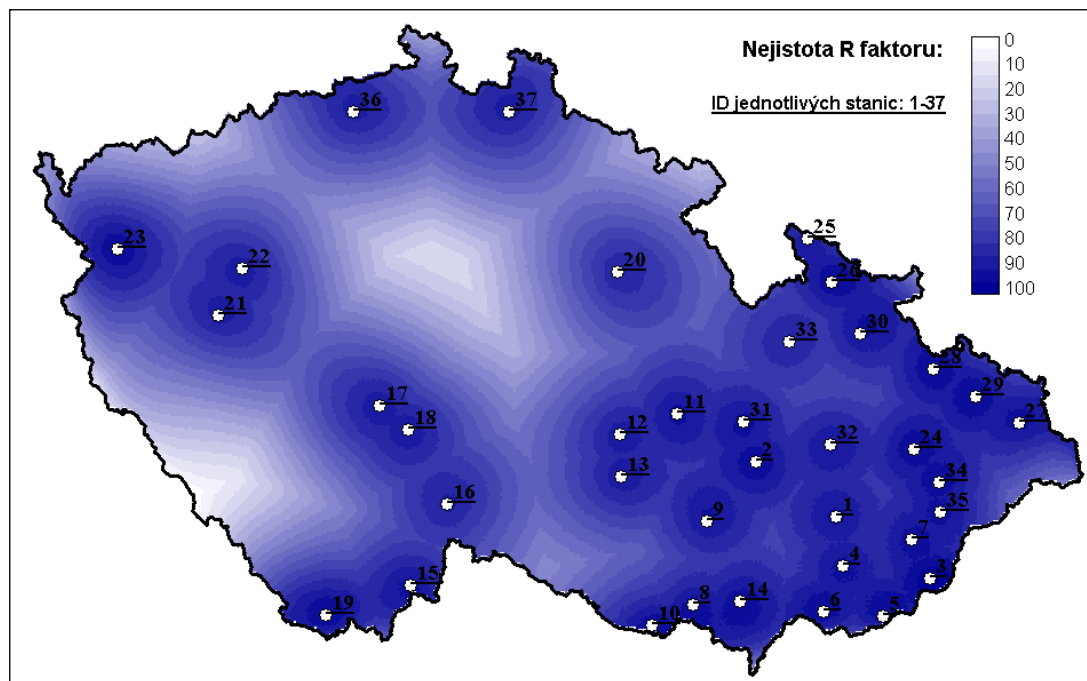


Obr. 3-22: Porovnání erozivit za pomoci rozdílové vrstvy nové a minulé regionalizace; nové stanice opět symbolizovány čtverci (a číselnými hodnotami), stanice s dlouhodobými úhrny kroužky



COPYRIGHT: Josef Křesa, Katedra hydrometeorologie a krajinného inženýrství, fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2008  
 Při použití CITUJTE: Metodický předpis pro tvorbu datových zdrojů, zpracování a transporci procesů v krajině, výzkumná zpráva projektu COST 634, ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra hydrometeorologie a krajinného inženýrství, 2006

Obr. 3-23: Výsledná mapa R faktoru pro současné období počínaje rokem 2000



**Obr. 3-24: Mapa nejistot v hodnotě R faktoru – 0 = nejvyšší riziko chyby, 100 = měřená stanice**

Na základě dosud dostupných dat byla vytvořena nová mapa regionalizace faktoru erozní účinnosti srážek R pro Českou republiku (Obr. 3-23). Protože dosud nejsou k dispozici dostatečně kvalitní podklady – dlouhodobé řady kontinuálních digitalizovaných záznamů srážkových úhrnů pro stanice pokrývající souvisle území ČR – bylo nutno do řešení zahrnout řadu zjednodušení. Výsledná mapa je tedy podkladem se kterým je nutno pracovat se zvýšenou opatrností a s vědomím možných odchylek v hodnotách pro konkrétní lokalitu a časové období.

Z výše uvedeného důvodu byla vytvořena též doplňující mapa nejistot (Obr. 3-24), jež vychází z lokalizace dostupných reálných hodnot R faktoru a pomocí zpětné prostorové analýzy interpolačních metod použitých při tvorbě mapy R faktoru ukazuje uživateli mapy, do jaké míry se při výpočtu ztráty ve zvolené oblasti může spolehnout na hodnotu R faktoru odvozenou z mapy regionalizace.

Odvozené mapy byly vytvořeny za pomoci projektu COST 1P040C634.001 – „Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině“. Použité metodické postupy v prostředí GIS a analýzy využití GIS nástrojů potřebné pro výpočet byly odvozeny rovněž za pomoci výzkumného záměru VZ 684077000002 – „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“.

### 3.1.6 POSLEDNÍ POZNATKY A BUDOUCNOST R FAKTORU V ČR

Kubátová (Kubátová et al., 2009) se zabývá i v posledních letech vyhodnocením R faktoru na základě ombrogramových a digitálních srážkoměrných dat v ČR. Zaměřuje se zejména na rozdělení průběhu erozních srážek během vegetační sezóny. Data z jí vyhodnocených stanic potvrzují předchozí trendy, maximální erozivita srážek je způsobena letními přívaly s vrcholem na přelomu června a července. Průměrné rozdělení R faktoru během roku v ČR podle uvedené



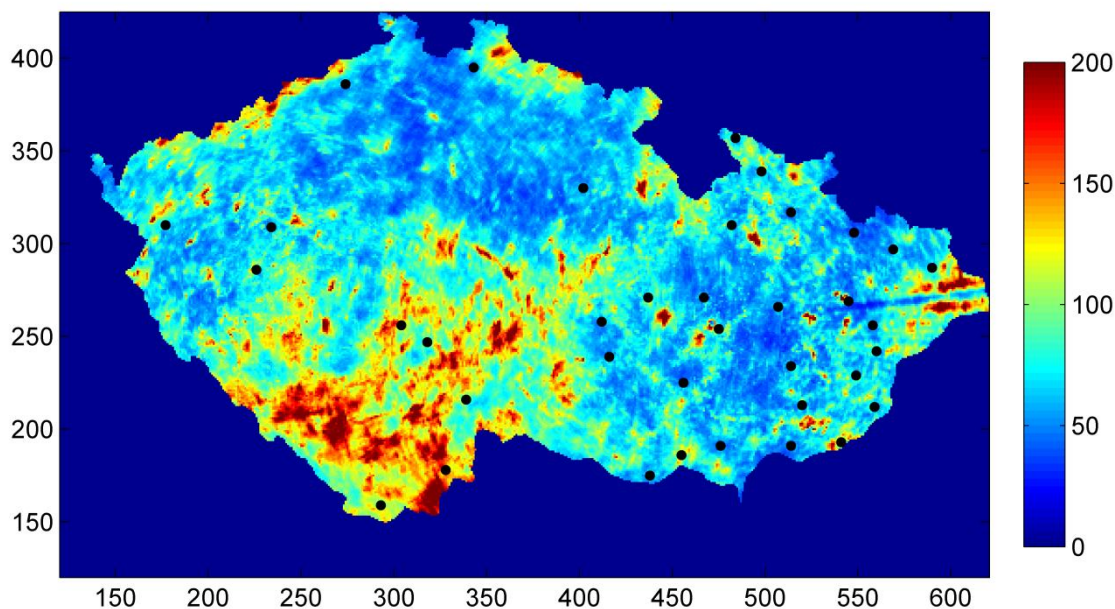
publikace shrnuje tabulka (Tab. 3-10). S erozním účinkem mimovegetačních srážek a táním sněhu se u nás stále neuvažuje.

**Tab. 3-10: Rozložení hodnot R faktoru během vegetačního období (Kubátová et al., 2009)**

Měsíc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Podíl na celkovém ročním R faktoru (%)	0.9	10.9	22.3	29.9	25.8	8.3	1.7	0.2

Toto rozdělení se výrazně neliší od dříve publikovaných hodnot (Janeček et al., 1992). Při návrzích PEO je tak vhodnější uvažovat rozdělení přívalových srážek vzhledem k fenofázi plodin takto časově. Nicméně v konkrétních lokalitách a časech se rozložení srážek může výrazně lišit, neboť klima v České republice je z hlediska výskytu přívalových dešťů výrazně nevyrovnané. Problém všech výše uvedených aktualizací R faktoru spočívá zejména v lokálním charakteru přívalových dešťů a jejich velmi omezené korelace s nadmořskou výškou. Proto je velmi obtížné vytvářet regionalizaci a celorepublikovou mapu na základě údajů z několika (nebo i několika desítek) stanic. Srážkoměrná síť ČHMÚ je sice poměrně hustá, avšak data kontinuálního měření (navíc dostatečně dlouhé řady) nejsou a zřejmě nikdy nebudou plně dostupná. Novým trendem je využití radarových dat.

Radarová data se vyznačují poměrně vysokou přesností lokalizace bouřkových jader i samotných přívalových srážek. Výsledkem je např. veřejný přenos radarových dat zavedený ČHMÚ, on-line sledování bouřek na území České republiky na internetovém portálu <http://radar.bourky.cz/>.



**Obr. 3-25: Stanice kontinuálního měření (černě) na podkladu prostorového rozložení R faktoru dle radaru (Bek et al., 2010b)**

Atmosféra nad Českou republikou je trvale monitorována dvěma radary a z jejich dat lze získat „očistěná“ data (Sokol et al., 2010) – tedy data sloučená a kalibrovaná podle denních měření

srážkoměrů. V roce 2010 se autor podílel na odvození upravené metodiky určování R faktoru na základě dat o hodinových úhrnech srážek pro teplé období roku (duben až září) z let 2002 - 2005 v horizontálním rozlišení 1 km x 1 km. Srážky byly vypočítány podle časové integrace založené na měření radarové odrazivosti provedené každých 10 min (Bek et al., 2010a).

Časový krok měření srážek radarem je proto pro určování erozivity zcela dostačující, desetiminutový krok spolehlivě zachytí nástup bouřkové události. Prostorové rozložení srážek je zachyceno s přesností, již není možné dosavadním monitoringem v srážkoměrných stanicích konkurovat. Protože vysoká pozitivní prostorová autokorelace přívalových srážek není v ploše interpolačními metodami mezi stanicemi reprodukovatelná, jsou z tohoto pohledu do budoucna radarová data svým kontinuálním pokrytím povrchu s relativně vysokým prostorovým rozlišením nenahraditelná, zejména pro sledování erozivity v reálném čase. V porovnání s dosavadním monitoringem ve stanicích představují radarová data rovněž obrovské množství dat, což extrémně zvyšuje nároky na vyhodnocení.

Příprava skutečné regionalizace a mapy R faktoru na základě radarových dat se však dosud potýká zejména s následujícími problémy:

- Samotné odvození skutečné intenzity srážky na základě odrazivosti není vždy přesné a zejména pro určité typy srážek (např. podíl krup) a pro extrémní intenzity srážek nemusí být radarová data přesná (spíše dochází k podhodnocení než naopak). Proto je třeba data „fitovat“ na data ze srážkoměrů, jež ovšem nemají stejné časové rozložení. Metodika se aly rychle rozvíjí a do budoucna zřejmě výrazně zpřesní.
- Vysoké prostorové rozlišení radarových dat je obecně přesné, ale v datech se vyskytují rovněž chyby (prostorový šum), pokud je radarový signál poškozen (např. rušen externím jevem), týkají se zejména okrajových lokalit, kde je kvalitní jen signál jednoho z protilehlých monitorovacích radarů na našem území. Projevují se obvykle formou pruhů v datech pouze pro určité časové výseky pozorování. Výsledný projev takové chyby je vidět i na pravém okraji obrázku (Obr. 3-25). Tyto chyby nelze ani do budoucna zcela eliminovat, spíše se zlepšují metody jejich odfiltrování z měřených dat.
- Dosavadní časové řady nepostihují dostatek let kontinuálního sledování, neb se jedná o relativně novou metodu. Podle odhadu autorů je třeba pro relevantní regionalizace a mapu získat časovou řadu sledování přibližně dvaceti let, na kterou si budeme muset ještě počkat. Kombinace se srážkoměrnými daty je však slibná, korelace mezi daty nás opravňuje k použití kombinovaných dat a proto kvalitní závěry bude možné zřejmě vyslovit podstatně dříve.

Na základě dosavadního využití radaru pro určení R faktoru lze vyslovit závěry (Bek et al., 2010b):

- Při prostém vyhodnocení R faktoru z radarových dat dochází k podhodnocení hodnot vlivem několika faktorů (zejména omezeného časového kroku a nezachycení některých extrémů), což je dokumentováno mnoha autory. Podhodnocení lze vyčíslit a chyba je proto opravitelná.
- Prostorově mezi sebou data ze stanic a z radaru korelují dostatečně tak, aby je bylo možno použít pro přípravu mapy R faktoru v kombinaci.
- Z možných prostorově interpolačních a regresních metod se pro přípravu výsledné mapy nejlépe hodí metoda krigingu s externím driftem.

- Dle radaru dosahuje průměrná prostorová autokorelace erozních srážek v ČR cca do vzdálenosti 25 km, přičemž tato vzdálenost závisí rovněž na intenzitě srážky a pro skutečně intenzivní přívaly se od průměru velmi liší. Liší se i podle charakteru srážek v ročních obdobích a letech. Přesto lze na základě vyhodnocení říci, že pro řešení středně velkých povodí jsou radarová data rovněž použitelná, zejména při verifikaci dat použitím několika stanic.

I přes předchozí pochybnosti ukazují poslední vyhodnocení na skutečnost, že i erozní srážky stanovené s prostorově vysokou podrobností (radar) v ČR výrazně korelují s nadmořskou výškou. Proto je možné výškopis oprávněně začlenit do podkladů použitých k regionalizaci R faktoru, ať už ze stanic nebo z radarových dat. To opravňuje k použití pro dlouhodobé odhady erozního smyvu rovněž regionalizaci a mapu R faktoru na základě dlouhodobých úhrnů (Obr. 3-7), kde prostorová distribuce je do značné míry určena rovněž výškopisem.

### 3.2 DIGITÁLNÍ MODEL Y TERÉNU

Digitální modely terénu jsou v erozním modelování klíčovým vstupem. Morfologické charakteristiky území jsou klíčovým činitelem, rozhodujícím o lokalizaci nejohroženějších ploch. Kvalita a podrobnost DMT přitom přímo rozhoduje o výsledku modelování. Hodnocením dostupných podkladů a metod pro vytvoření DMT se autor zabýval již ve své dizertační práci (Krása, 2004). Pro hodnocení erozních procesů ve velkých povodích (případně na celém území ČR) je třeba volit dostupná data, jež jsou obvykle kompromisem kvality a podrobnosti.

Pokud řešíme erozní proces fyzikálními modely, uplatňuje se DMT jako základní prostorová proměnná pro stanovení lokálního sklonu – a tedy i rychlosti a hloubky povrchového odtoku při zahrnutí dalších parametrů povrchu (vegetace, půda). Zároveň je jím podmíněn směr odtoku v daném bodě, akumulace odtoku a zdrojové povodí k danému bodu.

V případě empirických modelů je DMT podkladem především pro stanovení L a S faktorů metodiky USLE, dále pak pro výpočty směrování odtoku splavenin i retenci splavenin v závislosti na morfologii (např. v modelu WATEM/SEDEM).

V této kapitole bude kromě přehledu dostupných zdrojů DMT pro celé území ČR věnována pozornost především testování metod odvození DMT z vrstevnicových map. Výsledkem testování byla metodika přípravy DMT pro odvození nejnovější verze Mapy ztráty půdy pro území ČR (Krása et al., 2008).

Jako základní podklad pro tvorbu uvedené mapy ztráty půdy byl připraven rastrový digitální model terénu v prostorovém rozlišení 25 metrů (velikost základního elementu 25 x 25 m). Tento model pomohl určit erozní ohroženost i pro jednotlivé partie v rámci každého půdního bloku (s přesností úměrnou zdrojové topografické mapě 1: 25 000).

Autor si je vědom, že pro území ČR jsou dnes k dispozici celorepublikové podrobnější podklady, zejména stereoskopicky vyhodnocený model firmy GEODIS Brno. Nicméně analýzy zde popisované mají obecnou platnost pro data v řadě jiných území a v neposlední řadě komerční produkt, jakým DTM Geodis je, nemusí být řadě řešitelů podobných projektů finančně dostupný.

### 3.2.1 ZDROJOVÁ DATA PRO DMT NA ÚROVNI ČR

Problematikou se autor podrobně zabýval již v dizertační práci (Krása, 2004) a každoročně jsou dostupné informace aktuálně vyhodnocovány při řešení jednotlivých výzkumných úkolů. Základní přehled je pouze pro zachování kontextu zopakován. Pro generelní výpočty na velkých oblastech jsou v zásadě dostupné především komerční **databáze vektorových výškopisných map**, a to:

- DMÚ 25 - Podkladem digitalizace jsou vojenské topografické mapy 1 : 25 000, podkladem aktualizace potom ortogonalizované mozaiky leteckých měřických snímků, sběr dat, místní šetření, fotogrammetrické doměření. Přesnost dat je charakterizována střední polohovou chybou 18 m. Databáze DMÚ 25 zachovává ve své organizační struktuře původní klad mapových listů 1 : 25 000. Pro uvedený výškopis platí původní výškový rozestup vrstevnic 5 m. Databáze DMÚ 25 vytvářená VGHMÚŘ (dříve VTOPÚ) Dobruška podle aktuálních informací není armádou ČR dále uvolňována v aktuálních verzích civilnímu sektoru, nicméně její původní verze jsou stále dostupné.
- ZABAGED - ZABAGED (<http://www.cuzk.cz/>) je digitální topografický model území ČR odvozený z mapového obrazu Základní mapy České republiky 1 : 10 000 v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Správcem a poskytovatelem dat ZABAGED je ČÚZK. Pro uvedený výškopis odvozený z map 1 : 10 000 platí, že digitalizované vrstevnice mají výškový rozestup 2 m, v rovinnatých územích doplněný na rozestup 1 m. Databáze ZABAGED je pro řešení v regionálním přístupu obvykle příliš nákladná (ačkoli ceny digitálních dat se v posledním roce výrazně snižují a tento trend by mohl pokračovat současně s jejich částečným uvolněním pro státem podporovaný výzkum).
- Ostatní databáze vytvořené VGHMÚŘ - (DMR2, DMR1, DMÚ200, DVD) za uvedenými svou přesností zaostávají, a je vhodné je použít opravdu pouze pro generelní řešení, jinak je lépe se orientovat na využití DMÚ 25, případně ZABAGEDu, neboť DMT je zcela základním podkladem pro řešení erozní problematiky a jeho hrubost vždy degraduje kvalitu řešení.

Pro celé území ČR jsou v posledních letech dostupné rovněž **komerční rastrové modely** vytvořené poskytovateli geodetických dat buď z vektorových databází, nebo ze stereoskopických dvojic družicových snímků či leteckých snímků. Univerzálním volně dostupným podkladem je celosvětový model označovaný SRTM, distribuovaný v ČR firmami Arcdata Praha a GISAT. Jeho zdrojem jsou stereoskopické snímky pořízené cílenou misí raketoplánu, na území ČR jeho přesnost odpovídá přibližně rozlišení 60 m. Výhodnou je dostupnost i za hranicemi ČR, nicméně v porovnání s komerčními českými produkty je jeho přesnost pro modelování eroze nedostatečná.

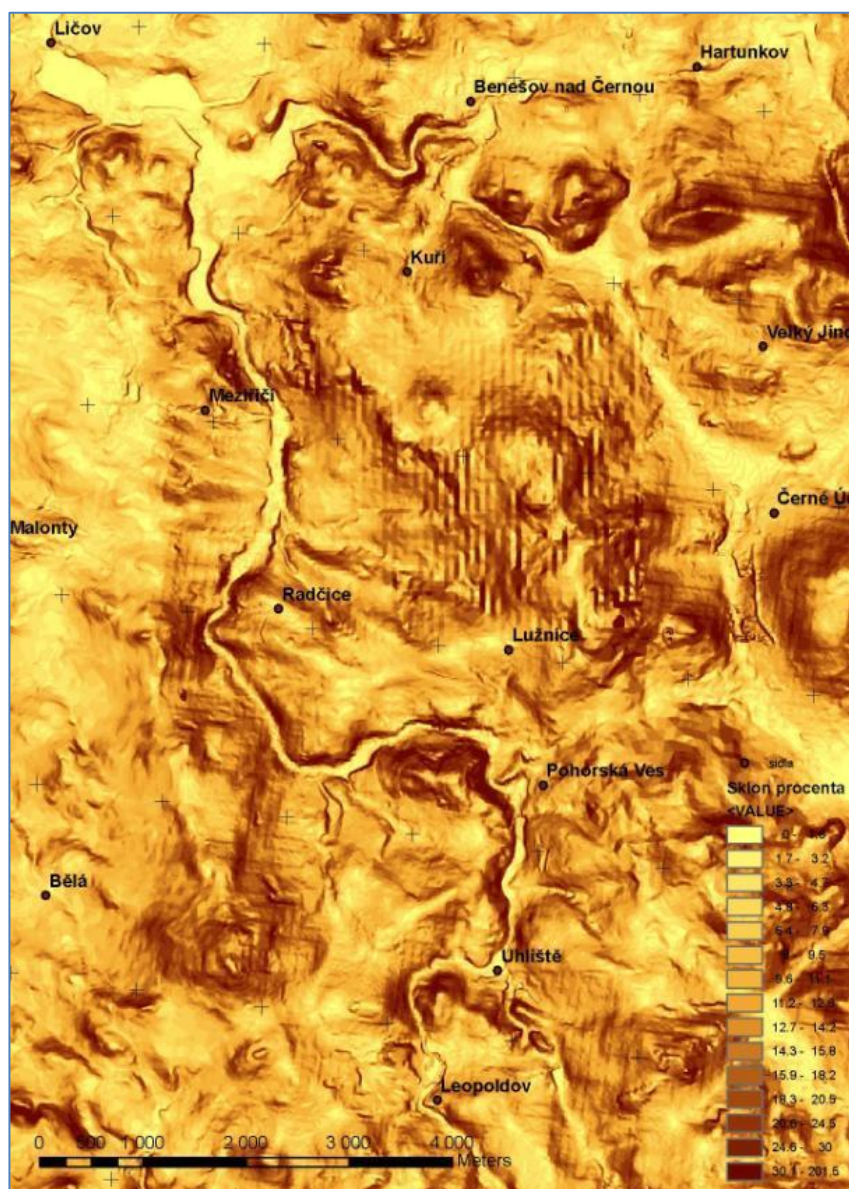
Dostatečně přesné pro měřítko řešení ve velkých povodích mohou být dva produkty:

- Rastrový DMT ZABAGED (1 : 10 000)                      rozlišení 10 m
- Produkt DTM ČR firmy GEODIS                              rozlišení 10 m

DMT ZABAGED je přímo odvozen z vektorového podkladu popisovaného výše a jeho polohopisná a výškopisná chyba je zde shodná s původním mapovým podkladem.



GEODIS Brno garantuje výškovou přesnost svého produktu na vyšší úrovni než dosud nejpodrobnější celorepublikový podklad ZABAGED a zároveň provádí průběžné aktualizace a doplňování skutečných morfologických charakteristik v místech liniových a velkých průmyslových staveb a jejich okolí. Přesto je zde třeba zmínit, že jako řada jiných komerčně poskytovaných produktů v ČR s výrobcem garantovanou přesností ani tento podklad není bez chyb. V povodí VN Římov byly pomocí analýzy sklonitosti DMT nalezeny nesrovnalosti v modelu na poměrně velké části území (Obr. 3-26). V případě absolutní hodnoty nadmořské výšky se nejedná o chybu velkou, problém je však ve skokově odlišných hodnotách v sousedních elementech DMT. To vede k hodnotám extrémních sklonů v partiích území s nižší sklonitostí a k chybnému směřování odtoku v uvedených lokalitách.



Obr. 3-26: Chybové lokality v komerční vrstvě DTM GEODIS Brno (Novohradské hory)

Je třeba podotknout, že výrobce modelu (GEODIS Brno) na reklamaci uvedených chybových lokalit zareagoval vstřícně a během několika týdnů pro uvedenou lokalitu zpracoval nový model na základě opakovaného stereoskopického vyhodnocení zdrojových leteckých snímků. Nový

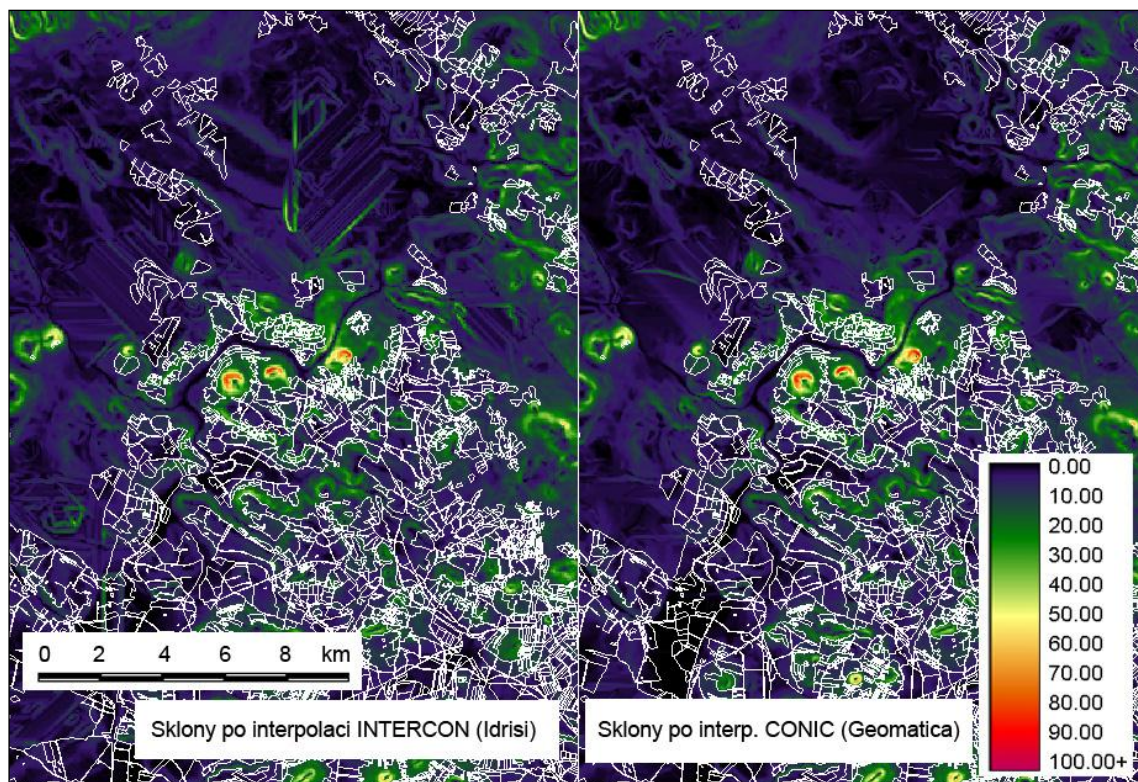
model je částečně zjednodušen – vyhlazen. Byl vytvořen pomocí menšího množství vyhodnocovacích bodů v příslušné lokalitě a použitá metoda TIN sítě k převodu na rastr vede ke vzniku značně rozsáhlých rovinných plošek ve výsledném modelu, přesto je model po opravě podstatně lépe využitelný. Výpočet na opraveném podkladu vede k menším chybám při určení erozní ohroženosti.

Dle konzultace s výrobcem modelu lze nicméně předpokládat, že podobné chybové lokality se budou vyskytovat i v dalších částech území ČR, a proto je třeba předem počítat s chybovostí modelu a provádět opakované kontroly při jeho použití ve velkých územích.

Řada podobných zkušeností řešitelského týmu z realizací mnoha projektů během několika uplynulých let nás vede k oprávněné skepsi v případě doporučování závazných opatření v území na základě výpočtů prováděných celorepublikově, kdy řešitelské týmy nemohou garantovat kontrolu dat s ohledem na skutečná místní terénní šetření. Celorepublikové výpočty mají význam z hlediska rizikových analýz, nikoli však pro návrhy sankčních opatření, nebo technických prvků v krajině.

### 3.2.2 DOSTUPNÉ ALGORITMY PRO TVORBU DMT Z VRSTEVNICOVÝCH MAP

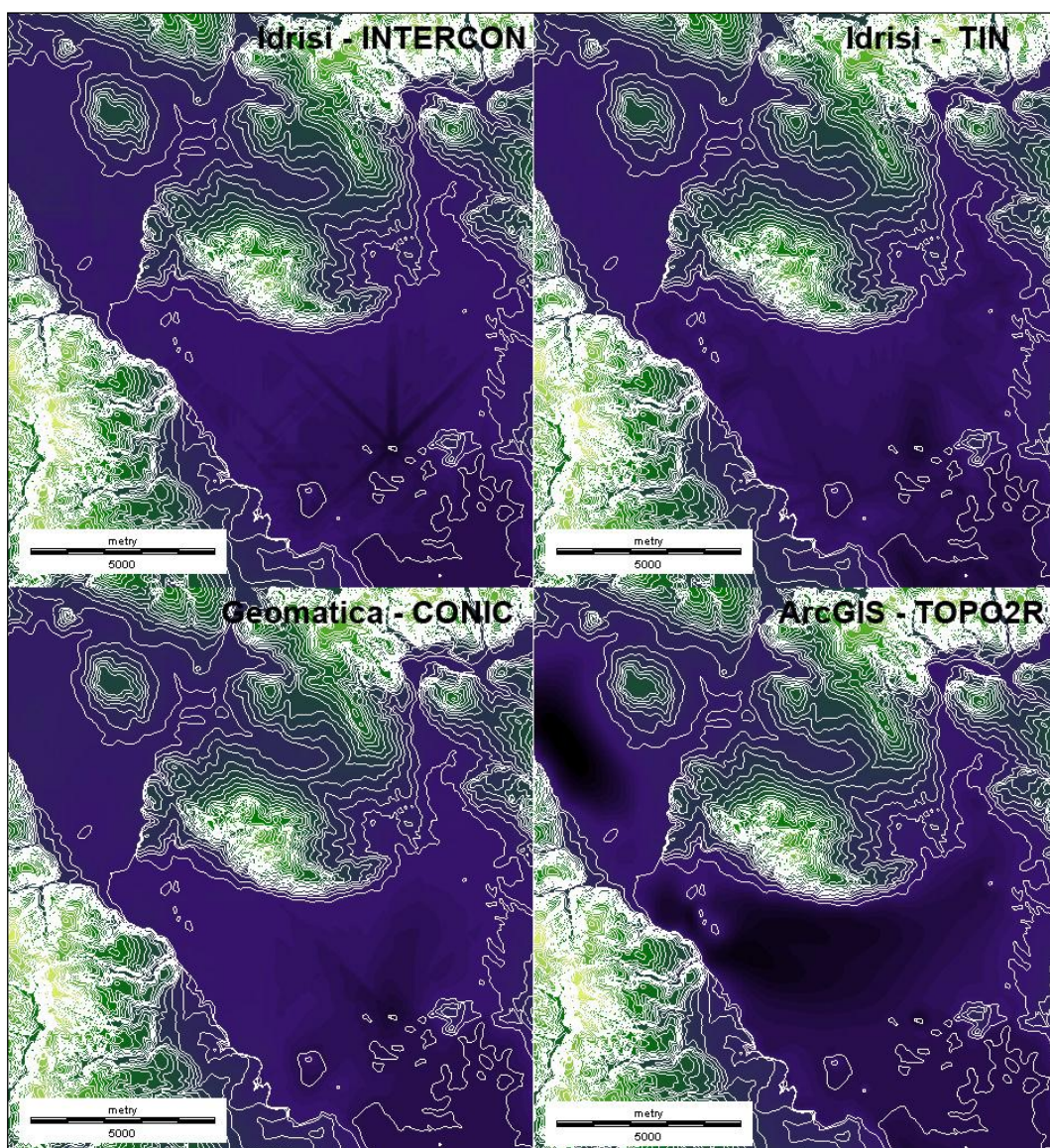
Dostupné algoritmy pro přípravu digitálních modelů terénu z vrstevnicových dat byly testovány v rámci přípravy Mapy erozní ohroženosti pro celé území ČR (Krása et al., 2008).



**Obr. 3-27: Porovnání vrstvy sklonů v kritických oblastech chybějících vrstevnic na území Severočeské uhelné pánve v databázi DMÚ 25. Interpolace INTERCON (IDRISI) versus CONIC (Geomatica)**



Zdrojem DMT pro řešení výpočtu ztráty půdy pro podmínky ČR byla databáze DMÚ 25. Digitalizovaná vrstevnicová mapa z vojenské databáze DMÚ 25 (původně 1 : 25 000) obsahuje celkem 1053 mapových listů dle kladu souřadného systému S-42. Problémem při řešení v roce 2001 (Dostál et al., 2001) byla především odhalená řada chyb v cca 50 mapových listech, respektive dohledání všech chyb. Vektorová databáze byla postupně převedena do rastrové podoby a lineární interpolací byla vytvořena spojitá vrstva DMT. Původní DMT byl interpolován pomocí lineární interpolace modulu INTERCON (software IDRISI 32) samostatně pro 32 překrývajících se GIS mapových listů. Lineární interpolace trpí známými problémy v řídké vektorové síti. Chyby byly původně potlačeny vyhlazením pomocí průměrového filtru na matici 5 x 5 elementů.



**Obr. 3-28: Porovnání jednotlivých metod odvození DMT a jejich dopadu na průběh dna v oblastech širokých údolí s minimálním sklonem a jednotlivými vrcholy a zahloubeními**

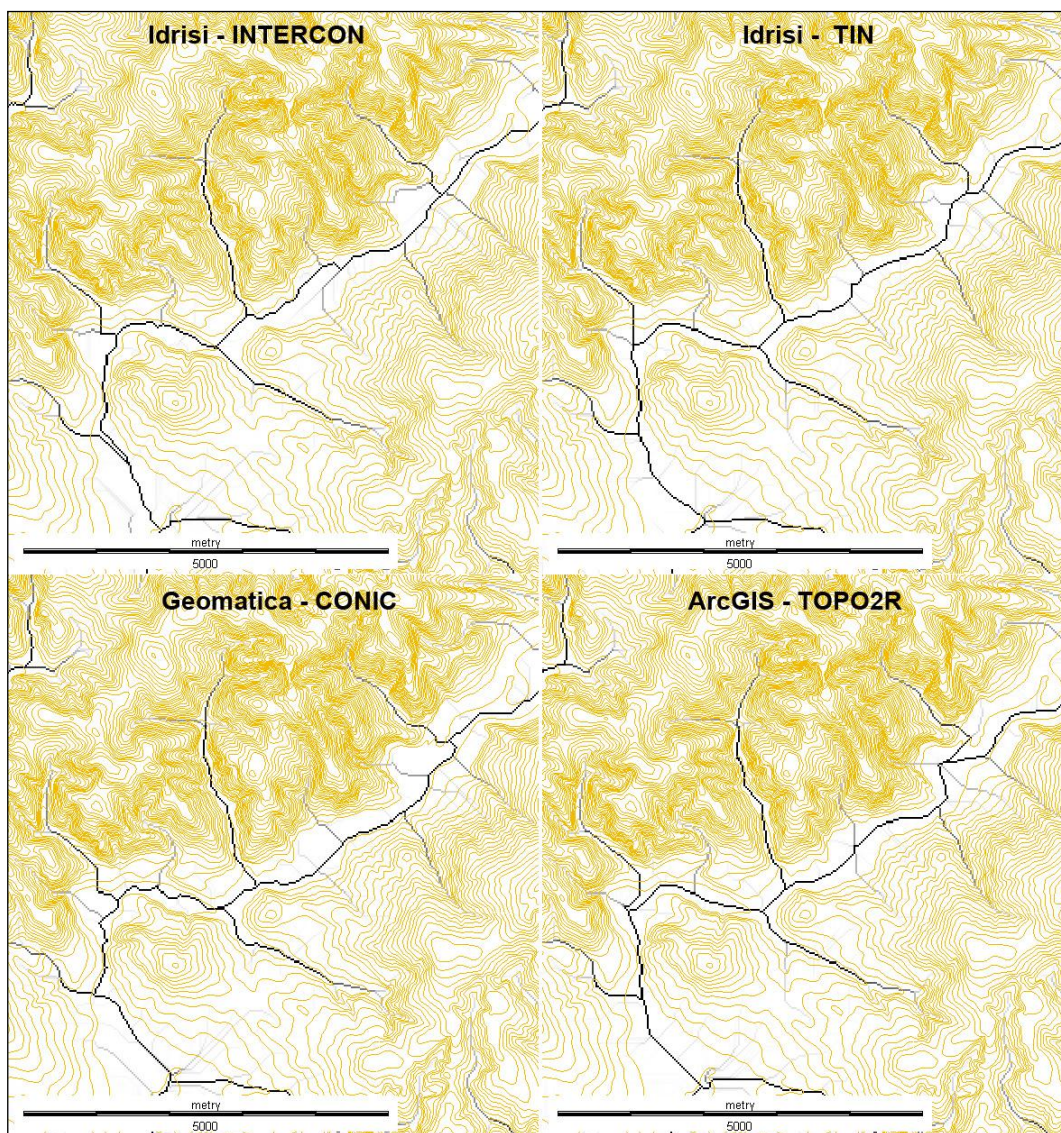
Vzhledem k značné odlehlosti vrstevnic v rovinných oblastech republiky nicméně chyby v některých oblastech přesahovaly tuto vzdálenost a vedly k lokálně zvýšeným hodnotám sklonu



ve vybraných oblastech. DMT byl v roce 2007 podroben testování (sklonitostní rozbor – vyhledání údolnic a lokálně extrémních změn sklonu) a bylo rozhodnuto jej nahradit modelem nově připraveným (Obr. 3-27).

Testovány byly různé metody přípravy (Obr. 3-28):

- Původní metoda INTERCON (software IDRISI) – s vyšším stupněm vyhlazení a potlačení chyb
- TIN – triangulace z vrstevnic a následná interpolace (software IDRISI)
- Lineární nediagonální metoda CONIC (software Geomatica)
- TOPO TO RASTER – Interpolace v prostředí ArcGIS

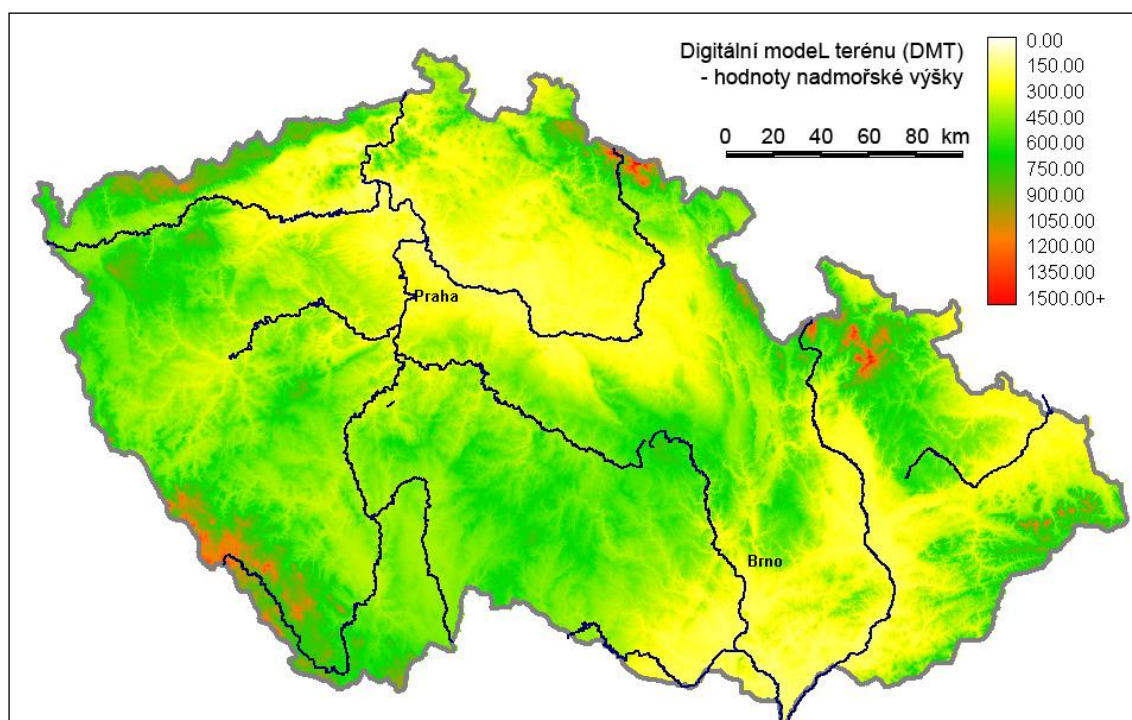


**Obr. 3-29: Porovnání odtokových drah (údolnic) vygenerovaných v prostředí rastrového GIS na základě jednotlivých DMT**

Pro testování byly záměrně vybrány především extrémně náročné lokality pro automatickou interpolaci – oblasti chybějících vrstevnic v severočeské uhelné pánvi a jižní okraj republiky

v povodí Dyje, kde je údolní niva znázorněna rovněž minimálním množstvím vrstevnic, s několika lokálními zahloubeními a vrcholy s náhlým přechodem do oblasti vysokých sklonů.

Interpolace modulem INTERCON produkuje příliš výrazné artefakty, jež nelze zcela eliminovat ani výrazným vyhlazením. Základním problémem je již rasterizace vrstevnic v prostředí IDRISI, pokud je ve sklonitých partiích vzdálenost vrstevnic menší než rozlišení rastru. To vede k vynechání částí vrstevnic. Důsledkem jsou obvykle diagonálně orientované pruhy (zejména v oblasti sedel a vrcholů) vyvýšené nebo snížené vůči okolnímu terénu o minimálně jeden stupeň výškové odlehlosti vrstevnic – v případě DMÚ o 5 metrů, což způsobuje již značné chyby v dalším výpočtu.



**Obr. 3-30: Výsledný DMT v rozlišení 25m odvozený z databáze DMÚ 25**

Tyto chyby jsou v IDRISI úspěšně eliminovány při použití (mimořádně výpočtově náročného) modulu TIN. Parametry generované TIN sítě lze nastavit tak, aby ve vhodných místech byly dopočteny hodnoty sedel, hřbetnic a údolnic i mimo lokalizaci původních vrstevnic. To může vést k mírným chybám v hodnotách vrcholů hřbetnic, ale na druhou stranu díky tomu metoda vede k velmi kvalitnímu odvození odtokové sítě v jednoznačně stanovených údolnicích a nevznikají problémy s náhodným hledáním orientace odtoku v širokých a plochých údolnicích (Obr. 3-29).

Interpolační metoda CONIC je součástí analytických nástrojů GIS Geomatica. Je postavena na podobném principu jako INTERCON, ale nepodléhá problémům s vynechanými částmi vrstevnic a rovněž negeneruje výrazné artefakty v plochých územích bez vrstevnic. Mírné nepravidlosti se v takových regionech vyskytují, ale bez výrazného výškového i plošného dosahu. Metoda je časově značně náročná.



Tvorba DMT modulem TOPO TO RASTER (Software ArcGIS) vede k plynulé a vyhlazené vrstvě, nicméně umělé údolnice a vrcholy jsou v plochých oblastech generovány výrazně mimo úroveň omezenou zdrojovými vrstevnicemi a i při ošetření bezodtokých míst zůstávají v DMT zcela nepřirozeně prohlubně značného plošného rozsahu.

Testování bylo provedeno rovněž z hlediska rychlosti a realizovatelnosti výpočtu. Zde se jako hardwarově nejnáročnější a pro celou ČR bohužel aktuálně nepoužitelný jevil postup pomocí modulu TIN. Vzhledem k jeho zajímavým výstupům bude další výzkumné úsilí zaměřeno i na jeho aplikovatelnost pro další řešení podobného rozsahu.

Na základě všech zjištěných poznatků byla pro vytvoření DMT pro celé území ČR (Obr. 3-30) vybrána metoda CONIC a použití programu Geomatica 10.

### 3.3 DATA O PŮDÁCH

V ČR existuje celá řada zdrojů informace o půdách, přičemž tyto zdroje se liší jak podrobností, tak druhem obsažené informace. Jednotlivé zdroje se liší také svou dostupností, což vyplývá ze skutečnosti, že jsou tyto zdroje spravovány různými institucemi. Z hlediska modelování vodní eroze jsou zásadní především informace o infiltrační vlastnosti vyjádřené hydrologickou skupinou půd a hodnota K faktoru (USLE). Pro tyto potřeby jsou nejvhodnější mapy obsahující informace o půdních druzích a půdních typech. Mimo to je od Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd (VÚMOP) možné získat přímo mapu hodnot K-faktoru. V následujícím přehledu jsou uvedeny vybrané zdroje, ze kterých lze tyto informace čerpat. Současné informace o půdních datech v ČR jsou zjišťovány řešitelským týmem v probíhajícím projektu NAZV – „Určení podílu erozního fosforu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod“ a budou v podrobné podobě součástí výstupů tohoto projektu.

#### 3.3.1 MAPY BONITOVANÝCH PŮDNĚ EKOLOGICKÝCH JEDNOTEK

Charakteristiky BPEJ jsou stanoveny Vyhláškou Ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb. Správu digitální báze půdních dat obsahujících informaci o plošném zastoupení jednotlivých BPEJ zajišťuje oddělení půdní služby VÚMOP. Tato instituce je též oficiálním poskytovatelem těchto dat, a to jak v komplexní podobě, tak i jako dílčích souborů obsahujících vybrané informace. Podrobně jsou BPEJ včetně přípravy pro erozní modelování popsány v dizertaci (Krása, 2004).

Z hlediska přesnosti je databáze BPEJ i přes nejistotu ohledně interpolace mezi jednotlivými sondami nejpřesnějším podkladem pro ČR. Nedostatek map BPEJ spočívá v tom, že pokrývají pouze zemědělskou půdu, nikoli území celé ČR.

Řada hodnot z kompletní databáze BPEJ je separovaně k dispozici k nahlédnutí nebo ke koupi na webovém portálu provozovaném VÚMOP v.v.i. – [www.sowac-gis.cz](http://www.sowac-gis.cz).

#### 3.3.2 PŮDNÍ MAPA 1 : 50 000

Digitalizace půdních map v měřítku 1 : 50 000 probíhá od roku 2002 na pracovišti Oddělení monitoringu půdy, pracoviště Brno v rámci Agentury ochrany přírody a krajiny. Informace

obsažená v tomto datovém zdroji se týká půdních typů a subtypů. V prvních pěti letech bylo digitalizováno 160 mapových listů z celkových 249, v následujícím období však práce značně zpomalily a do roku 2010 bylo digitalizováno pouze šest dalších. Digitalizace navíc neprobíhala systematicky, a pokrytí území ČR těmito daty je proto značně nesouvislé. Zatímco území Moravy je digitálními daty pokryto téměř celé, zbytek území ČR je pokryt spíše ostrůvkovitě. Z toho vyplývá, že použitelnost těchto dat celorepublikově je značně omezená, což je škoda, protože mapové listy vznikají syntézou mnoha informačních zdrojů a výsledkem je pak mapa obsahující informace o půdách jak na zemědělských tak i na lesních plochách.

### 3.3.3 DIGITÁLNÍ MAPA KPP 1 : 50 000

Dále je pro ČR k dispozici vektorová digitální mapa komplexního průzkumu půd v měřítku 1 : 50 000. Digitální mapa se skládá ze dvou datových vrstev, které se prodávají samostatně (ve formátu SHAPEFILE). Obě vrstvy obsahují informace o zrnitostních kategoriích s tím, že jedna vrstva obsahuje informace pro orníční vrstvu a druhá pro vrstvu podorníční. Současně vrstvy obsahují informaci o půdních druzích. Mapu respektive jednotlivé vrstvy lze zakoupit od zpracovatele, kterým je VÚMOP, v.v.i.

Mapy KPP 1 : 50 000, stejně jako mapy BPEJ 1 : 5 000, poskytují informace pouze na zemědělských půdách, proto mapy KPP neobsahují v porovnání s mapami BPEJ žádnou informaci navíc. Jejich nevýhodou je tedy v porovnání s mapami BPEJ nižší rozlišovací schopnost, která je dána menším měřítkem map. Jejich výhodou je naopak nižší pořizovací cena.

### 3.3.4 DIGITÁLNÍ SYNTETICKÁ PŮDNÍ MAPA 1 : 200 000

Digitální syntetická půdní mapa 1 : 200 000 pokrývající celé území ČR vznikla na Katedře pedologie a ochrany půd České zemědělské univerzity v Praze. Mapa vznikla syntézou mnoha informačních zdrojů a výsledkem je mapa obsahující informace o půdách na zemědělských i lesních plochách, což je jejich největší předností. Nevýhodou mapy je vzhledem k jejímu měřítku poměrně nízké rozlišení.

Mapa vznikla digitalizací papírových podkladů a ve finále obsahuje polygony půdních celků klasifikovaných dle různých taxonomických stupnic: MKSP – Morfogenetický klasifikační systém půd 1991; KPP – Průzkum zemědělských půd 1967; UHUL – Klasifikační systém lesních půd 1965, 1970, 1971; FAO – Soil Taxonomy (WRB) 1999, 2006 (Němeček, 2001) s tím, že v místech velkých vodních ploch půdní typ uveden není. K jednotlivým půdním celkům je připojena datová vrstva obsahující informace o zrnitosti daného půdního celku. Hodnocení zrnitosti bylo provedeno dle zjednodušeného amerického standardu NRCS USDA - Natural Resources Conservation Service – United States Department of Agriculture, viz např. (Mishra, 2003).

V současné době je syntetická půdní mapa 1 : 200 000 přístupná přes ArcIMS server Cenia (<http://geoportal.cenia.cz>) s tím, že jsou přístupné pouze půdní typy, resp. subtypy a informace o zrnitosti chybí. Pro zobrazení půdních celků přes ArcIMS server je možné zvolit jednu ze dvou následujících klasifikačních stupnic: TKSP - Taxonomického Klasifikačního Systému Půd ČR a WRB – World Reference Base for Soil Resources.



### 3.3.5 PŮDNÍ MAPA ČESKÉ GEOLOGICKÉ SLUŽBY 1 : 1 000 000

Vektorová půdní mapa byla vytvořena digitalizací mapy v měřítku 1 : 1 000 000 a je dostupná prostřednictvím WMS služby ze serveru České geologické služby (ČGS). Vzhledem k malému měřítku podkladu se jedná o mapu s velmi nízkou úrovní podrobnosti, což vylučuje jeho přímou využitelnost. Na rozdíl od ostatních digitálních map však tento zdroj zahrnuje též informaci o zrnitostním složení půd. Celkově se skládá ze dvou vrstev, a to konkrétně z vrstvy půdních druhů a vrstvy půdních typů.

## 3.4 VYUŽITÍ ÚZEMÍ A OCHRANNÝ ÚČINEK VEGETACE

Mapa využití území je jedním z klíčových podkladů pro výpočty erozní ohroženosti a transportu splavenin. Podrobně jsou postupy přípravy mapy využití území a dostupná data pro ČR opět popsána v úzce související dizertační práci (Krása, 2004). Ve zmíněné práci je rovněž popsána metodika řízené klasifikace družicových snímků s vysokým rozlišením (např. Landsat TM) pro určení aktuálního vegetačního krytu. V uvedené práci a dalších pracích autora jsou popsány následující zdroje dat.

### 3.4.1 DOSTUPNÉ DATABÁZE PRO SESTAVENÍ MAPY LAND-USE

Jedním zdrojem jsou data dálkového průzkumu Země vhodná pro zachycení aktuálního stavu nebo historické analýzy, tato data však vyžadují náročné další zpracování a klasifikace či digitalizace před použitím do erozních modelů. Jsou to:

- družicové snímky s vysokým rozlišením (Landsat TM, ETM+, Aster, SPOT, aj.)
- družicové snímky s velmi vysokým rozlišením (IKONOS, QuickBird, aj.), které jsou do budoucna velmi perspektivním zdrojem
- ortofotomapy a letecké snímky (jako zdroj aktuálních, nebo naopak historických údajů)

Dalším cenným podkladem jsou historické mapy (I., II. A hlavně III. vojenské mapování, dnes již částečně georeferencované a dostupné pro srovnávací analýzy). I tato data však vyžadují nákladné úpravy a předběžná vyhodnocení a nemohou být využita přímo.

Dále jsou pro ČR k dispozici databáze komerční, vektorové, jež mohou být po určitých úpravách přímými vstupy modelů. Liší se počtem kategorií využití, různě omezenou aktuálností, dostupností nebo cenou, formátem dat, apod. Cílem této kapitoly není podrobně popsat jejich výhody a nevýhody a použití, ale pouze naznačit výčet jednotlivých zdrojů. Seřazeny postupně od nejméně polohově přesných až k nejpřesnějším jsou to:

- Corine Land Cover – CLC: celoevropská vektorová mapa ve verzích z let 1990, 2000, 2006, dostupná i pro ČR (např. agentura CENIA), dříve hojně využívaná, jako jediná dostupná celorepubliková databáze; velmi generalizovaná – odpovídající měřítku 1 : 100 000 a mapující pouze území přesahující 25 ha a šířku 100 m
- GMES – evropská databáze mapující krajinný pokryv – výhodou je přesah do okolních států; v ČR jsou její vrstvy zajišťovány firmou GISAT a jejími partnery. V databázi je obsažena řada produktů, zejména GSELAND M2.5

- a M1.1 jsou v řadě oblastí užitečnými podklady. Zdrojem dat jsou opět zejména snímky DPZ
- DMÚ 25 – polohopisný podklad odpovídající původní vojenské topografické mapě 1 : 25 000
  - ZABAGED - digitální topografický model území ČR odvozený z mapového obrazu Základní mapy České republiky 1 : 10 000 v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému baltském - po vyrovnání. Správcem a poskytovatelem dat ZABAGED je ČÚZK. Podklad je podrobně popsán v následující kapitole
  - databáze LPIS - Databáze zemědělských pozemků (tzv. farmářských bloků – dle vlastníků) ministerstva zemědělství. Určena pro implementaci dotačních titulů v zemědělství, neobsahuje jiné kategorie využití území. Přesnost vychází z ortofotomapy, odpovídá měřítku 1 : 10 000. Jsou zde uvedeny základní delimitační kategorie (orná, vinice, chmelnice, sad, pastvina, netrvalá louka, atp.). Pro výzkumné účely je poskytována, bez údajů o vlastnících. Podrobně je opět popsána níže.

### 3.4.2 ZABAGED

ZABAGED má charakter GIS integrujícího prostorovou složku vektorové grafiky s topografickými relacemi objektů a složku atributovou obsahující popisy a další informace o objektech.

**Tab. 3-11: Vrstvy ZABAGED jako zdroj mapy využití území**

Název kategorie	Spojené vrstvy
zpevněné plochy, neřešené plochy (polygony)	ArealUceloveZastavby, BudovaBlokBudov, HaldaOdval, Elektrarna, Hrbítov, ChladiciVez, Kolejiste, KulnaSklenikFoliovnik, Letiste, Parkoviste, PovrchovaTezbaLom, PrecerpavaciStanice, RozvalinaZricenina, RozvodnaTransformovna, SesuvPudySut, Silo, SkalniUtvary, Skladka, UsazovaciNadrzOdkaliste, ValcovaNadrzZasobnik, ZeleznicniStanice, OstatniPlochaVSidlech
travní porosty (polygony)	LoukaPastvina, OkrasnaZahradaPark, OvocnySadZahrada
lesní plochy (polygony)	LesniPudaSeStromy, LesniPudaSKosodrevinou, LesniPudaSKrovinatymPorostem
vodní plochy, toky a retenční plochy (polygony)	BazinaMocal, Raseliniste, VodniPlocha
zemědělská půda s proměnlivou erodovatelností (polygony)	Chmelnice, OrnaPudaAOstatniNeurcenePlochy, Vinice
přerušení povrchového odtoku (linie)	Cesta, HradbaVal, LesniPrusek, LiniovaVegetace, Pesina, RokleVymol, SilniceDalnice, SilniceNeevidovana, SilniceVeVystavbe, Ulice, ZeleznicniTrat, ZeleznicniVlecka
vodní toky (linie)	VodniTok

Obsah ZABAGED tvoří v současné době 114 polohopisných typů objektů a 13 výškopisných typů objektů v nestrukturované databázi – všechny objekty jsou poskytovány jako samostatné vrstvy formátu SHAPEFILE. Doplnkové informace resp. identifikátory některých typů objektů (vodstvo, komunikace) jsou dle ČÚZK přebírány z databází jejich odborných správců. Prostorově

organizačními jednotkami ZABAGED jsou mapové listy 1 : 10 000 v kladu listů Základních map středních měřítek České republiky.

Horizontální polohová přesnost databáze je proměnná v závislosti na třídách objektů (1 -10 m), výšková přesnost proměnná v závislosti na sklonu reliéfu, přehlednosti území a použité technologii mapování (1,5 - 6 m), zatím bez aktualizace. Pro uvedený výškopis odvozený z map 1 : 10 000 platí, že digitalizované vrstevnice mají výškový rozestup 2 m, v rovinných územích doplněný na rozestup 1 m, v horských pásmech místně redukováný na 5 m. Polohopisná a výškopisná chyba je zde shodná s původním mapovým podkladem.

Z hlediska přípravy mapy využití území je třeba využít polygonové i liniové kategorie databáze ZABAGED.

- Bodových vrstev databáze je 37 a v erozním modelování se neuplatňují.
- Liniových vrstev databáze je 41 a v řešení se obvykle jako hranice uplatňuje 13 z nich.
- Polygonových vrstev je 36 a v řešení se jich uplatňuje 34. Neuplatňují se pouze polygony maloplošných a velkoplošných chráněných území, které nejsou kategoriemi využití území a ostatní vrstvy plošně překrývají.

Z hlediska metodického postupu řešení (přípravy mapy land-use) je třeba především dodržet dvě základní premisy:

- Výsledná mapa pro každé povodí musí být spojitá – zcela bez otvorů a bez chybějících dat.
- Některé polygony ZABAGED se částečně překrývají – při skládání vrstev je třeba respektovat pořadí kombinace a zvolenou prioritu vrstev.

Postup následně spočívá ve spojení vždy několika vrstev do jedné výsledné vrstvy dané kategorie, následně v odstranění překryvů a hranic mapových listů vytvořením jediného polygonu vrstvy a v opětovném rozdělení na dílčí polygony podle prostorového dělení. Poté je každé kategorii přidělen unikátní identifikátor a vrstvy jsou kombinovány překryvnou analýzou v rastru. Princip kombinace jednotlivých vrstev je uveden v tabulce (Tab. 3-11).

Pro využití v metodě USLE a v modelu WATEM/SEDEM jsou pak jednotlivým kategoriím využití přiřazeny příslušné hodnoty potřebných faktorů a jsou z nich odvozeny zdrojové rastrové vrstvy.

### 3.4.3 DATABÁZE LPIS

Databáze LPIS (Land Parcel Identification System) byla vytvořena společností SITEWELL na základě objednávky Ministerstva zemědělství ČR jako jediná integrovaná základní databáze v prostředí ORACLE SPATIAL, která je aktualizovaná on-line v reálném čase prostřednictvím virtuální privátní sítě. Český LPIS je nezávislým referenčním registrem, který slouží farmářům jako rychlý zdroj informací o jimi užívané půdě. Na základě těchto informací mohou nejen spolehlivě vyplnit žádosti o dotace, ale také zjistit, jaká omezení se vztahují na jejich hospodaření. Od května 2004 je díky tomuto systému možno výrazně rychleji, levněji a jednodušeji vyřizovat žádosti o zemědělské dotace ([www.lpis.cz](http://www.lpis.cz)).

Vlastní databáze zahrnuje vektorovou vrstvu farmářských bloků, jejichž hranice byly digitalizovány nad mapou 1 : 10 000 a ortofotomapou, a připojenou databázi, naplněnou informacemi. Základní informace se týkají vlastníka a uživatele pozemku, dále pak způsobu hospodaření a případných omezení hospodaření na daném bloku, vyplývajících buď z jeho příslušnosti k některé z chráněných nebo sledovaných kategorií, nebo z dotací příslušnému vlastníkovi nebo uživateli přiznaných. Systém je živý, dále se průběžně rozšiřuje a vyvíjí. V současné době je jedním z atributů i erozní ohroženost pozemku a jeho vhodnost k zatravnění, případně výskyt významných krajinných prvků na pozemku.

Databáze je každoročně dvakrát aktualizována v jarním a podzimním termínu.

Poskytovatel uvádí k registru LPIS následující podstatné údaje ([www.lpis.cz](http://www.lpis.cz)):

- Základní referenční položkou českého LPIS je **farmářský blok** představující souvislou plochu zemědělské půdy s jednou kulturou obhospodařovanou jedním uživatelem v jednom režimu obhospodařování (konvenční vs. přechodné vs. ekologické hospodaření). Farmářským blokem je buď díl půdního bloku, nebo půdní blok nedělený na díly. Farmářský blok se označuje zkratkou FB.
- **Půdní blok** se člení na díly půdního bloku, jestliže je na něm pěstován více než jeden druh zemědělské kultury, anebo je půdní blok obhospodařován více než jednou fyzickou nebo právnickou osobou, která tuto činnost vykonává vlastním jménem a na vlastní odpovědnost (dále jen "uživatel"), díly půdního bloku představují souvislou plochu zemědělsky obhospodařované půdy jednoho druhu zemědělské kultury obhospodařované jedním uživatelem.

K základní jednotce, farmářskému bloku, se evidují údaje vázané k půdě. Tyto údaje jsou v aplikaci Sitewell LPIS zaneseny do registru farmářských bloků, tj. do klíčové tabulky LPIS\_RFB. Z pohledu vzniku jednotlivých údajů lze údaje členit na:

- údaje ohlašované farmářem
- údaje vypočtené systémem prostřednictvím průniku s jinými geografickými vrstvami
- údaje vypočtené systémem ve vztahu k digitálnímu modelu terénu
- údaje dopočtené systémem jako kombinace více kritérií

Systém se podřizuje následujícím pravidlům:

- Pravidlo č. 1 českého LPIS: "K jednomu území = jednomu farmářskému bloku může v jeden okamžik existovat pouze 1 účinná verze dat". Aplikace Sitewell LPIS striktně vylučuje schválit k jednomu území 2 platné verze farmářského bloku.
- Pravidlo č. 2 českého LPIS: "Nemohou existovat 2 účinné farmářské bloky, které by měly shodný národní kód."
- Pravidlo č. 3 českého LPIS: "Duplicitní nárok na půdu je vyloučen tím, že k jednomu území = farmářskému bloku může být platně evidován jen jeden uživatel."
- Pravidlo č. 4 českého LPIS: "Farmářský blok má pouze jednu evidovanou výměru, kterou lze změnit pouze pomocí změny hranic bloku nebo vynětím nezemědělského objektu ze zákresu uvnitř bloku."

Výměra farmářského bloku v českém LPIS je výměrou čistou, tj. zahrnuje pouze výměru zemědělské půdy, na kterou lze uplatnit nárok na dotace.

Kultury v českém LPIS jsou:

- orná půda
- travní porost
- ovocný sad
- vinice
- chmelnice
- jiná kultura
- zalesněná zemědělská půda
- porosty rychle rostoucích dřevin
- ostatní

Kultura ve smyslu českého LPIS je chápána v nejhrubším možném rozdělení tak, aby byla dobře kontrolovatelná a vytvořila solidní základ pro administraci dotací. Pokud dotační program vyžaduje rozlišení plodin na farmářském bloku či rozlišení, zda je daný blok pastvinou či loukou, děje se tak na úrovni žádosti o dotaci nikoliv na úrovni LPIS. Vůči LPIS se pak ověřuje, zda na farmářský blok, který žadatel v žádosti o dotace označil jako pastvinu je v LPIS veden jako travní porost či nikoliv.

Režim obhospodařování farmářského bloku se rozlišuje na:

- konvenční hospodaření
- hospodaření v přechodné etapě v rámci systému ekologického zemědělství
- certifikované ekologické zemědělství

Registrace v databázi LPIS není pro farmáře povinná, ale podmiňuje čerpání dotací na zemědělskou půdu. Z uvedeného důvodu nezahrnuje databáze (a zřejmě asi nikdy zahrnovat nebude) veškerou zemědělskou půdu, ale její rozhodující část ano. Tento podíl navíc trvale narůstá, neboť se jedná o živý systém, kde se změny, zanášené samotnými farmáři promítají v reálném čase, změny zadávané centrálně a týkající se státní politiky například v ochraně přírody, vody nebo půdy se zobrazují při pravidelných aktualizacích, které probíhají dvakrát ročně v jarním a podzimním termínu.

Díky tomu, že databáze LPIS byla vytvářena manuální digitalizací nad mapou 1 : 10 000 ZABAGED, ale byla korigována podle rektifikovaných leteckých snímků, v řadě lokalit s původní vrstvou ZABAGED nesouhlasí. Nesoulad může být v několika oblastech:

- nesouhlas hranic mezi prvky ZABAGED a farmářskými bloky LPIS – hranice bloků v LPIS lépe vystihují skutečný průběh hranic především podél liniových prvků, jako jsou komunikace, vodní toky apod.
- chybějící bloky zemědělské půdy v databázi LPIS oproti vrstvě ZABAGED a skutečnosti – databáze LPIS dosud neobsahuje všechny farmářské bloky, neboť ne všechny jsou přihlášeny do dotačních programů
- vrstva ZABAGED „orná půda a ostatní neurčené plochy“ ze své podstaty zahrnuje kromě orné půdy i řadu ostatních ploch, například plochy, kde probíhá nebo bude probíhat rozvoj výstavby nebo plochy jinak neurčené

Z uvedeného vyplývá, že kombinace obou datových podkladů je do značné míry obtížná a komplikovaná, protože ani jedna z vrstev neobsahuje a nemůže obsahovat skutečnou a věcně správnou informaci, pokud se jedná o skutečnou lokalizaci orné půdy. V každém případě ale LPIS představuje informaci nejuplněnější a nejpresnější z dostupných podkladů, i když pro praktické výpočty je z různých důvodů kombinován s dalšími, jak plošnými, tak liniovými prvky databáze ZABAGED.

#### 3.4.4 OCHRANNÝ ÚČINEK VEGETACE PRO CELÉ ÚZEMÍ ČR

Tato kapitola popisuje vyhodnocení statistických údajů o plodinách na zemědělských plochách v ČR s cílem připravit vrstvu C faktoru pro celorepublikovou mapu ztráty půdy. Ztráta půdy byla počítána polohopisně pro jednotlivé farmářské bloky databáze LPIS v rozlišení 25 m. Analýza byla zpracována v roce 2007 jako součást projektu COST 1P040C634.001 – „Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině“.

Cílem bylo vytvořit co nejrepresentativnější mapu hodnot faktoru ochranného účinku vegetace pro jednotlivé pozemky zemědělské půdy v ČR. Hranice pozemků (půdních bloků) byly pro celou republiku opět převzaty z databáze LPIS (ve verzi jaro 2006). Databáze LPIS byla k řešení poskytnuta ve formátu SHAPEFILE jen s nezbytnými vegetačními kategoriemi bez vlastnických údajů. Atributová tabulka obsahovala 8 kategorií Land Cover uvedených v tabulce (Tab. 3-12).

Všechny kategorie kromě orné půdy jsou jednoznačně definovány co do vegetačního zastoupení. Bez ohledu na regiony jim byly tedy přiřazeny jednoznačné kategorie C faktoru stejné na celém území ČR. V případě orné půdy je ovšem situace podstatně komplikovanější – neboť se zde vyskytuje variabilita jak prostorová, tak časová. Jednak jsou zde pěstovány plodiny s odlišnou ochrannou účinností v jednotlivých regionech (a na různých blocích orné půdy) – prostorová variabilita. Jednak jsou na jednotlivých pozemcích uplatňovány oseední postupy (následnosti plodin) – časová variabilita. Tato fakta musela být při přípravě mapy C faktoru pro všechny pozemky orné půdy zohledněna.

**Tab. 3-12: Tabulka vegetačních kategorií z databáze LPIS (2007)**

ID	Vegetační kategorie	C faktor
01	Chmelnice	0.60
02	Jiná kultura	0.30
03	Orná půda	okresy: 0.08 - 0.27
04	Ovocný sad	0.30
05	Porost rychle rost. dřevin	0.005
06	Trvalý travní porost	0.005
07	Vinice	0.55
08	Zalesněno	0.001

Při přípravě Mapy ztráty půdy pro ČR v roce 2001 (Dostál et al., 2001) byla využita data procentního zastoupení plodin v jednotlivých okresech ČR v roce 1995, ze kterých byly odvozeny průměrné oseední postupy v jednotlivých okresech v daném roce – a pro ty byly stanoveny průměrné hodnoty C faktoru na orné půdě – rozdělení republiky do těchto „potenciálních“ 76 pěstebních oblastí (zahrnutý Praha město, Plzeň město, a spojeny Šumperk a Jeseník) bylo první řešiteli provedenou regionalizací C faktoru na orné půdě pro ČR.



Podrobnější prostorová data bohužel nejsou dostupná, a proto jsme se v aktualizovaném řešení soustředili na rozšíření časového kroku z jednoho vegetačního období (1995) na sedm (1995 – 2001). Původním cílem bylo zahrnout osevní postupy v ještě širším rozmezí let, ale data před rokem 1995 nejsou dostatečně přesná co do počtu hodnocených plodin a data od roku 2002 jsou dostupná data agregována do jednotlivých krajů – což vede k přílišnému omezení prostorové přesnosti. Pro přípravu vrstvy C faktoru na pozemcích orné půdy byly nakonec využity následující statistické databáze:

- osevní postupy okresů ze statistické ročenky v roce 1995
- osevní postupy okresů a krajů z databáze KROK v letech 1993-2005
- osevní postupy pro celou ČR z veřejné databáze ČSÚ (tabulka 14.7 – Osevní plochy zemědělských plodin) v letech 1995 – 2002

Původní ideou bylo využít informace z databáze KROK (ČSÚ) a stanovit průměrné osevní postupy v jednotlivých okresech pro každý rok řešení. Databáze poskytuje údaje o osevních i sklizňových plochách – pro řešení bylo pracováno výhradně s plochami osevními (od sklizňových se výrazně neliší a C faktor byl přiřazován jako průměrný roční, nikoli podle vegetačních období). V databázi se však projevila omezení vyplývající z následujících změn v sledovaných charakteristikách v jednotlivých obdobích:

#### 1993 – 1995

sledované územní j.: okresy (NUTS 4), kraje (NUTS 3), sdružené kraje (NUTS 2)

sledované plodiny: Osevní plochy celkem  
 Osevní plochy obilovin  
 Osevní plochy brambor  
 Osevní plochy píce na orné půdě  
 Osevní plochy řepky

#### 1996 – 2001

sledované územní j.: okresy (NUTS 4), kraje (NUTS 3), sdružené kraje (NUTS 2)

sledované plodiny: Osevní plochy celkem  
 Osevní plochy obilovin  
 Osevní plochy pšenice celkem  
 Osevní plochy žita  
 Osevní plochy kukuřice na zrno  
 Osevní plochy brambor  
 Osevní plochy cukrovky technické  
 Osevní plochy píce na orné půdě  
 Osevní plochy kukuřice na zeleno a siláž  
 Osevní plochy olejnin celkem  
 Osevní plochy řepky  
 Osevní plochy slunečnice na semeno

#### 2002 – 2005

sledované územní jednotky: kraje (NUTS 3), sdružené kraje (NUTS 2)

sledované plodiny: stejné jako v předchozím období



V prvním sledovaném období (1993 - 1995) je zásadním problémem chybějící kategorie „kukuřice na zeleno a siláž“, jež je v mnoha okresech plošně významná. Ve statistice je směsně zahrnuta do kategorie „pícnin na orné půdě“, od nichž se ale ochranným účinkem výrazně liší. Navíc plocha „kukuřice na siláž“ v některých letech a okresech výrazně kolísá (Obr. 3-31) a skutečný ochranný účinek vegetace je tak značně proměnlivý. Zahrnuté kategorie tak neposkytují dostatek údajů pro prostorovou analýzu.

Ve třetím sledovaném období (2002 - 2005) je naopak problémem pokles prostorového rozlišení sledování. Jak je vidět na obrázku (Obr. 3-35), C faktor se v některých sousedních okresech výrazně liší a sdružení 76 okresů do pouhých 14 krajů by tyto skutečné rozdíly v hospodaření v jednotlivých oblastech výrazně snížilo. Velký vliv zde má opět pěstování kukuřice, dále brambor, nebo naopak pícnin.

Pro výslednou analýzu bylo proto vybráno pouze období střední (1996-2001), k němuž byl přiřazen již dříve podrobně hodnocený rok 1995.

Dále bylo třeba analyzovat obsah jednotlivých kategorií v tabulce databáze KROK a přiřadit jim věrohodné hodnoty C faktoru, případně zpřesnit odhad na základě rozboru směsných kategorií. To bylo učiněno jednak porovnáním s tabulkami z veřejné databáze ČSÚ za sektor zemědělství, jednak porovnáním s údaji pro jednotlivé plodiny a okresy ze statistické ročenky 1995. Porovnáním součtů jednotlivých kategorií na celorepublikové úrovni bylo zjištěno, že „osevní plochy celkem“ jsou celkovou sumou obilovin, luskovin, okopanin, technických plodin, pícnin, zeleniny a ostatních ploch – přičemž ne všechny tyto plochy jsou pokryty ve zbylých řešených kategoriích databáze KROK. Tento zbytek ovšem tvoří (v jednotlivých letech) celkově pouze cca 2,5 až 4 procenta osevních ploch a výrazně neovlivňuje celkový posun hodnot C faktoru. Navíc je zbytek tvořen kategoriemi velmi nesourodými a nelze mu odpovědně přiřadit reprezentativní hodnotu C faktoru. Tento zbytek byl tedy ve výpočtu průměrného C faktoru zanedbán. Všechny ostatní kategorie z databáze KROK byly uvažovány do výpočtu.

Ke každé kategorii (plodině), okresu a roku byla přiřazena hodnota C faktoru. Následovalo dopočtení nebo převzetí plochy každé kategorie v daném okrese a roce. Pokud se byla řešená plodina zastoupena v tabulce KROK přímo, byla plocha převzata, pokud bylo třeba plochu redukovat o plodiny řešené samostatně, byla plocha upravena následujícím postupem:

- **„Osevní plochy obilovin“** jsou tvořeny pšenicí, žitem, ječmenem, ovsem, triticales, kukuřicí na zrno a ostatními. Z toho pšenice, žito a kukuřice na zrno jsou dále řešeny samostatně a bylo třeba je z této plochy odečíst. Protože ve zbylých plodinách obvykle převažuje ječmen, ale tento poměr se v jednotlivých okresech mění, nebyl C faktor obilovin řešen jako jedna průměrná hodnota, ale jako vážený průměr C faktorů dle výměr žita, ječmene a ovsa v jednotlivých okresech. Tyto údaje byly vypočteny ze statistické ročenky pro rok 1995 (vzájemný poměr plodin dle předpokladu výrazně nekolísá). Uvedené kategorii byly tedy pro jednotlivé okresy přiřazovány hodnoty C faktoru v rozmezí 0.143 (Kutná Hora) až 0.162 (Uherské Hradiště) s průměrem C faktoru 0.154.
- **„Osevní plochy pšenice celkem“** byly vyhodnoceny jako převážně pšenice ozimá a ve všech okresech jim byla přiřazena hodnota C faktoru 0.120.
- **„Osevní plochy žita“** byly rovněž posouzeny jednotně, s přiřazenou hodnotou C faktoru 0.170.

- „**Osevní plochy kukuřice na zrno**“ získaly stejně jako při původním výpočtu hodnotu 0.600 – toto mírné podhodnocení je zachováno pro porovnání s původním výpočtem a také z důvodu lokální rozkolísanosti ploch kukuřice a pro potlačení jejího plošného vlivu.
- „**Osevní plochy brambor**“ – zde bylo opět přikročeno k vážení po jednotlivých okresech, neboť poměr raných a pozdních brambor se v podhorských a nížinných oblastech ČR výrazně liší a jejich C faktor rovněž. Byla využita data pro okresy z roku 1995 a každému okresu byl přiřazen C faktor jako vážený průměr dle ploch raných a pozdních brambor (pozdní ve všech okresech převažují). Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 0.440 (Kroměříž) až 0.545 (Karviná) s průměrným C faktorem 0.477.
- „**Osevní plochy cukrovky technické**“ – C faktor roven 0.440
- „**Osevní plochy pícein na orné půdě**“ jsou tvořeny kukuřicí na zeleno a na siláž, ostatními jednoletými píceinami, jetelem červeným, vojtěškou a ostatními víceletými píceinami. Nejprve tedy bylo třeba odečíst plochy kukuřice, které jsou zaznamenány samostatně v následující kategorii. Poté byly opět hodnoty C faktoru přiřazeny každému okresu jako vážený průměr na základě ploch jednoletých a víceletých pícein v roce 1995. Hodnoty C faktoru se pohybovaly v rozmezí 0.010 (Trutnov) až 0.015 (Písek) s převažujícím průměrem 0.012.
- „**Osevní plochy kukuřice na zeleno a siláž**“ – konstantní hodnota C faktoru 0.720 odůvodněná obdobně jako v případě kukuřice na zrno.
- „**Osevní plochy olejnin celkem**“ tvoří řepka, slunečnice, sója, mák, hořčice, len olejný a ostatní olejnin. Řepka a slunečnice jsou řešeny samostatně, a proto musely být jejich plochy pro výpočet C faktoru opět vždy odečteny. Hodnoty byly stanoveny váženým průměrem máku, lnu a ostatních olejnin pro jednotlivé okresy z ročenky pro rok 1995. C faktor olejnin se pohyboval v rozmezí 0.007 (Tachov) až 0.500 (Plzeň město) s průměrem 0.273.
- „**Osevní plochy řepky**“ – C faktor rovný 0.220 pro všechny okresy.
- „**Osevní plochy slunečnice na semeno**“ – C faktor rovný 0.600 pro všechny okresy.

Předposledním krokem byl výpočet podílu z celkového C faktoru pro každou plodinu a dále součet pro každý řešený rok a okres. Posledním krokem bylo vytažení výsledných hodnot pro roky a okresy – z uvedených hodnot byla vytvořena databázová tabulka pro vektorový soubor C faktoru na orné půdě v okresech ve formátu SHAPEFILE (Tab. 3-13). V jednotlivých okresech hodnoty C faktoru na orné půdě značně kolísaly, což je vidět na obrázku (Obr. 3-35) i v časovém grafu změny C faktoru na orné půdě v jednotlivých okresech a letech (Obr. 3-32). Změny samozřejmě souvisí i s vývojem celkových výměr osevních ploch (Obr. 3-33).

Hodnoty C faktoru na orné půdě pro jednotlivé okresy byly dále přiřazeny všem farmářským blokům databáze LPIS evidovaným s kulturou „orná půda“. Poté byla na základě mapy C faktoru na orné půdě a tabulky (Tab. 3-12) sestavena mapa C faktoru pro všechny bloky databáze LPIS, tedy mapa C faktoru na evidovaném ZPF pro celé území ČR.

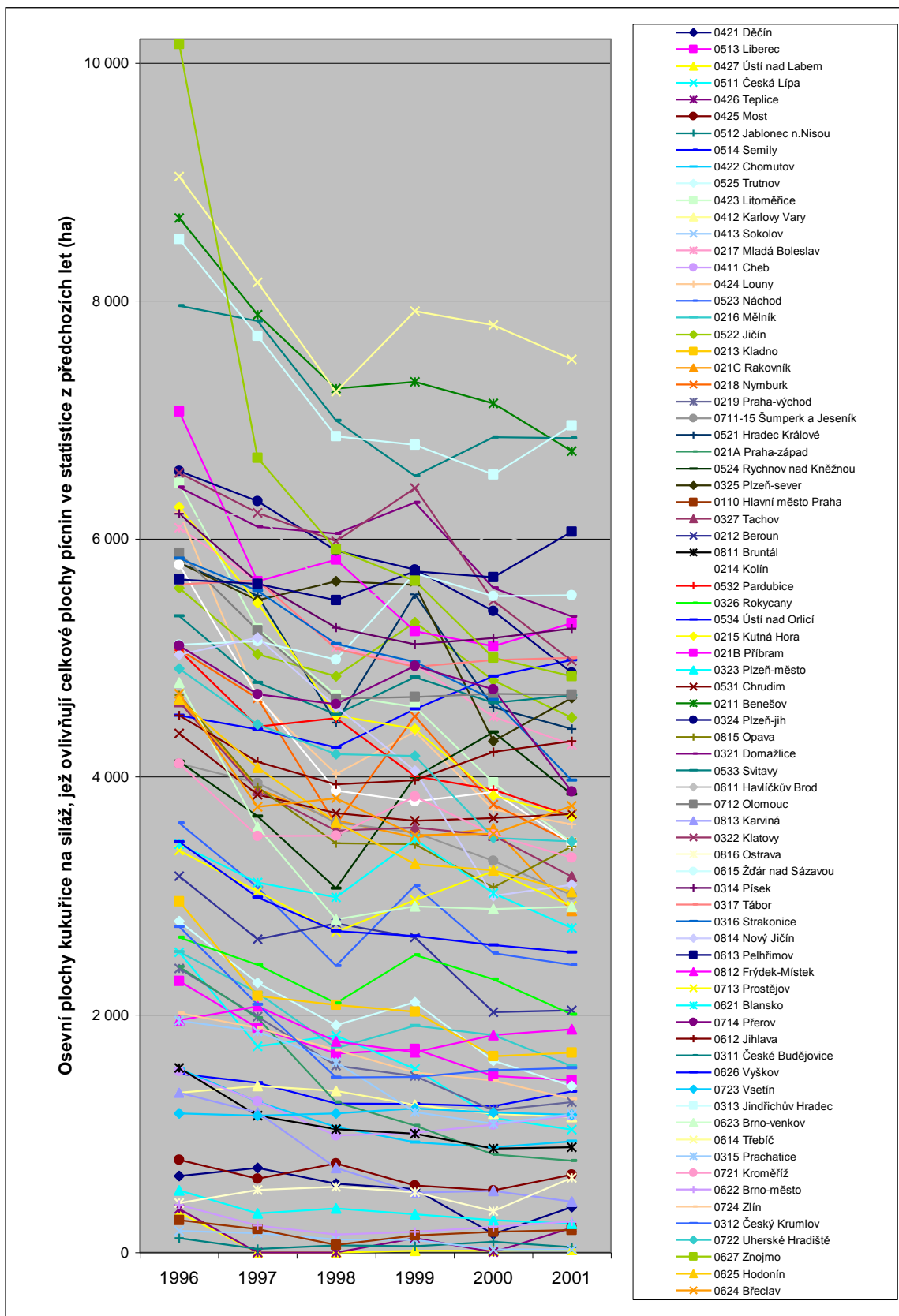
Z uvedené mapy byly vypočteny průměrné hodnoty C faktoru na zemědělské půdě v povodích IV. řádu. Ze sestavené mapy je možno sledovat trend vlivu vegetačního pokryvu na erozní ohroženost v jednotlivých regionech ČR (Obr. 3-34). Na průměrných agregovaných hodnotách v povodích se samozřejmě výrazně podílí podíl trvalých travních porostů v daných povodích.

**Tab. 3-13: Průměrné roční hodnoty C faktoru na orné půdě v jednotlivých okresech**

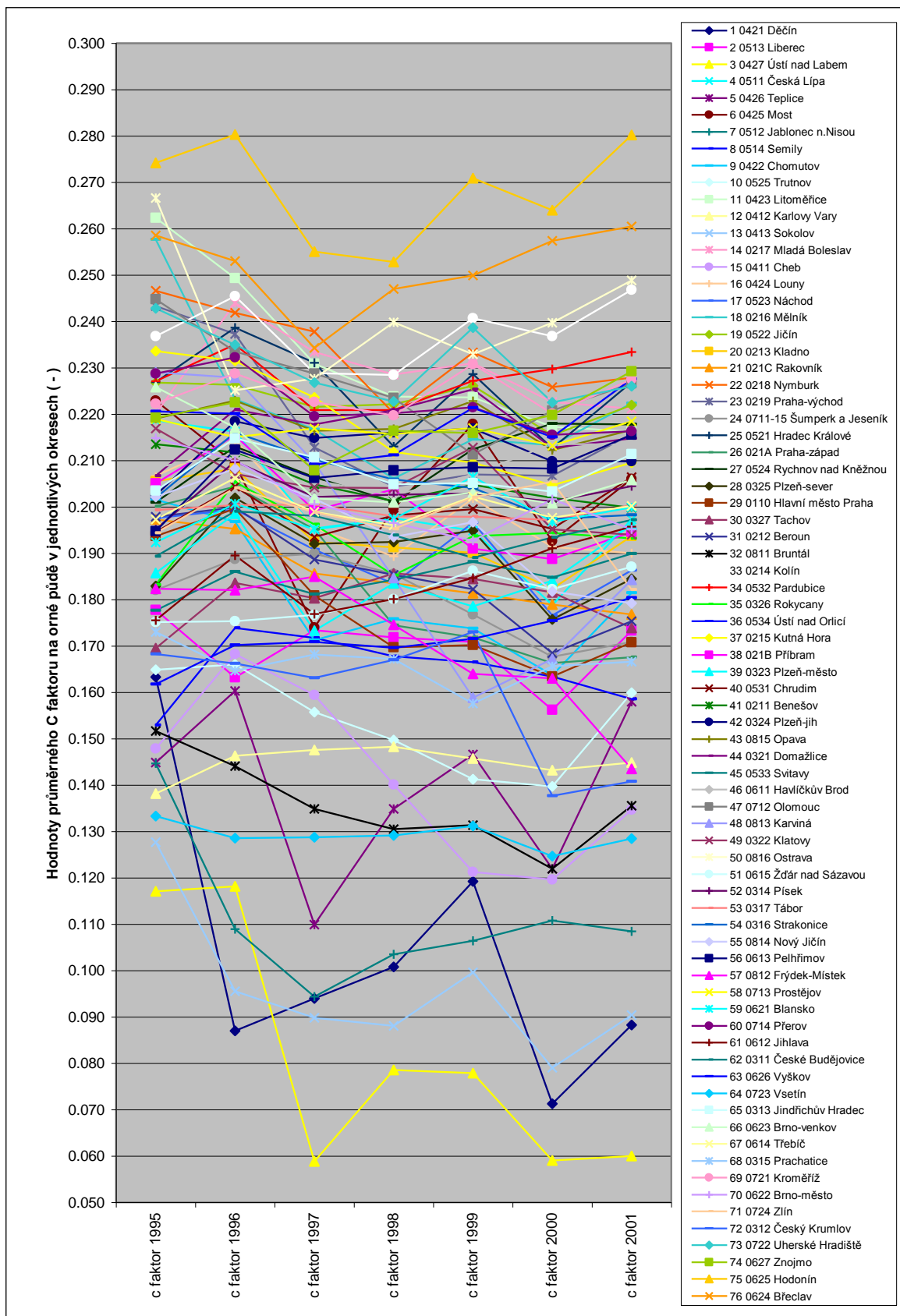
Okres	C faktor	Okres	C faktor	Okres	C faktor
BENEŠOV	0.21	KLADNO	0.21	PRACHATICE	0.17
BEROUN	0.20	KLATOVY	0.22	PROSTĚJOV	0.22
BLANSKO	0.19	KOLÍN	0.24	PŘEROV	0.23
BRNO-MĚSTO	0.21	KROMĚŘÍŽ	0.22	PŘÍBRAM	0.21
BRNO-VENKOV	0.23	KUTNÁ HORA	0.23	RAKOVNÍK	0.20
BRUNTÁL	0.15	LIBEREC	0.18	ROKYCANY	0.18
BŘECLAV	0.26	LITOMĚŘICE	0.26	RYCHNOV NAD KNĚŽNOU	0.20
ČESKÁ LÍPA	0.22	LOUNY	0.21	SEMILY	0.15
ČESKÉ BUDĚJOVICE	0.19	MĚLNÍK	0.26	SOKOLOV	0.13
ČESKÝ KRUMLOV	0.17	MLADÁ BOESLAV	0.22	STRAKONICE	0.20
DĚČÍN	0.16	MOST	0.22	SVITAVY	0.18
DOMAŽLICE	0.21	NÁCHOD	0.20	ŠUMPERK	0.18
FRÝDEK-MÍSTEK	0.18	NOVÝ JIČÍN	0.20	TÁBOR	0.20
HAVLÍČKŮV BROD	0.21	NYMBURK	0.25	TACHOV	0.17
HODONÍN	0.27	OLOMOUC	0.24	TEPLICE	0.14
HRADEC KRÁLOVÉ	0.23	OPAVA	0.22	TRUTNOV	0.16
CHEB	0.15	OSTRAVA-MĚSTO	0.27	TŘEBÍČ	0.20
CHOMUTOV	0.20	PARDUBICE	0.23	UHERSKÉ HRADIŠTĚ	0.24
CHRUDIM	0.19	PELHŘIMOV	0.19	ÚSTÍ NAD LABEM	0.12
JABLONEC N. NISOU	0.14	PÍSEK	0.20	ÚSTÍ NAD ORLICÍ	0.16
JIČÍN	0.23	PLZEŇ-JIH	0.20	VSETÍN	0.13
JIHLAVA	0.18	PLZEŇ-SEVER	0.18	VYŠKOV	0.22
JINDŘ. HRADEC	0.20	PRAHA	0.19	ZLÍN	0.19
KARLOVY VARY	0.14	PRAHA-VÝCHOD	0.24	ZNOJMO	0.22
KARVINÁ	0.23	PRAHA-ZÁPAD	0.20	ŽDÁR NAD SÁZAVOU	0.18

Závěrem je třeba poznamenat, že problematika hodnocení ochranného vlivu vegetace je dále aktuální a výrazně se dále rozvíjí. VÚMOP v.v.i. publikoval opakovaně průměrné hodnoty C faktoru pro klimatické regiony ČR, na jejich základě je vypočtena i aktuální mapa erozní ohroženosti zveřejněná prostřednictvím internetového portálu SOWAC-GIS.CZ. Stejně hodnoty C faktoru na orné půdě jsou podkladem pro mapu erozní ohroženosti, jež je součástí současné verze databáze LPIS (Novotný et al., 2010). VÚMOP dále vyvíjí mapu přípustných hodnot C faktoru pro veškeré zemědělské půdy na území ČR, odvozenou od hodnoty přípustné ztráty půdy. Při podobných aplikacích je třeba mít na mysli proměnlivost ochranného účinku vegetace v závislosti na místních podmínkách a konkrétním stavu pozemku. Ve vývoji je rovněž metodika testování ochranného vlivu nově zaváděných plodin.

Rovněž z hlediska vývoje hospodaření na pozemcích v ČR je možno zaznamenat nejen pozitivní trendy (zatravňování svažitých pozemků), ale i výrazně negativní. Např. osevní plochy kukuřice byly oproti hodnocenému období v uplynulém desetiletí celkově výrazně navýšeny. Dle údajů Českého statistického úřadu celorepublikově vzrostla výměra kukuřice na zrno z průměrných 35 000 ha v desetiletí (1990 – 2000) na více než 100 000 ha v posledních třech letech (2007 – 2010). A to přesto, že celková výměra orné půdy v ČR již dvacet let téměř trvale klesá. Ještě výrazněji narůstají plochy kukuřice vlivem dotace energetického využití (bioplyn). Zde je třeba v protierozní ochraně trvale propagovat použití meziplodin a ochranných agrotechnických postupů.

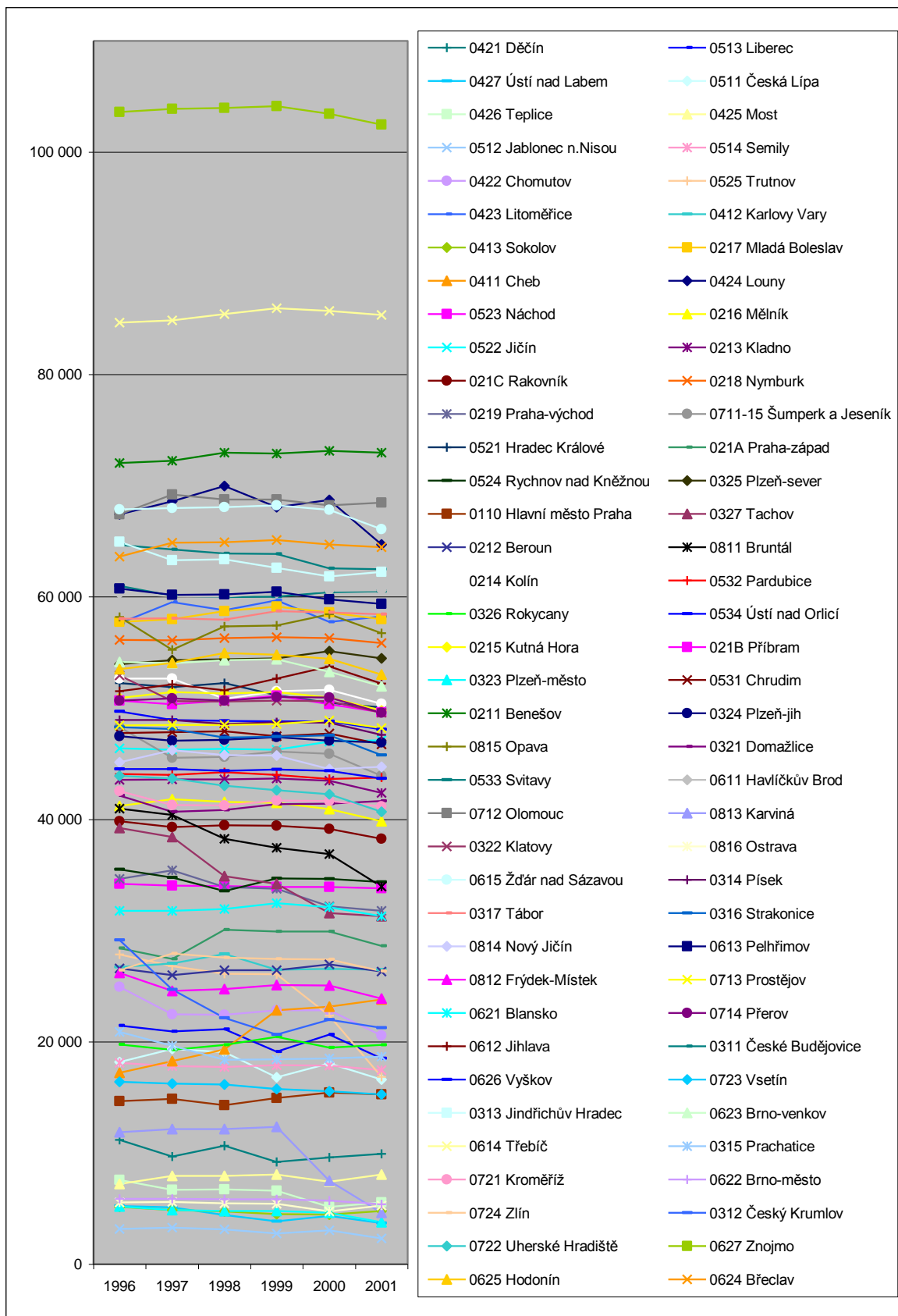


Obr. 3-31: Časový graf změn v osevních plochách kukuřice v jednotlivých okresech v období 1996 - 2001

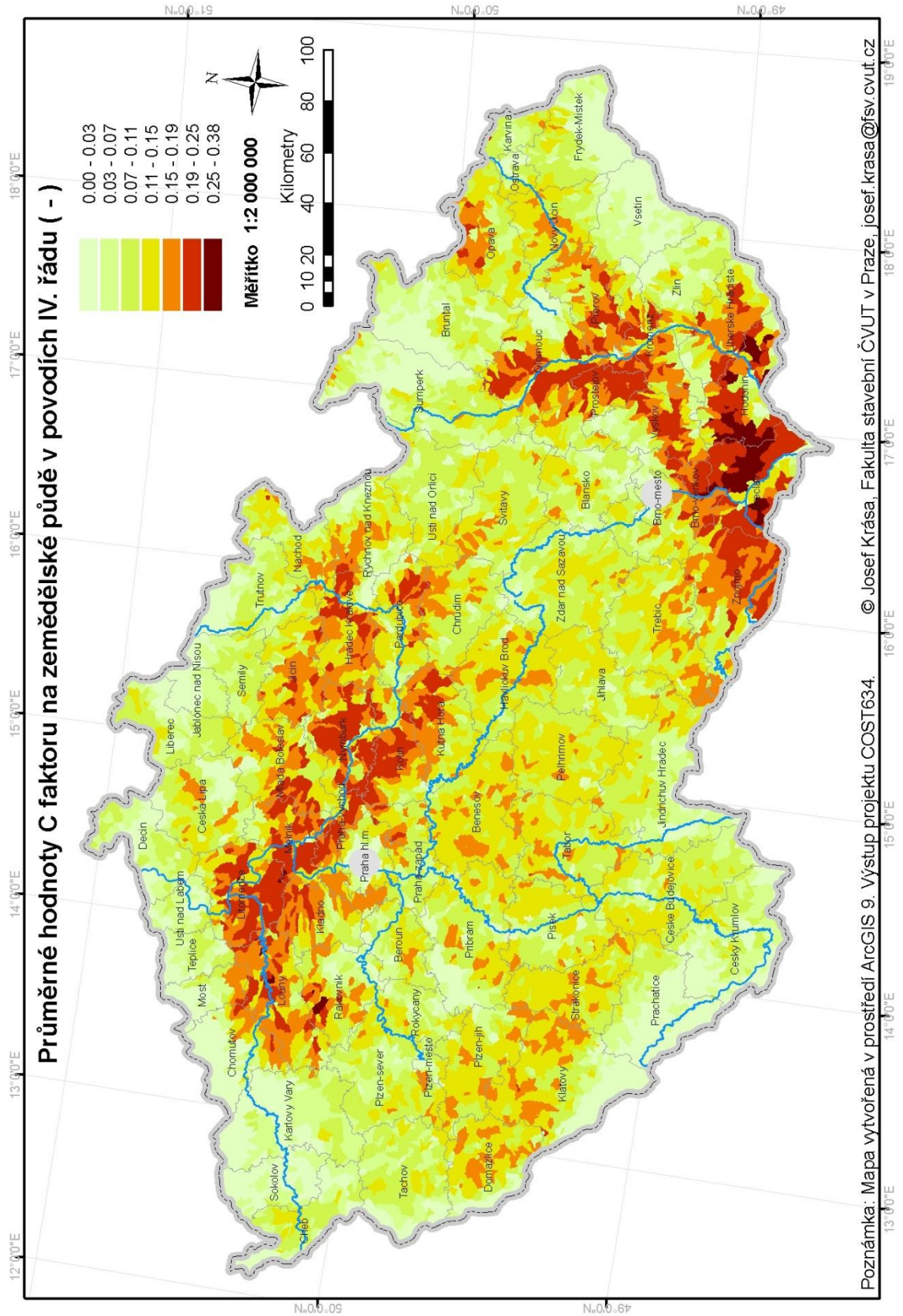


Obr. 3-32: Změny C faktoru na orné půdě v jednotlivých okresech a letech vyjádřené časovým grafem



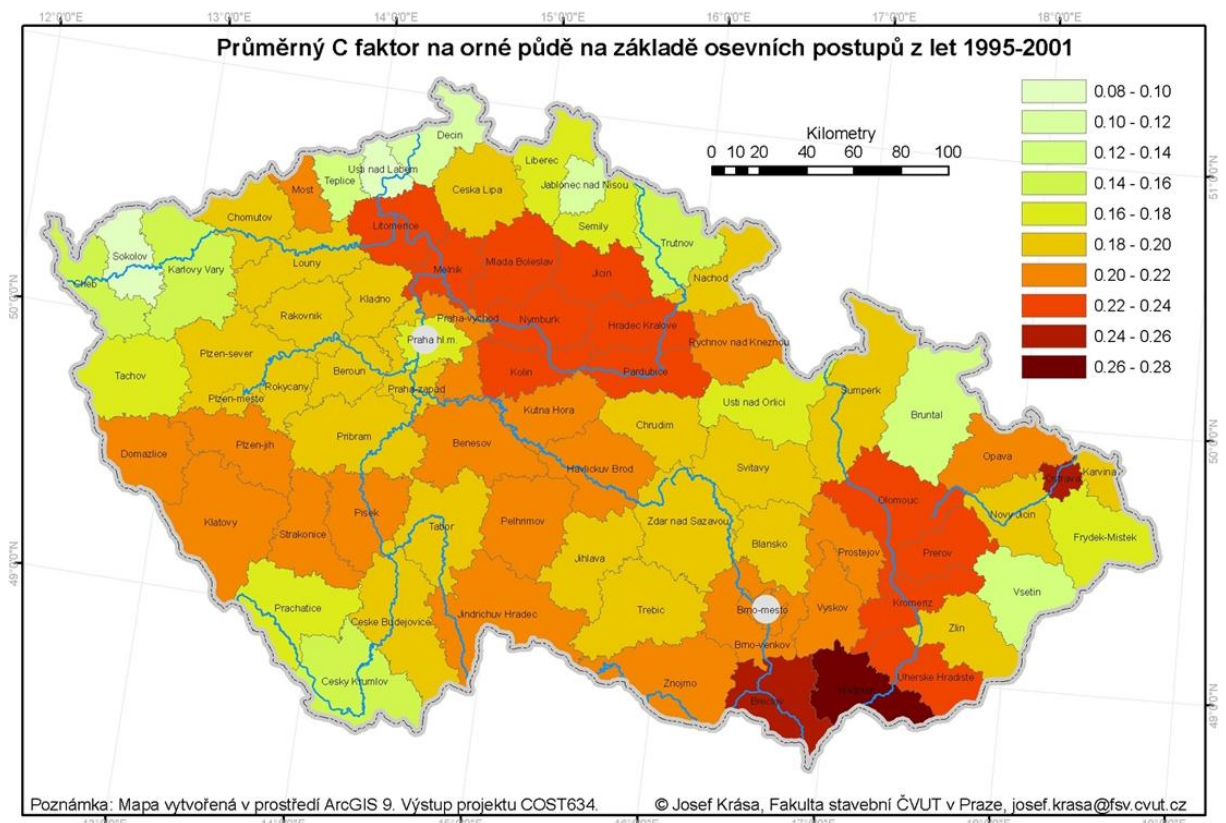
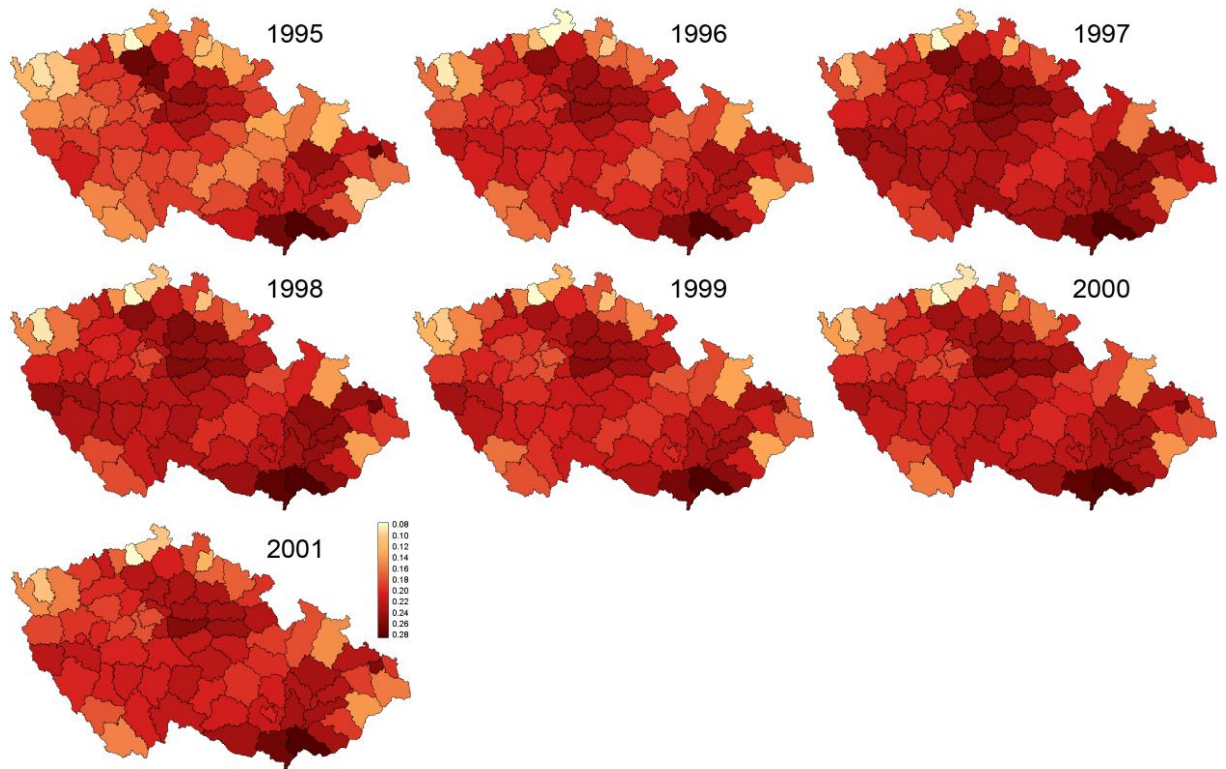


Obr. 3-33: Vývoj celkových výměr osevních ploch v jednotlivých okresech



**Obr. 3-34:** Přehledná mapa průměrného C faktoru na zemědělských pozemcích – porovnání jednotlivých povodí IV. řádu ukazuje též na podíl deklarovaných TTP v jednotlivých povodích





**Obr. 3-35:** Vývoj průměrných hodnot C faktoru na orné půdě v jednotlivých okresech v letech 1995 - 2001

## 4 PŘÍPADOVÉ STUDIE – APLIKACE ODVOZENÝCH METOD

Dále uvedené výpočty ztráty půdy a transportu splavenin jsou pečlivě vybrány z mnoha studií řešených v uplynulých letech i v současnosti. Cílem jejich prezentace je ukázat významné aplikace výše popisovaných metod, využití metodických postupů a odvozených datových zdrojů, ale zároveň uvést aktualizované metodické posuny vyplývající z aplikace metod v konkrétních podmínkách.

Dalším cílem je poukázat na nezbytnost verifikací přehledových i detailních výpočtů, pokud cílem je získat skutečné hodnoty množství splavenin nebo návrhové parametry prvků PEO. Všechny postupy vyplývající z použití modelů, empirických i fyzikálně založených, si vyžadují neustálé ověřování v terénu.

### 4.1 MAPA ZTRÁTY PŮDY A TRANSPORTU SPLAVENIN V ČR

Kapitola popisující odvození mapy ztráty půdy pro ČR je stručným výčtem z podrobných metodických postupů potřebných k výpočtu a přehledem jednotlivých verzí mapy a souvisejících prací. Velká část metodiky byla uvedena v odkazované dizertační práci (Krása, 2004) i v souvisejících publikacích celého autorského týmu. V podmínkách ČR jsou mapa ztráty půdy a další výpočty řešené na jejím základě jedním z nejpublikovanějších výstupů autorského kolektivu.

První mapa ztráty půdy a transportu splavenin do vodních toků pro celé území ČR byla odvozena na pracovišti Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství FSv ČVUT v Praze v roce 2001 (Dostál et al., 2001) jako součást projektu VaV/510/4/98, „Omezování plošného znečištění povrchových a podzemních vod v ČR“ (Rosendorf, 2002). Mapa byla vytvořena na podkladě modelu terénu založeného na vrstevnicové mapě DMÚ 25, mapě využití území na podkladě databáze CORINE a půdní charakteristiky byly převzaty v mapy KPP 1 : 200 000. Rastrová mapa ztráty půdy byla vytvořena s rozlišením 50 × 50 m, mapa transportu splavenin pak byla generována celistvým přístupem, kdy za jednotku bylo považováno povodí IV. řádu. Pro stanovení transportu byl využit empirický Williamsův postup (Williams, 1977), založený na odhadu poměru odnosu SDR.

V následujících letech byla uvedená mapa několikrát aktualizována tak, jak se dařilo získávat podrobnější podklady. Zároveň byla metodika vyvinutá při tvorbě uvedené mapy ztráty půdy a transportu splavenin aplikována na řadě pilotních studií.

Dvěma takovými významnými aplikacemi jsou: aplikace metodiky v povodí Vrchlice (Dostál et al., 2002) a aplikace v povodí VN Brno (projekt VaV/630/4/02 „Výzkum sedimentů nádrží, přehrad a jezer – zhodnocení rizik a návrhy opatření“). V obou případových studiích byl výpočet realizován na podkladě nej přesnějších tehdy dostupných údajů: land-use ZABAGED a Satelitní mapa území ČR; databáze BPEJ pro odvození půdních charakteristik. V obou případech pak byl počítán jednak transport splavenin do vodních nádrží (Vrchlice a Brno) a jednak byly řešeny scénáře využití území a jejich dopad.

První celoplošná revize mapy ztráty půdy a transportu splavenin na území ČR se týkala opravy hodnoty erozní účinnosti deště, která byla v roce 2001 na základě platné metodiky (Janeček et

al., 1992) uvažována pro celé území hodnotou 20 ( $N \cdot h^{-1}$ ). Jedná se z dnešního hlediska o velmi omezeně platný mapový podklad – prostorové rozmístění hodnot bylo ve zjednodušené podobě převzato z prostorové korelace hodnot pro stanice uvedené v metodice ÚVTIZ (Janeček et al., 1992). Všechny hodnoty byly přitom posunuty na úroveň odpovídající nově vypočteným hodnotám R faktoru, jež byly získány pro stanice Cheb, Praha, Vír a Olomouc (kapitola 3.1.3). Mapa nerespektuje lokální rozdíly zejména v okrajových a horských oblastech ČR (Krása, 2004). Hodnoty R faktoru se pohybují v rozmezí 35 až 56 ( $N \cdot h^{-1}$ ).

Jelikož byl podklad z roku 2004 nedostatečný (především z hlediska prostorového rozmístění hodnot), bylo cílem získat více vyhodnocených srážkoměrných stanic. Bohužel údaje o přívalových srážkách nebyly k dispozici, a tak bylo ve spolupráci s ČHMÚ vyhodnoceno 86 stanic se známými hodnotami celkových měsíčních srážek ve čtyřicetiletém období 1962-2001. Z měsíčních úhrnů nelze hodnoty R faktoru metodou Wischmeiera přímo odvodit. V Evropě však bylo publikováno několik metod přibližného odvození, neboť s problémem nedostatku údajů o přívalových deštích se potýká řada vědců v mnoha zemích (Gabriels et al., 2003). Po otestování uvedených metod byly nakonec využity celkové srážkové úhrny za vegetační období (květen - říjen), používané i v sousedním Bavorsku, a tyto byly normalizovány vzhledem ke známým hodnotám R faktoru ve výše uvedených čtyřech stanicích. K samotné přípravě mapy jako spojité vrstvy hodnot byly navíc využity údaje o nadmořských výškách. Na základě srážkoměrných dat ve stanicích není možno usuzovat na korelaci mezi přívalovými dešti a nadmořskou výškou (Obr. 3-16, str. 56), poslední vědecké poznatky na tomto poli – vyhodnocení radarových dat – však prokazují, že tato korelace zde existuje (Bek et al., 2010b). Nedostatečné pokrytí území ČR stanicemi neumožňovalo přímou interpolaci hodnot.

I přes základní nedostatek mapy spočívající ve faktu, že jejím zdrojem nejsou skutečné přívalové srážky, ale měsíční úhrny, je tato nová regionalizace velmi významná. Vzhledem k vysokému celkovému množství dat vstupujícím do výpočtu a dlouhodobým časovým řadám (40 let) je tato mapa dosud považována za nejkvalitnější podklad popisující prostorovou variabilitu hodnot R faktoru pro území ČR z dlouhodobého hlediska (Obr. 3-7, str. 40). Na jejím podkladě proto byla v roce 2004 provedena další aktualizace mapy ztráty půdy v ČR (Krása, 2004).

V závěru roku 2005 se podařilo ve spolupráci s ČHMÚ vypočítat hodnoty R faktoru pro celé území ČR podle původní metodiky na základě přepracovaných dat z minutových srážkoměrných záznamů pro 37 stanic. Jednalo se o data pouze ze šestiletých období (2000 - 2005), nicméně po podrobných analýzách provedených na uvedených datech v roce 2006 bylo možno provést další významný krok ke zkvalitnění mapy erozní účinnosti srážek. Pro každou z použitých 37 stanic byly k dispozici údaje o všech zaznamenaných srážkách a průběh intenzit v minutových intervalech. Z těchto údajů byly v ČHMÚ na podkladě přesných metodických pokynů (Dostál et al., 2005) nejprve izolovány jednotlivé přívalové srážky podle pravidel stanovených metodikou Wischmeiera a Smithe. Pro každou identifikovanou srážku byla dále určena přesná doba jejího trvání, vypočten celkový úhrn, kinetická energie deště  $E_a$ , maximální třicetiminutová intenzita  $I_{30}$  a poté samotný R faktor. Kompletní soubor hodnot R faktoru nelze ovšem bez dalších analýz smysluplně vztáhnout jedním průměrem na celou Českou republiku, zejména pak ne pro využití k výpočtům na zemědělské půdě. Stanice se nacházejí v různých morfologických podmínkách, řada z nich je v podhorských i horských oblastech a mimo centrální oblasti republiky. Stejně tak je 37 stanic příliš malý počet pro vystižení věrohodných údajů o erozivité na celém území ČR (v oblastech mimo hodnocené stanice) zejména proto, že erozně účinné a tedy přívalové srážky

jsou obvykle lokálního charakteru. Radarová data ukazují na prostorovou autokorelaci erozně účinných srážek dosahující do vzdálenosti průměrně 25 km (Bek et al., 2010b). Délka zaznamenaných časových řad 6 let je rovněž příliš krátká pro vynesení závazných soudů o hodnotách R faktoru pro celé území ČR.

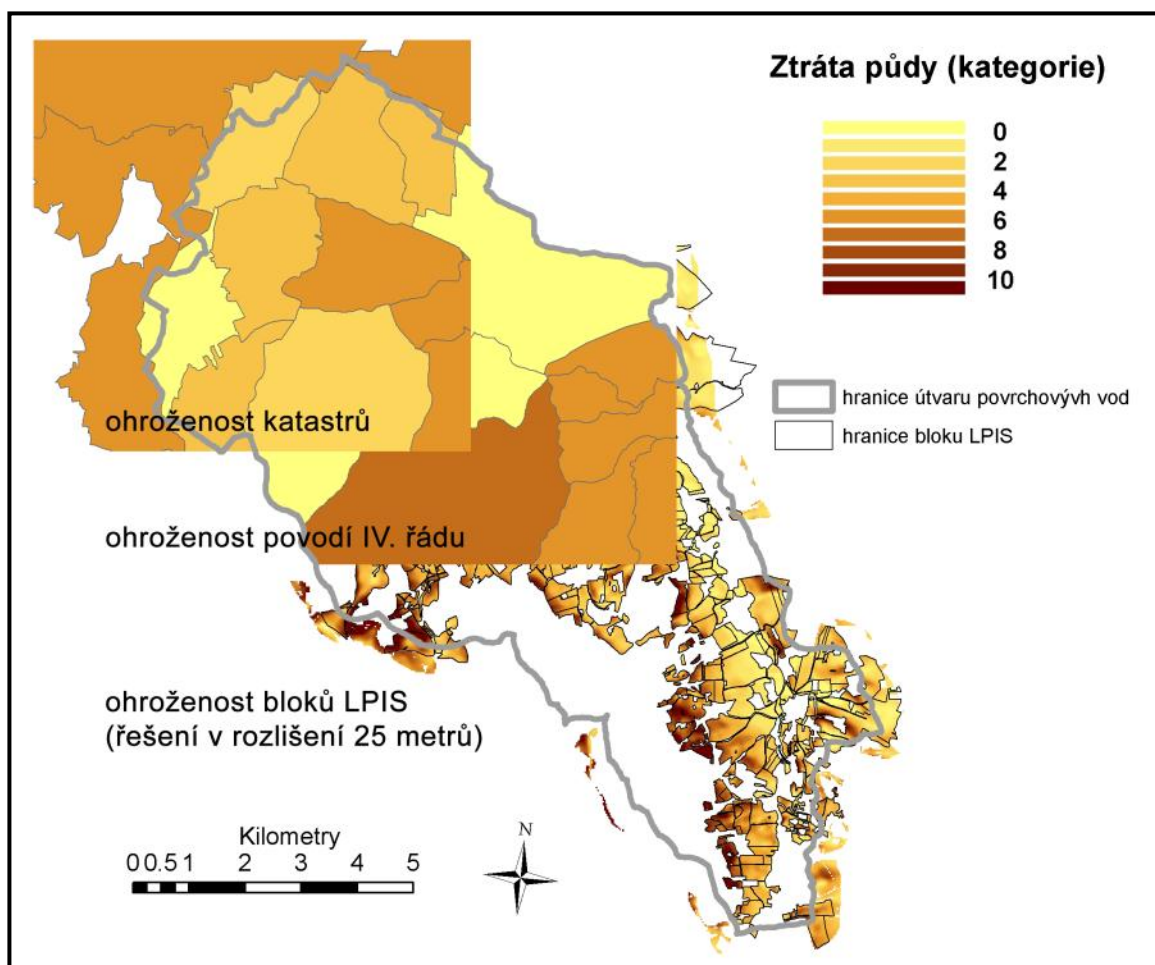
Celkem bylo vyhodnoceno 1372 přívalových srážek za šest let v 37 stanicích, což je velmi významný statistický vzorek pro jednoznačné potvrzení vyšší než dříve uvažované průměrné hodnoty R faktoru v ČR. Celkový průměrný R faktor ze všech stanic v letech 2000 - 2006 je roven 76,2 ( $N \cdot h^{-1}$ ), což je jistě hodnota pro řadu zemědělských oblastí ČR dlouhodobě nadhodnocená, navíc zahrnující srážkově mimořádný rok 2002. Na druhou stranu tato hodnota správně ukazuje na opravdu vysokou míru erozní účinnosti srážek v letech 2000 - 2005 v ČR. Na mnoha stanicích v oblastech s velkým územním podílem orné půdy přesáhla v jednotlivých extrémních letech hodnota R faktoru výrazně mez 100 ( $N \cdot h^{-1}$ ).

Regionalizace a nová mapa má sloužit jako ilustrace výrazné variability R faktoru na území ČR (Obr. 3-23, str. 64). Vzhledem ke známým zjednodušením by neměla vstupovat do výpočtu erozního smyvu jako spojitá celorepubliková vrstva. Ukazuje však na zřejmé a nepopiratelné zjištění, že průměrná roční hodnota erozního účinku deště na území ČR se v současnosti pohybuje na úrovni cca 50 až 60 ( $N \cdot h^{-1}$ ) a hodnoty v jednotlivých regionech na úrovních od cca 35 do 85 ( $N \cdot h^{-1}$ ) tak, jak je uvedeno v obou posledních revidovaných mapových podkladech. S využitím uvedených podkladů byla v roce 2006 provedena další aktualizace mapy ztráty půdy na území ČR (Dostál et al., 2007) se zahrnutím nové vrstvy faktoru erozní účinnosti deště R.

Dosud nejpodrobnější mapa ztráty půdy, opět dotažená do úrovně mapy transportu splavenin do vodních toků byla odvozena v roce 2007 v rámci projektu COST 634 (Dostál et al., 2007) a publikována následně i v dalších periodikách (Krása et al., 2010a). Aktualizace spočívala především ve využití nové vrstvy land-use, vytvořené na podkladě databáze farmářských bloků LPIS. Tato modifikace umožnila přechod na vyšší rozlišení mapy na  $25 \times 25$  m. Informace o půdách zůstaly stejné jako u původní mapy (mapy KPP 1 : 200 000), protože lepší mapový podklad se v rozsahu celé ČR nepodařilo zajistit. Morfologie území byla odvozena ze stejného podkladu, tedy vrstevnicové mapy 1 : 25 000 (DMÚ 25), pro odvození rastrového DMT byly nicméně použity aktualizované algoritmy (kapitola 3.2.2). Topografický faktor LS byl vypočten pomocí softwaru USLE2D (Desmet et al., 1996). Pro výpočet byly použity parametry: směrování odtoku metodou „multiple flow“, hranice pozemků zcela přerušující odtokové dráhy, S faktor podle RUSLE (McCool et al., 1989). Hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace C byly rovněž zásadním způsobem aktualizovány, a to na podkladě údajů databází ČSÚ, které se podařilo pro řešení získat. Metodika zpracování je podrobně popsána v (Dostál et al., 2001), (Krása, 2004) a (Dostál et al., 2007) a v kapitole 3.4.4.

Na podkladě nové mapy z roku 2007 byl pak v roce 2008 na zakázku MZe ČR v rámci zpracování Plánů oblastí povodí proveden výpočet erozního smyvu na zemědělské půdě v povodí definovaných cca 500 ohrožených vodních útvarů (Obr. 4-1) (Krása et al., 2008).





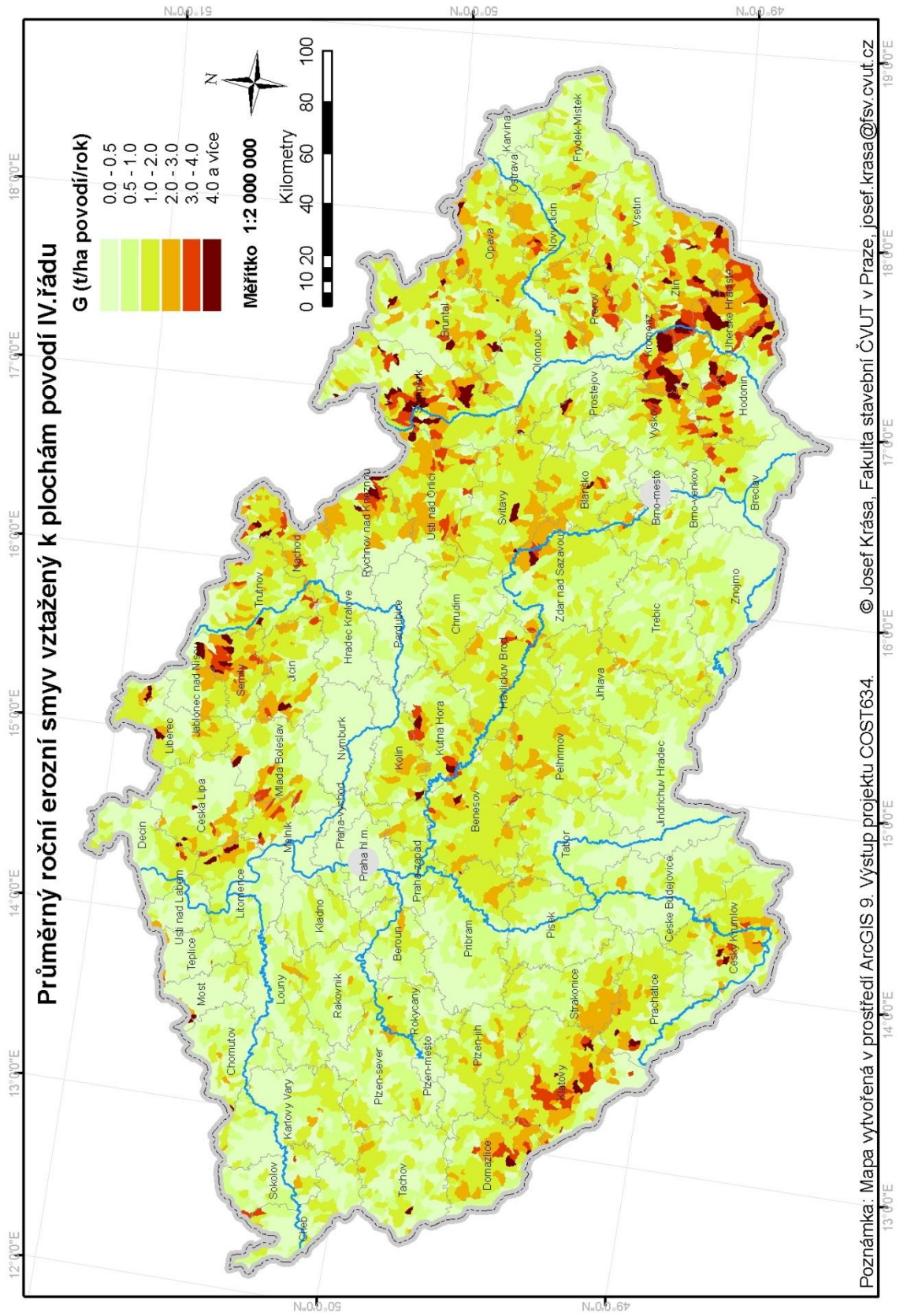
**Obr. 4-1: Vybrané datové vrstvy začleněné do aktuálních Plánů oblastí povodí**

V roce 2009 dokončil své vývojové práce na mapě ztráty půdy v ČR i VÚMOP a publikoval v této chvíli zřejmě nej přesnější mapový podklad, popisující ztrátu půdy na zemědělské půdě v ČR (Novotný et al., 2010). Mapa je vytvořena oproti výše popisovaným verzím na podkladě land-use s využitím databáze ZABAGED (a LPIS) a na podkladě půdních map BPEJ v měřítku 1 : 5 000. Uvedená mapa (VÚMOP) je základem vrstev erozní ohroženosti tak, jak jsou začleněny do registru LPIS a proto se podílí rovněž na směřování dotační politiky státu. Vědecké týmy Katedry hydromeliorací Fakulty stavební ČVUT a VÚMOP, v.v.i. na dalším vývoji tohoto mapového produktu spolupracují.

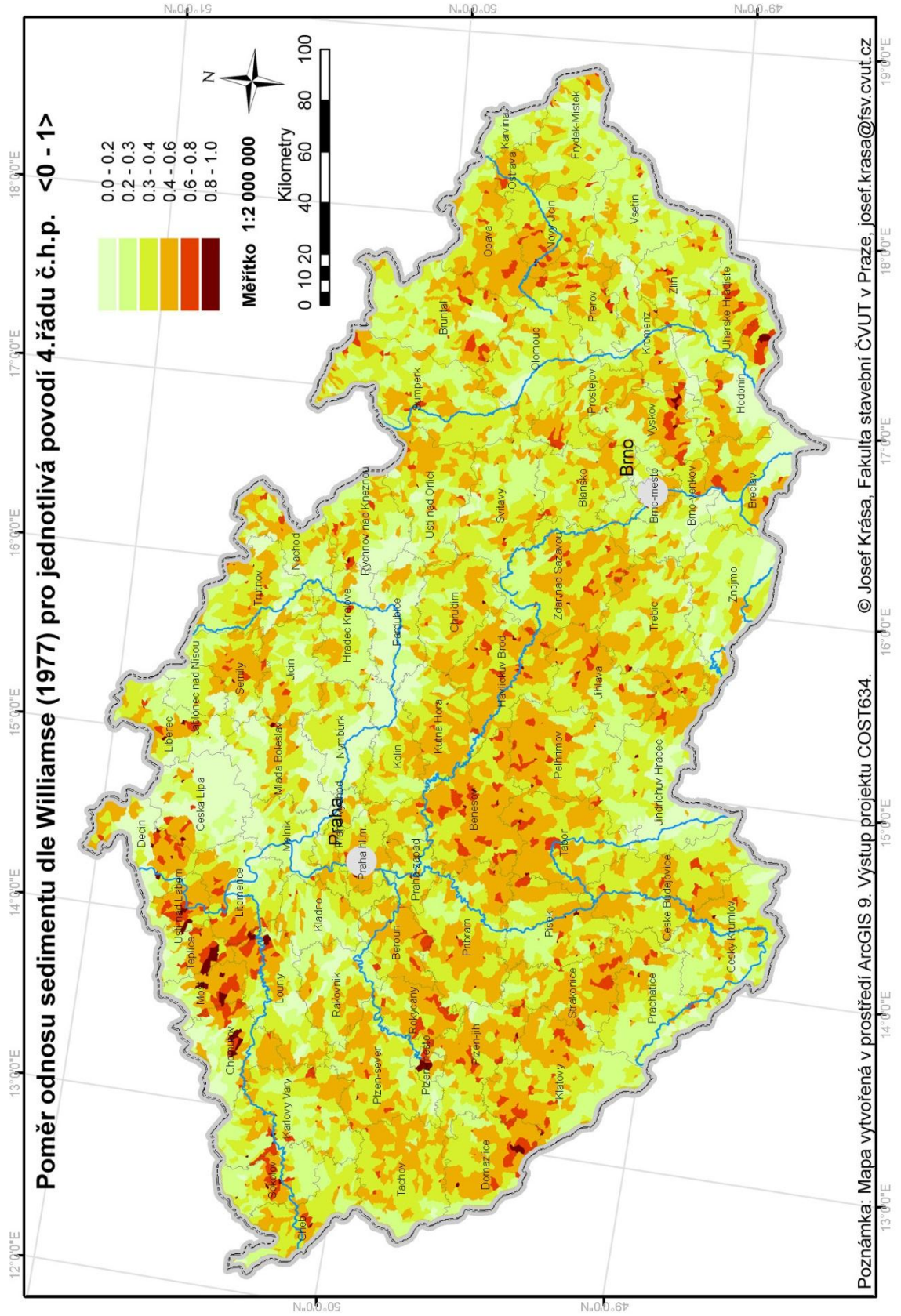
Česká republika, resp. řešitelský tým Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství, v uvedeném období figurovala i v mapových výstupech některých celoevropských projektů (Kirkby et al., 2004), aj.), které nicméně neposkytovaly dostatečnou prostorovou přesnost pro praktické využití v našem regionu.

Výstupy z poslední verze (2008) erozní mapy ČR a mapy transportu splavenin agregované do úrovně jednotlivých povodí IV. řádu jsou uvedeny na následujících obrázcích.



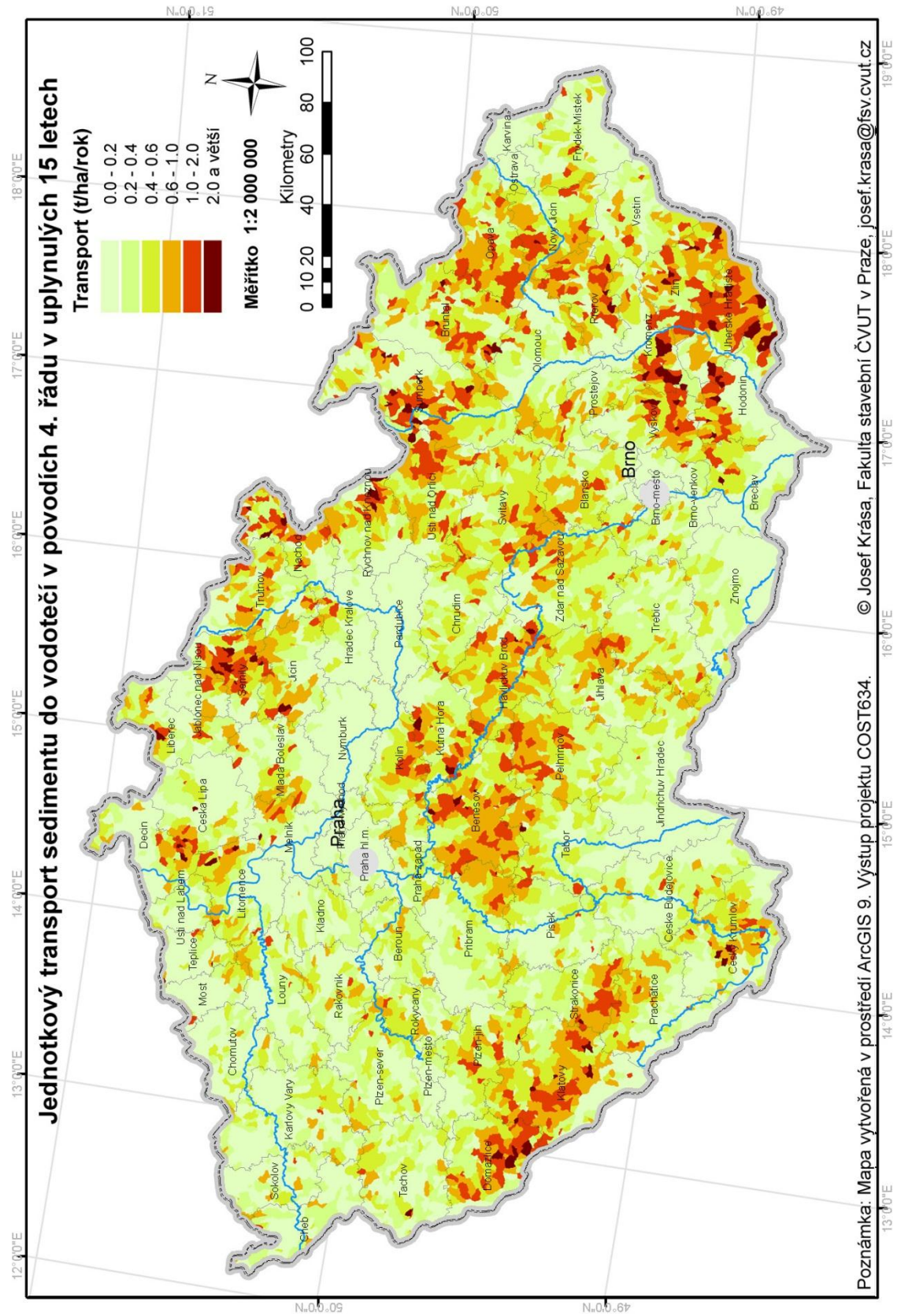


Obr. 4-2: Specifická ztráta půdy v povodích IV. řádu



Obr. 4-3: Poměr odnosu splavenin SDR v povodích IV. řádu





Obr. 4-4: Specifický transport splavenin do toků v povodích IV. řádu

## 4.2 GIS A NÁVRHY PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ

Kapitola pojednává o nasazení nástrojů prostorové statistiky a mapové algebry pro určení přípustných délek svahu na základě běžně dostupných datových zdrojů na území ČR. Výstupem jsou rovněž porovnání použitých metod ve třech modelových povodích. Tento text byl připraven v rámci aktuálně probíhajícího projektu NAZV – „Optimalizace postupu navrhování technických protierozních opatření“ a bude rovněž součástí výstupní řešitelské zprávy uvedeného projektu.

Kapitola nepopisuje nasazení distribuovaných simulačních modelů povrchového odtoku a eroze, které vycházejí z rovnic popisujících hydrauliku povrchového a podpovrchového odtoku. Takové metody jsou vhodné pro nasazení v malých povodích a vyžadují značné odborné znalosti pro správné použití. Tato kapitola se zabývá nástroji, jež jsou přímo dostupné v převládajících GIS software.

Předem je možno předeslat, že GIS a jeho generelní metody jsou velmi vhodným nástrojem pro vytipování oblastí s vysokou mírou rizika zrychleného povrchového odtoku a eroze. Výsledky případného návrhu (technicky v GIS proveditelného) mohou nicméně v konkrétní lokalitě vést k nevhodnému nebo dokonce nerealizovatelnému řešení, a to jednak vlivem nepřesností v dostupných datech, jednak vlivem nezachycení všech souvislostí bez řádně provedeného terénního průzkumu.

### 4.2.1 METODY A NÁSTROJE GIS PRO NALEZENÍ KRITICKÝCH LOKALIT PRO NÁVRHY TECHNICKÝCH PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ

Jednotlivé typy technických protierozních opatření můžeme v zásadě rozdělit do čtyř hlavních skupin, jež se liší z hlediska umístění v povodích. Jsou to prvky:

- liniové záchytné zasakovací (průlehy, meze a hrázky)
- liniové záchytné odváděcí a svodné (příkopy, průlehy, hrázky doplněné příkopem)
- terasy snižující podélný sklon (zde je nebudeme modelovat, neboť generelní řešení je v jejich případě zbytečné – jako velmi drahá opatření mohou být zaváděny jen v lokálně odůvodněných případech)
- záchytné prvky v údolnicích (sedimentační jímky, nádrže, suché nádrže)

Koncepce řešení výše uvedených bodů se tak dělí na dva základní úkoly podrobně popisované v následujících podkapitolách. **Definování přípustných délek** a vykreslení liniových prvků v GIS, resp. **nalezení ohrožených údolnic** a vhodných profilů pro záchytné nádrže. K vytipování vhodných profilů pro umístění uvedených prvků máme v GIS dispozici vždy sadu odlišných nástrojů.

#### 4.2.1.1 ZÁCHYTNÉ PRVKY LINIOVÉ (ZASAKOVACÍ I ODVÁDĚCÍ) - METODIKA

Tyto prvky jsou v území umístěny z důvodu přerušování plošného povrchového odtoku dříve, než dojde k jeho soustředění do erozních rýh. Cílem je zabránit vzniku vyšší formy eroze, eroze výmolové, která je charakterizována řádově vyšším vymílacím účinkem. K tomu je využíváno kritéria tzv. přípustné délky svahu. Přípustná délka svahu je teoretická vzdálenost od počátku vzniku povrchového odtoku (např. rozvodnice, nebo cesty s příkopem) ke vzniku odtoku

soustředěného. Závisí samozřejmě nejen na geomorfologických charakteristikách území a vegetačním krytu, ale rovněž na intenzitě příčinné srážky. Nelze ji proto stanovit paušálně, vždy se jedná o určité rozmezí hodnot v konkrétní lokalitě. Cílem při návrhu TPEO je zůstat spíše na straně bezpečnosti.

Stanovení **přípustné délky svahu** je možno teoreticky provést dvěma způsoby. V případě manuálního postupu se oba vztahují k charakteristickému podélnému profilu dané části pozemku/svahu:

- Pro danou půdu a plodinu se stanoví hodnota krajní nevymílací rychlosti (resp. tečného napětí) a je nalezena vzdálenost od rozvodnice, kdy je této rychlosti povrchového odtoku dosaženo.
- Pro stanovení přípustné délky svahu vyjdeme z přípustné ztráty půdy pro daný pozemek a délku svahu omezíme tak, aby tato ztráta nebyla překročena. (Tento postup ovšem nevede k zabránění vzniku soustředěného odtoku, neboť přípustná ztráta půdy není definována fyzikálně – viz dále).

Oba způsoby jsou při nasazení v GIS v zásadě ekvivalentní (použití mapové algebry pro výpočet přípustných délek svahu je obdobnou úlohou), nicméně první postup je limitován nedostatkem údajů o hodnotách krajních nevymílacích rychlostí. Ty je třeba odvodit z rozboru půdního vzorku (závisí nejen na zrnitosti, ale rovněž na struktuře půdy a obsahu humusu) a z mapových podkladů dostupných v ČR není k dispozici přímý převodní vztah.

Práce se proto zabývá testováním druhého postupu – tedy stanovení přípustných délek svahu na základě přípustného erozního smyvu.

Přípustný smyv (s výjimkou oblastí zvláštní ochrany, např. ochranných pásem vodních zdrojů) je doporučen metodikou (Janeček et al., 2007) podle hloubky části půdního profilu omezené buď pevnou horninou, nebo silnou skeletovitostí (Tab. 4-1):

**Tab. 4-1: Hodnoty přípustné ztráty půdy v ČR**

1 t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup>	mělké půdy (do 30 cm hloubky)
4 t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup>	středně hluboké půdy (30 - 60 cm hloubky)
10 t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup>	hluboké půdy (hlubší než 60 cm)

Hloubku půd lze v ČR generelně posuzovat dle páté číslice kódu BPEJ, kde je uvedena společně s údajem o skeletovitosti, pokud máme k dispozici mapy BPEJ pro řešená území.

Ztrátu půdy určíme pomocí univerzální rovnice (USLE) jako **G = R.K.L.S.C.P**

(R. 2-1, kapitola 2.1, str. 14)

Nejprve si musíme připravit mapu přípustné ztráty půdy na základě mapy pozemků a mapy BPEJ podle tabulky (Tab. 4-1). Máme-li dále k dispozici všechny distribuované vrstvy pro výpočet ztráty půdy z řešeného území (tedy rastrové mapy všech faktorů USLE s výjimkou L), můžeme v prvním kroku určit přípustný L faktor pro návrh TPEO z rovnice (R. 4-1):

Rovnicí (R. 4-1) získáme mapu přípustného L faktoru po jednotlivých elementech. V závislosti na místním sklonu můžeme z této mapy odvodit hodnoty „lokální“ přípustné délky svahu pomocí rovnice pro L faktor (R. 4-2):



$$L_p = G_p / (R.K.S.C.P) \quad \text{R. 4-1}$$

$L_p$	přípustná hodnota L faktoru
$G_p$	přípustná ztráta půdy ( $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ )
R	R faktor ( $N \cdot ha^{-1}$ )
K	K faktor ( $t \cdot N^{-1}$ )
C	C faktor
P	P faktor

$$L = (L_d / 22,13)^P, \quad (\text{Wischmeier et al., 1978}) \quad \text{R. 4-2}$$

$L_d$	je nepřerušovaná délka svahu a
P	je exponent závislý na sklonu svahu

přičemž platí, že dle literatury  $P = 5/10$  pro sklony přes 5 %,  $P = 4/10$  pro sklony od 3 do 5%,  $P = 3/10$  pro sklony od 1 do 3% a  $P = 2/10$  pro sklony do 1%.

Pokud za nepřerušovanou délku svahu prohlásíme hledanou přípustnou délku svahu  $L_p$ , rovnice (R. 4-2) se nám transformuje do vztahu (R. 4-3).

$$L_p = 22,13 * L^Q \quad \text{R. 4-3}$$

L	je L faktor univerzální rovnice
Q	je inverzní exponent k exponentu P

**Tab. 4-2: Rozmezí hodnot exponentu Q**

exponent Q		sklon
10/5	resp. 2	větší než 5%
10/4	resp. 2,5	rozmezí 3-5 %
10/3	resp. 3,3	rozmezí 1-3 %
10/2	resp. 5	menší než 1%

Případně je v GIS možno použít přibližnou logaritmickou závislost přímo na vrstvě sklonu (R. 4-4)

$$Q = -1.7 * \ln(i) + 5 \quad \text{R. 4-4}$$

kde  $i$  je tangenciální sklon svahu v procentech.

Rovnice platí v rozmezí sklonů 1 – 5 %. Pro vyšší a nižší sklony je třeba použít hodnoty z tabulky (Tab. 4-2).

### Omezení vypočtených přípustných délek

Při prosté aplikaci výše uvedených rovnic a výpočtu přípustné délky svahu podle vztahu (R. 4-3) není vypočtená délka shora ani zdola omezena. Matematicky získáváme hodnoty v rozmezí 0 až mnoha tisíc metrů při minimálním sklonu dané části pozemku. Proto je třeba zvolit realistické minimální a maximální hodnoty přípustných délek. Zde je možno se opřít o literaturu.

Dolní mez vychází z doporučené minimální ekonomicky obhajtelné šířky obhospodařovaných pásů. Horní mez potom z doporučované maximální velikosti bloku orné půdy i v rovinaté krajině – z důvodu přístupnosti pozemků a fragmentace území. Zde není cílem prosazovat konkrétní

hodnoty, protože závisí i na místních podmínkách. Pro účely testování a jako předběžné hodnoty omezení je navrženo zvolit:

- dolní mez přípustné délky svahu 30 m
- horní mez přípustné délky svahu 500 m

Klíčová otázka pro využití metody v GIS je, jak naložit se získanými hodnotami přípustných délek v jednotlivých elementech. Konkrétní postup testování vhodných algoritmů je uveden v kapitole 4.2.2.3.

Postup návrhu musí i v GIS vycházet z postupného umísťování přerušování odtokových drah. Proto je třeba postupně porovnávat hodnotu délky odtoku s průměrnou hodnotou přípustné délky svahu a ve chvíli, kdy dojde k překročení obou hodnot, umístit na řešený pozemek přerušující prvek TPEO.

Pro postupy využívající kvýpočtu LS faktoru hodnoty akumulace odtoku, tedy uvažující konvergenci odtoku, by bylo vhodnější použít pro porovnávání s přípustnou délkou nikoli hodnotu „délky odtoku na rastru“ (v případě Arc GIS reprezentovanou hodnotou „Flow Length“ převedenou na délku v m), ale hodnotu velikosti dílčího povodí (v případě ArcGIS reprezentovanou hodnotou „Flow Accumulation“, převedenou na m<sup>2</sup>).

#### 4.2.1.2 ZÁCHYTNÉ PRVKY V ÚDOLNÍCÍCH - METODIKA

Jedná se nejen o technická protierozní opatření s různou retenční kapacitou, ale i o opatření protipovodňová, jako např. suché nádrže. Zde může GIS sloužit jako vhodný nástroj pro identifikaci vhodných profilů k jejich umístění v povodích. Model výběru se v tomto případě neopírá o analýzu přípustné délky svahu jako u liniových prvků, ale o multikriteriální hodnocení území.

Celý **postup nalezení vhodných údolnicových profilů** se skládá jednak z jejich samotného morfologického určení (ať již vícesměrnými, nebo osmisměrnými algoritmy směřování odtoku), ale dále z postupného omezování a vyřazování nevhodných částí území metodou multikriteriálního výběru. Postup lze shrnout do následujících kroků:

1. Nalezení údolnic v území pomocí směřování a akumulace odtoku na základě DMT (bez uvažování hranic pozemků a cestní sítě).
2. Výběr údolnic se sběrnou plochou povodí nad 5 ha.
3. Odstranění toků a pásem 50 (až 100 nebo i více) m okolo toků z výběru. Zde je třeba postupovat pečlivě. Otázkou je, zda ve výběru retenčních prostor chceme, nebo nechceme ponechat údolnice samotných toků – jež samozřejmě patří mezi lokality s velkou sběrnou plochou. Můžeme např. z vrstvy toků nejprve odstranit nejmenší úseky a jejich údolnice nám pak zůstanou ve výběru. V našem případě odstraníme všechny úseky v okolí toků, neboť naším cílem je navrhovat TPEO pouze na orné půdě. Doporučovaná šířka obalové křivky není fixní – výsledek je třeba podrobit vizuální kontrole – komerční DMT nikdy není zcela přizpůsoben síti toků a ty tak netečou přímo v hledaných údolnicích. Proto je třeba volit šířku obalové křivky právě takovou, aby tento nesoulad pokryla.
4. Odstranění intravilánů a pásem 200 m okolo intravilánů z výběru.
5. Odstranění silniční sítě a pásu 50 m v jejím okolí z výběru.
6. Rozšíření vybraných profilů údolnic obalovou zónou na šířku pásu 100 m.

Tímto postupem byly vybrány údolnicové profily, v rámci nichž by měla být provedena kontrola ohroženosti a případně by měly být vybrané části údolnic zatravněny. Nicméně výběr pokračuje dál až k nalezení vhodných kandidátů pro implementaci TPEO.

Jsou k dispozici dvě variantní možnosti správného výběru, buď pro dosažení maximální kapacity retence, nebo pro zachycení odtoku pouze v koncové části každé údolnice pro minimalizaci nákladů TPEO. Pokud je cílem řešit pouze TPEO a nikoli komplexní protipovodňovou ochranu, odstraníme nyní z výběru všechny části údolnic mimo pozemky orné půdy. Následuje varianta zachycení koncových částí údolnic:

7. Odstranění údolnic mimo pozemky OP – ponecháme údolnici jako booleanskou masku --> vrstva U0.
8. Před výběrem variantního řešení musí být v rastru údolnice samostatně očíslovány jako oddělené útvary --> vrstva U1.
9. Rozdělíme údolnice automaticky na úseky délky např. 100 m se samostatným číslováním (nebo na úseky proměnlivé délky podle nadmořské výšky) --> vrstva U2.
10. Každému úseku vrstvy U2 přiřadíme hodnotu jeho průměrné nadmořské výšky --> vrstva U3.
11. Původním úsekům údolnic (vrstva U1) přiřadíme hodnotu minima (tedy minima z nadmořské výšky) z vybraných úseků --> vrstva U4.
12. Odečteme vrstvy U3-U4 --> vrstva U5 již neobsahuje nejnižší závěrečné úseky údolnic.
13. Změníme vrstvu U5 na obrácenou booleanskou masku a provedeme průnik s vrstvou U0. Tak získáme vybrané dílčí úseky vytipovaných údolnic pro návrhy TPEO.

Variantně můžeme provést stejnou úlohu s tím, že při dělení údolnic na úseky (příprava vrstvy U2) použijeme jako kritérium nikoli nadmořskou výšku, ale hodnotu podélného sklonu údolnice, případně jeho derivace - profilové křivosti. Tak vybereme mezi testovanými údolnicemi dlouhé úseky s minimálním sklonem – tedy s maximální retencí.

14. Abychom dále vybrali úseky, kde je možné budování hráze a vytvoření zdrže (existuje tam kapacitní retenční prostor), vybereme ze všech vytipovaných prostorovou statistikou ty, jež mají maximální zápornou průměrnou hodnotu planární křivosti v celé obalové zóně údolnice (případně rozšířené na 100 m). Tak minimalizujeme případnou délku hráze a maximalizujeme kapacitu poldru.

Další upřesnění výběru je nutné provádět terénním šetřením, včetně zajištění vlastnických poměrů atp.

### **Jímky na pozemcích orné půdy**

V případě záchytných jímek se metodicky jedná pouze o nalezení ploch s dostatečnou akumulací (např. 2 – 5 ha) přímo v okrajích zemědělských pozemků. Ty by bylo proto třeba nalézt metodou FLOW accumulation aplikovanou pouze na samostatné pozemky a umístit je výhradně dle plochy akumulace.

Lze spočítat jejich počet v testovaných povodích, jako specifický, tedy na 1 ha ZPF, případně lépe na 1 ha orné půdy. Prostorovou analýzou v GIS lze zajistit, aby byly navrhovány pouze v blízkosti zpevněných cest nebo silnic z důvodu údržby, čištění a odtěžování.

#### 4.2.2 VÝSTUPY V TESTOVACÍCH POVODÍCH

Pro vlastní testování byla zvolena celkem tři experimentální povodí. Požadavky na ně byly následující:

- Každé zájmové území mělo mít plochu přesahující 100 km<sup>2</sup>, aby zde mělo smysl aplikovat GIS orientované přístupy.
- V každém ze zvolených území měla být realizována alespoň nějaká TPEO.
- Každé zájmové území mělo reprezentovat jiný typ krajiny, a to jak morfologicky, tak co do hospodářského využití.
- Zvolené typy krajin měly představovat nížinné, vrchovinné a podhorské území, každá ze zvolených oblastí by však měla být intenzivně zemědělsky využívána.



Obr. 4-5: Testovací lokality v rámci ČR

Zvolena tak, aby vyhovovala výše uvedeným kritériím, byla následující experimentální povodí:

**Nížinná oblast** – spojená povodí Blinky, Pekelského potoka, Hořanského potoka a Polepky. Celkem 4 menší povodí tvořící pravostranný přítok Výrovky, resp. levostranný přítok Labe v oblasti Kolína a Kutné hory. Celková plocha zájmového území je cca 133 km<sup>2</sup>. Pracovně bude tato experimentální oblast pro zjednodušení dále v textu označována jako **Kutná Hora**.

Tato kombinace povodí byla zvolena proto, že v dané oblasti (která je jinak charakteristická jako úrodná, intenzivně využívaná, nicméně dosud dosti svažité) je díky přítomnosti velkých řek a charakteru hydrografické sítě prakticky nemožné najít kompaktní povodí velikosti kolem 100 km<sup>2</sup>.

**Vrchovinná oblast** – povodí Bradavy, pravostranného přítoku Úslavy západně od Plzně. Celková plocha povodí je cca 103 km<sup>2</sup>. Povodí je spíše protáhlého tvaru se dvěma symetrickými pramennými větvemi. Oblast bude dále označována jako **Bradava**.

**Podhorská oblast** – povodí Pilníkovského potoka, levostranného přítoku Labe pod Hostinným. Celková plocha povodí je cca 106 km<sup>2</sup>. Povodí je spíše vějířovitého tvaru. Oblast bude dále označována jako **Pilníkovský**.

Základní charakteristiky testovacích povodí jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce (Tab. 4-3).

**Tab. 4-3: Základní charakteristiky testovacích lokalit**

	Bradava		Hořanský potok		Pilníkovský potok	
	ha	%	ha	%	ha	%
Orná půda	2365	22,9	9745	72,9	3885	36,6
TTP	2312	22,4	450	3,4	1929	18,2
Sady	107	1,0	262	2,0	0	0,0
Lesy	4958	48,0	934	7,0	3964	37,4
Intravilán a neřešené plochy	586	5,7	1969	14,7	830	7,8
Délka cestní sítě - I, II, III. třída	83	km	152	km	55	km
Délka cestní sítě – ostatní	478	km	524	km	417	km
Délka vodních toků	172	km	122	km	121	km
Celková plocha povodí	10328	ha	13360	ha	10608	ha
Průměrný sklon ZPF	6,2	%	4,3	%	10,4	%
Průměrný sklon povodí	6,9	%	5,1	%	14,9	%
Průměrná nadmořská výška	557	m n. m	286	m n. m	439	m n. m

#### 4.2.2.1 ZÁKLADNÍ ROZDÍLY V MORFOLOGII A VYUŽITÍ ŘEŠENÝCH POVODÍ

Pokud se podrobně podíváme na rozdíly mezi povodími, je zřejmé, že vlivem jejich odlišnosti musíme při návrzích TPEO dojít k různým počtům, délkám a investiční náročnosti navrhovaných opatření.

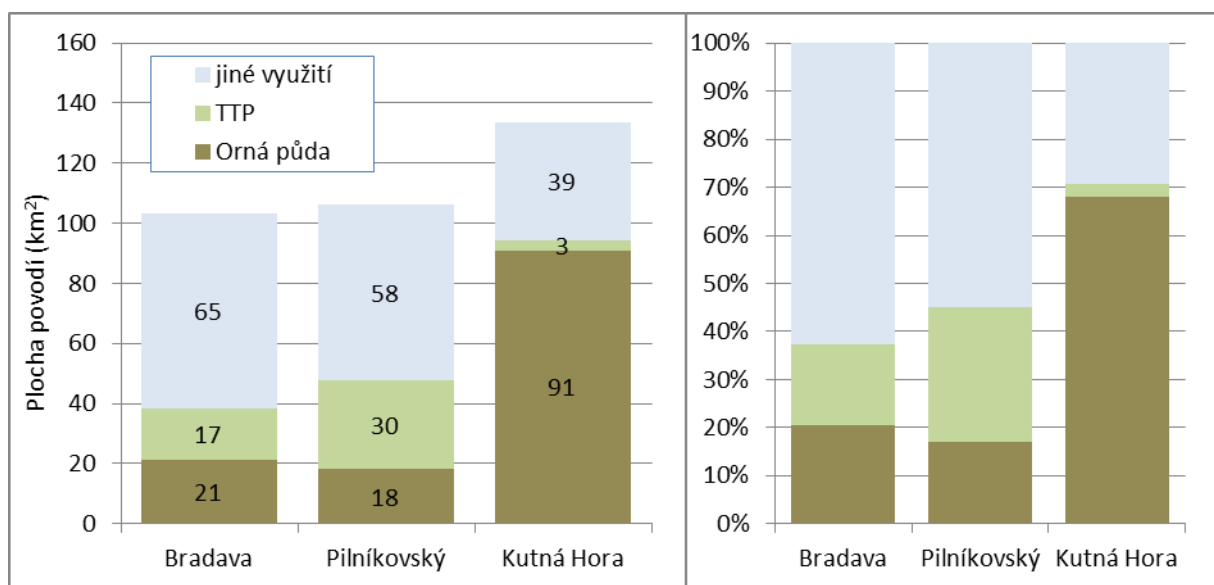
Pro modelování ztráty půdy jsme vycházeli z ploch povodí odvozených v GIS a opatření jsme navrhovali pouze na farmářských blocích orné půdy tak, jak je v řešených územích definuje databáze LPIS. Vycházeli jsme z premisy, že na již trvale zatravněných pozemcích není třeba TPEO generelním řešením v GIS vybírat – neboť při výpočtu smyvu univerzální rovnicí vycházejí (díky vysokému teoretickému ochrannému účinku TTP) tyto pozemky vždy jako neohrožené. Přitom jsme si vědomi, že záchytná opatření v údolnicích slouží zároveň v rámci protipovodňové ochrany – a proto na mnoha zatravněných pozemcích lze obdobnou metodikou, jako je použita v této práci vytipovat vhodné profily pro suché nádrže.

Celkové výměry modelových povodí se dramaticky neliší. Výrazně se ovšem liší výměry zemědělské půdy a míra zornění. Vše je pro pozemky z databáze LPIS názorně ukázáno v grafu (Obr. 4-6). Na Kutnohorsku je téměř dvojnásobný podíl ZPF oproti Plzeňsku, ale zejména je území charakterizováno mimořádně vysokou mírou zornění (96 versus 55, resp. 33 procent).



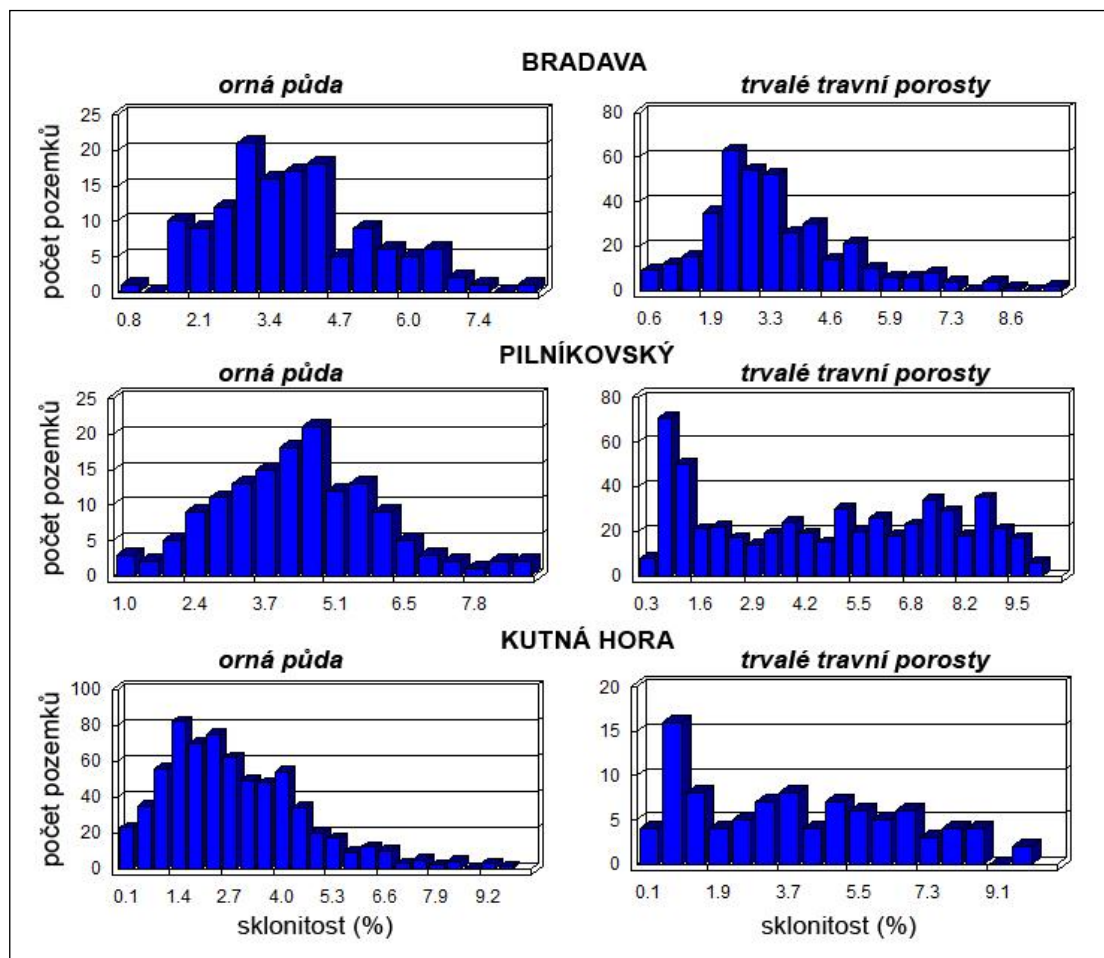
**Tab. 4-4: Porovnání charakteristik pozemků uvnitř řešených povodí**

	Bradava	Pilníkovský	Kutná Hora
Počet pozemků uvnitř povodí	535	705	808
Nejmenší pozemek (ha)	0,03	0,11	0,04
Největší pozemek (ha)	71,1	63,9	262
Průměrná velikost pozemku (ha)	6,1	5,8	9,2
Počet pozemků orné půdy	139	146	674
Průměrná velikost pozemku OP (ha)	11,7	11,2	10,6
Maximální průměrný sklon pozemku OP (°)	8,4	9,0	9,9
Průměrná svažítost pozemků OP (°)	4,0	4,6	3,0
Pozemky OP doporučené k zatravnění (počet)	137	139	457
Pozemky OP doporučené k zatravnění (%)	99 %	95 %	68 %
Počet pozemků TTP	372	557	93
Průměrná velikost pozemku TTP (ha)	4,1	4,4	1,3
Maximální průměrný sklon pozemku TTP (°)	9,8	9,9	9,7
Průměrná svažítost pozemků TTP (°)	3,6	4,9	4,1

**Obr. 4-6: Porovnání celkové výměry ZPF a míry zornění v modelových povodích – pouze na základě LPIS – tedy pro řešené pozemky**

Z toho vychází i fakt, že celková množství implementovaných opatření byla porovnávána na výrazně odlišně velkých plochách orné půdy celkem. Pro investiční náročnost určenou na plošnou jednotku území je samozřejmě užitečné i toto zjištění a jednotlivá území je nutno hodnotit z tohoto pohledu. Nicméně z hlediska nutnosti protierozní ochrany je třeba vztahovat množství navrhovaných opatření k jednotce plochy orné půdy, neboť produkčně významné oblasti by měly rovněž být zachovány v trvale udržitelném stavu a je naopak otázkou, zda v oblastech, kde produkční schopnosti půd nejsou porovnatelné s nížinami, není obecně vhodné

preferovat spíše další zatravnění a plošná opatření, oproti investičně náročným opatřením technickým.



**Obr. 4-7: Histogramy počtů pozemků – porovnání sklonitosti pozemků v obou hlavních kategoriích využití**

Odlišné velikosti pozemků v modelových povodích a jejich rozdíly v morfologii jsou názorně porovnány v tabulce (Tab. 4-4) a na obrázku (Obr. 4-7). Z obojího je jasně patrné, že povodí jsou odlišná nejen výměrami pozemků, ale i jejich svažitostí. A to jak v případě orné půdy, tak v případě trvalých travních porostů.

Ačkoli je např. maximální velikost pozemku v nížinné oblasti Kutnohorska 262 ha, tedy téměř čtyřnásobná oproti ostatním dvěma povodím – průměrná plocha pozemku orné půdy je ve všech povodích téměř stejná (kolem 11 ha), a to i přesto, že ve vrchovinném a podhorském povodí jsou průměrné svažitosti pozemků orné o čtvrtinu až polovinu vyšší než na Kutnohorsku.

Databáze LPIS obsahuje i kategorii „doporučeno k zatravnění“. Z GIS analýzy rovněž vyplývá, že ve vrchovinném a podhorském povodí je 99, resp. 95 procent pozemků ohodnoceno jako „doporučený k zatravnění“, ačkoli míra zornění je v těchto povodích podstatně nižší než na Kutnohorsku (Obr. 4-6).

Navrhovaná opatření na orné půdě jsou proto vztahována jednak k jednotkové ploše území, jednak výměře orné půdy tak, aby výsledky byly i pro takto rozdílná povodí porovnatelné.

#### 4.2.2.2 CELKOVÁ EROZNÍ OHROŽENOST MODELOVÝCH POVODÍ

Pro určení přípustné ztráty půdy a přípustných délek svahu musela být nejprve vyřešena celková erozní ohroženost modelových povodí. Cílem výpočtu erozní ohroženosti v našem případě nebylo určení skutečného smyvu nebo transportu splavenin. Cílem bylo určit modelovou ohroženost v případě rizikového využití orné půdy – na všech pozemcích stejného, abychom vycházeli ze stejných podmínek na pozemcích při srovnávacím návrhu TPEO.

Ztráta půdy byla určována především pro případ pěstování širokořádkových plodin (kukuřice). R faktor byl (z důvodu vyloučení vlivu srážek na porovnání všech tří modelových povodí) určen hodnotou  $R = 20$  ( $N \cdot ha^{-1}$ ). Autor si uvědomuje, že skutečný průměrný erozní účinek deště je v modelových povodích podle posledních výzkumů cca trojnásobný, nicméně hodnota  $R = 20$  ( $N \cdot ha^{-1}$ ) je běžně používána při návrzích TPEO na základě přípustné ztráty půdy.

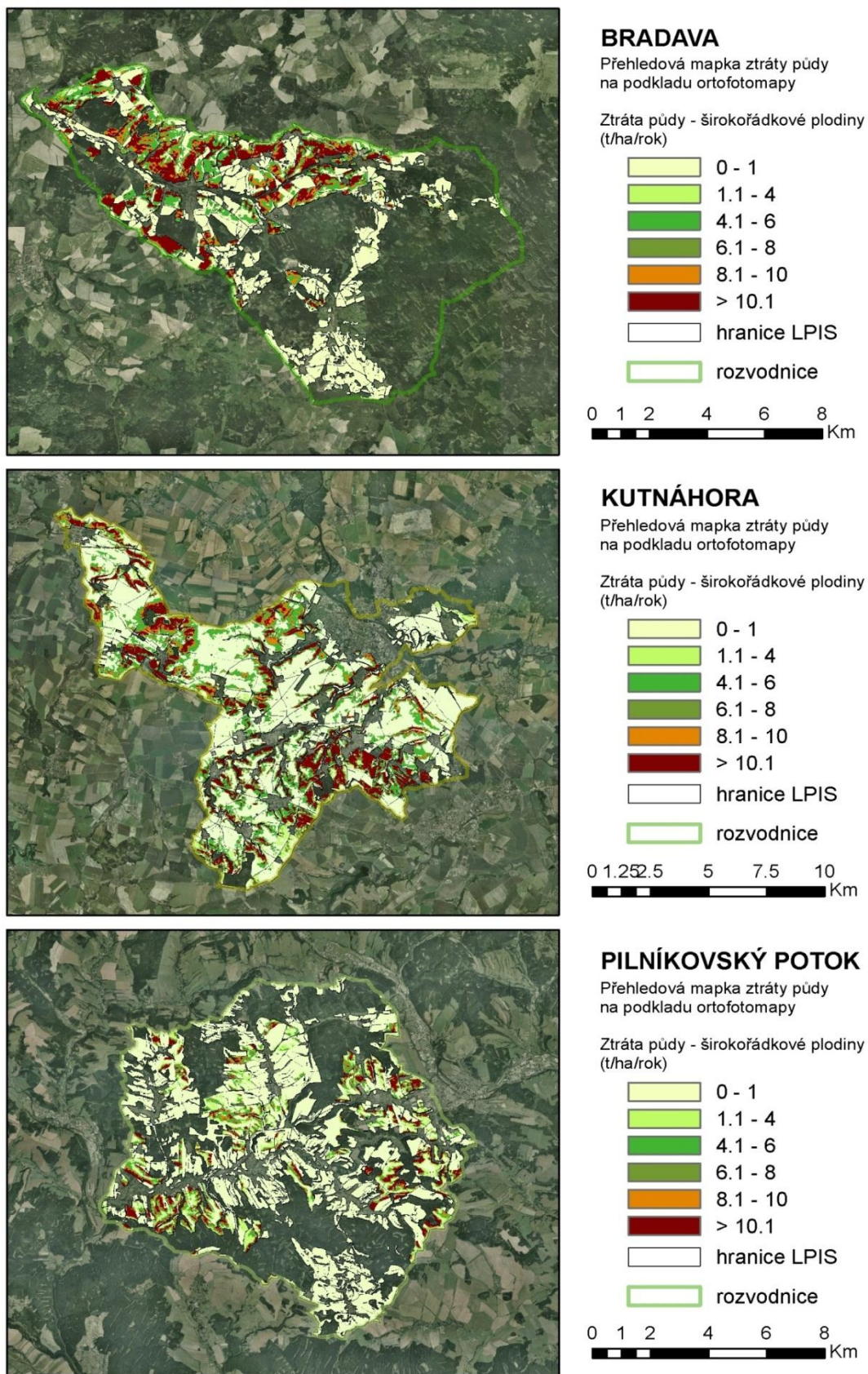
Porovnání všech tří povodí je uvedeno v tabulce (Tab. 4-5) a na obrázku (Obr. 4-8). Jak bylo uvedeno výše – při uvažování skutečného erozního účinku srážek lze předpokládat ještě výrazně vyšší hodnoty smyvu.

Za předpokladu pěstování širokořádkových plodin a při hodnotě R faktoru 20 je orná půda ve všech modelových povodích zejména na velkých pozemcích výrazně ohrožena. Pouze pro srovnání byl výpočet proveden i pro běžný průměrný osevňovací postup, nicméně tyto hodnoty nebyly k určení přípustného smyvu ani k návrhu TPEO využity. V tabulce (Tab. 4-5) jsou uvedeny pouze pro srovnání.

**Tab. 4-5: Porovnání ztráty půdy na pozemcích uvnitř řešených povodí**

	Bradava	Pilníkovský	Kutná Hora
Počet pozemků orné půdy	139	146	674
Výměra orné půdy dle LPIS ( $km^2$ )	21,07	18,16	91,03
Průměrná ztráta půdy na OP - širokořádkové plodiny ( $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ )	8,62	6,42	4,93
Specifická ztráta půdy v rámci ZPF včetně TTP [na OP širokořádkové plodiny] ( $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ )	5,59	2,92	6,06
Průměrná ztráta půdy na OP - běžný osevňovací postup ( $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ )	3,67	2,73	2,10
Počet pozemků překračujících přípustný smyv	124	110	407
Plocha pozemků překračující přípustný smyv (%)	75 %	76 %	55 %





Obr. 4-8: Přehledové mapky ztráty půdy v modelových povodích

#### 4.2.2.3 LINIOVÉ PRVKY TPEO

Již v úvodu této kapitoly lze předeslat, že realizovat přímé návrhy – tedy umísťovat liniové prvky TPEO do krajiny na základě GIS prostorové analýzy – je možné, ale návrhy nejsou realistické a vhodně realizovatelné. Podle metodiky uvedené v kapitole 4.2.1 byly nejprve vypočteny hodnoty přípustné délky svahu na všech pozemcích v uvedených povodích.

Pro testování použitelnosti navrhované metody a porovnání povodí mezi sebou **byla zvolena mez přípustné ztráty půdy jednotně hodnotou 4 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>** pro všechna řešená území. Analýza půdních charakteristik řešených území sice ukazuje, že v oblasti Kutná Hora převažují hluboké půdy, na nichž metodika (Janeček et al., 2007) doporučuje uvažovat přípustnou ztrátu půdy hodnotou 10 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>, nicméně naším cílem je otestovat, kolik TPEO bude třeba na povodích realizovat, abychom snížili ztrátu půdy pod jednotnou mez. Rovněž se domníváme, že průměrná ztráta půdy 10 t.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>, i když nemusí snížit úrodnost ZPF, představuje významné riziko z hlediska transportu splavenin a zanášení toků.

Dalšími dvěma omezujícími podmínkami v řešených povodích byly zvolené **meze přípustné délky svahu**. Na základě výpočtu podle metodiky (kapitola 4.2.1) byly použity meze:

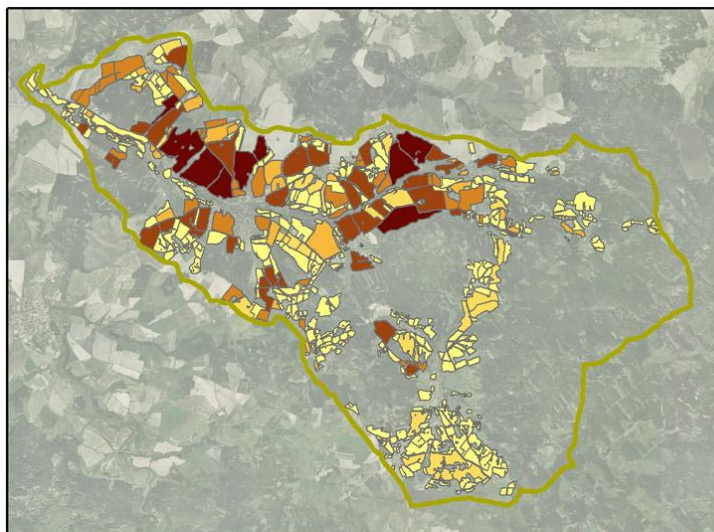
- nejmenší navržená přípustná délka svahu 30 m
- největší navržená přípustná délka svahu 500 m

Výsledky pro všechny pozemky na modelových povodích jsou shrnuty v tabulce (Tab. 4-6) a obrázku (Obr. 4-9).

**Tab. 4-6: Porovnání modelových povodí – počty a rozsahy navržených TPEO**

	Bradava	Pilníkovský	Kutná Hora
Počet pozemků orné půdy	139	146	674
Výměra orné půdy dle LPIS (km <sup>2</sup> )	21,07	18,16	91,03
Celková výměra ZPF dle LPIS (km <sup>2</sup> )	38,48	47,90	94,50
Plocha pozemků překračující přípustný smyv (ha)	1581,6	1372,9	5037,3
Průměrná nejdelší odtoková dráha na pozemcích OP (m)	369	305	318
Průměrná příp. délka svahu na pozemcích OP (m)	88	116	217
Maximální počet TPEO na jednom pozemku	41	27	24
Celkový počet liniových TPEO na pozemcích OP	1130	733	2305
Průměrný počet liniových TPEO na pozemcích OP	8,13	5,02	3,42
Průměrná celková délka liniových TPEO v povodí (km)	372,43	268,85	721,01
Průměrná délka liniových TPEO na 1 km <sup>2</sup> OP (km)	17,67	14,81	7,92
Průměrná délka liniových TPEO na 1 km <sup>2</sup> ZPF (km)	9,68	5,61	7,63
Průměrná délka lin. TPEO na 1 km <sup>2</sup> povodí (km)	3,61	2,53	5,40

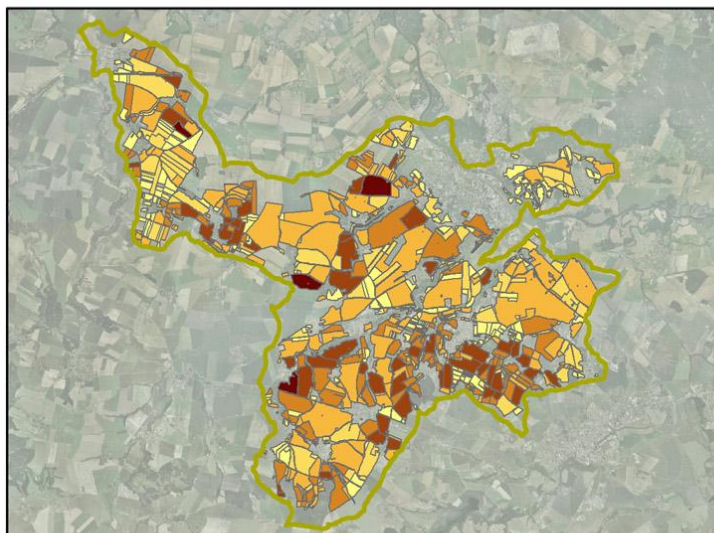
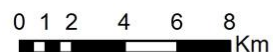
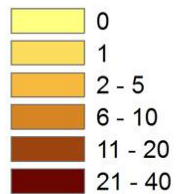




**BRADAVA**

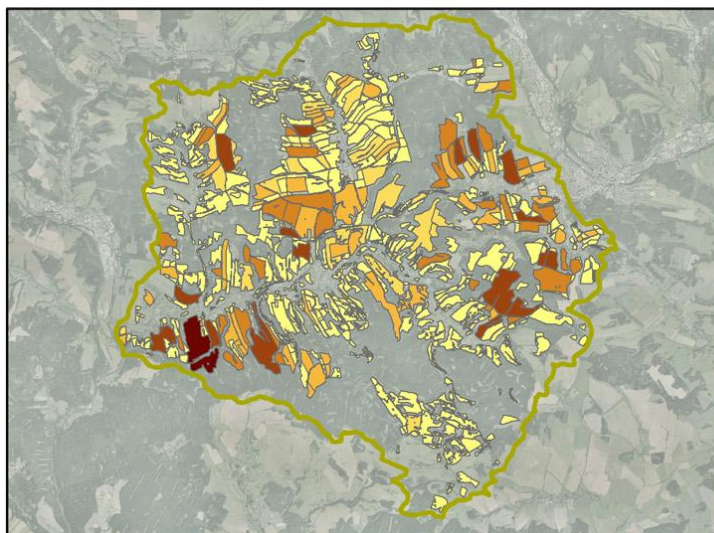
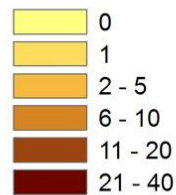
Přehledová mapa

počet liniových TPEO  
na pozemcích orné půdy



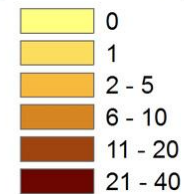
**KUTNÁ HORA**

počet liniových TPEO  
na pozemcích orné půdy



**PILNÍKOVSKÝ POTOK**

počet liniových TPEO  
na pozemcích orné půdy



Obr. 4-9: Počty navržených TPEO prvků v jednotlivých povodích

Ve výsledcích jsou patrné výrazné rozdíly mezi jednotlivými typy krajiny:

V rovinatější krajině Kutnohorska je průměrná přípustná délka svahu 217 m oproti 116, resp. 88 m v ostatních povodích. Z toho vyplývá i celkově menší množství navržených TPEO na orné půdě. Jejich celková specifická délka v modelovém území Kutná Hora činí cca 8 km/km<sup>2</sup> OP, přičemž v ostatních povodích je tato hustota zhruba dvojnásobná.

Pokud bychom ovšem hodnotili celkové množství navržených TPEO v povodích, bude jich v modelovém území Kutná Hora realizováno největší množství – celkem přibližně 720 km oproti 370 km na Bradavě a 270 km na Pilníkovském. To je dáno největší celkovou plochou povodí a zejména mimořádně vysokou mírou zornění v tomto typu povodí.

### Umístění TPEO na pozemcích

Pro rozmístění TPEO na pozemcích – tedy pro návrhy přímého vykreslení přerušujících prvků s využitím nástrojů prostorové analýzy GIS – byla testována řada metod.

V případě ArcGIS se jedná o nástroje Flow Direction, Flow Length, Flow Accumulation, Contour, Euclidean Distance, Path Distance a Contour with barriers. Obdobné nástroje je možno nalézt i v ostatních GIS.

Problémem algoritmů počítajících směr a délku odtoku je využití pouze metody osmisměrného směřování odtoku. To může být dostačující pro nalezení kritických údolnic, rozhodně však není dostačující pro plynulé vykreslení prvků v závislosti na stejné odtokové délce. Důkazem jsou obrázky z povodí Bradavy (Obr. 4-10):

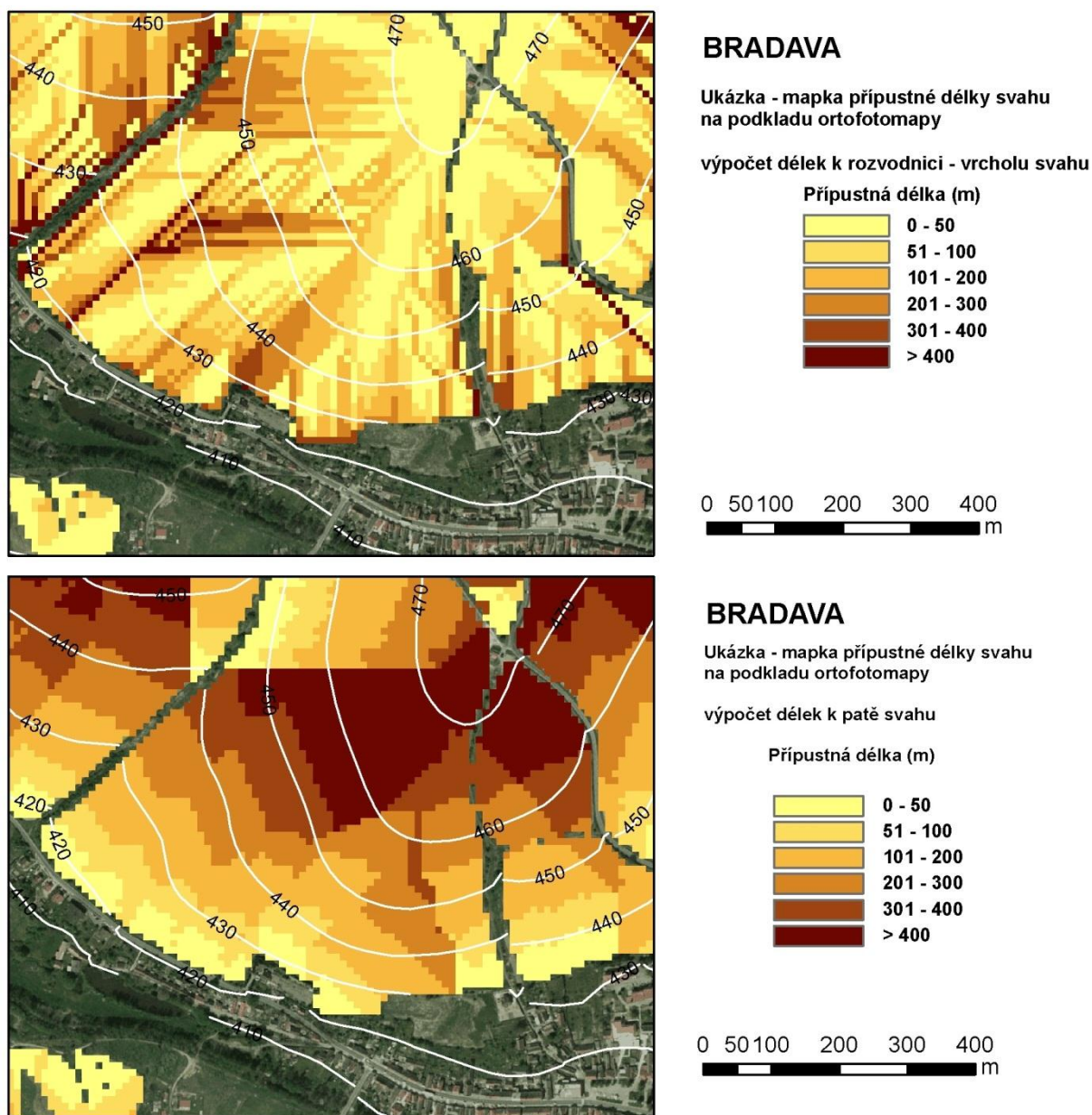
Na horní mapce je uveden výběr oblastí se stejnou přípustnou délkou  $L_P$  podle Flow Length UP nebo podle Flow Accumulation – prostorové umístění přerušení svahu je identické a v obou případech zcela nepoužitelné.

Na dolní mapce je uveden výběr oblastí se stejnou  $L_P$  podle Flow Length DOWN, tedy výpočet vzdálenosti k patě svahu – prostorové umístění je částečně použitelné, algoritmus však stále chybuje v oblastech s proměnlivou změnou orientace svahu.

Problémy s uvedenými algoritmy je teoreticky možné částečně obejít přípravou dostatečně vyhlazeného digitálního modelu terénu. Pouze v případě skutečně hladkého plynule se měnícího povrchu lze uvedenými algoritmy dosáhnout alespoň částečně uspokojivého výsledku. V případě nasazení GIS a prostorové analýzy lze pouze konstatovat, že modely terénu připravené stereofotogrammetricky (např. DTM Geodis jako jeden z nejpodrobnějších celorepublikově dosažitelných zdrojů) nejsou pro takováto řešení dostatečně plynulé. Vyhlazení modelu vede k reálnějším tvarům akumulace – ale na druhou stranu však neodpovídá skutečnému odtoku vlivem odstranění lokálních sníženin.

Stejně významný pro plynulost použitého návrhu je zvolený způsob směřování odtoku. Metody pracující s osmisměrným směřováním odtoku nejsou pro návrhy liniových TPEO prvků vhodné. Tedy ani ArcGIS Flow Accumulation model ani IDRISI RUNOFF model nevedou k logickým návrhům. Okamžitě soustředěvaný odtok stéká preferenčními drahami i na plochých svazích a navrhované přerušující prvky tak absolutně nerespektují logiku běžné morfologie (Obr. 4-11).



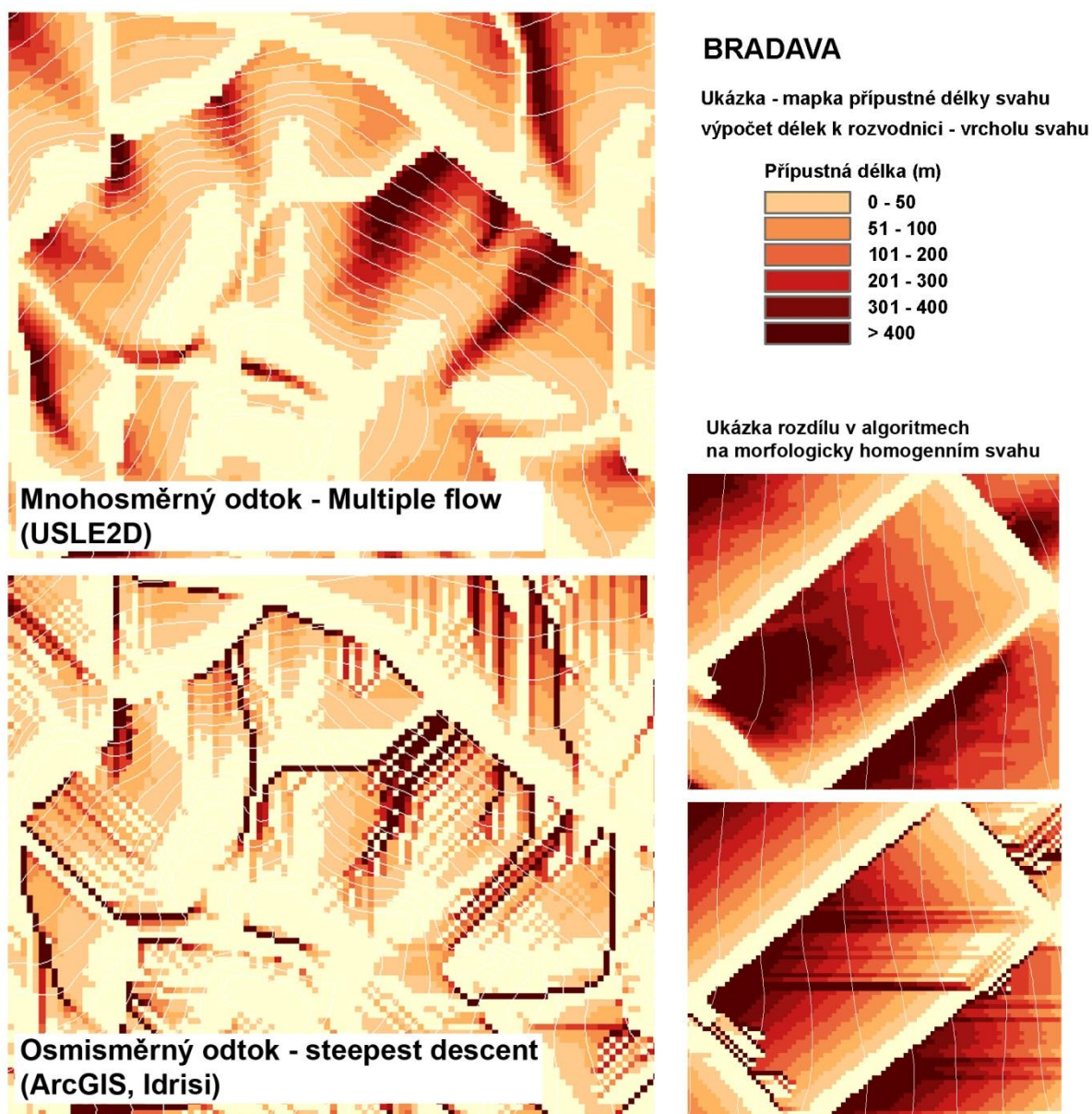


**Obr. 4-10: Hodnoty teoreticky stanovené přípustné délky na pozemcích povodí Bradavy**

Částečně logičtějších výsledků lze dosáhnout metodami pracujícími s vícesměrným směřováním odtoku, což umožňuje např. free software USLE2D (Desmet et al., 1996). Jimi navrhované trasy přerušujících prvků lépe respektují vzdálenost od hrany pozemku a morfologii území, nicméně i zde jsou případně automaticky navrhované prvky příliš nesouvislé a nelze je takto ve skutečném území umístit. To je opět vidět na obrázku (Obr. 4-11).

Specifický problém při pokusu automaticky navrhovat přerušení na základě v GIS vypočtené přípustné délky svahu nastává se změnou půdní charakteristiky. Půdní mapy jsou jedním z podkladů k výpočtu přípustné délky svahu a v místě, kde dojde ke změně hlavní půdní jednotky, je ve výpočtu v dané lokalitě automaticky určena nová přípustná délka svahu. Při použití běžné metodiky výpočtu se hodnoty K faktoru v sousedících lokalitách na jednom pozemku pohybují až v násobcích, což vede ke skokovým změnám v automatizovaném návrhu.

Pokud má být návrh řešen jakkoli distribuovaně, je třeba v GIS zajistit plynulou změnu půdní charakteristiky v přechodovém pásmu mezi jednotlivými půdními typy (druhy) – například pomocí LOW PASS filtrace.



**Obr. 4-11: Porovnání vícesměrného a jednosměrného (osmisměrného) odtoku**

Jak bylo ukázáno výše, určovat přípustné délky a dělit pozemek na základě vypočtené délky nebo akumulace odtoku od hrany pozemku, nevede k uspokojivým výsledkům. Návrh lze prostřednictvím GIS realizovat automatizovaně rovněž pomocí vrstevnicového vkládání přerušujících linií v pravidelných rozestupech odpovídajících průměrné přípustné délce svahu na každém pozemku. Zadáním pro algoritmus výpočtu vrstevnicových přerušujících prvků je zvolená výšková odlehlost vrstevnic ( $dH$ ) a rozmezí určovaných výšek ( $H_0$  až  $H_{max}$ ). Ty lze automatizovaně pro každý pozemek určit jako (R. 4-5):

$$H_0 = H_{\max} - dH \cdot \{ABS[(H_{\max} - H_{\min})/dH] - 1\} \quad \text{R. 4-5}$$

$H_0$	dolní mez nadmořské výšky pro navržení konturového prvku TPEO
$H_{\max}$	nejvyšší nadmořská výška v rámci pozemku
$H_{\min}$	nejnižší nadmořská výška v rámci pozemku
$dH$	výškový krok vrstevnic
ABS	funkce absolutní hodnota (nebo celá část)

Přítom  $dH$  určíme jako (R. 4-6):

$$dH = i \cdot L_p \quad \text{R. 4-6}$$

$i$	průměrný sklon (%) pozemku, nebo vybraného homogenního svahu
$L_p$	průměrná přípustná délka svahu

Program je možno spustit jak na celé pozemky, resp. půdní bloky LPIS, tak na jejich dílčí části – homogenizované svahy získané např. segmentací obrazu (GIS IDRISI) nebo LOW PASS filtrací a reklasifikací vrstvy křivostí (curvature) v ArcGIS.

Algoritmus je třeba naprogramovat cyklicky tak, aby pro každý pozemek proběhl výpočet nad DMT samostatně; v ArcGIS např. pomocí modulu „Contour with barriers“, v GIS IDRISI pomocí modulu „Contour“. Takto navržené prvky odpovídají teoretickým průměrným přípustným délkám svahu a jsou přísně vrstevnicově orientovány. Přesto se nejedná o správný návrh, protože lokální šetření může v řadě lokalit podobně automaticky navržené linie vyloučit a podle zkušeností řešitele samotné DMT modely dostupné pro ČR neposkytují záruku, že nedojde k chybným návrhům.

Ve výsledku lze říci, že metodicky je možno naprogramovat algoritmus, který každý pozemek rozdělí na základě určených přípustných délek, nicméně provedené testování jednoznačně ukazuje, že to není cesta správným směrem. Vhodnějším postupem je zůstat u výpočtu přípustných délek (např. podle výše uvedené metodiky) a porovnání lokalit z hlediska rizikovitosti a celkových odhadovaných nákladů a podrobnější návrhy TPEO přenechat realizačním studiím spojeným s podrobným terénním šetřením a fyzikálním, epizodním modelům.

#### 4.2.2.4 ÚDOLNICOVÉ PROFILY PRO ZÁCHYTNÁ TPEO

Metodikou navržený postup v kapitole 4.2.1 byl aplikován ve všech testovaných povodích.

Výpočet byl proveden oběma způsoby:

- (1.) Pro odtok z celého území bez uvažování hranic pozemků, s následným výběrem pomocí multikriteriální analýzy.
- (2.) S výpočtem odtoku pouze v rámci jednotlivých pozemků, pro návrh záchytných TPEO (sedimentačních jímek) bez uvažování přítoku z okolních pozemků.

Výsledky obou metod se samozřejmě významně liší (Tab. 4-7). To je dáno tím, že při výpočtu prvním způsobem je řada vytipovaných profilů seřazena vždy na jedné významné odtokové dráze z území a každá část této údolnice na dalším pozemku se ve vyhodnocení opět objeví jako



samostatně hodnocený prvek. V území s významnou fragmentací – s menšími pozemky a hustší cestní sítí – je první metodou nalezeno významně větší množství profilů TPEO a naopak.

Toto zjištění nás vede k úvaze, že do hodnocení je třeba v případě použití metody (1.) zahrnout ještě další parametr, a to stanovení této návaznosti (příslušnosti k jedné odtokové dráze) jako další charakteristiky příslušných hodnocených profilů.

V současné době – s daty, která jsou celorepublikově k dispozici – není možné rozlišit, které z takto vyhodnocených rizikových míst povodí skutečně vyžaduje návrh opatření. To závisí na reálné trajektorii povodňové vlny územím, již není možno stanovit bez znalosti umístění a kapacity všech propustí pod liniiovými prvky, kapacity všech retenčních prostor a mnoha dalších faktorů v regionálním měřítku dosud nemapovaných.

Ve výpočtu metodou (1.) byly při testování v modelových povodích jako návrhové profily definovány konce údolnic (vždy před přerušujícím prvkem – intravilánem, liniiovou stavbou nebo tokem) o délce odpovídající převýšení 2 m od paty těchto údolnic. Vyšší části údolnic byly odstraněny podle metodiky (kapitola 4.2.1).

Takto je možno automaticky určit retenční kapacitu každého navrženého prvku úměrně jeho výsledné délce v GIS pro uvažovanou výšku hrázky 2 m.

Metodou (1.) bylo pro umístění TPEO v povodí Bradavy vymezeno 267 profilů, v povodí Pilníkovského 246 profilů a na Kutné Hoře 341 profilů, přičemž na Kutné Hoře jsou profily navrženy rovněž v rovině údolí Labe, kde metoda neposkytuje relevantní výsledky. Zde by pro dosažení správných výsledků bylo třeba do hodnocení zavést krom plochy povodí rovněž sklonové poměry dílčího povodí každého opatření.




Metoda (2.) byla testována pro dvě úrovně nejmenší zdrojové plochy – dva hektary a pět hektarů. Výsledky jsou shrnuty v tabulce (Tab. 4-7).

**Tab. 4-7: Přehled počtu navržených TPEO jednotlivými metodami GIS**

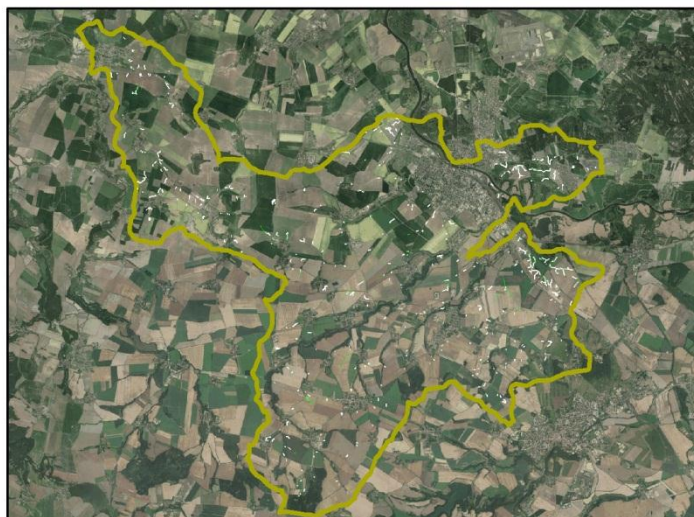
	Bradava	Pilníkovský	Kutná Hora
Počet pozemků orné půdy	139	146	674
Výměra orné půdy dle LPIS (km <sup>2</sup> )	21,07	18,16	91,03
Metoda (1.) - odtok bez ohledu na hranice pozemků - zdrojová plocha 5 ha			
Počet navržených TPEO v údolnicích	267	246	341
Metoda (2.) - odtok pouze v rámci jednotlivých pozemků - zdrojová plocha 5 ha			
Celková plocha (ha) - všesměrný odtok	0,4	3,32	14,75
Celková plocha (ha) - jednosměrný odtok	4,89	5,35	24,67
Počet navrhovaných TPEO - všesměrný odtok	10	44	104
Počet navrhovaných TPEO - jednosměrný odtok	37	40	142
Metoda (2.) - odtok pouze v rámci jednotlivých pozemků - zdrojová plocha 2 ha			
Celková plocha (ha) - všesměrný odtok	6,93	14,34	52,14
Celková plocha (ha) - jednosměrný odtok	17,49	19,86	61,96
Počet navrhovaných TPEO - všesměrný odtok	61	153	319
Počet navrhovaných TPEO - jednosměrný odtok	127	168	390

**BRADAVA****Přehledová mapka**




**navržené údolnicové TPEO  
na pozemcích orné půdy  
S retenční plochou přesahující 5 ha**

-  rozvodnice
-  navržené TPEO  
- odtok přes hranice  
pozemku
-  navržené TPEO  
- odtok pouze v uvnitř  
pozemku

0 1 2 4 6 8 Km

**KUTNÁ HORA****Přehledová mapka**




**navržené údolnicové TPEO  
na pozemcích orné půdy  
S retenční plochou přesahující 5 ha**

-  rozvodnice
-  navržené TPEO  
- odtok přes hranice  
pozemku
-  navržené TPEO  
- odtok pouze v uvnitř  
pozemku

0 1 2 4 6 8 Km

**PILNÍKOVSKÝ POTOK****Přehledová mapka**

**navržené údolnicové TPEO  
na pozemcích orné půdy  
S retenční plochou přesahující 5 ha**

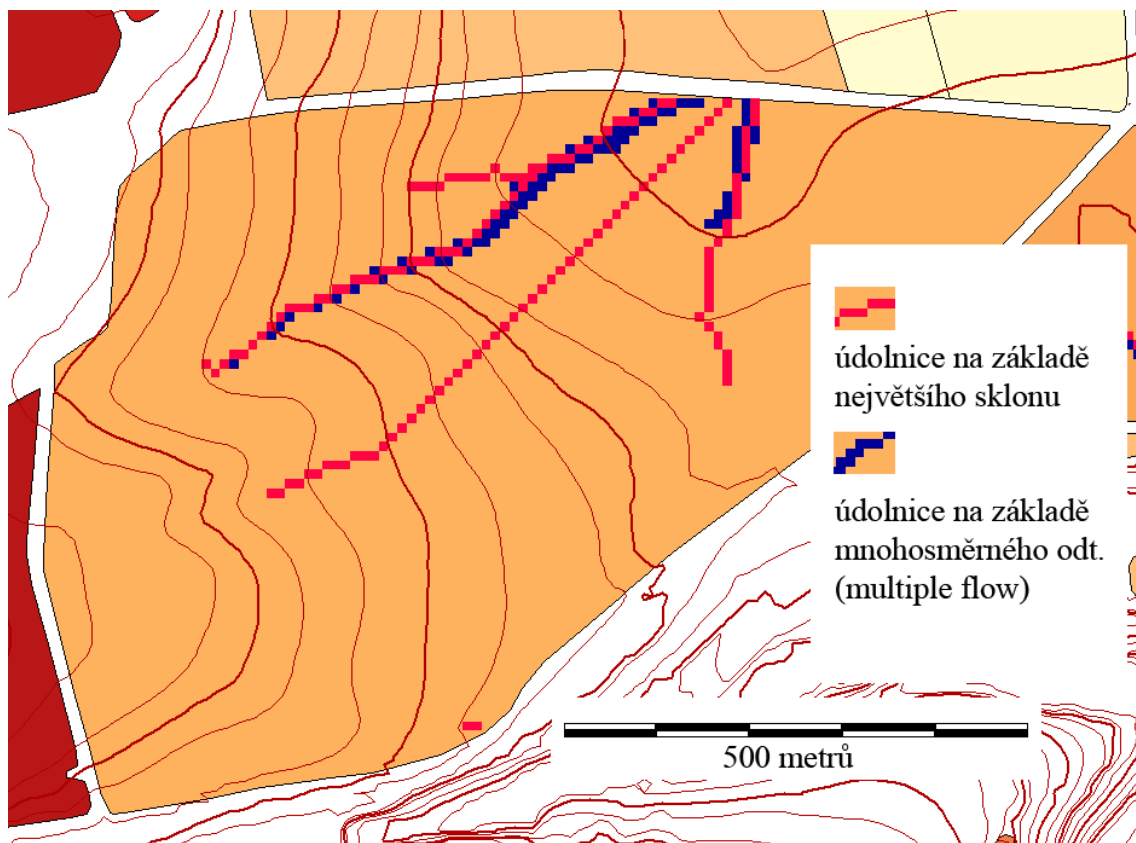
-  rozvodnice
-  navržené TPEO  
- odtok přes hranice  
pozemku
-  navržené TPEO  
- odtok pouze v uvnitř  
pozemku

0 1 2 4 6 8 Km

**Obr. 4-12: Přehled záchytných TPEO navržených metodami GIS**

### 4.2.3 ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ

Navrhovat TPEO na základě prostorové analýzy GIS je obtížně realizovatelný úkol. Metody GIS nabízejí řadu nástrojů prostorové analýzy, jež se k návrhům dají využít. V České republice však nejsou k dispozici datové zdroje, jež by umožnily realizovat výpočty do úrovně skutečného návrhu bez provedení přímého terénního šetření. Dostupné půdní mapy, mapy využití území ani výškopisné modely neposkytují dostatečnou úroveň podrobnosti a spolehlivosti.



**Obr. 4-13: Porovnání rozdílu v počtech nalezených údolnic u jednosměrného a vícesměrného stanovení odtoku**

Dalším poznatkem je, že nástroje GIS jsou často užívány bez znalosti vlivu použitých algoritmů na výsledek a bez znalosti možných chyb způsobených nevhodným nakládáním s datovými zdroji. Obvykle používané algoritmy směřování odtoku podle největšího sklonu nejsou zcela vhodným nástrojem pro určování odtoku na základě běžně dostupných DMT (Obr. 4-13).

Směrově a z hlediska reálného odhadu směru odtoku územím poskytují podstatně lepší výsledky metody vícesměrného směřování – multiple flow. Bohužel ani tyto algoritmy nelze přímo použít k správnému určení přesné zdrojové plochy a odtokového množství ani k přímému návrhu liniových TPEO - překážkou jsou nekonzistence v bilanci odtoku z rozsáhlých území (určité množství odtoku je při použití těchto metod vždy zachyceno v částech území s nejasným odtokovým schématem).



Metodikou hodnocení malých povodí z hlediska rizika bleskových povodní se zabýval rovněž projekt COST OC22 (David et al. 2009), kde byla povodí hodnocena jinými hledisky, formou matice rizik a ohroženosti území.

Další testování dostupných datových zdrojů a použitelnosti jednotlivých analytických nástrojů GIS je nezbytným předpokladem možnosti jejich skutečného budoucího nasazení pro navrhování TPEO v rozsáhlých územích. V současné době použití zde testovaných metod předpokládá vždy terénní verifikaci získaných výsledků.

### 4.3 TRANSPORT SPLAVENIN A EROZNÍHO FOSFORU DO VNŘÍMOV

Tato kapitola představuje část pilotní studie provedené v rámci projektu NAZV – „Určení podílu erozního fosforu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod“, jehož je autor odpovědným řešitelem. Celá pilotní studie se týká kompletní bilance zdrojů fosforu v povodí s cílem podchytit hlavní eutrofizační zdroje. V této práci je popsáno pouze modelování transportu splavenin a odhad vnosu erozního fosforu do toků a nádrží v povodí.

Jako lokalita pilotní studie, řešené v rámci projektu v roce 2010, byla zvolena vodní nádrž Římov a její povodí. Důvodem bylo především to, že povodí nádrže je dostatečně velké na to, aby umožnilo vyzkoušet všechny potřebné rutiny a automatizované postupy a zahrnuje dostatečně široké spektrum problémů, které se při vlastním zpracování celého zájmového území pravděpodobně vyskytnou. Na druhou stranu se nejedná o povodí příliš velké a umožňuje tak kalibrovat jednotlivé algoritmy a provádět analýzy, resp. je kontrolovat, manuálním postupem. Kromě toho je povodí podrobně sledováno hydrobiologickým ústavem akademie věd ČR (dále jen AV). AV zde má k dispozici víceleté řady odběrů v celé řadě profilů, kde je sledován jak fosfor (včetně jeho forem), tak nerozpuštěné látky. K dispozici jsou i průtokové řady. Vlastní nádrž, jako významný vodárenský zdroj, je rovněž podrobně sledována a bilancována. Z výše uvedených důvodů zde je možno zvolené metody dobře kalibrovat, resp. validovat. V neposlední řadě, malá část zájmového povodí leží v Rakousku, takže bude dobře možno ověřit jednak dostupnost a jednak kompatibilitu a použitelnost rakouských dat pro následné řešení celého povodí Lužnice a Dyje.

Transport splavenin a fosforu byl ve studii řešen pomocí simulačního modelu WATEM/SEDEM (kapitola 2.2.2).

#### 4.3.1 POPIS LOKALITY

Povodí vodní nádrže Římov se nachází v jižních Čechách a částečně zasahuje i do Rakouska. Má plochu 488,4 km<sup>2</sup>. Vlastní vodní nádrž vznikla výstavbou hráze na řece Malši těsně nad obcí Římov v říčním kilometru 21,851 km v letech 1974 – 1978. Celkový objem nádrže je 33,8 mil. m<sup>3</sup>, délka vzdutí je 13 km a plocha hladiny je 211 ha. Průměrný dlouhodobý průtok v profilu hráze byl stanoven na  $Q_a = 4,38 \text{ m}^3/\text{s}$ , návrhový průtok  $Q_{100} = 368 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nádrž byla vybudována jako zdroj pitné vody pro České Budějovice a okolní obce. Je vybavena železobetonovým věžovým objektem se dvěma šachtami vodárenských odběrů v pěti úrovních.

#### 4.3.1.1 POVODÍ

Hranice povodí VN Římov začíná u hráze a prochází směrem k západu a následně k jihu až jihozápadu západně od obce Velešín. Dále pokračuje jižně přes Netřebice, kde se odchyluje mírně k jihozápadu a prochází lesním komplexem přes vrchol Poluška 919,4 m n. m. Málo osídlenou krajinou pokračuje k jihu přes Michnice a Přibyslav, kde dále sleduje dráhu bývalé koněspřežné dráhy mezi Dolním Dvořištěm a Rybníkem. Hranice České republiky kříží východně od Horního Dvořiště. V následujícím úseku rozvodnice tvoří hlavní evropské rozvodí Labe – Dunaj, stáčí se k východu a obchází Leopoldschlag Dorf. Pokračuje k jihovýchodu a mívá Windhag. Východně od něj se prudce lomí k jihu a přes vrchol Viehberg 1112 m n. m. prochází obcí Sandl, která tvoří nejjihnější bod povodí a u které pramení říčka Maltsch – Malše. Zde se hranice lomí zpět k severu a hranice ČR překračuje zpět u vrchu Kamenec 1072 m n. m. Následně sleduje směrem k východu česko-rakouskou hranici až k Pohoří na Šumavě, kde se odklání na sever a přes lesy Novohradských hor a vrcholy Lovčí hřbet 980 m n. m., Myslivna 1040 m n. m. pokračuje až ke Stříbrnému vrchu 936 m n. m. Zde se rozvodnice lomí opět k východu, překračuje hranici do Rakouska a zpět k západu se stáčí až na nejvýchodnějším bodě povodí, vrchu Nebelstein 1017 m n. m. Odtud pak již zpět k západu a severu kolem osady Hirschenweis a přes významné vrcholy české části Novohradských hor Vysoká 1034 m n. m., Kraví hora 953 m n. m. a Kuní hora 925 m n. m. Odtud pokračuje rozvodnice nejdříve čistě západním směrem stále souvislými lesy k Benešovu nad Černou, kde se stáčí k severozápadu a vstupuje do pestré, zemědělské krajiny. Přes vrch Kohout 870 m n. m. a obce Besednice, Nesmeň a Svatý Jan nad Malší se z pravé strany vrací k profilu hráze. Povodí je protáhlého tvaru ve směru jihovýchod – severozápad a řeka Malše jako hlavní tok prochází nesymetricky v celé délce převážně podél jeho levé hranice.

Nejvýznamnějším vodním tokem v zájmovém území je bezesporu Malše, pramenící jako říčka Maltsch severně od obce Sandl v Rakousku. Od pramene protéká řeka nejdříve rakouskou částí Novohradských hor souvisle zalesněným územím až k české hranici. Následně až k Dolnímu Dvořišti tvoří Malše státní hranici a protéká nejdříve zatrávněnou nivou obklopenou souvislými lesy a následně extenzivně užívanými zemědělskými oblastmi. Od Dolního Dvořiště protéká řeka k severu přes Kaplici k vlastní vodní nádrži Římov. Ve většině délky prochází poměrně strmým zaříznutým údolím. V celém zájmovém území nemá Malše žádný významnější levostranný přítok, což je dáno i tím, že její tok sleduje nesymetricky levou hranici povodí.

Prvním významnějším přítokem Malše je z pravé strany říčka Tichá, která se do ní vlévá mezi Dolním Dvořištěm a Rychnovem nad Malší. Tok pramení v extenzivně využívané oblasti bývalých sudetských osad Janova Ves a Příbrání.

Dalším významným přítokem je říčka Kamenice (Jaroměřský potok), která se vlévá z pravé strany do Malše cca 2 km nad Kaplicí. Kamenice pramení u obce Bělá a v celé své délce prochází převážně lesnatou nebo výhradně extenzivně využívanou zemědělskou krajinou. Na Kamenici je jedna ze dvou významnějších vodních nádrží v povodí – Květoňov.

Nejvýznamnějším přítokem Malše v zájmovém území je bezesporu říčka Černá, která se do Malše vlévá z pravé strany 3 km pod Kaplicí. Černá má dvě pramenní větve. Severní větev vlastní Černé pramení jako potok Schwarzaubach kolem osady Schwarzau v Rakousku a přes vodní nádrž Zlatá Ktiš odvodňuje prakticky výhradně lesní povodí. Vodnější pramen je ale jižní



větev, která jako Huťský potok vzniká v oblasti bývalé Terčí Huti, rovněž v zalesněné oblasti Novohradských hor. Jako spojená Černá říčka pokračuje prakticky výhradně lesnatou krajinou až k Benešovu nad Černou, kde vstupuje do otevřenějšího prostoru. 2 km pod Benešovem nad Černou se do říčky vlévá z levé strany její jednoznačně nejvýznamnější přítok – Pohořský potok. Ten pramení na loukách kolem bývalé obce Pohoří na Šumavě a prakticky bez postranních přítoků prochází zpočátku mělkým, později stále uzavřenějším zalesněným údolím až k soutoku. Od soutoku až k zaústění do Malše protéká Černá opět převážně silně extenzivně využívanou zemědělskou krajinou s vysokým podílem lesů. Přibližně 6 km nad zaústěním do Malše je na říčce Černé vybudováno druhé z významnějších vodních děl v zájmovém území – Černá, zvaná též Soběnov.

#### 4.3.1.2 VODNÍ NÁDRŽE

Vzhledem k charakteru krajiny je v zájmovém území poměrně velký počet malých vodních nádrží. Do výpočtu jich bylo zahrnuto celkem 137, což odpovídá vodním nádržím registrovaným v databázi DIBAVOD s „rozumnými“ parametry – tedy u kterých lze předpokládat, že se jedná o skutečné menší či větší vodní nádrže v krajině a nikoliv vodní plochy, představované například zahradními koupališti. Parametry všech nádrží budou popsány ve výpočtové části studie.

Základní údaje, týkající se vodní nádrže Římov byly uvedeny v úvodu. Kromě této hlavní vodní nádrže jsou v zájmovém území další dvě významnější vodní díla ve správě podniku Povodí Vltavy a to VD Černá (Soběnov) a VN Květoňov.

- VD Černá – označována též jako vodní dílo Soběnov. Správcem vodního díla je podnik Povodí Vltavy, s.p. Vodní dílo Soběnov bylo vybudováno v letech 1922 – 1930 na říčce Černé asi 6 km nad soutokem s Malší. Délka hráze je 90 m, výška nad terénem 8,55 m. Plocha povodí k profilu hráze je 139,60 km<sup>2</sup>, průměrný dlouhodobý roční průtok činí  $Q_a = 1,67 \text{ m}^3/\text{s}$  a návrhový průtok  $Q_{100} = 196 \text{ m}^3/\text{s}$ . Celkový objem nádrže je 0,172 mil. m<sup>3</sup> při ploše hladiny 11,2 ha. Hlavní využití je energetické.
- VN Květoňov – správcem vodního díla je rovněž podnik Povodí Vltavy, s.p. Nádrž leží na říčce Kamenici a byla vybudována jako ochranná předzdrž VN Římov. Plocha povodí VN Květoňov činí 32,04 km<sup>2</sup>. V současné době plní rovněž rybochovné účely v extenzivním režimu. Dlouhodobý průměrný průtok v profilu hráze činí 258 l/s, návrhový průtok  $Q_{100}$  ve stejném profilu je 47 m<sup>3</sup>/s. Plocha vodní hladiny při hladině normálního nadržení činí 6,9 ha, maximální hloubka vody u hráze při stejné úrovni hladiny je 8 m, objem zásobního prostoru činí 263 950 m<sup>3</sup> a objem pasivního retenčního prostoru je 73 130 m<sup>3</sup> při zatopené hladině 7,8 ha. (Sedlický, 2009). Nádrž byla uvedena do zkušebního provozu v roce 1991.

Kromě uvedených dvou významnějších vodních děl je v povodí celá řada různě velkých rybníků a malých vodních nádrží. K těm významným, které svou plochou a zřejmě i objemem dokonce předčí obě vodní podrobně popisované vodní nádrže, patří například rybník Kachní (Kaclešský) na bezvýznamném přítoku Černé pod jejím soutokem s Pohořským potokem, dále pak Velký Líčovský rybník – boční nádrž napájená rovněž bezvýznamnými levostrannými přítoky Černé pod Líčovem, Pytlový rybník a boční nádrž na Dobečovském potoce u obce Mostky. Dále pak se v povodí nachází velký počet menších vodních nádrží, ať již průtočných nebo bočních.

Významné co do počtu i velikosti jsou i vodní nádrže budované především v české části Novohradských hor jako klauzy, používané pro plavení dřeva, případně jako zdroj vody pro sklárny. Jedná se například o Mlýnský rybník na Lužním potoce, Zlatou Ktiš na Černé, Huťský rybník na Huťském potoce nebo Pohořský (Jiřický) rybník na Pohořském potoce.

#### 4.3.1.3 SÍDLA

Zájmové území je poměrně řídko osídleno, díky své poloze i historickému vývoji. Největšími sídly jsou Kaplice a Velešín. Kaplice je situována levém břehu Malše, Velešín pak blízko levého břehu Římovské nádrže. Ostatní sídla jsou reprezentována především malými obcemi roztroušenými v krajině, a to jak na české, tak rakouské straně hranice.

Významným fenoménem, který se v zájmovém území projevil, byl jednak sklářský boom, který proběhl v 18. a skončil v 19. století, kdy většina hutí ukončila svou činnost a po kterém v krajině, především v lesnaté části Novohradských hor, zůstala řada samot. Samoty pak, stejně jako osamocené zemědělské usedlosti, byly likvidovány s rozvojem socialismu – především v 50. a 60. letech minulého století. Následkem toho je, že podél hranice je pásmo prakticky bez trvalého osídlení a i ve vnitrozemí je osídlení koncentrováno do větších či menších obcí.

Na rakouské straně hranic byl vývoj kontinuální a osídlení si zachovalo svůj původní ráz – tedy jak v podobě obcí, tak víceméně plošného pokrytí celého území samostatnými zemědělskými farmami, položenými ve středu obdělávané oblasti.

#### 4.3.1.4 CHARAKTER A VYUŽITÍ ÚZEMÍ

Celé zájmové území je silně morfologicky členité. Oblast kolem uzávěrového profilu nádrže Římov je zvlněná kolem zaříznutého údolí Malše, celkově s nadmořskou výškou kolem 480 m n. m. směrem k jihu a jihovýchodu se postupně terén zvedá až k rozvodnici, kde na řadě vrcholů přesahuje výšku 1000 m n. m. I v této části je terén velmi členitý, proříznutý údolními hlavními toků a v mezípolohách členěný na lokální vrcholy, údolnice a sedla. Území je celkově velmi sklonité a rovinaté partie se prakticky nevyskytují.

Z hlediska využití území se jedná o oblast celkově velmi extenzivně využívanou. Všeobecně – v dolní části zájmového území, přibližně na sever od Kaplice, Malont a Benešova nad Černou má významný podíl na zemědělské výrobě orná půda s obilovinami, od uvedené linie na jih pak výrazně převažují trvalé louky a pastviny.

V celém území mají velmi významné zastoupení lesy; pravý břeh Malše v oblasti Novohradských hor je zalesněn prakticky bez výjimky.

Rakouská část zájmového území je rovněž vysokým podílem zalesněna, zemědělsky využívaná část zájmového území nicméně odpovídá kontinuálnímu historickému vývoji. Pozemky jsou jednak menší než na české straně a jednak je mozaika využití podstatně pestřejší s přiměřeným zastoupením orné půdy.

### 4.3.2 PŘÍPRAVA DAT DO MODELU WATEM/SEDEM

Základem byla příprava vrstev:

- DMT – výškopis v rozlišení 10 m
- LANDUSE – mapa využití území dle kategorií WATEM/SEDEM
- TOKY – rastrová vrstva vodních toků s odpovídající atributovou tabulkou topologie
- PONDS – nádrže s příslušnými poměry zachycení, navázané na vrstvu toků
- C faktor – rastr průměrný dlouhodobý v rozlišení 10 m
- K faktor – rastr průměrný v rozlišení 10 m

#### 4.3.2.1 DMT

Digitální model terénu byl testován v rámci případové studie s ohledem na to, aby identická vrstva mohla být využita pro delší řešení v řádově větších povodích VN Orlík a VN Nové Mlýny. K dispozici pro celé řešené území jsou jako nejpodrobnější dostupné vrstvy vektorový 3D výškopis ZABAGED a rastrový DMT GEODIS (viz kapitola 4). Pro řešení byl zvolen DTM GEODIS.

Původní vizí bylo využít výřez uvedeného DMT zcela bez úprav a jeho rozlišení přizpůsobit ostatní vrstvy pro řešení. K úpravám DMT však bylo třeba přistoupit ze dvou důvodů:

- Byly nalezeny rozsáhlé chybové lokality popsané v kapitole 3.2.1.
- Povodí VN Římov zasahuje na území Rakouska, kde bylo třeba navázat je na jiný datový podklad.

Jak již bylo zmíněno, chyby v DMT byly na základě reklamace odstraněny poskytovatelem produktu, ačkoli výsledkem není optimální model (v chybových lokalitách je po odstranění chyb více vyhlazen), model je pro další řešení takto použitelný. Pouze je třeba počítat s důkladnou kontrolou modelu v dalších řešených územích a případně včas postoupit zpracovateli produktu reklamaci.

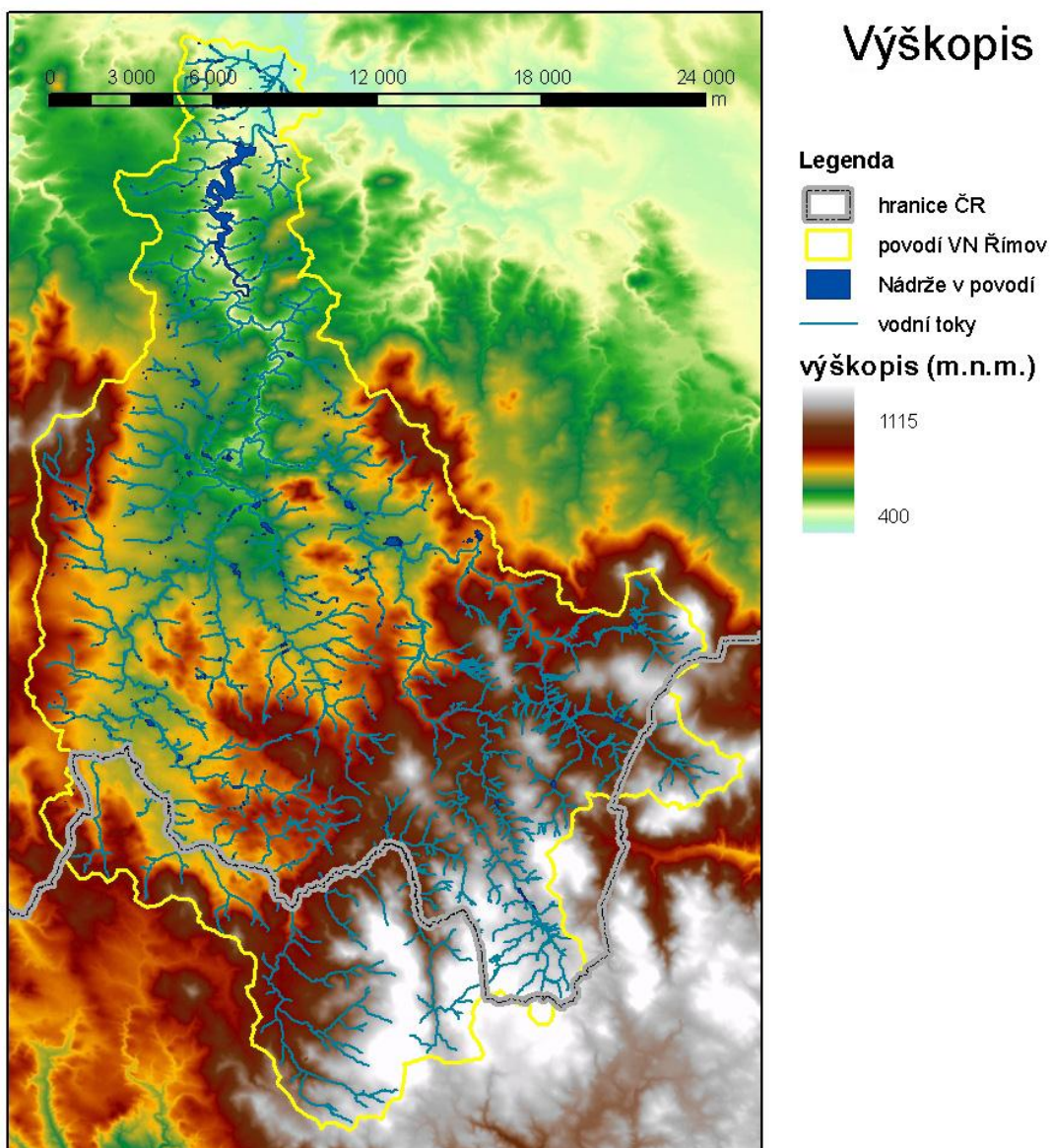
V případě doplnění rakouského území se jedná o dva problémy:

- správný převod do souřadného systému S-JTSK
- výškové vyrovnání, neboť rakouský model je pořízen z jiného zdroje

Kontrolou po vyrovnání bylo automatické vypočtení rozvodnice na základě rastru pro celé řešené území tak, aby bylo zajištěno, že jeho plocha odpovídá rozvodnici z mapy DIBAVOD. Tato kontrola proběhla úspěšně – odchylky v rozvodnici jsou maximálně v úrovni několika desítek metrů, v lokalitách, kde se skutečné morfologické vrcholy rozcházejí s původní mapou. Řešená plocha zemědělské půdy nebyla ovlivněna.

Druhou kontrolou bylo vypočtení vrstevnicové mapy a mapy odtokových drah. Mapa odtokových drah odpovídá skutečným údolnicím v území a z tohoto pohledu jsou data vhodně navázána. Vrstevnicová mapa ukázala výškový posun v přechodovém pásmu až do rozdílu 20 výškových metrů mezi oběma modely, ale to pouze v sklonitých partiích mimo zemědělskou

půdu. Na zemědělských pozemcích není výškopis významně ovlivněn a v průměru nejsou vrstvy oproti sobě výškově posunuty.



**Obr. 4-14: Výsledná vrstva DMT – výškopis celého povodí včetně přeshraničních oblastí**

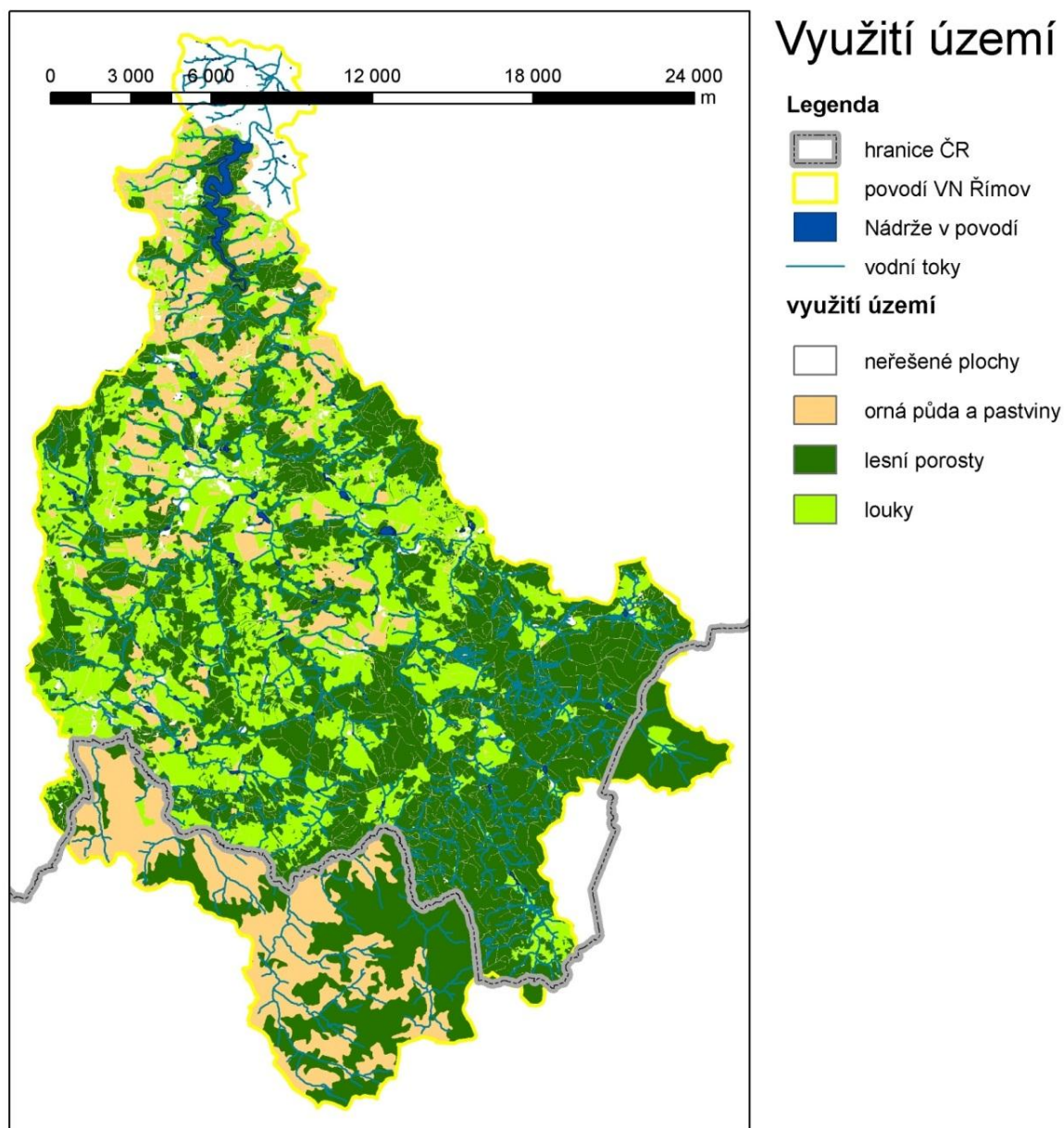
Výsledkem je kompletní DMT v rozlišení 10 m, o velikosti přibližně 28 km (V-Z) krát 42 km (S-J), to jest přibližně  $2\,800 \times 4\,200$  pixelů. Tato plocha je pro řešení modelem WATEM/SEDEM téměř limitní, testování proběhlo nejprve na výřezech z dané vrstvy, nicméně po optimalizaci dat bylo možno území modelovat jako jeden celek.

Lze tedy říci, že pro další řešení bude třeba území dělit na dílčí povodí o velikostech cca 500 km<sup>2</sup>.



## 4.3.2.2 LANDUSE

Mapa využití byla připravena kombinací dat LPIS a ZABAGED. Výsledné rozlišení a velikost přesně odpovídá vrstvě DMT.



Obr. 4-15: Mapa využití území

Jednotlivé kategorie využití území byly z vrstev ZABAGED vybrány a sestaveny podle tabulky (Tab. 3-11), kapitola 3.4.2. Nejprve byly spojeny a sjednoceny veškeré polygonové vrstvy databáze ZABAGED a byly jim přiřazeny hodnoty využití podle výše uvedené tabulky. Tyto kategorie byly následně překryty vrstvou LPIS, jako vrstvou určující skutečné aktuální využití a upřesňující stav popisovaný základní mapou ZABAGED.



Vrstvy byly převedeny do rastru a teprve následně samostatně byla doplněna přerušující vrstva cestní sítě, složená z liniových prvků základní mapy ZABAGED. Opačným postupem by cesty vložené do mapy využití území nezůstaly v rastru spojité a nebyla by zachována potřebná fragmentace povrchu.

Posledními vkládanými vrstvami musí být vrstvy nádrží a vodních toků, tak, aby toky zůstaly spojité a obsahovaly všechny úseky topologie kompletní a bez přerušování. Proto je třeba vkládat toky do mapy využití území až po jejich kompletní přípravě.

Samostatnou kapitolou je zde opět příprava vrstvy využití území pro rakouskou část povodí. Zde bylo využití území v rámci řešené studie připraveno klasifikací vrstvy CLC a posléze připojeno k mapě využití na území ČR – pouze vodní toky a nádrže byly opět řešeny samostatně a z odlišných databází a do vrstvy vloženy na závěr společně s toky na české straně povodí. Problémem přípravy mapy využití pro Rakousko byla rovněž nedokonalá georeference vstupní vrstvy CLC, jež musela být manuálně ošetřena – navázána na hranici ČR z mapy 1 : 10 000.

Výsledkem je kompletní mapa využití území přímo použitelná pro řešení modelem WATEM/SEDEM i pro výpočet pomocí USLE, vrstva se nicméně vyznačuje výrazně nižší fragmentací území na rakouské straně (podklad CLC) a zde chybějící cestní sítí, což vede k nadhodnocení transportu splavenin ze zemědělských ploch v Rakousku do Mašle. Hodnoty transportu splavenin z rakouské strany povodí musely být upraveny podle korelace v závislosti na nadhodnoceném topografickém faktoru (LS faktor) metody USLE. Porovnáním průměrných hodnot LS faktoru v morfologicky identických povodích na české a rakouské straně byl stanoven příslušný přepočít pro snížení odhadu transportu splavenin z rakouské části povodí.

#### 4.3.2.3 VODNÍ TOKY

Dílním výstupem modelu WATEM/SEDEM je množství splavenin vstupující do jednotlivých úseků vodních toků a nádrží. Výpočet transportu v hydrografické síti pak probíhá pouze databázově buď v prostředí modelu, nebo i mimo něj (např. s pomocí MS Excel). V obou případech je nutné mít k dispozici tabulku čísel úseků vodních toků a jejich uzlů, ze které lze jednoznačně určit návaznost úseků. Každý úsek musí mít právě jednoho následníka, nesmí tedy docházet k žádnému větvení toků. V reálné hydrografické síti i v mapových podkladech ovšem k větvení toku dochází velmi často (náhony, obtoková ramena), což je zcela ve sporu k požadavkům modelu. Princip řešení tohoto problému spočívá v předpokladu, že odpojícím se ramenem či náhonem ve skutečnosti prochází vzhledem k hlavnímu korytu jen zanedbatelná část objemu vody a splavenin, která se později stejně dostane zpět do hlavního toku. Díky tomuto zjednodušení je možné rozvětvení toku z modelu odstranit. Samostatným problémem jsou úseky od hlavního toku odpojené a níže již nezaústěné. Tyto úseky nehrají v transportu splavenin žádnou roli a byly z použité datové sady DIBAVOD zcela odstraněny.

Pro přípravu datové vrstvy vodních toků byl použit software ArcGIS s nástavbou ArcHydro a MS Excel včetně vestavěného editoru pro psaní maker v jazyku Visual Basic.

Část povodí VN Římov leží mimo hranice ČR. Vodní toky mimo naše území nejsou obsaženy v databázi DIBAVOD, a proto k ní bylo nutné připojit datovou sadu rakouské toky obsahující. Ta

přirozeně kvalitativně českým datům neodpovídá, proto bylo nutné ji výrazně editovat a doplnit do ní potřebné údaje.

Nejprve byly oba mapové podklady polohopisně spojeny. Společné úseky hraničního toku byly z rakouských dat odstraněny, případná přerušení toku v českých datech byla doplněna podle ortofotosnímku, přítoky z rakouské strany byly dotaženy nebo oříznuty, aby dosahovaly přesně k linii hlavního toku v české datové sadě, a nakonec byl tento hraniční tok v místě zaústění rakouských přítoků rozdělen na samostatné úseky.

Dále byly z rakouské datové sady odstraněny samostatné segmenty křivek bez návaznosti na stálou hydrografickou síť a stejně tak byla promazána roztrojení vodního toku, která dle porovnání s leteckým snímkem reprezentovala vodní nádrž. Poté musela být opravena orientace velké části segmentů křivek, neboť byla značně chaotická a neodpovídala skutečnému směřování vodních toků. Oprava byla provedena z větší části manuálně.

Nakonec musely být doplněny potřebné atributy v DIBAVOD obsažené a pro přípravu datové sady potřebné, ale v rakouských datech chybějící. Jedná se o označení příslušnosti k páteřnímu toku povodí IV. řádu (atribut EX\_JH) a příznak propojení úseku toku (atribut PRPROP), podle něž lze identifikovat hlavní a obtokové rameno toku za jeho rozvětvením.

Jedním z dalších požadavků modelu WATEM/SEDEM je jednoznačné přiřazení vodní nádrže právě jednomu úseku vodního toku. V datové sadě vodních toků DIBAVOD však vodní nádrž křivku vodního toku nedělí. Pokud by nádrž byla přiřazena přes ní procházejícímu úseku, který například za nádrží pokračuje ještě několik set metrů, došlo by k chybné reprezentaci skutečného transportního procesu, neboť by se tak do výpočtu zachycení splavenin v nádrži započítávaly i splaveniny vstupující do vodního toku až pod nádrží. Proto bylo nutné rozdělit křivky vodních toků na vstupu a výstupu z nádrže. Prostorovým propojením vrstvy vodních toků a vodních nádrží byl pak každému úseku uvnitř VN přiřazen číselný identifikátor nádrže.

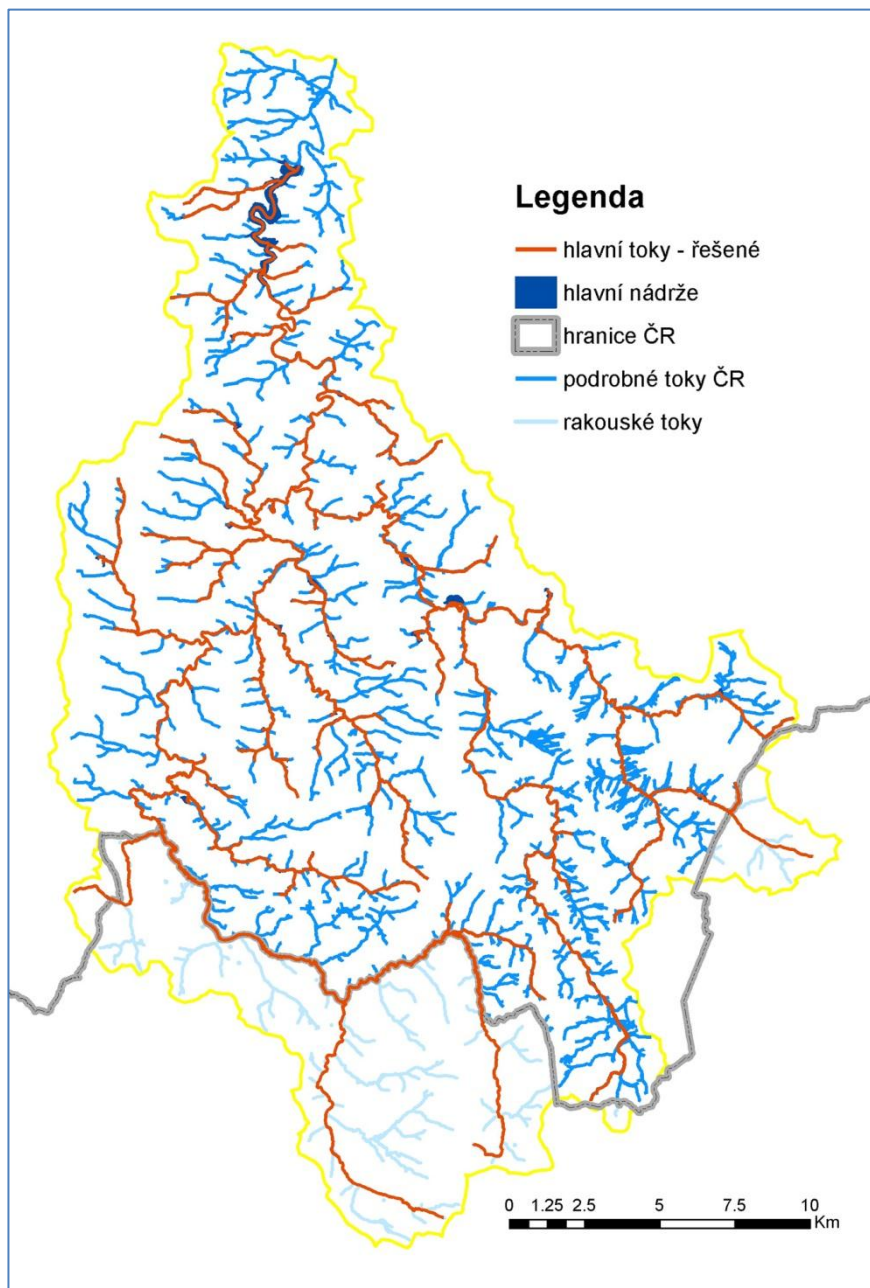
Pokud do vodní nádrže ústí více toků, pak se na jejím území nachází více než jeden segment z vrstvy vodních toků. Aby bylo možné jednoznačně přiřadit vodní nádrž právě jednomu úseku – vždy ji budeme přiřazovat tomu nejnižší ležícímu – je potřeba mít možnost jej snadno automaticky označit a vybrat. Označení bylo provedeno v pomocné vektorové vrstvě, do níž byly vyexportovány pouze úseky ležící uvnitř všech nádrží.

Při testování modelu WATEM/SEDEM se v případě použití jemného úsekového modelu vodních toků projevila značná nestabilita výstupů, z důvodu nadměrné podrobnosti hydrografické sítě, potažmo rastrového modelu povodí. Proto bylo přikročeno ke zjednodušení sítě vodních toků. Při redukci byly převzaty pouze páteřní toky všech povodí IV. a nižšího řádu a hlavní toky, na nichž leží některá z vodních nádrží významná pro ovlivnění transportu splavenin.

Porovnání podrobnosti toků a jednotlivých databází použitých pro výpočet ukazuje obrázek (Obr. 4-16).

Zjednodušení vrstvy vodních toků probíhalo v souladu s předchozími studiemi realizovanými modelem WATEM/SEDEM. V povodí Kamenice (povodí VN Květoňov, součást povodí VN Římov) byl v rámci diplomové práce (Sedlický, 2009) proveden průzkum a mapování skutečných toků, z něhož vyplynula nutnost některé drobné úseky toků z databáze DIBAVOD považovat

za nekapacitní a z modelu je vyloučit. Odstranění drobných úseků se samozřejmě projeví ve snížení celkového vypočteného transportu splavenin z povodí, protože některé z odstraněných úseků byly pro splaveniny přímo dostupné. Proto byl otestován tento vliv na snížení celkového transportu v povodí VN Římov – podle rozsahu redukce může být tento vliv poměrně zásadní – při zahrnutí kompletně všech úseků DIBAVOD se do říční sítě dostane až trojnásobné množství splavenin ve srovnání se sítí použitou. Vlivem zachycení splavenin v drobných nádržích se tento rozdíl výrazně sníží, přesto je třeba i v dalším řešení považovat přípravu toků za klíčový krok celého řešení.



Obr. 4-16: Porovnání vodních toků z jednotlivých zdrojů a výsledná řešená vrstva

#### 4.3.2.4 NÁDRŽE

Pro každou nádrž zahrnutou do řešení je třeba stanovit poměr zachycení. K tomu je využita metoda Bruneho popsaná v kapitole 2.3. Základem metody je zajištění průměrného dlouhodobého průtoku v profilu nádrže a jejího objemu tak, aby bylo možno určit příslušnou dobu zdržení, ze které je poměr zachycení odvozen.

V povodí VN Římov bylo z rozsáhlé databáze DIBAVOD vybráno celkem 135 vodních nádrží na českém území a 29 na území Rakouska. Pro všechny nádrže byla pomocí jednoduché GIS analýzy zjištěna dle mapového zákresu plocha jejich hladiny.

Kromě toho byly z databáze Povodí Vltavy, s.p. a TBD, a.s. pro celkem 37 nádrží na území ČR k dispozici skutečné plochy hladiny a objemy nádrží. Nejistota těchto údajů spočívala především v tom, že z databází nelze jednoznačně zjistit, zda se jedná o objem celkový nebo jen zásobní a tedy zda plocha hladiny odpovídá hladině maximální nebo normální. Díky této skutečnosti si v případech, kdy pro jednu nádrž byly k dispozici údaje z obou databází, tyto hodnoty neodpovídaly. Pro výpočet tak byla uvažována vždy menší z obou dostupných hodnot, protože použitá metoda vychází z doby zdržení v zásobním prostoru vodní nádrže.

Cílem analýzy bylo následně na základě zjištěných ploch vodní hladiny odhadnout zásobní objem jednotlivých vodních nádrží. V prvním kroku tak byl aplikován postup odvozený v roce 2004 pro odhad transportu splavenin do vodní nádrže Brno (Dostál et al., 2004). Přístup spočíval v přijetí předpokladu, že malé vodní nádrže mají i menší hloubku. Podle velikosti hladiny tak byly nádrže na základě expertního odhadu rozděleny do tří skupin:

- Nádrže s plochou hladiny do 1,0 ha byly uvažovány s hloubkou vody u hráze 1,5 m.
- Nádrže s plochou hladiny 1,0 – 12,0 ha byly uvažovány s maximální hloubkou vody u hráze 3 m.
- Nádrže s plochou hladiny nad 12,0 ha byly uvažovány s maximální hloubkou vody u hráze 6 m.

Vlastní objem prostoru nádrže byl pak spočten pomocí obecně užívaného zjednodušeného vztahu.

$$V = 1/3 * S * H$$

R. 4-7

V	objem nádrže (m <sup>3</sup> )
S	plocha hladiny (m <sup>2</sup> )
H	maximální hloubka vody u hráze (m)

Takto byly pro všechny vodní nádrže v povodí VN Římov jak na českém, tak rakouském území odhadnuty jejich objemy.

Následným krokem bylo porovnání vypočtených hodnot s hodnotami udávanými v databázi – porovnání bylo možno udělat pro celkem 37 vodních nádrží. Vesměs se jednalo o nádrže významnější a tedy větší. Na základě výsledku porovnání byly upraveny meze plochy hladiny a předpokládané hloubky u hráze tak, jak je uvedeno výše, a odhad vykazoval dobrou shodu.

Tab. 4-8: Validace postupu odvození objemů vodních nádrží na základě jejich plochy

název nádrže	kód nádrže	plocha (ha)	objem dle databáze (m <sup>3</sup> )	hloubka odhadnutá dle plochy (m)	objem dle hloubky (m <sup>3</sup> )	objemy dle vztahu (m <sup>3</sup> )
Hřeben	106020350002	1,64	10000	3,0	16358	19183
Loužník	106020340006	0,40	3000	1,5	2015	3354
Pentle	106020220021	2,65	20000	3,0	26459	34909
U Bočkova	106020100003	1,25	15000	3,0	12504	13730
Velký Ličovský ryb.	106020320001	7,15	57000	3,0	71535	120421
Rychnovský ryb.	106020090002	2,00	25000	3,0	19954	24568
Malý Hodonický ryb.	106020160001	0,63	6000	1,5	3149	5845
Dobechovská nádrž	106020160002	2,16	48000	3,0	21571	27070
Pytlový ryb.	106020160003	7,60	101000	3,0	76001	129851
Nový ryb.	106020170001	4,06	63000	3,0	40606	59501
Hradiště	106020320003	3,90	73000	3,0	38967	56525
Zlatá Ktiš	106020240001	3,84	120000	3,0	38372	55452
Uhlišťský ryb.	106020290003	2,09	30000	3,0	20851	25950
Velký Hodonický ryb.	106020140001	1,95	25000	3,0	19537	23930
Klímův ryb.	106020280001	0,90	7000	1,5	4510	9141
Jamský ryb.	106020220004	4,34	46000	3,0	43431	64697
Luční ryb.	106020160005	0,55	4000	1,5	2726	4884
Nový ryb.	106020280002	2,47	20000	3,0	24703	32049
Drochov	106020120001	0,51	3000	1,5	2537	4467
Besednice	106020340004	2,21	67000	3,0	22118	27927
Výhuň	106020340005	0,27	3000	1,5	1354	2044
Tichá 1	106020080004	2,94	25000	3,0	29423	39841
Tichá 8	106020080005	2,98	60000	3,0	29753	40399
Huťský ryb.	106020250001	3,41	140000	3,0	34051	47789
Mlýnský ryb.	106020270001	2,64	60000	3,0	26425	34853
Pižmový ryb.	106020080009	4,37	36000	3,0	43665	65131
Mlýnek	106020340001	0,67	4000	1,5	3343	6298
Vidlan	106020340002	0,42	3000	1,5	2114	3560
Mráček	106020030001	1,63	27000	3,0	16342	19159
U kovárny	106020300003	1,56	12000	3,0	15575	18046
Jakub	106020300001	0,58	3000	1,5	2909	5297
Kancléřský ryb.	106020300002	15,00	215000	4,5	224989	302714
Velišský ryb.	106020300008	1,32	16000	3,0	13181	14661
Horšov	106020180002	0,38	6000	1,5	1920	3158
Jiřický ryb.	106020290001	3,65	120000	3,0	36544	52184
Květoňov	106020140020	7,10	334000	3,0	71044	119392

Pro následný výpočet tak byly uvažovány hodnoty objemů jednotlivých vodních nádrží vypočtené podle uvedeného vztahu a za uvedených předpokladů. Pro 37 nádrží s dostupnými



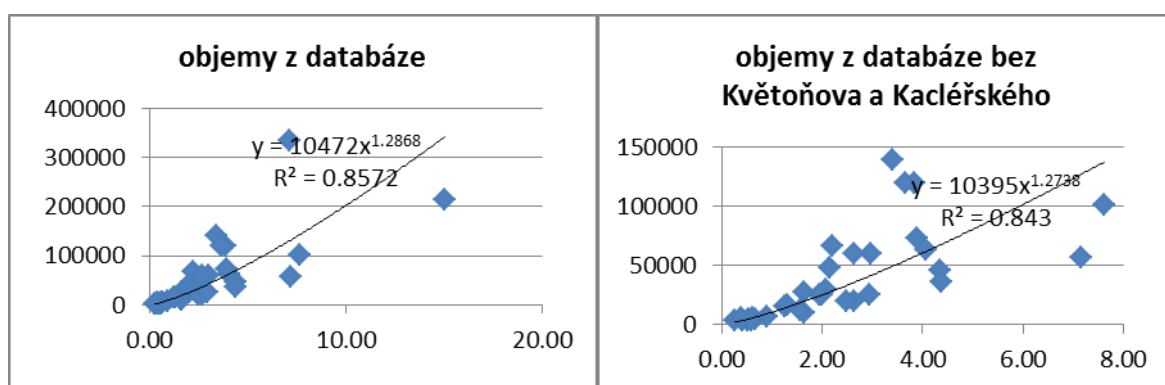
daty byly do následného výpočtu záchytné kapacity uvažovány tyto skutečné hodnoty. Výsledky výpočtu jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4-8).

Odhad objemů na základě kategorií hloubek podle plochy poskytl přijatelné výsledky v případě VN Brno a srovnání pro 37 vodních nádrží v povodí VN Římov vyznělo rovněž pozitivně. Přesto byl dodatečně kontrolně učiněn pokus o zjištění přímého matematického vztahu mezi plochou hladiny a objemem nádrže. Za tím účelem byly nejdříve vyneseny do grafu známé hodnoty plochy hladiny i objemu pro všech 37 dostupných vodních nádrží. Proložení bodů mocninnou funkcí sice vykazovalo dobrou míru spolehlivosti, nicméně jasný trend je určen dvěma body, které se významně vymykají ostatním parametrům – jednalo se o vodní nádrže Květoňov a Kaclěřský rybník. První z nádrží výrazně převyšuje ostatní v objemu vody, druhá pak svou plochou hladiny.

Ve druhém kroku proto byly tyto dvě nádrže ze souboru odstraněny (Obr. 4-17 vpravo). Závislost v podobě mocninného vztahu sice vykazuje nepatrně nižší spolehlivost, nicméně trend je v tomto případě jasnější a jednoznačnější.

Pomocí zjištěného vztahu byly kontrolně přepočteny objemy nádrží (Tab. 4-8, poslední sloupec). Obě hodnoty objemu (zjištěné jak podle tří kategorií hloubek, tak přímo z plochy – poslední dva sloupce tabulky) vykazují dobrou shodu a pro vlastní výpočet v případě VN Římov byly proto využity objemy vodních nádrží odvozené na základě tří kategorií hloubek, odhadnutých podle plochy hladiny.

Pro další práce ve větších povodích bude aplikován druhý z testovaných postupů – tedy přímé odvození objemů nádrží z jejich ploch. Důvodem je to, že bude možno jasně odlišit netypické vodní nádrže, které se budou nějakým způsobem vymykat buď svou plochou, nebo objemem a které by zkreslovaly celkový vztah. V zásadě není jejich vyloučení z kalibračního datového souboru nijak negativní, protože se bude jednat o větší nádrže, pro které budou k dispozici databázové údaje. Navíc bude možno do analýzy zahrnout lokální a především morfologická specifika. Tento postup bude předmětem dalších analýz. V prvním kroku bude zohledňována nadmořská výška nádrže a analýzy budou prováděny po jednotlivých dílčích povodích.



**Obr. 4-17: Přímé odvození vztahu mezi plochou vodní nádrže a jejím objemem**

Do modelu WATEM/SEDEM musely být nádrže vloženy v podobě rastrové mapy upravenou formou. Jejich plocha byla redukována pouze na úseky toků, na nichž ležely. Pouze nádrže na rakouské straně byly ponechány jako kompletní polygony, neboť se jednalo o nádrže

„nebeské“. Splaveniny v nich nezachycené nejsou přímo transportovány do toku Malše jako v případě průtočných nádrží na české straně.

V mapě využití území pro model WATEM/SEDEM byly tedy plochy nádrží nahrazeny pouze příslušnými kategoriemi okolního využití území a nádrže byly do mapy vloženy pouze jako rastrové úseky toků, odpovídající samostatné vrstvě nádrží. Bylo dodrženo pravidlo, že každá nádrž leží pouze na jediném úseku toku.

#### 4.3.2.5 K FAKTOR A C FAKTOR

**Mapa K faktoru** pro povodí VN Římov v rozlišení 10 m byla vytvořena na podkladě databáze BPEJ (česká část) a převzata (rakouská část povodí). Databáze BPEJ je nejpřesnějším přímo dostupným zdrojem hodnot K faktoru, ale pokrývá pouze zemědělské plochy a pouze na českém území. Protože transport splavenin je metodou USLE i modelem WATEM/SEDEM odhadován pouze na zemědělských půdách, bylo rozhodnuto pracovat na českém území pouze s databází BPEJ.

Prvním krokem bylo tedy přiřazení hodnot K faktoru všem polygonům hlavních půdních jednotek v povodí a jejich převedení do rastru v rozlišení odpovídajícím DMT.

Vzhledem k tomu, že BPEJ (1 : 5 000 – nicméně generalizovaný polohopis) nepokrývá přesně zemědělské plochy tak, jak jsou mapovány v ZABAGED a LPIS, bylo nutno mezilehlé hodnoty doplnit. To bylo provedeno lineární interpolací mezi známými hodnotami K faktoru v rastrové mapě. Interpolovaná mapa byla dále vyhlazena průměrovým filtrem, protože je zřejmé, že protilehlé hodnoty (např. v případech rozsáhlých lesních porostů) se mohou výrazně lišit a interpolace sama tedy neposkytuje dostatečně homogenní výstup. Následně byla vyhlazená interpolovaná mapa překryta původními hodnotami K faktoru v místech pokrytých původní databází tak, aby přímo určené hodnoty K faktoru nebyly dotčeny.

**Mapa C faktoru** byla odvozena na českém území na podkladu kombinace polohopisných databází ZABAGED a LPIS, tedy v souladu s mapou land-use, popisovanou výše. Na rakouském území byla převzata z rakouské datové sady.

Hodnoty C faktoru přiřazené kategoriím obsaženým v databázi LPIS jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4-9).

**Tab. 4-9: Hodnoty C faktoru pro kategorie LPIS**

kategorie LPIS	C faktor	počet výskytů
jiná kultura	0,1	2
orná půda	0,159; 0,176; 0,194	574
ovocný sad	0,3	1
travní porost	0,005	2153
zalesněno dle LPIS	0,008	9

Hodnoty na orné půdě jsou přiřazeny podle příslušnosti k jednotlivým okresům na základě statistiky osevních postupů (Dostál et al., 2006). Plochy zalesněné dle LPIS předpokládají dosud jistou míru erozního ohrožení, i když v povodí je jich minimum. Ostatní trvalé lesní plochy dle ZABAGED mají přiřazenou hodnotu C = 0 (tj. smyv z nich není předpokládán). Travní porosty (ZABAGED) přesahující plochy

LPIS byly řešeny s totožnou hodnotou  $C = 0,005$ . Smíšená kategorie polí, lesů, luk a trvalých plodin (CLC), převzatá pro rakouskou část povodí, byla řešena s původní hodnotou  $C = 0,03$ .

Výsledkem je mapa C faktoru v rozlišení 10 m polohopisně odpovídajícím ostatním řešeným vrstvám.

#### 4.3.3 VÝSLEDKY MODELU WATEM/SEDEM

Výpočet v modelu WATEM/SEDEM byl ve výsledném řešení proveden s parametry nastavenými na doporučené hodnoty, tedy (Tab. 4-10):

**Tab. 4-10: Vstupní parametry modelu WATEM/SEDEM pro povodí VN Římov**

	orná půda	les	TTP
PTEF	0	75	75
Parcel connectivity	40		75
$K_{TC}$	35		55

Výsledky celkového smyvu rámcově odpovídají výsledkům metody USLE. Na základě prezentovaných vstupů (říční síť a nádrží s poměry zachycení) byl dále modelován transport splavenin v celém povodí a transport toky až do závěrové VN Římov. Celé transportní schéma obsahuje 470 řešených úseků s hodnotami vstupu splavenin z povodí a následným transportem. Tabulka obsahuje rovněž 98 úseků s nádržemi a jejich poměrem zachycení. Tato rozsáhlá výsledková tabulka zde proto kompletně nebude prezentována.

Na obrázku je uveden pouze částečný výstup z transportního schématu – transport splavenin jednotlivými navazujícími úseky toku na pozadí specifického transportu z jednotlivých povodí (SSY) určeného metodou SDR (Obr. 4-18).

Výsledky pro nádrže, kde je předpokládáno zachycení více než 1 t splavenin ročně, jsou uvedeny v tabulce (Tab. 4-11).

Výstupy transportu splavenin vypočtené modelem WATEM/SEDEM byly porovnány s průměrnými hodnotami transportu nerozpuštěných látek v profilech dlouhodobého monitoringu Povodí Vltavy, s.p. Jedná se o profily s dlouhodobým sledováním (15 profilů) – hodnoty jsou porovnávány s průměrnými ročními celkovými toky nerozpuštěných látek (NL) za období 2000 - 2009 včetně, tedy desetileté řady (Obr. 4-20).

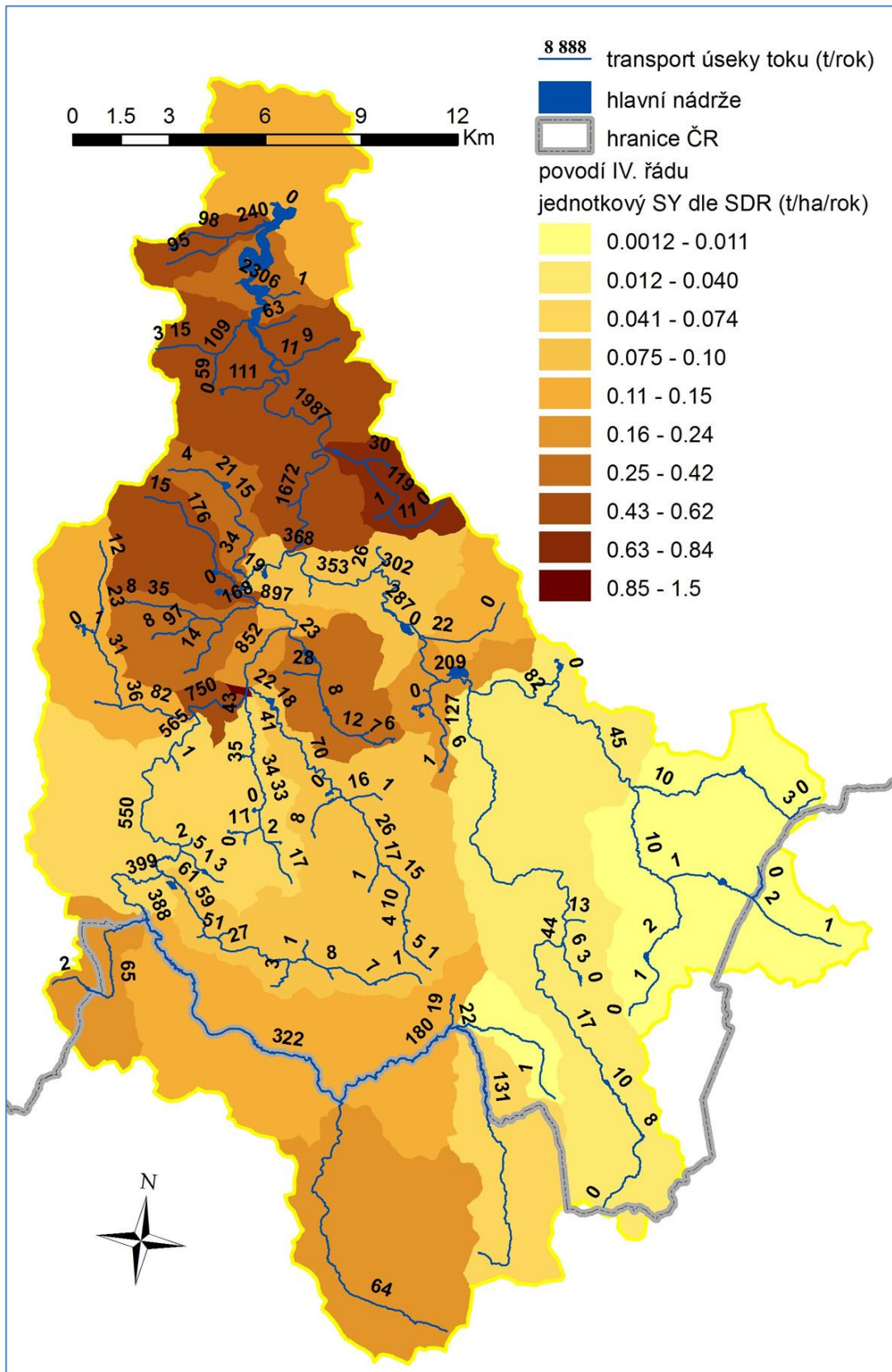
Celkové látkové toky na základě monitoringu byly vypočteny z měsíčních odběrů jako koncentrace násobené průtokem za každý odběr a vztažené k uvedenému měsíci jako reprezentativní (průměrná) hodnota. Lze tedy předpokládat, že údaje monitoringu v měsíčním kroku vzorkování nezachytily část NL, odtékající během epizodních událostí.

Na druhou stranu, výstupy z modelu WATEM/SEDEM metodicky nezahrnují odtok erozního fosforu v zimním období a během jarního tání, přičemž data monitoringu jsou zde uvažována jako celoroční. Rovněž jsme si vědomi, že NL zachycené monitoringem neodpovídají po přepočtu celkovému objemu splavenin, a to jednak z důvodu metody vyhodnocení vzorků (týká se zejména řas), jednak z důvodu nezachycení dnových splavenin (pouze plavenin v určitém rozsahu velikosti částic).

Cílem porovnání je posoudit, zda se výpočet modelu WATEM/SEDEM s monitoringem alespoň rámcově shodují tak, aby bylo možno vypočítat korelaci a kalibrační vztah, s nímž by byla data z modelu použitelná pro bilanční metodu zdrojů fosforu v povodích. Porovnání je uvedeno v tabulce (Tab. 4-12).

**Tab. 4-11: Zachycení splavenin a fosforu v nádržích – výstupy WATEM/SEDEM**

název nádrže	objem nádrže (m <sup>3</sup> )	poměr zachycení (%)	zachycené splaveniny (t.rok <sup>-1</sup> )	dále tokem splaveniny (t.rok <sup>-1</sup> )	zachycený P <sub>celk</sub> (kg.rok <sup>-1</sup> )	dále tokem P <sub>celk</sub> (kg.rok <sup>-1</sup> )
VN Římov	33 636 000	92	2344	204	1288	112
Besednice	67 000	70	168	72	88	38
Květoňov	334 000	75	54	18	26	9
Jermaly	17 035	32	52	111	7	14
Pytlový ryb.	101 000	72	38	15	53	21
Mlýnek	4 000	17	21	100	19	95
---	2 548	73	20	8	28	10
Loužník	3 000	64	19	10	9	5
Jamský ryb.	46 000	77	16	5	30	9
Pentle	20 000	46	16	18	7	8
Tichá 8	60 000	66	12	6	15	8
Houž	1 814	10	10	86	2	19
Dobechovská n.	48 000	74	9	3	2	1
Luční ryb.	4 000	80	9	2	12	3
Hradiště	73 000	3	9	278	7	214
---	2 475	60	8	5	0	0
---	3 354	78	5	2	0	0
---	2 744	21	5	18	3	12
Horšov	6 000	61	4	3	0	0
---	13 897	53	4	4	2	2
---	2 149	51	4	3	6	6
Daňka	1 499	26	3	7	1	1
Rychnovský ryb.	25 000	76	2	1	3	1
Zlatá Ktiš	120 000	70	2	1	2	1



Obr. 4-18: Transport splavenin jednotlivými úseky toku (zobrazeny vybrané úseky)



**Tab. 4-12: Porovnání průměrného ročního transportu nerozpuštěných látek (NL) na základě monitoringu (2000-2009) s transportem splavenin podle modelu WATEM/SEDEM (WAT/SED). Profily jsou seřazeny dle velikosti příslušného povodí**

měrný profil	NL (t.rok <sup>-1</sup> ) PRŮMĚR	NL (t.r <sup>-1</sup> ) MIN	NL (t.r <sup>-1</sup> ) MAX	plocha povodí (km <sup>2</sup> )	WAT/SED splaveniny (t.rok <sup>-1</sup> )	W/S versus NL
1-06-02-035 Podhorský potok - Chlum (2659)	4	2	10	3	9	218%
1-06-02-034 Budský potok - Malče hráz (2658)	10	3	26	7	72	716%
1-06-02-016 Dobečovický p. - Mostky (2626)	70	29	249	10	23	33%
1-06-02-018 Strádovský p. - Kaplice (2627)	27	9	59	10	168	623%
1-06-02-010 Zdíkovský p. - Zdíky (2623)	88	24	210	16	82	94%
1-06-02-008 Tichá - Rychnov n. Mal. (2621)	56	22	89	17	66	118%
1-06-02-029 Pohořský p. - Radčice (2630)	97	43	223	20	127	131%
1-06-02-014 Kamenice - Květoňov nad (2624)	88	19	156	31	70	80%
1-06-02-014 Kamenice - Květoňov hráz (2625)	49	27	76	33	22	45%
1-06-02-007 Malše - Dolní Dvořiště (3922)	384	153	770	125	399	104%
1-06-02-009 Malše - Rychnov n. Mal. (2602)	460	207	820	135	494	107%
1-06-02-032 Černá - Blansko (2631)	461	152	934	145	368	80%
1-06-02-019 Malše - Kaplice nad (2603)	812	321	2 260	240	897	111%
1-06-02-023 Malše - Blansko (2605)	1 104	371	2 749	280	1 262	114%
1-06-02-033 Malše - Pořešín (3923)	1 650	558	4 968	445	1 695	103%

Z tabulky je zřejmé, že průměrné hodnoty dle monitoringu s hodnotami podle modelu velmi dobře korelují pro plochy povodí přesahující přibližně 15 km<sup>2</sup>. To odpovídá zkušenostem s empirickými modely – velmi malá povodí vykazují heterogenitu a převahu lokálních zdrojů, které model sestavený na základě běžně dostupných dat nemůže postihnout. Ve větším povodí se tyto chyby marginalizují a vyrovnávají. Jediný výraznější nesoulad mezi vypočtenými a monitorovanými hodnotami se týká hráze VN Květoňov. Zde je nižší hodnota modelu dána výhradně vně určeným poměrem zachycení nádrže dle Bruneho (Dendy, 1977). Podle monitoringu (nad nádrží a pod hrází) je poměr zachycení (TE) v nádrži cca 44 %, zatímco dle Bruneho činí 75 %. Vypočtené poměry zachycení na základě doby zdržení jsou obecně zatíženy vysokou mírou nejistoty, nicméně při počtech nádrží, jež budou muset být v projektu zpracovány, není jiné řešení pro většinu z nich možné. Pokud budou k dispozici data z monitoringu pod a nad řešenými nádržemi, budou pro určení TE využita. (v případě VN Květoňov se na nižším TE podílí pravděpodobně rovněž pravidelné odpouštění sedimentu dnovými výpustěmi - zjištěné od správce VD).

Aniž bychom upravovali modelová data (zasahovali do úpravy původní výpočtové TE pro VN Květoňov), opravňuje nás mimořádně vysoký korelační součinitel k použití modelových hodnot do bilanční metody. Pro 11 profilů s povodími přesahujícími plochu 15 km<sup>2</sup> je lineární vztah mezi monitoringem a modelem vyjádřen rovnicí (R. 4-8)

$$WSS = 1.0686 \times NLM - 11,476$$

**R. 4-8**

WSS                      WAT/SED splaveniny (t.rok<sup>-1</sup>)

NLM                      NL monitoring (t.rok<sup>-1</sup>)

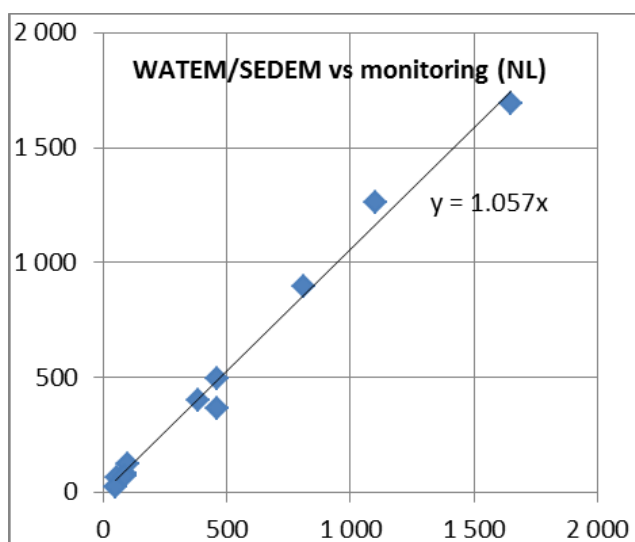
při maximální hodnotě  $R^2=0,9908$ . Přitom pokud logicky předpokládáme nulový transport splavenin při měřeném nulovém transportu NL, je závislost jednodušeji vyjádřena vztahem

$$WSS = 1.057 \times NLM$$

R. 4-9

a charakterizována prakticky stejnou shodou  $R^2=0,9905$ .

Úzká korelace pro uvedených 11 profilů je znázorněna rovněž na obrázku (Obr. 4-19).

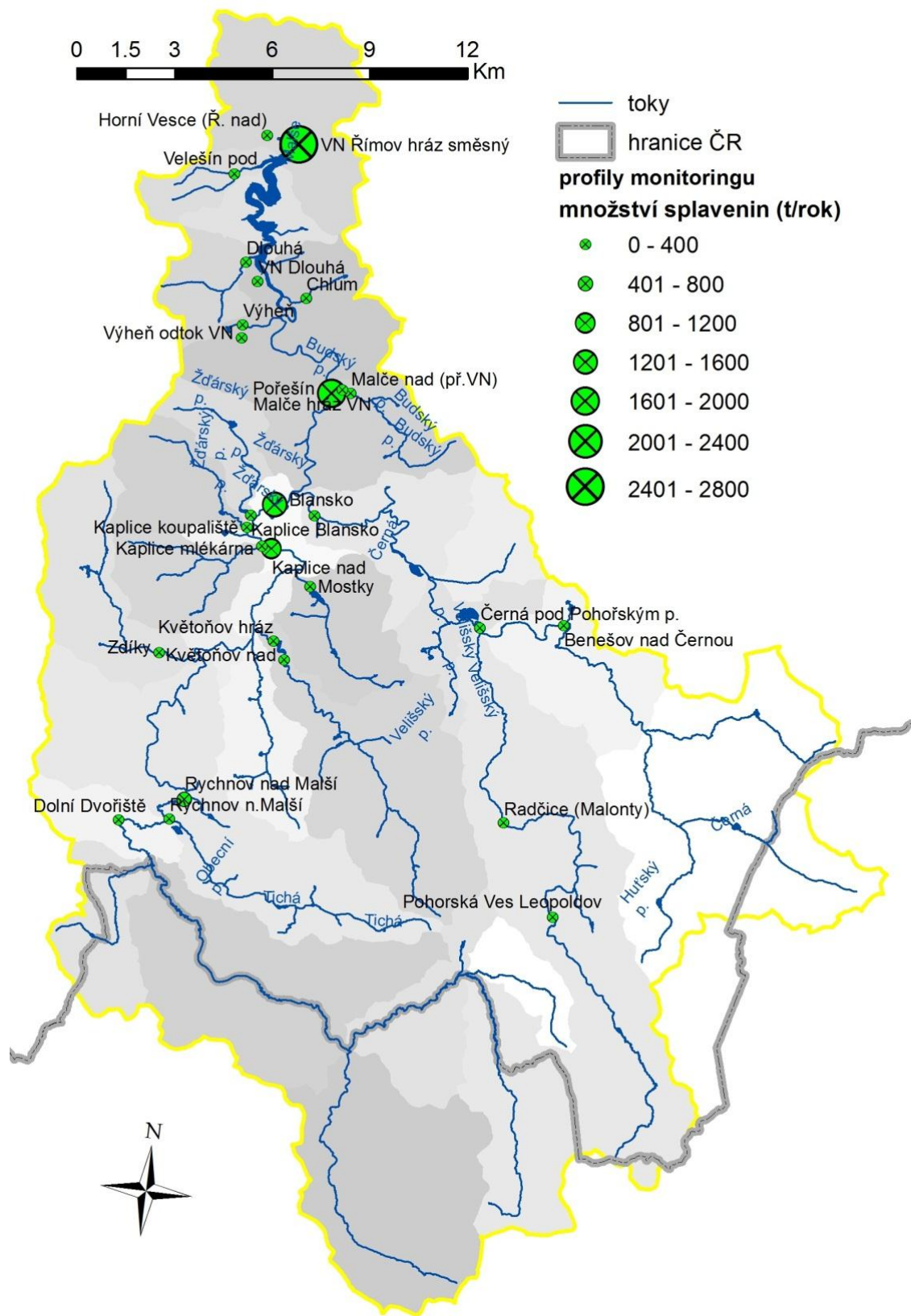


Obr. 4-19: Korelace mezi výpočtem WATEM/SEDEM a monitoringem

Odchylka spojnice trendu je natolik minimální, že lze použít směrnici rovnou jedné, a data z výpočtu modelem WATEM/SEDEM tedy použít přímo jako hodnotu NL pro určení množství fosforu vázané na NL, tedy z erozních zdrojů. Tato verifikace v povodí VN Římov bude využita pro další řešení v ostatních povodích. Na základě rozboru dat monitoringu je zřejmé, že hodnoty NL se v jednotlivých letech pohybují ve značném rozpětí (Tab. 4-12), nicméně v dlouhodobém průměru (i s rizikem zahrnutí extrémního povodňového roku 2002 v bilančních datech monitoringu i v aktualizované hodnotě erozního účinku srážek v modelu WATEM/SEDEM) prokázaly data a výpočet dostatečnou shodu.

V případě řešení transportu splavenin modelem WATEM/SEDEM je klíčovou záležitostí příprava vstupů. Správnost rozsahu říční sítě a správné zahrnutí vlivu všech malých vodních nádrží v povodí je v modelu WATEM/SEDEM značně komplikovanou a poměrně problematickou záležitostí. Schéma vodních toků si pro ten účel vyžaduje řadu manuálních úprav, jež přesto nemusí vést k odlišení blízkých malých nádrží. Ve výsledku tak mohou být některé poměry zachycení chybně vyhodnoceny, což může vést k mírnému podhodnocení výsledného transportu splavenin. Pro další řešení projektu bude cílem naprogramovat kontrolní samostatné výpočetní schéma, v němž by nádrže byly řešeny samostatně, mimo prostředí modelu WATEM/SEDEM.

Odhad TE pomocí Bruneho metody rovněž vyžaduje opatrnost, zejména v případě aplikace pro netypické nádrže.



Obr. 4-20: Profily trvalého monitoringu Povodí Vltavy, s.p. využité pro porovnání s modelem WATEM/SEDEM

#### 4.3.4 VÝSLEDKY METODY USLE/SDR

Hodnoty celkové ztráty půdy na pozemcích a v povodích vypočtené samotnou metodou USLE se blíží hodnotám celkové ztráty půdy určeným modelem WATEM/SEDEM. Úplnou shodu mezi oběma postupy nelze předpokládat, ačkoli v modelu WATEM/SEDEM je základem pro erozní část řešení rovněž metoda USLE. Na částech pozemků je již modelem WATEM/SEDEM předpokládána depozice, zatímco při použití samotné USLE je na těchto místech stále ještě předpokládán smyv. Při porovnání celkových hodnot smyvu jsou však odlišnosti pro celá povodí obvykle pouze v řádech jednotek procent. Průměrná roční hodnota celkové ztráty půdy v povodí VN Římov určená metodou USLE činí přibližně 36 600 t.rok<sup>-1</sup> a pokud vyloučíme plochy, na nichž WATEM/SEDEM predikuje ukládání, sníží se na cca 35 300 t.rok<sup>-1</sup>, tedy cca o 3,5 %.

Pro každé dílčí povodí IV. řádu v řešeném území byly rovněž vypočteny hodnoty poměru odnosu dle Williamse SDR (Williams, 1977) a hodnoty průměrného transportu splavenin SY. Tyto hodnoty byly určeny jako doplňující k výpočtu modelem WATEM/SEDEM a jako součást metodiky používané dosud pro řešení transportu splavenin ve velkých povodích.

Výsledky pro jednotlivá povodí shrnuje tabulka (Tab. 4-13) a z ní vyplývající přehledné mapy erozní ohroženosti a transportu splavenin jsou na obrázcích (Obr. 4-21 až Obr. 4-24).

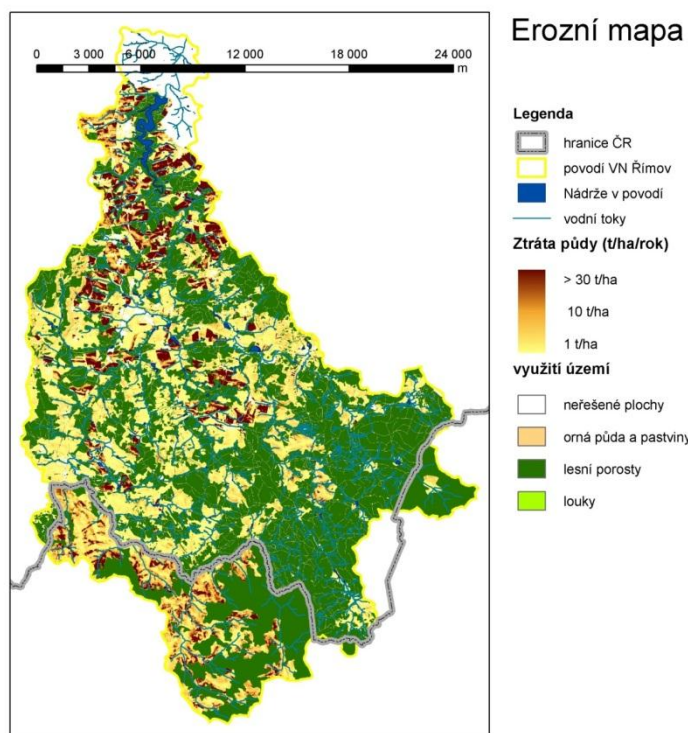
Obrázky (Obr. 4-21 a Obr. 4-22) názorně ukazují vliv vyššího podílu orné půdy v dílčích povodích v okolí nádrže a obecně v okolí Malše. V ostatních povodích s nízkým podílem orné půdy je smyv minimální.

Z tabulky vyplývá, že celkový transport splavenin v povodí podle metody USLE/SDR činí cca 8 900 t.rok<sup>-1</sup>. Retenční kapacita podhorských povodí je zřejmě univerzální metodou částečně podhodnocena. V případě dále použitého modelu WATEM/SEDEM se hodnoty celkového transportu splavenin z povodí pohybují v rozmezí cca 3 700 až 11 000 t (podle celkového množství drobných toků zahrnutého do výpočtu). Pro řešení uvažujeme dále výpočet dle modelu WATEM/SEDEM, a to na dolní hranici uvedeného rozmezí, tedy méně než 4 000 t.rok<sup>-1</sup>. Jedná se o hodnoty celkového transportu bez uvažování návaznosti toků a zachytávání v nádržích, tedy maximální hodnoty na vstupu do toku. V případě metody USLE/SDR již nebylo dále řešeno transportní schéma a zachytávání v nádržích – toto řešení je součástí výpočtu modelem WATEM/SEDEM.

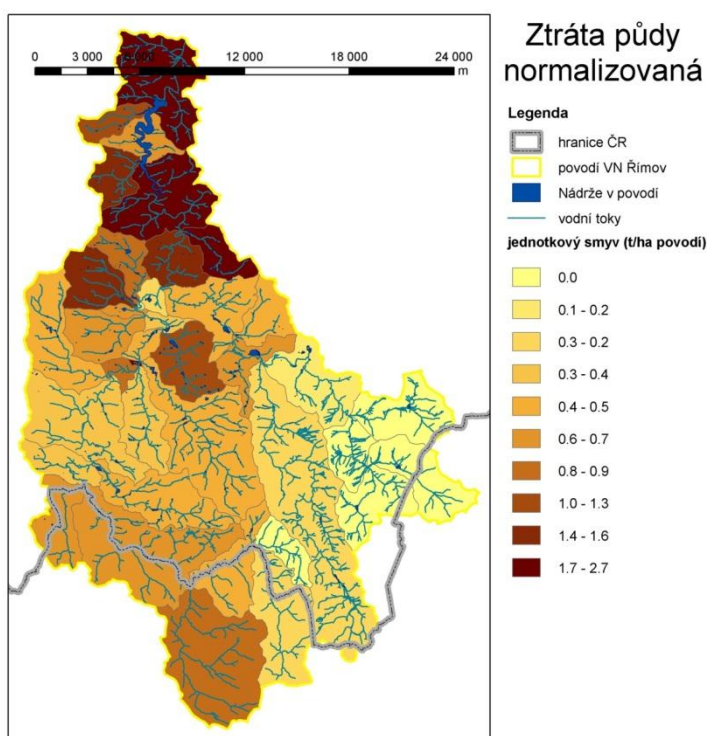
**Tab. 4-13: Hodnoty celkového smyv a transportu splavenin v rámci povodí IV. řádu**

Povodí	Plocha (km <sup>2</sup> )	Celkový smyv (t.rok <sup>-1</sup> )	SDR	SY (t.rok <sup>-1</sup> )	specifický smyv (t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup> )
1-06-02-001	20,44	628	0,20	127	0,31
1-06-02-002	6,08	16	0,26	4	0,03
1-06-02-003	12,91	697	0,26	184	0,54
1-06-02-004	34,33	3449	0,24	824	1,00
1-06-02-005	34,57	2792	0,17	484	0,81
1-06-02-006	10,70	899	0,23	210	0,84
1-06-02-007	7,04	201	0,26	52	0,28
1-06-02-008	17,19	718	0,19	139	0,42
1-06-02-009	24,50	892	0,17	152	0,36
1-06-02-010	16,96	989	0,22	215	0,58
1-06-02-011	2,20	260	0,41	106	1,18
1-06-02-012	10,86	309	0,22	69	0,28
1-06-02-013	0,18	49	0,55	27	2,71
1-06-02-014	32,04	1767	0,18	310	0,55
1-06-02-015	2,79	181	0,30	55	0,65
1-06-02-016	12,45	2101	0,25	519	1,69
1-06-02-017	2,08	62	0,48	30	0,30
1-06-02-018	10,36	944	0,35	334	0,91
1-06-02-019	1,42	127	0,60	76	0,89
1-06-02-020	10,52	2268	0,29	650	2,16
1-06-02-021	0,16	2	0,84	1	0,11
1-06-02-022	7,16	737	0,32	234	1,03
1-06-02-023	2,44	60	0,33	20	0,24
1-06-02-024	14,32	20	0,18	3	0,01
1-06-02-025	12,75	7	0,22	2	0,01
1-06-02-026	7,95	37	0,24	9	0,05
1-06-02-027	14,71	50	0,26	13	0,03
1-06-02-028	15,70	295	0,21	63	0,19
1-06-02-029	53,53	937	0,16	149	0,18
1-06-02-030	8,08	782	0,25	196	0,97
1-06-02-031	7,62	403	0,25	100	0,53
1-06-02-032	13,93	670	0,22	145	0,48
1-06-02-033	9,13	1879	0,26	493	2,06
1-06-02-034	7,13	1788	0,33	596	2,51
1-06-02-035	21,15	5759	0,20	1153	2,72
1-06-02-036	7,07	1480	0,28	414	2,09
1-06-02-037	6,78	659	0,30	200	0,97
1-06-02-038	5,12	821	0,29	239	1,60
1-06-02-039	22,12	853	0,39	329	0,39

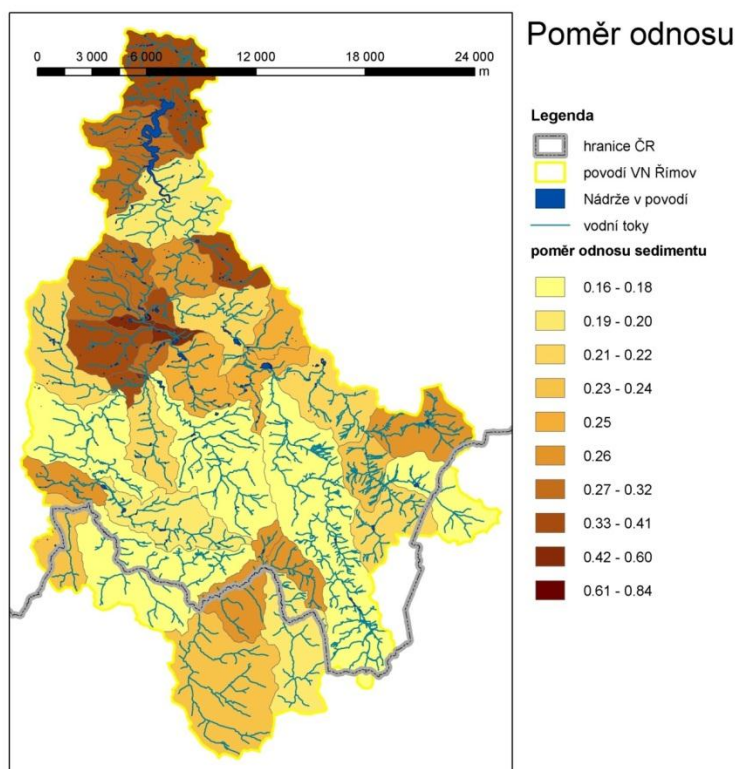




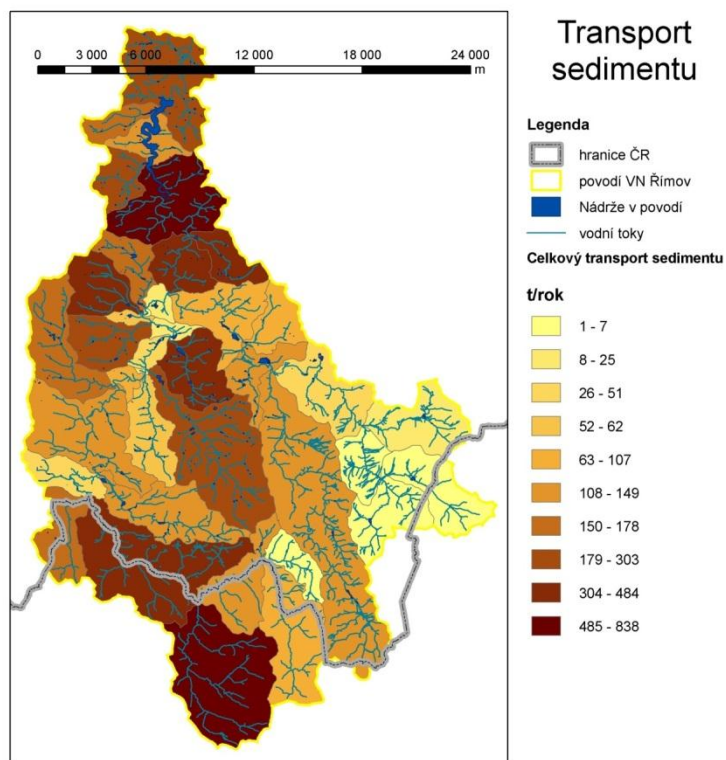
Obr. 4-21: Podrobná mapa ztráty půdy v povodí VN Řimov



Obr. 4-22: Mapa specifické ztráty půdy v jednotlivých dílčích povodích



Obr. 4-23: Poměry odnosu SDR v dílčích povodích



Obr. 4-24: Celkový transport splavenin do toku v jednotlivých dílčích povodích

### 4.3.5 TRANSPORT EROZNÍHO FOSFORU

#### 4.3.5.1 ÚPRAVA MODELU WATEM/SEDEM PRO MODELOVÁNÍ TRANSPORTU FOSFORU

Transport fosforu byl řešen metodicky shodným postupem jako samotný transport splavenin – tedy výpočtem pomocí modelu WATEM/SEDEM při stejném nastavení všech vstupních parametrů. Cílem bylo získat hodnoty  $P_{\text{celk}}$  ( $\text{kg.rok}^{-1}$ ) jako výstup modelu, namísto celkového množství splavenin. Příprava vstupu pro modelování tak spočívala pouze v přípravě doplňující vstupní mapové vrstvy, zaručující redukci celkového množství půdy – splavenin ( $\text{t.rok}^{-1}$ ) – na celkové množství fosforu  $P_{\text{celk}}$  ( $\text{kg.rok}^{-1}$ ).

Při výpočtu byl aplikován zjednodušující předpoklad, spočívající v tom, že celkový fosfor je v erodovaném horizontu přístupný ve formě izotropní směsi – tedy, že je rovnoměrně (adekvátně k hmotnosti) vázán na všechny erodované částice. Tzn. pokud dochází na pozemku k sedimentaci, sedimentuje se zeminou adekvátní (proporčně odpovídající) podíl  $P_{\text{celk}}$ . Jinými slovy, že fosfor je během erozního procesu vždy vázán na danou částici a eroduje (případně sedimentuje) spolu s ní.

Během eroze půdy dochází při oddělení a transportu půdních částic k přednostnímu vymývání jemnější půdní frakce (hlavně půdních koloidů). Tato frakce obsahuje vzhledem ke svému velkému specifickému povrchu hlavní podíl sorbovaného fosforu v půdě. Výsledkem erozního procesu je proto větší obsah fosforu v erodovaném materiálu než v půdě, která byla vystavena erozi. Mluvíme o tzv. **obohacení sedimentu fosforem**.

Vztahem mezi stupněm obohacení a smyvem půdy se poprvé zabývali Massey s Jacksonem (Massey et al., 1952) a odvodili negativní lineární závislost mezi logaritmem poměru obohacení (ER) a logaritmem smyvu vyvolaného přívalovou srážkou. Jinými slovy, čím větší je smyv, tím menší je poměr obohacení. Tato obecná závislost bývá často využívána při modelování ztrát nerozpuštěných živin z půdy během přívalových srážek (např. Knisel, 1980; Sharpley, 1985).

Na základě měřených dat množství celkového a biologicky přístupného fosforu ve splaveninách odvodil Sharpley (1995) pro obecný vztah příslušné koeficienty a získal tak rovnici (R. 4-10):

$$\ln(ER) = 1,21 - 0,16 \cdot \ln(G) \quad \text{R. 4-10}$$

G                      průměrná roční ztráta půdy ( $\text{t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ )

Nevýhodou tohoto empirického vztahu je, že byl odvozen pouze pro jednorázovou srážkovou událost, zatímco v našem řešení se pracuje s průměrným ročním erozním smyvem. Nicméně tento způsob výpočtu je běžně používán a v současné době k němu neexistuje vhodná alternativa.

Jako vstup do rovnice (R. 4-10) byla využita mapa dlouhodobého průměrného smyvu, vypočteného metodou USLE. Kompletní souvislá mapa smyvu (nikoli s vynechanými sedimentujícími lokalitami, tedy nikoli výstup modelu WATEM/SEDEM) byla nutným vstupem pro to, aby byla vrstva poměru obohacení získána v celém území, tedy i v místech s následně modelovanou depozicí. Mapa byla pro určení poměru obohacení omezena maximální hodnotou

smyvu  $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , neboť proces extrémní formy (výmolné eroze) zde metodika neuvažuje. Výsledkem rovnice je mapa poměru obohacení ER.

Dalším vstupem do řešení byla mapa celkového obsahu fosforu v půdách pro povodí VN Římov, odvozená pro jednotlivé půdní typy v mapě KPP 1 : 200 000 (Rosendorf et al., 2001). Mapa musela být rozšířena na území Rakouska, což bylo provedeno prostou analogií na základě půdní mapy – odpovídajícím si půdním typům byly přiřazeny odpovídající si hodnoty celkového fosforu v půdách.

Hodnotu průměrné roční ztráty fosforu je pak možno určit součinem poměru obohacení, celkového fosforu v půdě a ztráty půdy:

$$G_P = G \cdot P_T \cdot ER \quad \text{R. 4-11}$$

$G_P$	celková ztráta erozního fosforu ( $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ )
$G$	celková ztráta půdy – viz. USLE ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ )
$P_T$	průměrný obsah celkového fosforu v půdách ( $\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$ )
$ER$	poměr obohacení splavenin fosforem

Aby mohl být modelován transport fosforu a jeho ukládání spolu se sedimentem, nevyužijeme rovnici (R. 4-11) k výpočtu transportu, ale pouze k výpočtu faktoru potenciálního transportu fosforu jako redukčního součinitele v metodice USLE v podobě, v jaké je implementována v modelu WATEM/SEDEM. Jediný faktor USLE vstupující do WATEM/SEDEM v podobě mapy a nepodílející se na metodice transportu a retence na krajinných prvcích land-use je faktor erodovatelnosti K. Nahradíme tedy K faktorem faktorem potenciální erodovatelnosti celkového fosforu a rovnici upravíme do podoby:

$$K_P = K \cdot P_T \cdot ER / 1000 \quad \text{R. 4-12}$$

$K_P$	potenciální erodovatelnost celkového fosforu $P_{\text{CELK}}$ ( $\text{kg} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ )
$K$	K faktor – viz. USLE ( $\text{t} \cdot \text{h} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ )
$P_T$	průměrný obsah celkového fosforu v půdách ( $\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$ )
$ER$	poměr obohacení splavenin fosforem

Pomocí rovnice (R. 4-12) je vypočtena mapa potenciální erodovatelnosti fosforu a použita jako vstupní vrstva náhradou za vrstvu K faktoru v modelu WATEM/SEDEM. Výstupem modelu pak jsou hodnoty průměrného transportu celkového fosforu  $P_{\text{CELK}}$  povodím a vodními toky ( $\text{kg} \cdot \text{rok}^{-1}$ ).

#### 4.3.5.2 VÝSLEDKY MODELU

Parametry modelu WATEM/SEDEM byly s výjimkou vrstvy K faktoru nastaveny stejně jako v případě modelování transportu splavenin. Celkový smyv erozního fosforu v povodí činí cca  $62\,500 \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Průměrný transport erozního celkového fosforu do toku v rámci celého povodí VN Římov činí dle modelu cca  $3\,850 \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

Tabulka (Tab. 4-14) shrnuje hodnoty průměrného transportu celkového erozního fosforu uzávěrovými profily dlouhodobého monitoringu Povodí Vltavy, s.p.

**Tab. 4-14: Transport splavenin a celkového erozního fosforu podle modelu WATEM/SEDEM (WAT/SED); profily vybrané pro porovnání modelových a monitorovaných hodnot jsou seřazeny dle velikosti příslušného povodí**

měrný profil	Plocha povodí (km <sup>2</sup> )	WAT/SED splaveniny (t.rok <sup>-1</sup> )	WAT/SED P <sub>CELK</sub> (kg.rok <sup>-1</sup> )
1-06-02-035 Podhorský potok - Chlum (2659)	3	9	2
1-06-02-034 Budský potok - Malče hráz (2658)	7	72	38
1-06-02-016 Dobečovický p. - Mostky (2626)	10	23	29
1-06-02-018 Strádovský p. - Kaplice (2627)	10	168	80
1-06-02-010 Zdíkovský p. - Zdíky (2623)	16	82	59
1-06-02-008 Tichá - Rychnov n. Mal. (2621)	17	66	61
1-06-02-029 Pohořský p. - Radčice (2630)	20	127	98
1-06-02-014 Kamenice - Květoňov nad (2624)	31	70	35
1-06-02-014 Kamenice - Květoňov hráz (2625)	33	22	16
1-06-02-007 Malše - Dolní Dvořiště (3922)	125	399	432
1-06-02-009 Malše - Rychnov n. Mal. (2602)	135	494	542
1-06-02-032 Černá - Blansko (2631)	145	368	256
1-06-02-019 Malše - Kaplice nad (2603)	240	897	750
1-06-02-023 Malše - Blansko (2605)	280	1 262	868
1-06-02-033 Malše - Pořešín (3923)	445	1 695	1 130
<b>1-06-02-039 Malše - Římov</b>	<b>2609</b>	<b>2 548</b>	<b>1 400</b>

Celkové množství splavenin průměrně vstupující dle modelu WATEM/SEDEM do VN Římov činí cca 2550 t.rok<sup>-1</sup>.

Celkové vypočtené množství erozního fosforu vstupující do VN činí 1400 kg.rok<sup>-1</sup>. Tyto hodnoty je samozřejmě nutno uvažovat jako odhadnuté dlouhodobé průměry, kolem nichž mohou konkrétní hodnoty pro jednotlivé roky kolísat ve velmi širokém rozmezí.



## 5 ZÁVĚR

Cílem habilitační práce bylo přiblížit čtenáři jednotlivé aspekty erozního modelování ve velkých povodích, jejich možnosti, limity, výhody i omezení.

**První kapitola** práce obsahuje stručný popis základních principů modelů vodní eroze a GIS. Zde bylo záměrem pouze nastínit problematiku případným laikům, protože podrobněji je uvedena problematika autorem i mnoha dalšími autory rozvedena v související literatuře.

Dále se již práce zaměřila na nové aspekty a poznatky v použití erozních modelů v ČR, a to zejména s ohledem na modelování ve velkých povodích, jež je autorovou doménou. Jedná se o problematiku specifickou, neboť v posledních deseti letech prošla v ČR poměrně výrazným vývojem. Specifikum přípravy map erozní ohroženosti tkví (stejně jako u jiných odvětví aplikované geoinformatiky) zejména v tom, že rychlý rozvoj výpočetní techniky a výrazný posun v dostupnosti a podrobnosti mapových zdrojů vedl mnohé k velkému optimismu, co se možností využití výstupů erozních modelů ve velkých měřítcích týká. Pokud v roce 2001 byla mapa erozní ohroženosti a transportu splavenin vypočtená metodou USLE v rozlišení 50 m pro celou ČR v Evropě ojedinělým výstupem, o několik let později byly v mnoha zemích publikovány výstupy podrobnější a mapu s rozlišením 10 m vytvořenou v roce 2009 VÚMOP, v.v.i. lze čistě teoreticky považovat za výstup s podrobností až o řád vyšší. Ovšem rozlišení dat není jediným kritériem kvality a podrobnosti výstupu.

Autor práce se proto v uplynulých deseti letech věnoval souvislému výzkumu v oblasti jednak erozních modelů, zejména však dostupných datových zdrojů, jejich přípravě i odstraňování chyb, a konečně přínosu začlenění různých zdrojů dat do modelů. Autorova **dizertační práce** (Krása, 2004) přinesla jednak přehled do té doby použitelných zdrojů dat, jednak do českého prostředí uvedla simulační model WATEM/SEDEM, jehož testováním a úpravami se autor cíleně zabýval během roční stáže na univerzitě v belgickém Leuvenu. Uvedenou dizertační práci lze považovat ve spojení s touto prací za jakýsi komplet, v řadě případů je na ni zde autorem odkazováno. První významná autorova publikace využívající data českých povodí pro srovnávací analýzu modelem WATEM/SEDEM byla publikována v časopise *Hydrobiologia* již v roce 2003 (Van Rompaey et al. 2003). Od roku 2004 měl autor, již jako zaměstnanec fakulty stavební ČVUT v Praze, možnost spolupracovat nejen s kolektivem katedry, ale též s řadou svých studentů na testování dalších modelů a na provedení řady kalibračních i srovnávacích studií v řadě povodí. Významně se tak rozšířily poznatky o možnostech jednotlivých nástrojů i o jejich věrohodnosti. Výsledky tohoto výzkumu jsou proto shrnuty v následujících kapitolách.

**V kapitole dvě** jsou představeny dostupné nástroje pro modelování vodní eroze a transportu splavenin ve velkých povodích. Výčet se soustřeďuje na modely empirické, kontinuální, jejichž výstupem mohou být mapy erozní ohroženosti, případně návrhy protierozních opatření. Kromě již zmíněných nástrojů USLE a WATEM/SEDEM jsou uvedeny výsledky testování metod a modelů: USLE/GIS s různými variantami určení transportu splavenin, USLE2D, Eroze (Atlas DMT), RUSLE (IDRISI), metod směřování odtoku a metod výpočtu LS faktoru v rastrovém GIS. Z testovaných přístupů poskytuje nejpřesnější výsledky při modelování transportu splavenin model WATEM/SEDEM; pro určení LS faktoru v metodě USLE software USLE2D (v modelu WATEM/SEDEM je částečně implementovaný).

**Třetí kapitola** je celá věnována přehledu a testování datových zdrojů. Kvalitní datové podklady jsou nezbytnou podmínkou věrohodných výstupů modelů. V případě použití metody USLE v podmínkách ČR byl na začátku tisíciletí velkou slabinou faktor erozní účinnosti srážek. Autorem vedený výzkum se proto soustředil nejprve na tuto oblast. Výsledkem několikaletého zajišťování podkladů a metodik je revidovaná „**mapa dlouhodobého erozního účinku srážek**“ (Dostál et al., 2006), prezentovaná v kapitole 3.1.4. Výzkum v této oblasti se nezastavil, a proto jsou v kapitole 3.1.6 představeny i poslední poznatky o využití radarových dat k určení R faktoru a výhledy výzkumu do následujících let.

Ostatní erozní faktory byly rovněž podrobeny kritickému rozboru a vyhodnocením řady statistických údajů pak byla sestavena „**mapa ochranného účinku vegetace** na orné půdě v jednotlivých okresech ČR“, včetně analýz trendů pěstování plodin za poslední desetiletí. Výškopisná data jsou testována kontinuálně, tak jak se s postupem vývoje v této oblasti v ČR výrazně zpřesňují a zpodrobňují. Kvalitní **výškopis** je kritickým podkladem pro řadu aplikací nejen v oblasti modelování eroze půdy, a tak vlivem velké poptávky zažívá v ČR opravdu významný vývoj. Přesto, že jsou dnes dostupná data s garantovanou poměrně vysokou věrohodností (co se týká nadmořské výšky a lomových hran terénu), v oblasti odtokového modelování nejsou dosud v ČR dostatečně testována ani ověřována. Proto se i v nejpřesnějších podkladech vyskytují chybové lokality a autor si dovoluje tvrdit, že bez jednoznačného a konkrétního ověření modelových výstupů **není na základě analýz velkých povodí možno stanovovat závazné limity využití území a dimenzovat technické prvky protierozní ochrany v krajině.**

**Čtvrtá, závěrečná, kapitola** prezentuje případové studie, uzavírající a završující celou problematiku erozního modelování, zejména s ohledem na nejnovější trendy výzkumu kolektivu pracoviště autora. Ten se orientuje směrem k podrobnému výzkumu dopadu erozních procesů na kvalitu vodních zdrojů. V posledních desetiletích bylo již jednoznačně prokázáno, že hlavní příčinou degradace povrchových vod vlivem eutrofizace je fosfor a jeho sloučeniny ve vodě. Nedostatečně je však prozkoumán podíl erozního fosforu (vázaného na splaveniny) na celkové bilanci fosforu v povodí.

Z tohoto důvodu je po představení posledních verzí hlavního produktu autorského kolektivu, **mapy ztráty půdy pro ČR**, a po prokázání limitovaných možností GIS v oblasti navrhování technických protierozních opatření bez místního šetření představen také aktuální výstup právě řešeného projektu NAZV – „**Určení podílu erozního fosforu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod**“, jehož je autor odpovědným řešitelem. Studie transportu splavenin a erozního fosforu v povodí VN Římov je ukázkou nového směru výzkumu a trendu, kterým se bude výzkum dále ubírat. Jak je naznačeno již v publikované studii, nedílnou součástí výzkumu jsou kalibrace používaných metod a trvalý monitoring na tocích a v povodích. S ohledem na zaměření celé práce (studium vodní eroze) byla studie prezentována bez jejích dalších částí, které vycházejí z bilance ostatních zdrojů fosforu v povodích a jsou ve spolupráci řešeny Biologickým centrem AV ČR a Výzkumným ústavem vodohospodářským TGM. Zájemce o tuto zajímavou problematiku autor odkazuje na budoucí další výstupy uvedeného projektu.

Závěrem zbývá pouze říci, že problematika výzkumu vodní eroze v České republice rozhodně není uzavřenou kapitolou. Naopak, s rozkolísaným klimatem a nevyrovnanou kvalitou povrchových vod v ČR potřeba důkladného studia erozních procesů stále roste.

## 6 LITERATURA

- ARNOLDUS, H.M.J.: An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation, pp.127-132. In DeBoodt, M. and Gabriels, D. (ed.) Assessment of erosion. John Wiley & Sons, Chichester, 1980
- BEK S., JEŽEK J., KRÁSA J.: Mapping Rainfall Erosivity using Weather Radar Data, poster, conference IPC-10, Coimbra, Portugal, 2010a
- BEK S., JEŽEK J.: Mapping Rainfall Erosivity using Weather Radar Data. Advances in Water Resources, Special Issue: IPC-10, 2010b, in review
- BROWN C. B.: The control of reservoir silting, United States Department of Agriculture, Misc. Pub. No 521, 1944
- BRUNE G. M.: Trap efficiency of reservoirs. Trans Am. Geophys. Union. Vol., 34, No. 3, p. 407 - 418, 1953
- DAVID V., KRÁSA J., KOUDELKA P., STROUHAL L., DOSTÁL T., et al.: Povodňová rizika a jejich prevence v malých a středních povodích, výzkumná zpráva projektu C22-OC189/2009, Praha, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliací a krajinného inženýrství, 2009
- DESMET P. J. J., GOVERS G.: A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5): 427-433, 1996
- DOSTÁL T. et al.: Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině, výzkumná zpráva projektu COST 634, ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra hydromeliací a krajinného inženýrství, 2007
- DOSTÁL T. et al.: Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině, výzkumná zpráva projektu COST 634, ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra hydromeliací a krajinného inženýrství, 2006
- DOSTÁL T. et al.: Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině, výzkumná zpráva projektu COST 634, ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra hydromeliací a krajinného inženýrství, 2004
- DOSTÁL T. et al.: Metody a způsoby predikce povrchového odtoku, erozních a transportních procesů v krajině, výzkumná zpráva projektu COST 634, ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra hydromeliací a krajinného inženýrství, 2005
- DOSTÁL T., KRÁSA J., NOVÁKOVÁ H., VÁŠKA J., VRÁNA K.: Erozní a transportní procesy v povodí VN Vrchlice, dílčí zpráva projektu VaV/510/4/98 za rok 2002, ČVUT v Praze, Praha, 2002
- DOSTÁL T., KRÁSA J., VÁŠKA J., VRÁNA K.: Mapa erozní ohroženosti půd a transportu sedimentu v České republice, dílčí zpráva projektu VaV/510/4/98 za rok 2001, koordinátor VÚV TGM Praha, ČVUT, Praha, 2001
- DOSTÁL T., KRÁSA J., KOLÁČKOVÁ J., NOVÁKOVÁ H., VÁŠKA J., VESELÁ J., VRÁNA K.: Metody odhadu erozní ohroženosti a transportu sedimentu z povodí, závěrečná zpráva projektu COST OC 623.001, Fakulta stavební ČVUT v Praze, ČVUT, Praha, 2003
- DOSTÁL T., KRÁSA J.: GIS a životní prostředí. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliací a krajinného hospodářství, 2009. 43 s.
- DOSTÁL T., VRÁNA K., KRÁSA J., JAKUBÍKOVÁ A.: Moderní přístupy k řešení protierozní ochrany a omezování transportu sedimentu, in Krajinné inženýrství 2008, Pardubice: Česká společnost krajinných inženýrů, ČSSI, 2008, s. 60-69. ISBN 978-80-903258-7-6
- DUMBROVSKÝ M., et al.: Návrh strukturálního řešení protierozních a protipovodňových opatření v povodí Dědiny., ČÁST B - NÁVRHY PROTIEROZNÍCH A PROTIPOVODŇOVÝCH OPATŘENÍ V PLOŠE POVODÍ, souhrnná zpráva, EKOTOXA s.r.o., Kosmákova 28, Brno – Židenice, září, 2007

- GABRIELS D., VERMEULEN A., VERBIST K., VAN MEIRVENNE M.: Assesment of rain erosivity and precipitation concentration in Europe. Proceedings of 25 Years of Assesment of Erosion symposion. Ghent University, Ghent, Belgium. p. 87 – 92. 2003
- HALCROW WATER: Sedimentation in Storage Reservoirs, Final Report, Department of Environment Transport and the Regions, 2001, dostupné na internetu: Sedimentation in Storage Reservoirs.pdf, dne: 15.12.2010, URL:  
<http://mahabghodss.net/NewBooks/www/web/digital/booklatin/engineering/30/Sedimentation%20in%20Storage%20Reservoirs.pdf>
- HOLUBOVÁ K.: Zjednodušená studie erozní ohroženosti s využitím ArcGIS, bakalářská práce. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2009
- HOLÝ M. et al.: Experimentální a teoretické vyšetření vztahů mezi základními erozními faktory a intenzitou erozních procesů, závěrečná zpráva výzkumného úkolu P 16-329-059-01/1.1, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 1975
- HOLÝ M.: Eroze a životní prostředí, ČVUT, Praha, 1994
- CHURCHILL M. A.: Discussion of 'Analysis and use of reservoir sedimentation data', by L. C. Gottschalk. Proceedings of the Federal Inter-Agency Sedimentation Conference, Denver, Colorado 1947, pp. 139-140. 1948
- JANEČEK M. et al: Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodika, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i, Praha, 2007
- JANEČEK M, et al.: Ochrana zemědělské půdy před erozí, Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe 5/1992, ÚVTIZ Praha, 1992.
- JANEČEK M, et al.: Základy erodologie, skriptum, Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze, 2008, ISBN 978-80-213-1842-7
- JANEČEK M, et al.: Ochrana zemědělské půdy před erozí, ISV nakladatelství, Praha, 2002, ISBN – 85866-86-8
- KIRKBY M. J. et al.: European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format, 2004
- KNISEL W. G.: CREAMS A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion From Agricultural Management Systems. USDA. 1982. Conservation Research Report No. 26.
- KRÁSA J.: Testování různých algoritmů pro výpočet transportu sedimentu z povodí za podpory GIS, diplomová práce, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Praha, 1999
- KRÁSA J., DOSTÁL T., VRÁNA K., DAVID V., UHLÍŘOVÁ K., et al.: Aplikace strukturovaného přístupu k řešení srážkoodtokových vztahů v povodích v podmínkách ČR, in: Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2005, s. 88-93. ISBN 80-01-03378-3
- KRÁSA J., DOSTÁL T., VRÁNA K.: Erozní mapa ČR a její využití, Vodní hospodářství, 2010, roč. 2010a, č. 2, s. 28-31. ISSN 1211-0760
- KRÁSA J., DOSTÁL T., VRÁNA K.: Revidovaná podrobná mapa ztráty půdy pro území ČR. In Sborník z 15. ročníku mezinárodního sympozia GIS Ostrava 2008. Ostrava: Tanger, 2008, ISBN 978-80-254-1340-1
- KRÁSA J.: Hodnocení erozních procesů ve velkých povodích za podpory GIS, doktorská práce. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2004. 175 s.
- KRÁSA J. et al.: Určení podílu erozního fosforu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod, dílčí zpráva projektu NAZV ev. č. QI102265, ČVUT v Praze, fakulta stavební, katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 2010b
- KŘÍŽOVÁ L.: Výpočet ztráty půdy v povodí kolešovického potoka v prostředí GIS – porovnání metod a výstupů, diplomová práce. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2008

- KUBÁTOVÁ E., JANEČEK M., KOBZOVÁ D.: Time Variations of Rainfall Erosivity Factor in the Czech Republic, *Soil & Water Res.*, 4, 2009 (4): 131–141
- LIU H. et al.: Suitability of S factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes, *Catena* 77, 2009, s. 248–255
- MASSEY H. F., JACKSON M. L.: Selective erosion of soil fertility constituents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1952, 16, 353-356
- MC COOL D.K., FOSTER G.R., MUTCHLER C.K. AND MEYER L.D.,: Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE*, 32, 1571-1576. 1989
- MISHRA S. K. – SINGH V. P.: *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*, Kluwer Academic Publishers. 2003.
- MITASOVA H., MITAS L., BROWN W.M., JOHNSTON D.M.: Multidimensional soil erosion/deposition modeling and visualization using GIS, Geographic Modeling and Systems Laboratory, University of Illinois at Urbana-Champaign, for U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, Final report 1993 – 1998, Urbana, Illinois, December 1998
- NEARING M. A.: Why Soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses, *Catena*, Vol 32, p. 15-22, 1998.
- NĚMEČEK, J. et al: *Taxonomický klasifikační systém půd České Republiky*. Praha: ČZU Praha, 2001.
- NOVOTNÝ I. et al.: Potenciální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí - vyjádřená dlouhodobým průměrným smyvem půdy, VÚMOP v.v.i. 2010, mapa dostupná z Internetu. URL:  
[http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml\\_eroze/](http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml_eroze/)
- OLIVIER, J.E.: Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer* 32: 300 – 309., cit. dle (Gabriels et al., 2003). 1980
- RÖMKENS M. J. M., PRASAD S. N., POESEN J. W. A.: Soil erodibility and properties. *Trans 13th congress of th. Int. Soc. of Soil Sci.*, Hamburg, Germany 5, p. 492 – 504. 1986
- ROSENDORF P. (editor): „Omezování plošného znečištění povrchových a podzemních vod v ČR“, projekt Rady vlády ČR pro výzkum a vývoj VaV/510/4/98, etapová zpráva za rok 2001, 2001, 166 s.
- SEDLICKÝ J.: Zjednodušená studie erozní ohroženosti a posouzení zanášení VN Květoňov, diplomová práce. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2009
- ŠÁLEK J., MIKA Z., TRESOVÁ A.: *Rybníky a účelové nádrže*. SNTL Praha, 1989
- SHARPLEY A. N.:The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Sci. Soc. of Am. Journal*. 1985, 49 (6): 1527-1534
- SHARPLEY A. N.: Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *J. Environ. Qual.*, 1995, 24, 920-926
- ŠIMEK O.: Výpočet ztráty půdy v povodí Kolečovického potoka s použitím programu Atlas DMT diplomová práce, Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2009.
- SOKOL Z., BLIŽŇÁK V.: Areal distribution and precipitation–altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year, *Atmos. Res.*, doi: 10.1016/j.atmosres.2009.03.001, 2010, in press.
- SZOMOLAI OVÁ G.: Erozní studie a testování modelu RUSLE v povodí vodní nádrže Hostivař pomocí GIS, diplomová práce. Praha, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2007
- TOMAN F., SANETRŇÍK J., FILIP J.: Vliv klimatických podmínek na faktor erozní účinnosti příválových dešťů, *Agrometeorologická konference 93. Sborník referátů*. ČBkS, Brno, 25.-26.11.1993, s. 67-69, 1993
- TOMAN F.: Výskyt erozně nebezpečných dešťů ve stanici Telč, zpráva výzkumného záměru J08/98:43210001, MZLU Brno, 1995



- VAN DER KNIJFF J. M., JONES R. J. A., MONTANARELLA L. – Soil Erosion Risk Assessment in Europe, Space Application Institute, European Soil Bureau, Italy, 2000
- VAN ROMPAEY A.J.J., VERSTRAETEN G., VAN OOST K., GOVERS G., POESEN J.: Modelling MEAN Annual Sediment Yield Using a Distributed Approach, KU Leuven, Belgium, 2000
- VAN ROMPAEY A. J. J.: Geomorphic and Land Use Change Modelling at a Regional Scale, PHd thesis, Department of Geology and Geography, KU Leuven, Belgium, 2001
- VAN ROMPAEY A. J. J., KRÁSA J., DOSTÁL T., GOVERS G.: Modelling Sediment Supply to Rivers and Reservoirs in Eastern Europe during and after the Collectivisation Period. *Hydrobiologia*. 2003, no. 494, p. 169-176. ISSN 0018-8158
- WILLIAMS J. R.: Sediment delivery ratio determined with sediment and runoff models, 1977, In. Janeček et al., 1992
- WISCHMEIER W. H., SMITH D. D.: 1965: Predicting Rainfall Erosion Losses from cropland east of the rocky mountains. *Agric. Handbook 282*, Washington, 1965
- WISCHMEIER W. H., SMITH D. D.: Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. *Agr. Handbook No. 537*, US Dept. of Agriculture, Washington, 1978
- YANG C. T. et al.: RECLAMATION – managing water in the west / Erosion and Sedimentation Manual, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Sedimentation and River Hydraulics Group, Denver, Colorado, 2006

## 7 REJSTŘÍKY A SEZNAMY

## 7.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2-1: Závislost celkového transportu sedimentu z povodí při použití SDR na průměrné ploše dílčího podpovodí, aplikace v povodí Sedlického potoka (Krejza, 1999) .....	17
Obr. 2-2: Rozhraní modelu WATEM/ SEDEM 2.1.0; hlavní výstupy modelu.....	21
Obr. 3-1: Mapa izolinií R faktoru dle původní doporučené metodiky (Janeček et al., 1992) .....	33
Obr. 3-2: Výsledná mapa první regionalizace R faktoru pro ČR.....	34
Obr. 3-3: Vzájemná korelace indexu MFI, letních úhrnů a nadmořské výšky jednotlivých stanic	37
Obr. 3-4: Normalizace R faktoru.....	38
Obr. 3-5: Výsledné rozmezí hodnot R faktoru stanoveného na základě průměrných letních měsíčních úhrnů (květen - říjen) .....	38
Obr. 3-6: Rozložení stanic a jejich výsledné hodnoty R faktoru.....	39
Obr. 3-7: Výsledná mapa druhé regionalizace R faktoru pro ČR .....	40
Obr. 3-8: Přehled stanic s dostupným kontinuálním měřením nad DMT .....	44
Obr. 3-9: Přehled stanic nad mapou R faktoru (1962 - 2001) .....	45
Obr. 3-10: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2000 .....	53
Obr. 3-11: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2001 .....	53
Obr. 3-12: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2002 .....	54
Obr. 3-13: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2003 .....	54
Obr. 3-14: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2004 .....	55
Obr. 3-15: Hodnota R faktoru a jeho vazba na nadmořskou výšku stanice v roce 2005 .....	55
Obr. 3-16: Grafické vyjádření vzájemného vztahu R faktoru a nadmořských výšek jednotlivých stanic při seřazení stanic podle nadmořské výšky .....	56
Obr. 3-17: Vývojový trend celkových hodnot R faktoru v jednotlivých stanicích a letech.....	57
Obr. 3-18: Mapy rozložení R faktoru v jednotlivých stanicích (oblastech) a letech .....	58
Obr. 3-19: Hodnoty erozivity v jednotlivých stanicích – průměr let 2000 - 2005.....	62
Obr. 3-20:: Plošná interpolace hodnot erozivity – průměr z let 2000 - 2005.....	62
Obr. 3-21: Porovnání erozivity a umístění stanic regionalizace z let 1962 – 2001 (kroužky) a regionalizace z let 2000 – 2005 (čtverce); odpovídající si hodnoty vyznačeny stejnou barvou	63

Obr. 3-22: Porovnání erozivit za pomoci rozdílové vrstvy nové a minulé regionalizace; nové stanice opět symbolizovány čtverci (a číselnými hodnotami), stanice s dlouhodobými úhrny kroužky .....	63
Obr. 3-23: Výsledná mapa R faktoru pro současné období počínaje rokem 2000 .....	64
Obr. 3-24: Mapa nejistot v hodnotě R faktoru – 0 = nejvyšší riziko chyby, 100 = měřená stanice	65
Obr. 3-25: Stanice kontinuálního měření (černě) na podkladu prostorového rozložení R faktoru dle radaru (Bek et al., 2010b).....	66
Obr. 3-26: Chybové lokality v komerční vrstvě DTM GEODIS Brno (Novohradské hory) .....	70
Obr. 3-27: Porovnání vrstvy sklonů v kritických oblastech chybějících vrstevnic na území Severočeské uhelné pánve v databázi DMÚ 25. Interpolace INTERCON (IDRISI) versus CONIC (Geomatice).....	71
Obr. 3-28: Porovnání jednotlivých metod odvození DMT a jejich dopadu na průběh dna v oblastech širokých údolí s minimálním sklonem a jednotlivými vrcholy a zahloubeními.....	72
Obr. 3-29: Porovnání odtokových drah (údolnic) vygenerovaných v prostředí rastrového GIS na základě jednotlivých DMT.....	73
Obr. 3-30: Výsledný DMT v rozlišení 25m odvozený z databáze DMÚ 25.....	74
Obr. 3-31: Časový graf změn v osevních plochách kukuřice v jednotlivých okresech v období 1996 - 2001 .....	87
Obr. 3-32: Změny C faktoru na orné půdě v jednotlivých okresech a letech vyjádřené časovým grafem .....	88
Obr. 3-33: Vývoj celkových výměr osevních ploch v jednotlivých okresech .....	89
Obr. 3-34: Přehledná mapa průměrného C faktoru na zemědělských pozemcích – porovnání jednotlivých povodí IV. řádu ukazuje též na podíl deklarovaných TTP v jednotlivých povodích.	90
Obr. 3-35: Vývoj průměrných hodnot C faktoru na orné půdě v jednotlivých okresech v letech 1995 - 2001 .....	91
Obr. 4-1: Vybrané datové vrstvy začleněné do aktuálních Plánů oblastí povodí.....	95
Obr. 4-2: Specifická ztráta půdy v povodích IV. řádu.....	96
Obr. 4-3: Poměr odnosu splavenin SDR v povodích IV. řádu .....	97
Obr. 4-4: Specifický transport splavenin do toků v povodích IV. řádu.....	98
Obr. 4-5: Testovací lokality v rámci ČR.....	104
Obr. 4-6: Porovnání celkové výměry ZPF a míry zornění v modelových povodích – pouze na základě LPIS – tedy pro řešené pozemky .....	106

Obr. 4-7: Histogramy počtů pozemků – porovnání sklonitosti pozemků v obou hlavních kategoriích využití.....	107
Obr. 4-8: Přehledové mapky ztráty půdy v modelových povodích.....	109
Obr. 4-9: Počty navržených TPEO prvků v jednotlivých povodích .....	111
Obr. 4-10: Hodnoty teoreticky stanovené přípustné délky na pozemcích povodí Bradavy.....	113
Obr. 4-11: Porovnání vícesměrného a jednosměrného (osmisměrného) odtoku .....	114
Obr. 4-12: Přehled záchytných TPEO navržených metodami GIS .....	117
Obr. 4-13: Porovnání rozdílu v počtech nalezených údolnic u jednosměrného a vícesměrného stanovení odtoku .....	118
Obr. 4-14: Výsledná vrstva DMT – výškopis celého povodí včetně přeshraničních oblastí.....	124
Obr. 4-15: Mapa využití území .....	125
Obr. 4-16: Porovnání vodních toků z jednotlivých zdrojů a výsledná řešená vrstva.....	128
Obr. 4-17: Přímé odvození vztahu mezi plochou vodní nádrže a jejím objemem .....	131
Obr. 4-18: Transport splavenin jednotlivými úseky toku (zobrazeny vybrané úseky) .....	135
Obr. 4-19: Korelace mezi výpočtem WATEM/SEDEM a monitoringem .....	137
Obr. 4-20: Profily trvalého monitoringu Povodí Vltavy, s.p. využité pro porovnání s modelem WATEM/SEDEM.....	138
Obr. 4-21: Podrobná mapa ztráty půdy v povodí VN Římov .....	141
Obr. 4-22: Mapa specifické ztráty půdy v jednotlivých dílčích povodích.....	141
Obr. 4-23: Poměry odnosu SDR v dílčích povodích.....	142
Obr. 4-24: Celkový transport splavenin do toku v jednotlivých dílčích povodích.....	142

## 7.2 SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1: Vstupní parametry modelu WATEM/SEDEM – doporučené hodnoty pro ČR.....	19
Tab. 2-2: Příklad vstupního souboru *.txt .....	20
Tab. 2-3: Struktura souboru Pond Sediment Deposition.txt .....	22
Tab. 2-4: Struktura souboru projectriversediment.txt .....	22
Tab. 3-1: Vypočtené hodnoty R faktoru na základě ombrogramových záznamů .....	34

Tab. 3-2: Klasifikace MFI podle projektu CORINE .....	35
Tab. 3-3: Klasifikace PCI .....	36
Tab. 3-4: Základní erozní parametry srážek na základě měsíčních úhrnů pro 87 stanic ČR.....	41
Tab. 3-5: Stanice s dostupnými minutovými úhrny a vypočtená hodnota R faktoru.....	43
Tab. 3-6: Průměrné hodnoty R faktoru ( $N.h^{-1}$ ) pro celou ČR v jednotlivých letech .....	47
Tab. 3-7: Hlavní statistické údaje o erozivě srážek v jednotlivých stanicích a letech.....	47
Tab. 3-8: Základní přehled stanic a hodnot R faktoru v jednotlivých letech .....	52
Tab. 3-9: Výsledná tabulka hodnot R po regionalizaci a redukci extrémních hodnot.....	61
Tab. 3-10: Rozložení hodnot R faktoru během vegetačního období (Kubátová et al., 2009) .....	66
Tab. 3-11: Vrstvy ZABAGED jako zdroj mapy využití území .....	78
Tab. 3-12: Tabulka vegetačních kategorií z databáze LPIS (2007).....	82
Tab. 3-13: Průměrné roční hodnoty C faktoru na orné půdě v jednotlivých okresech .....	86
Tab. 4-1: Hodnoty přípustné ztráty půdy v ČR.....	100
Tab. 4-2: Rozmezí hodnot exponentu Q.....	101
Tab. 4-3: Základní charakteristiky testovacích lokalit.....	105
Tab. 4-4: Porovnání charakteristik pozemků uvnitř řešených povodí.....	106
Tab. 4-5: Porovnání ztráty půdy na pozemcích uvnitř řešených povodí.....	108
Tab. 4-6: Porovnání modelových povodí – počty a rozsahy navržených TPEO.....	110
Tab. 4-7: Přehled počtu navržených TPEO jednotlivými metodami GIS .....	116
Tab. 4-8: Validace postupu odvození objemů vodních nádrží na základě jejich plochy.....	130
Tab. 4-9: Hodnoty C faktoru pro kategorie LPIS.....	132
Tab. 4-10: Vstupní parametry modelu WATEM/SEDEM pro povodí VN Římov.....	133
Tab. 4-11: Zachycení splavenin a fosforu v nádržích – výstupy WATEM/SEDEM .....	134
Tab. 4-12: Porovnání průměrného ročního transportu nerozpuštěných látek (NL) na základě monitoringu (2000-2009) s transportem splavenin podle modelu WATEM/SEDEM (WAT/SED). Profily jsou seřazeny dle velikosti příslušného povodí .....	136
Tab. 4-13: Hodnoty celkového smyvu a transportu splavenin v rámci povodí IV. řádu.....	140



Tab. 4-14: Transport splavenin a celkového erozního fosforu podle modelu WATEM/SEDEM (WAT/SED); profily vybrané pro porovnání modelových a monitorovaných hodnot jsou seřazeny dle velikosti příslušného povodí.....145

### 7.3 SEZNAM ZKRATEK

AV ČR	Akademie věd ČR
BPEJ	bonitovaná půdně ekologická jednotka
CLC	corine land cover
CORINE	evropská databáze využití území v měřítku 1 : 100 000
ČGS	Česká geologická služba
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DIBAVOD	digitální báze vodohospodářských dat, internetový portál VÚV TGM
DMT, DTM	digitální model terénu
DMÚ 25	digitální model území, databáze v měřítku 1 : 25 000
DPZ	dálkový průzkum Země
FSv ČVUT	Fakulta stavební Českého vysokého učení technického v Praze
GIS	geografický informační systém
KHMKI	Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
KPP	komplexní průzkum půd
LPIS	databáze půdních bloků určená pro evidenci hospodařících subjektů
MZe ČR	Ministerstvo zemědělství České republiky
OP	orná půda
PEO	protierozní opatření (ochrana)
RUSLE	Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy
SDR	poměr odnosu splavenin
SY	celkový transport splavenin z povodí
TE	poměr zachycení sedimentu v nádržích
TPEO	technická protierozní opatření
TTP	trvalý travní porost
USLE	Univerzální rovnice ztráty půdy
VD	vodní dílo
VGHMÚŘ, VTOPÚ	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
VN	vodní nádrž
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský
ZABAGED	digitální geografický model území České republiky
ZPF	zemědělský půdní fond

**8 OBSAH:**

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
1.1	VODNÍ EROZE.....	8
1.2	ZÁKLADNÍ PRINCIPY MODELŮ VODNÍ EROZE.....	10
1.3	GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY.....	11
<b>2</b>	<b>EROZE A TRANSPORT SPLAVENIN VE VELKÝCH POVODÍCH</b> .....	<b>14</b>
2.1	UNIVERZÁLNÍ ROVNICE ZTRÁTY PŮDY.....	14
2.2	TRANSPORT SPLAVENIN.....	15
2.2.1	<i>Poměr odnosu sedimentu SDR</i> .....	16
2.2.2	<i>Simulační model WATEM/SEDEM</i> .....	18
2.3	ZACHYCENÍ V NÁDRŽÍCH.....	23
2.3.1	<i>Poměr zachycení podle Browna</i> .....	23
2.3.2	<i>Poměr zachycení podle Bruneho</i> .....	24
2.4	PŘEHLED METOD STANOVENÍ PARAMETRŮ USLE S ASISTENCÍ GIS.....	24
2.4.1	<i>Manuální výpočet na základě akumulace odtoku</i> .....	25
2.4.2	<i>Model USLE2D v prostředí rastrového GIS</i> .....	27
2.4.3	<i>Modul Eroze v programu Atlas DMT</i> .....	27
2.4.4	<i>Model RUSLE v prostředí GIS IDRISI</i> .....	28
2.4.5	<i>Porovnání metod pro určení LS faktoru na případových studiích</i> .....	29
<b>3</b>	<b>ZDROJOVÁ DATA PRO VÝPOČTY EROZNÍ OHROŽENOSTI V ČR</b> .....	<b>30</b>
3.1	EROZNÍ ÚČINNOST SRÁŽEK NA ÚZEMÍ ČR.....	30
3.1.1	<i>Metodika stanovení R faktoru podle Wischmeiera a Smithe</i> .....	31
3.1.2	<i>Výsledky stanovení erozního účinku srážek v ČR před rokem 2000</i> .....	32
3.1.3	<i>Revize R faktoru pro ČR na základě čtyř stanic</i> .....	33
3.1.4	<i>Mapa R faktoru na základě srážek z období 1962 - 2001</i> .....	35
3.1.4.1	<i>Metody odvození R faktoru z dlouhodobých úhrnů srážek</i> .....	35
3.1.4.2	<i>Odvození mapy R faktoru z dlouhodobých úhrnů</i> .....	36
3.1.5	<i>Mapa R faktoru přívalových dešťů pro období 2000 - 2005</i> .....	43
3.1.5.1	<i>Přehled a popis datových řad aktuálně zpracovaných stanic</i> .....	43
3.1.5.2	<i>Postup výpočtu a vyhodnocení dat</i> .....	45
3.1.5.3	<i>Regionalizace R faktoru (2000 - 2005)</i> .....	58
3.1.6	<i>Poslední poznatky a budoucnost R faktoru v ČR</i> .....	65

3.2	DIGITÁLNÍ MODELY TERÉNU .....	68
3.2.1	<i>Zdrojová data pro DMT na úrovni ČR .....</i>	69
3.2.2	<i>Dostupné algoritmy pro tvorbu DMT z vrstevnicových map.....</i>	71
3.3	DATA O PŮDÁCH .....	75
3.3.1	<i>Mapy bonitovaných půdně ekologických jednotek.....</i>	75
3.3.2	<i>Půdní mapa 1 : 50 000.....</i>	75
3.3.3	<i>Digitální mapa KPP 1 : 50 000 .....</i>	76
3.3.4	<i>Digitální syntetická půdní mapa 1 : 200 000.....</i>	76
3.3.5	<i>Půdní mapa České geologické služby 1 : 1 000 000 .....</i>	77
3.4	VYUŽITÍ ÚZEMÍ A OCHRANNÝ ÚČINEK VEGETACE .....	77
3.4.1	<i>Dostupné databáze pro sestavení mapy land-use.....</i>	77
3.4.2	<i>ZABAGED.....</i>	78
3.4.3	<i>Databáze LPIS .....</i>	79
3.4.4	<i>Ochranný účinek vegetace pro celé území ČR.....</i>	82
<b>4</b>	<b>PŘÍPADOVÉ STUDIE – APLIKACE ODVOZENÝCH METOD .....</b>	<b>92</b>
4.1	MAPA ZTRÁTY PŮDY A TRANSPORTU SPLAVENIN V ČR.....	92
4.2	GIS A NÁVRHY PROTIEROZNÍCH OPATŘENÍ .....	99
4.2.1	<i>Metody a nástroje GIS pro nalezení kritických lokalit pro návrhy technických protierozních opatření 99</i>	
4.2.1.1	<i>Záchytné prvky liniové (zasakovací i odváděcí) - metodika .....</i>	99
4.2.1.2	<i>Záchytné prvky v údolnicích - metodika.....</i>	102
4.2.2	<i>Výstupy v testovacích povodích.....</i>	104
4.2.2.1	<i>Základní rozdíly v morfologii a využití řešených povodí.....</i>	105
4.2.2.2	<i>Celková erozní ohroženost modelových povodí.....</i>	108
4.2.2.3	<i>Liniové prvky TPEO .....</i>	110
4.2.2.4	<i>Údolnicové profily pro záchytná TPEO .....</i>	115
4.2.3	<i>Závěrečné vyhodnocení.....</i>	118
4.3	TRANSPORT SPLAVENIN A EROZNÍHO FOSFORU DO VN ŘÍMOV .....	119
4.3.1	<i>Popis lokality .....</i>	119
4.3.1.1	<i>Povodí .....</i>	120
4.3.1.2	<i>Vodní nádrže .....</i>	121
4.3.1.3	<i>Sídla .....</i>	122
4.3.1.4	<i>Charakter a využití území.....</i>	122

4.3.2	<i>Příprava dat do modelu WATEM/SEDEM</i> .....	123
4.3.2.1	DMT.....	123
4.3.2.2	LANDUSE.....	125
4.3.2.3	Vodní toky.....	126
4.3.2.4	Nádrže.....	129
4.3.2.5	K faktor a C faktor.....	132
4.3.3	<i>Výsledky modelu WATEM/SEDEM</i> .....	133
4.3.4	<i>Výsledky metody USLE/SDR</i> .....	139
4.3.5	<i>Transport erozního fosforu</i> .....	143
4.3.5.1	Úprava modelu WATEM/SEDEM pro modelování transportu fosforu.....	143
4.3.5.2	Výsledky modelu.....	144
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>146</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA</b> .....	<b>148</b>
<b>7</b>	<b>REJSTŘÍKY A SEZNAMY</b> .....	<b>152</b>
7.1	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	152
7.2	SEZNAM TABULEK.....	154
7.3	SEZNAM ZKRATEK.....	156
<b>8</b>	<b>OBSAH:</b> .....	<b>157</b>