

Bleskové povodně - návrh metodiky stanovení ohrožení území a varovného systému

Jan Unucka, RNDr., Ph.D.¹, Boris Šír, RNDr. Ing.², Jozef Richnavský, Ing. Mgr.², Peter Bobál, Ing.², Martin Duricha, Ing.², Michaela Hořínková, Mgr.², Ing. Veronika Říhová, Ing.¹, Ing. Bc. Lucie Hrubá, Ing.², Ing. Barbora Míčková, Ing.¹, Ondřej Malek, Bc.¹, Milan Jařabáč, Ing., CSc.³

¹ Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR

{jan.unucka, veronika.rihova, barbora.mickova, ondrej.malek.st}@vsb.cz

² Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR

{boris.sir, jozef.richnavsky, peter.bobal, michaela.horinkova, martin.duricha, lucie.hruby.st1}.st@vsb.cz

³ Výzkumný ústav lesnického hospodářství a myslivosti

Jíloviště-Strnady 136

252 02 ČR

jarabac@vulhm.cz

Abstrakt. Bleskové povodně z přívalových srážek z července 2008 jsou co do výše škod (bez ohledu na jejich charakter) řazeny na třetí místo v historii České republiky. Povodňové riziko, jeho hodnocení a predikce patří mezi přírodními hazardy k nejlépe propracovaným, avšak co se týče povodní vyvolaných právě přívalovými dešti, je jejich předpověď stále velice obtížnou záležitostí. Problém hydrologické predikce zde začíná již na úrovni predikce meteorologické. Přívalové srážky jsou z hlediska prostorového rozlišení numerických modelů běžně používaných v synoptické praxi jevem mimoměřítkovým. Rozlišení nejlepších NWFS modelů je 3x3 km, a i to je někdy příliš hrubé, zejména pro lokální konvektivní zesílení regionální srážky. Významným problémem je taktéž fakt, že odtok srážkové vody se za takovýchto situací často odehrává mimo koryta toků a tudíž nasazení semidistribuovaných hydrologických modelů typu HYDROG či HEC-HMS zde nevede k požadovaným výsledkům. Jako vhodné východisko pro včasné varování před výskytem tohoto typu přírodního rizika se proto jeví řešení založené na komplexní analýze reakce území na přívalovou srážku. Hydrologická transformace srážky na povrchový odtok je složitým procesem, jehož průběh je ovlivněn celou řadou faktorů a parametrů dotčeného území, které jsme však schopni kvalitně analyzovat prostřednictvím geografických informačních systémů a distribuovaných hydrologických modelů. Řešením tohoto problému se z podnětu ČHMÚ zabýval právě autorský kolektiv z Institutu geologického inženýrství a Institutu geoinformatiky HGF ČHMÚ pro potřeby CTV HZS ČR. Výstupem jejich prací je návrh metodiky a systém včasného varování na základě efektivních analýz vstupních dat z NWFS a meteorologických radarů pomocí GIS a hydrologických modelů na rozdíl od lokálních varovných systémů.

Klíčová slova: přívalová srážka, blesková povodeň, GIS, MIKE SHE, TOPMODEL, SIMWE, eroze

Abstract. Flash floods from the severe storms that have occurred in July 2008 are among three most damaging floods within the Czech Republic in the sense of the damage amount. Flood risk assessment and prediction are well-developed solutions of the natural hazards but flash floods from severe storms are quite complicated issue in the sense of their proper prediction. Problem of the hydrological prediction starts at the level of the meteorological prediction. Flash floods are beyond the resolution of the numerical weather forecast systems (NWFS). Best NWFS have the resolution 3x3 km, yet but still is at some point still coarse even in the events with the convective intensification of the regional rainfall event. Another big issue is fact, that runoff of flash floods is frequently outside of the river channels and application of semi-distributed rainfall-runoff models like HYDROG and HEC-HMS doesn't bring required effect. The complex and multi-perspective analysis of the landscape response to the severe storm and high precipitation intensity seems to be effective basis. Hydrologic transformation of the input rainfall to the overland flows is very complicated process affected by the big range of factors and by the various uncertainties. But these factors can be effectively analyzed with GIS software and fully distributed hydrological models. Solution of this problem is resolved by collective of authors for the purposes of Czech Hydrometeorological Institute and CTV HZS ČR. Results of work is the prototype of methodology and application of the early warning system based on GIS, hydrological modeling and effective analysis of the radar and NWFS products, which could work in the regional scale opposite to local early warning systems.

Keywords: convective rainfall, flash flood, GIS, MIKE SHE, TOPMODEL, SIMWE, erosion

1 Úvod, teoretická východiska práce

Přívalemé srážky (neboli srážky konvektivní) jsou jevem prostorově a časově omezeným a tedy problematickým hned z několika hledisek, přičemž ta nejdůležitější hlediska jsou:

- obtížná předpověď lokality spadu a úhrnu v mm pomocí meteorologických modelů
- obtížná měřitelnost přesného úhrnu takového typu srážky srážkoměrnou sítí
- nutnost rychlé reakce orgánů na tento jev kvůli záchraně osob a majetku

Z výše uvedeného je zřejmé, že se jedná o jev, který nelze podceňovat a hledání adekvátního mechanismu pro včasné varování a zmírnění dopadů tohoto jevu je na místě. Existuje několik přístupů, jedním z hojně zmiňovaných jsou lokální varovné systémy. Ty mohou vcelku dobře posloužit v rámci menšího územního rozsahu, pro ČR jako celek je však nutno hledat jiné efektivní řešení. Toto řešení musí být dostatečně přesné, rychlé a robustní, tedy nenáročné na vstupní data. Přídavnou hodnotou by pak měla být modularita řešení, tedy možnost dalšího rozšíření dle aktuálních potřeb provozovatele.

Tyto podmínky lze splnit s využitím výpočetní techniky a adekvátních softwarových nástrojů, s jejichž užíváním jsou již v ČR několikaleté zkušenosti. Tato hlediska byla zohledněna při vývoji metodiky stanovení zranitelnosti území vůči přívalemé srážce transformované finálně do vývoje prototypu aplikace pro operativní stanovení zranitelnosti území během různých hydrosynoptických situací a tedy různých variant výskytu přívalemých srážek. Tato aplikace tedy podporuje vznik operativního varovného systému využívaného kompetentním orgánem s dostatečným odborným zázemím.

Práce týmu VŠB-TUO na metodice a prototypu finální aplikace pro potřeby zadavatele lze rozdělit do základních 4 skupin:

1. zpracování dat o území s pomocí geografických informačních systémů (dále jen GIS), tvorba odvozených GIS vrstev
2. výstavba hydrologických modelů s využitím vrstev vytvořených v bodě 1
3. simulace vlivu přívalemé srážky na území s pomocí GIS a hydrologických modelů a stanovení koeficientů pro jednotlivé faktory ovlivňující zranitelnost území vůči přívalemé srážce
4. výstavba finálního prototypu aplikace

Prototyp aplikace bude pak schopen determinovat zranitelnost území vůči nadcházející či probíhající srážce v rozsahu celé ČR a v míře detailu dle potřeb zadavatele/uživatele. Výpočet je relativně rychlý v závislosti na hardwarovém vybavení. Na běžné pracovní stanici může výpočet trvat pouze několik minut. Výstupem je pak GIS mapa či obrázek zranitelnosti území, kde budou klasifikovány nejvíce ohrožené oblasti povrchovým odtokem a dalšími doprovodnými jevy (např. odtokem erodovaných půdních částic apod.). Příslušný orgán pak bude moci včas vytipovat nejvíce ohrožená území a vydat výstražné zprávy v souladu s legislativním rámcem Hlásné a předpovědní hydrologické služby (HPPS).

Hlavní výhodou tohoto přístupu je kontinuální pokrytí libovolného území (na rozdíl od lokálních varovných systémů) a rychlost výpočtu, která je řádově nižší než u standardních hydrologických modelů využívaných v rámci HPPS. Další výhodou tohoto přístupu je prakticky neomezená možnost aktualizace vstupních dat a tedy udržování aplikace ve stavu reflektujícím aktuální přírodní a hydrologické podmínky na povodí. Lze tedy aplikaci charakterizovat jako nástroj včasného varování a vytipování zranitelných míst, na které se lze dále zaměřit v dalších analýzách pomocí hydrologických modelů.

Jako vstup srážek může být implicitně používán radarový snímek díky jeho nejlepšímu podchycení prostorové variability srážky. Vstupem však může být i predikovaná srážka z atmosférického modelu typu ALADIN, popř. dalšího při dodržení formátu dat (rastr, souřadný systém atd.). Interpolovaný rastr srážek naměřených staniční sítí může do aplikace vstoupit taktéž, byť tato varianta vstupních dat není pro konvektivní srážky příliš vhodná.

Při vývoji metodiky a aplikace byly u vstupních dat zohledněna tato hlediska:

- dostupnost dat pro celou ČR
- kvalita dat (aktuálnost, systém pořízení dat, územní a časová přesnost apod.)

- možnost jednoduché aktualizace dat provozovatelem

Finálním výsledkem je tedy aplikace, která s využitím primárních a odvozených GIS, koeficientů stanovených s pomocí hydrologických modelů a datovou vrstvou vstupní srážky určité intenzity a trvání odvodí zranitelná území, kde se dá s velkou měrou pravděpodobnosti očekávat deficit v kapacitě území tuto srážku pojmout a transformovat na méně ničivé formy odtoku (odtok podpovrchový, soustředěný odtok v korytech toků a inundací). Také nechráněná zemědělská půda nebo půda s nevhodnou kulturou může finální jev zhoršit zvýšenou erozí během přívalové srážky a transportem erodovaných sedimentů do nižších poloh.

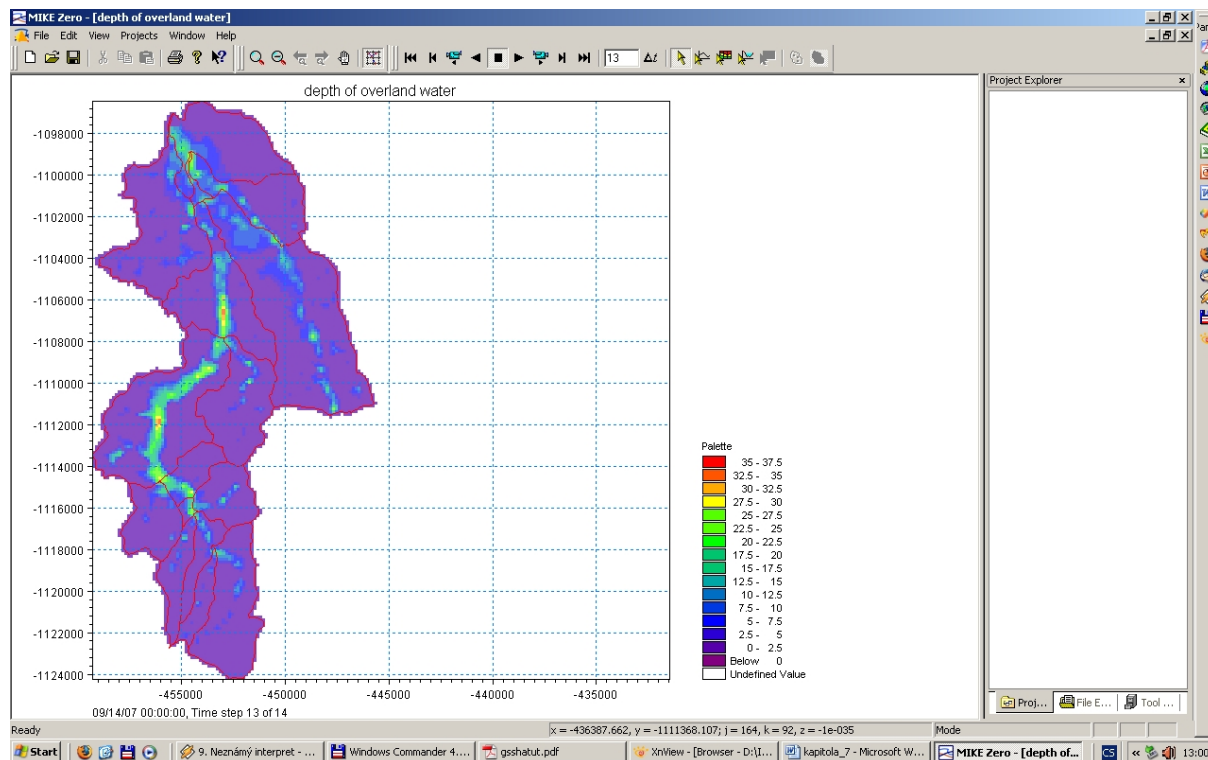
2 Možnosti modelování flash flood v hydrologických modelech

Pro tento typ analýz se bezesporu nejvíce hodí distribuované modely typu MIKE SHE, GSSHA, SIMWE, TOPMODEL ad. Výhodou distribuovaných modelů je bezesporu zejména detailnější parametrizace území a zejména pak menší zatížení chybou na úrovni vstupních srážek – primární prostorová data např. z družic nebo meteorologických radarů se neinterpolují.

Obrázky 1, 2 a 3 znázorňují možnosti výstupů z distribuovaných srážkoodtokových modelů MIKE SHE, TOPMODEL a SIMWE pro GRASS GIS.

Obrázek 1 demonstruje možnosti nejkomplexnějšího s-o modelu MIKE SHE. Výhodou tohoto integrovaného prostředí je zejména to, že projekt s-o modelu lze budovat modulárně. Lze postupovat od nejjednodušší varianty pouze s DMR a vstupní srážkou, která zanedbává spoustu komponent s-o procesu (intercepce, evapotranspirace, infiltrace, perkolace, základní odtok) až po variantu, která všechny tyto komponenty implementuje a numericky či analyticky řeší.

Rastrové výsledky je přitom možné exportovat do GIS a dále vizualizovat či analyzovat.



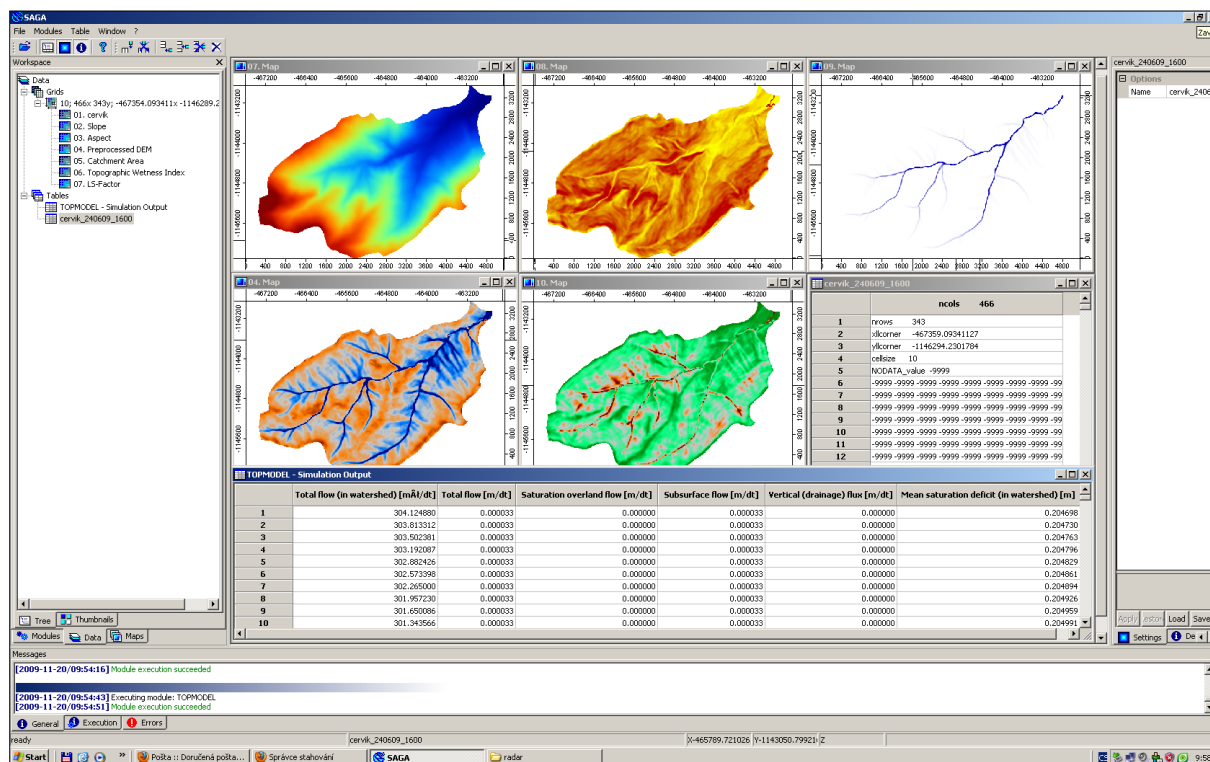
Obr. 1. Výstup z modelu MIKE SHE (rastr povrchového odtoku) – povodí Stonávky

TOPMODEL (angl. TOPography based hydrological MODEL) je vyvíjen od 70. let minulého století a hlavní ideou tvůrce tohoto modelu prof. Keitha Bevena je, aby byl model jednoduše ovladatelný a přizpůsobitelný požadavkům uživatele tak, aby se parametrizace modelu a simulace vybraných jevů co nejvíce přizpůsobila podmínkám aktuálního povodí. Je tedy zjevné, že primární roli zde hraje topografie povodí, byť jsou ostatní parametry (hydraulické vlastnosti půdního profilu apod.) v dostatečné míře parametrizovány a v simulaci zahrnuty rovněž. TOPMODEL je vyvinut nejen jako modul pod GRASS GIS (nebo i hydrologické modely jako WIS nebo HyGIS), ale i jako samostatný programový prostředek. Jeho demo verze a zkušební balík dat je volně ke stažení na www stránkách Lancaster University http://www.es.lancs.ac.uk/hfdg/freeware/hfdg_freeware_top.htm.

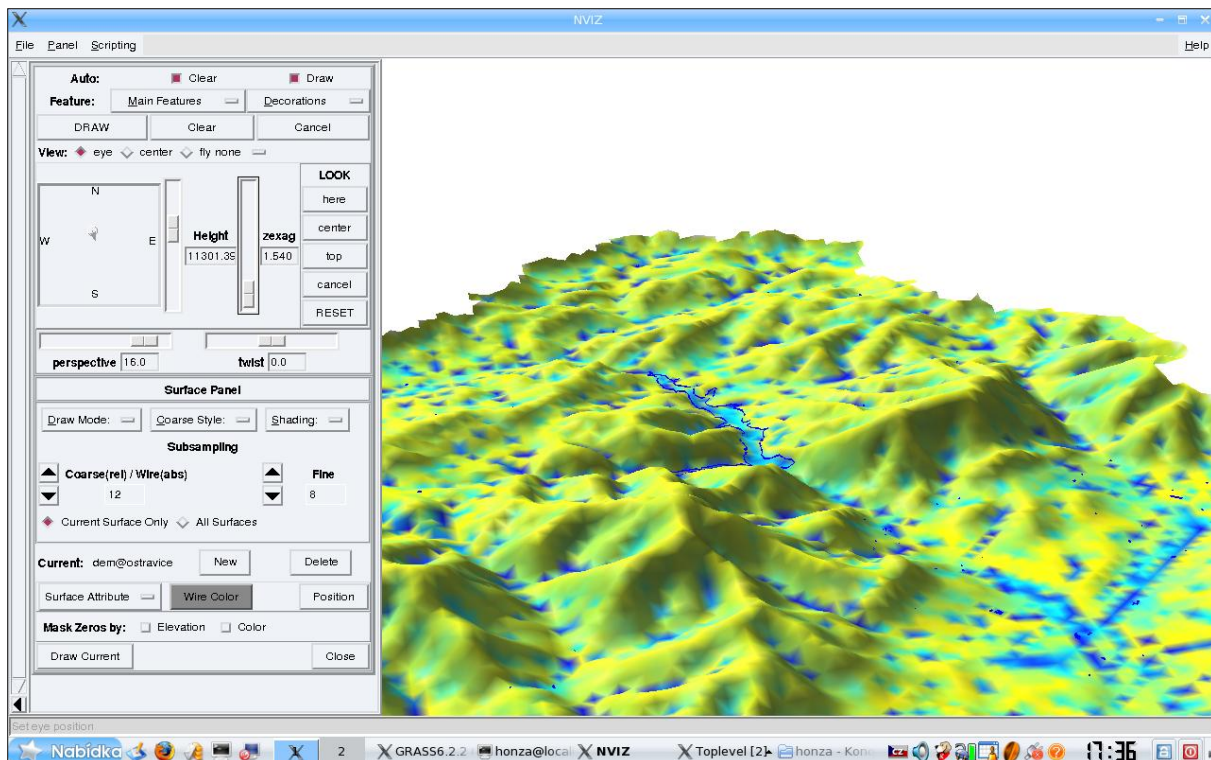
Modul r.topmodel je již implicitně zahrnut jako modul TOPMODEL ve verzi GRASS GIS 5.3.0 a vyšší. Tento srážko-odtokový model řeší predikci překročení retenční a infiltrační kapacity a následně vznik povrchového a hypodermického odtoku. Jedná se o plně distribuovaný (GRASS) nebo semidistribuovaný model (samostatná instalace mimo prostředí GIS). Mezi hlavní kapacity modelu patří i možnost kalibrace parametrů pomocí simulace Monte Carlo (Beven 2000, 2009).

Vstupní parametry modelu zahrnují hydrologická a topografická data a parametry. Požadovaná hydrologická data jsou srážky, evapotranspirace a údaje o proudění. Základním topografickým vstupem je DEM simulovaného povodí, který dále slouží pro výpočet topografického indexu a některých dalších charakteristik povodí.

Výstup z modelu TOPMODEL ilustruje obrázek 2.



Obr. 2. Výstup z programového prostředí TOPMODEL – povodí Červík



Obr. 3. Výstup z modelu SIMWE v GRASS – povodí horní Ostravice

3 Možnosti modelování erozních a na ně navazujících procesů za přívalových srážek

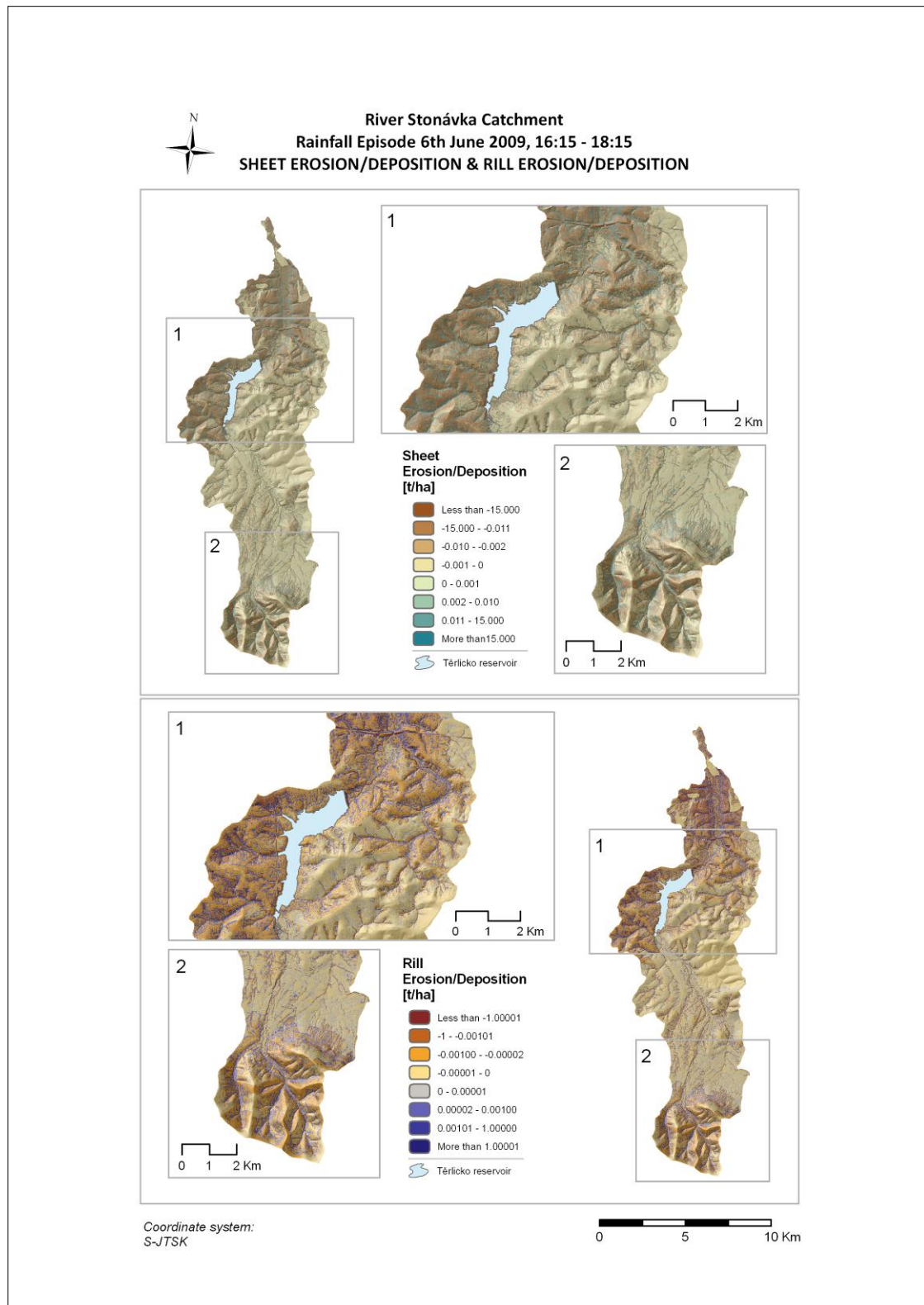
Erozní a s nimi související procesy, jako jsou transport a sedimentace erodovaného materiálu v povodí, jsou součástí celého komplexu pochodů spojených s transformací srážky na odtok. Faktorů odrážejících se v průběhu a výsledné míře eroze půdy je celá řada a dnes jsou již poměrně kvalitně teoreticky rozebrány. Základním faktorem a zároveň spouštěcím mechanismem erozních procesů je však dešť a jím vyvolaný povrchový odtok vody.

Vztah mezi erozí a charakterem příčné srážky se pokusila popsat a kvantifikovat celá řada autorů (více viz Morgan, 2005). Někteří z nich došli k závěrům, že většina erozních procesů je spjata se středně intenzivními srážko-odtokovými situacemi střední frekvence opakování, jiní však přikládají větší význam méně často se vyskytujícím intenzivním srážkám. Významnou roli zde jistě hraje regionální aspekt, nicméně není smělé tvrdit, že v souvislosti s klimatickou změnou a rostoucí extremitou hydro-synoptických situací roste i podíl přívalových srážek na výsledné ztrátě půdy erozí. Jedněmi z parametrů deště, které mají přímý vliv na intenzitu a průběh erozních procesů jsou zejména intenzita srážky ale také její kinetická energie. Je zřejmé, že s rostoucí intenzitou deště roste i jeho kinetická energie, která se uplatňuje v síle tzv. bombardování půdy vodními kapkami, což dosahuje extrémních hodnot právě v případě přívalové srážky a spolu s vysokým a rychlým povrchovým odtokem je pak zapojení srážko-odtokového erozního činitele do erozních pochodů dané hydro-synoptické situace velice významné. Dobrá teoretická znalost erozních procesů vedla v průběhu času k etablování velkého množství erozních modelů, které se v současnosti ve spojení s rozvojem v oblasti IT a nabídkou GIS stávají efektivním nástrojem k managementu půdní složky v krajině. Asi nejznámějším erozním modelem je Univerzální rovnice ztráty půdy – USLE – (Wishmeier, Smith, 1960) a její revidovaná forma RUSLE. Tento empirický model je sice určen k hodnocení potenciální eroze půdy v dlouhodobém měřítku, nicméně ze způsobu výpočtu hodnoty jeho dešťového faktoru užitím maximální 30minutové intenzity je zřejmé, že přívalové srážky hrají důležitou roli v ročním chodu erozních procesů. Rovnice (R)USLE není však použitelná pro modelování eroze půdy během jednotlivých srážkových epizod. Toto nabízí celá řada jejích modifikací v čele s Modifikovanou univerzální rovnicí ztráty půdy – MUSLE – (Williams, 1975). Tento model si zachovává stejný postup

výpočtu faktorů jako rovnice (R)USLE, avšak na místo dešťového faktoru používá faktor povrchového odtoku. Kombinací dešťového faktoru a faktoru povrchového odtoku pak disponuje další z variant modelu (R)USLE, a to konkrétně Onstad-Foster (Onstad, Foster, 1975). Právě tato variace je díky struktuře svého srážko-odtokového erozního faktoru vhodným nástrojem pro řešení ohroženosti půdy vodní erozí během přívalových srážek, kdy se počítá vliv kinetické energie a intenzity deště s vlivem povrchového odtoku. Jiným zajímavým modelem postaveným na výše jmenovaných je model USPED (Unit Stream Power based Erosion/Deposition) (Mitašová et al., 1996). Přidanou hodnotou tohoto řešení je schopnost modelovat vedle eroze i sedimentaci, a to zahrnutím výpočtu divergence transportní kapacity.

Výhodou tohoto druhu modelů je jednak jednoduchost jejich výpočtu a jednak jejich plná prostorová distribuovanost. Na druhé straně jejich nevýhodou je jejich staticčnost. Tuto nevýhodu odstraňují modely dynamické, které jsou schopny uvažovat časový průběh erozních procesů během srážko-odtokové epizody. Oproti předešle jmenovaným statickým empirickým modelům jsou však tyto modely značně náročnější na vstupní data a taktéž na teoretickou znalost uživatele, modeláře. I zde se opět nabízí pestrá paleta modelovacích nástrojů. Jedním z nejkompaktnějších je model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1993). Jedná se o semidistribuovaný dynamický model určený pro modelování eroze v dlouhodobém časovém horizontu. Avšak tento fakt nevylučuje možnost jeho využití pro řešení eroze v kratším časovém kroku včetně přívalových srážek. Model je totiž schopen pracovat se srážkovými vstupy v hodinovém kroku, přičemž nejjemnější časový krok výstupu je jeden den. To se může na první pohled jevit pro hodnocení eroze za přívalových srážek jako nedostačující, avšak zamyslíme-li se nad smyslem výstupu v kratším než denním kroku, je zřejmé, že právě v případě eroze je takovéto časové rozlišení zbytečné a denní krok je dostatečný. Jinými slovy model je schopen postihnout časový průběh přívalové srážky v hodinovém kroku, přičemž pak poskytuje míru eroze v kroku denním. Jisté omezení zde určitě je, nicméně model disponuje nástroji pro kalibraci jak srážko-odtokových vztahů, tak i vztahů srážko-odtokovo-erozních. Velkou výhodou tohoto modelu je jeho plná integrace do GIS platform, a to jak ESRI ArcView a Arc GIS, tak i GRASS GIS. Model poskytuje vedle celé řady výstupů souvisejících s erozí půdy i výstupy vhodné pro hodnocení geochemických toků v povodí a celou řadu dalších. Jeho vysoká komplexita je však „vykoupena“ vysokou náročností modelu na vstupní data a uživatelskou znalost teoretických vztahů modelovaných procesů a podmínek zájmového území.

Dynamickým modelem schopným řešit erozi v časovém kroku v sekundách je model LISEM (Limburg Soil Erosion Model). Model pochází z dílny pracovníků katedry Fyzické geografie Univerzity v Utrechtu. Jedná se o plně distribuovaný fyzikální erozní model, vhodný pro modelování eroze během a po srážko-odtokových epizodách. Kromě klasického modelování vodní eroze jsou v něm obsaženy moduly pro modelování stržové eroze, erozně-depoziční procesy pro jednotlivé ze šesti tříd zrnitostní frakce, transport nutričních a také eroze a odtoku v rýhách po těžké mechanizaci, což je vzhledem k přívalovým srážkám jeden z hlavních zdrojů povrchového odtoku a vodní eroze v obhospodařovaných lesních oblastech (viz práce doc. Buzka, zejména Buzek, 1986). Model kromě mapových výstupů míry eroze a sedimentace ve formátu PCRaster nabízí i grafické výstupy v podobě hydrogramů a decigramů. Preprocesor vstupních prostorových dat modelu je postaven na platformě PCRaster GIS. Právě toto může být považováno vedle značné náročnosti na vstupy za jednu z nevýhod modelu, neboť uživatelská přívětivost PCRaster GISu není nejlepší.



Obr. 4 Povrchová a stružková eroze během přivalové srážky – povodí Stonávky

4 Závěr

Výše uvedené se snažily ilustrovat potenciál GIS a numerických modelů pro analýzy odezvy povodí na konvektivní (přívalovou) srážku. Pokud se tento potenciál vhodně kombinuje s adekvátními výstupy z NWFS (Numerical Weather Forecast Systems) typu GFS a ALADIN či COTREC/CZRAD, lze vybudovat prediktivní nástroj, který má ve srovnání s lokálními varovnými systémy hned několik výhod. Tou nejdůležitější je právě onen prediktivní prvek, který představuje výhodu časové rezervy před nástupem samotné přívalové srážky a její propagace v povodí. Další výhodou je prostorová neomezenost podobného systému – je přenositelný na jiná území a velikost území je omezena prakticky jen výkonem PC. Je proto nasnadě, že tento typ varovných systémů je minimálně vhodným doplňkem lokálních varovných systémů. Vybudování i provoz podobného systému pro větší územní celky je daleko levnější než budování a propojení lokálních varovných systémů. Důležitým argumentem je i fakt, že čidlo jakéhokoliv typu představuje bodové měření, kdežto systémy využívající GIS a numerické modely měření prostorové a zároveň možnost importu predikce klíčových meteorologických prvků.

Literatura

1. Bedient, P.B., Huber, W. C., Vieux, B. E. (2007): Hydrology and Floodplain Analysis. London, Prentice Hall
2. Hrádek F., Kuřík P. (2004): Hydrologie. Fakulta lesnická a environmentální, Česká zemědělská univerzita v Praze
3. Neteler M., Mitasova H. (2008): Open Source GIS; A Grass GIS Approach – Third Edition“. Springer Science
4. Thaxton C., Mitasova H. (2004): Simulations of Disturbed Watershed, Erosion, Deposition and Terrain Evolution Using Path Sampling Monte Carlo Method, sborník ASAE/CSAE Meeting 2004 Ottawa
5. Beven, K. (2002): Rainfall-runoff modelling. The Primer. Chichester, Wiley.
6. Sir, B., Richnavsky, J., Bobal, P., Duricha, M., Podhoranyi, M., Umucká, J. (2009): Modelling of erosion-sedimentation processes caused by extreme hydro-meteorological situation using GIS. Acta Montanistica Slovaca
7. Unucka, J. (2008): Modeling of the Forest Impact on the Rainfall-Runoff Relations and Water Erosion with the GIS Support. In Vodní hospodářství, 7/2008, 2008.