

SROVNÁNÍ VÝSLEDKU HYDROLOGICKÉHO A EROZNÍHO MODELOVÁNÍ S TERÉNNÍM VÝZKUMEM KARPATSKÝCH FLYŠOVÝCH POVODÍ

Peter Bobál¹, Martin Ďuricha¹, Milan Jařabáč², Michal Podhorányi¹, Jozef Richnavský¹, Boris Šír¹, Jan Unucka³, Petr Vavroš¹, Dušan Židek⁴

¹ Institut geoinformatiky, VŠB-TU Ostrava, ul. 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR, {peter.bobal, martin.duricha, michal.podhoranyi, jozef.richnavsky, boris.sir, petr.vavros}.st@vsb.cz

² VÚLHM Jíloviště-Strnady 136, 252 02 ČR, jarabac@vulhm.cz

³ Institut geologického inženýrství, VŠB-TU Ostrava, ul. 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR, jan.unucka@vsb.cz

⁴ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, K myslivně 3/2182 708 00 Ostrava-Poruba, ČR, zidek@chmi.cz

Abstrakt. Pomocí srážkoodtokového a dynamického erozního modelování v modelovacím software HYDROG, HEC-HMS, SWAT a MIKE SHE byla řešena otázka vlivu krajinného pokryvu na srážkoodtokové vztahy a fluvální erozi v povodích Olše a Ostravice. Byly vybrány dvě srážkové epizody - regionální srážka v kombinaci s málo nasyceným povodím a přívalová srážka v kombinaci s nasyceným povodím - a byla zkoumána odezva povodí při simulované změně zalesnění povodí z aktuálního stavu na 50% a 100%. Dosavadní výsledky událostních simulací tento uvažovaný vliv potvrzují a to i za použití různých metod hydrologické transformace na povodí (Horton, SCS-CN). Další výzkum a s pomocí jiných metod a kontinuálních modelů typu GSSHA a MIKE SHE umožní srovnání výsledků a jejich případné zobecnění. Výsledky hydrologických a dynamických erozních modelů byly poté konfrontovány s hydrologickým výzkumem a výzkumem fluvální eroze v těchto karpatských flyšových povodích.

Klíčová slova: GIS, hydrologické modely, krajinný pokryv, les

Abstract. The impacts of land use and land cover rainfall-runoff and fluvial erosion conditions were studied and analyzed with the utilization of HYDROG, HEC-HMS, SWAT and MIKE SHE rainfall-runoff and dynamic erosion models in the Olše and Ostravice basins. Several rainfall-runoff episodes were selected - common regional rainfalls with low antecedent watershed saturation and convective flash rainfall with higher watershed saturation. Watershed response was studied and modeled on separate levels of the forestation - actual forestation state, 50 % of forest land cover and 100 % of forest land cover. Results which were achieved with the utilization of the various methods of the hydrologic transformation in the watershed scale (Horton, Gree-Ampt, SCS-CN) confirm the influence of forest land cover on the rainfall-runoff relations. Further research with the support of another methods and the continuous models such as GSSHA and MIKE SHE will allow the comparison of achieved results and possible generalization of them. The results from rainfall-runoff modeling and dynamical erosion modeling were compared with the results from the long-standing hydrologic and fluvial erosion research in these Carpathian flysch basins.

Keywords: GIS, hydrological models, land cover, forest

1. Úvod

Lesnicko-hydrologický výzkum karpatských flyšových povodí má v regionu dlouhou tradici. Podstatou lesnicko-hydrologického výzkumu je studium vlivu lesa na hydrologické poměry a odtokové situace. A to nejen ve smyslu kvantity při extrémních odtokových situacích, ale rovněž kvality vod a fluviální (vodní) eroze. Takový výzkum se provádí na tzv. experimentálních povodích. Nejznámějším experimentálním povodím v celosvětovém měřítku je Coweeta v Severní Karolíně v Apalačských horách. Základy klasického lesnicko-hydrologického výzkumu položil Engler v roce 1900 na dvou srovnávacích (tj. párových) povodích v roce 1900. Prakticky nedlouho poté se započalo s lesnicko-hydrologickým výzkumem v karpatských flyšových povodích, kdy Z. Válek založil výzkum na povodích Kychová a Zděchovka v Javorníkách [20, 32]. B. Mařan poté přenesl výzkumy do experimentálních povodí Malá Ráztoka a Červík v roce 1953 [17, 18, 20]. V tomto případě se ale již nejedná o klasická srovnávací párová povodí (zjednodušeně řečeno se studuje hydrologické chování zalesněného a po období kalibrace odlesněného povodí), přesto je jejich význam pro lesnickou hydrologii díky délce pozorování enormní. Základní charakteristiky obou povodí a dílčí výsledky výzkumu lze nalézt např. v Chlebek et Jařabáč 1995. Shrnutí některých výstupů a poznatků z lesnicko-hydrologického výzkumu obecně lze nalézt např. v pracích autorského kolektivu [1, 4, 5, 15, 16, 30].

Problém tohoto výzkumu však spočívá ve finanční a časové náročnosti, v některých obdobích je proveditelný pouze díky entuziasmu odborných pracovníků a provozovatelů. Jak již bylo mj. publikováno autorským kolektivem [1, 4, 5, 15, 16, 30], takový výzkum bohužel nelze provozovat libovolně dlouho na větší územní výměře či větším počtu povodí. V tomto ohledu se pak jako vhodná alternativa nabízejí hydrologické a dynamické erozní modely [4, 30]. Ty prakticky umožňují lesnicko-hydrologický výzkum na principu srovnávacích párových povodí: „*kalibrace modelu na vybraných srážkoodtokových epizodách různého typu a délky trvání → provoz modelu a simulace scénářů les/odlesnění za různých srážkoodtokových epizodách*“. Tento postup je však schopen produkce relevantních výsledků pouze při splnění několika zásadních podmínek:

1. dostupnost dat (GIS data o povodí, časové řady hydrometeorologických dat)
2. výběr vhodného modelu (popř. modelů) dle potřeb a náročnosti studie
3. zkušenosti provozovatele, validace a verifikace modelů

K bodu č. 2 lze poznamenat, že vzhledem k povaze lesnicko-hydrologického výzkumu je vhodné vybrat několik modelů a po citlivostní analýze na některé vstupy a základním otestování vhodnosti modelů pro daný typ aplikace teprve použít vybrané.

2. Použité hydrologické modely

Hydrologické modely lze rozdělit na 2 základní skupiny:

1. srážkoodtokové
2. hydrodynamické

Obecnými zákonitostmi hydrologického modelování se zabývají práce Bevena [7], Bedienta, Hubera et Vieux [6], komentáře k potenciálu hydrologických modelů v lesnicko-hydrologickém výzkumu lze nalézt např. v pracích autorského kolektivu [4, 5, 30]. Provázání hydrologických modelů s GIT diskutují publikované práce autorského kolektivu v rozmezí let 2005 – 2008 [4, 5, 26, 28, 29, 30].

V podstatě se vychází z faktu, že jak hydrologické modely, tak GIS pracují s prostorovými daty, proto je jejich propojení logické a účelné. Na úrovni konkrétních softwarových řešení se tento princip již dobře etabloval.

Pokud se omezíme na srážkoodtokové modely (dále jen s-o modely), základním rozlišovacím kritériem je zde varianta prostorové distribuce parametrů modelu. V současnosti představují nejrozšířenější typ modelů modely semidistribované, kdy je modelovaná doména (nejčastěji povodí) rozdělena na podcelky (dílní povodí) a těm jsou přiřazeny sady parametrů o stejné hodnotě (např. koeficient hydraulické vodivosti) v rámci každého podcelku. Distribuované modely pak mají hodnoty parametrů diskretizovány do buněk výpočetní sítě (gridu). V obou případech pak platí, že čím jemnější úroveň schematizace modelu, tím se přibližujeme realitě ve smyslu prostorové distribuce parametrů, ale roste zároveň náročnost modelu na vstupní data a samotný čas výpočtu (simulace chování hydrologického systému), takže přílišná detailizace je v některých případech neúčelná a zbytečná - viz např. [4, 5, 6, 7, 29, 30].

Pro samotné hydrologické a erozní modelování byly použity následující programové prostředky:

GIS:

1. ArcGIS 9.x
2. ArcView GIS 3.2
3. GRASS GIS 6.3.x
4. IDRISI Andes

Hydrologické (s-o) modely:

1. HEC-HMS 3.1.0
2. HYDROG 9.0
3. MIKE SHE 2007
4. WMS/GSSHA 8.0

První 2 modely jsou typickými a v podstatě nejpokročilejšími zástupci semidistribovaných modelů, poslední 2 pak představují modely distribuované.

Dynamické erozní modely:

1. SWAT (ArcSWAT)

Pomocí těchto nástrojů byl a je studován vliv lesního vegetačního krytu na hydrologické a erozní procesy v povodích karpatského flyše – povodí Ostravice (2-03-01) a Olše (2-03-03) a jejich subpovodí v horních zalesněných partiích. Při extrémních odtokových situacích je rovněž analyzován vliv lesa na velikost kulminace a tím i na rozlivy v inundacích s pomocí hydrodynamických modelů MIKE 11 a HEC-RAS, které představují pro daný typ aplikace

průmyslové standardy. Navíc umožňují simulovat transport splavenin a vývoj koryt v tocích. Krom software HYDROG umožňují všechny výše uvedené produkty napojení na GIS ať už formou extenzí (např. HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS, MIKE 11 GIS, AVSWAT) nebo přímou podporou GIS formátů - nejčastěji ASCII rastr nebo ESRI shapefile (WMS/GSSHA, MIKE SHE). Pro úplnost lze uvést informaci, že např. GRASS GIS v sobě přímo obsahuje relativně pokročilé hydrologické modely (TOPMODEL, SIMWE). Jednoduché hydrologické analýzy pak umožňuje i ArcGIS nebo IDRISI.

Prakticky ke všem výše uvedeným programovým prostředkům existuje bohatá dokumentace, proto si autoři dovoří kvůli omezenému rozsahu příspěvku na ni odkázat.

Co však lze oproti předchozím pracím autorského kolektivu zmínit, je rozdíl v přístupu k modelování vlivu lesního vegetačního krytu u semidistribovaných a distribuovaných modelů. U semidistribovaných modelů typu HEC-HMS a HYDROG se na úrovni s-o epizod parametrizují či zanedbávají procesy jako evapotranspirace (je zahrnuta do odtokové ztráty) a základní odtok se parametrizuje pomocí koncepčních metod (např. recesní metoda nebo metoda lineární nádrže). U plně distribuovaných modelů typu GSSHA a MIKE SHE se procesy jako evapotranspirace a základní odtok explicitně řeší numerickými nebo koncepčními metodami.

2. Postup prací

Po testování možností hydrologických a erozních modelů v rámci diplomových prací, výzkumných projektů a grantů se přistoupilo k samotným analýzám vlivu lesního vegetačního krytu na odtokové a erozní procesy v povodí. Dosažené výsledky jsou tedy jen předběžné a dílčí, přesto lze konstatovat, že hydrologické a dynamické modely ve spolupráci s GIS nabízejí dobrý potenciál.

Popisem základních charakteristik modelů HEC-HMS a HYDROG se opět zabývá několik prací autorského kolektivu [4, 5, 30]. V zásadě modely typu MIKE SHE a GSSHA doplňují událostní modelování na úrovni s-o epizod (v řádu hodin až dní) o možnost kontinuální simulace chování hydrologického systému (v řádu týdnů až měsíců). Model SWAT pak doplňuje modelovací ansámbl o fyzikální řešení simulace fluviální eroze a transportu sedimentů.

Základní scénář postupu práce je následující:

1. výstavba modelů pro zvolené pilotní povodí s podporou GIS
2. kalibrace modelů pro dostupné s-o epizody a aktuální fyzickogeografické podmínky včetně krajinného pokryvu
3. změna LULC a zastoupení lesa na povodí v GIS
4. simulace vlivu změn LULC na odtokové a erozní poměry pilotního povodí
5. vizualizace výstupů v GIS

Pro extrémní odtokové situace je ještě s pomocí hydrodynamických modelů HEC-RAS a MIKE 11 studován vliv na hladiny v tocích a případné rozlivy (viz např. Unucka et al. 2008). Přehled základních metod implementovaných v používaných modelech ilustrují tabulky 1 a 2.

složka s-o procesu	příklad metod	
	fyzikální	konceptuální
infiltrace	Richardsova rovnice	SCS-CN, Green-Ampt, Horton, SMA
evapotranspirace	Penman-Monteith, Priestley-Taylor	teplotní metoda, Hamonova metoda
povrchový odtok	kinematická, dynamická, difuzní vlna	UH
odtok v korytech	kinematická, dynamická, difuzní vlna	Muskingum, Lag, Modified Puls
základní odtok	rovnice, Boussinesq	lineární nádrž, recesní metoda
tání sněhu	energy-balance	degree/day
	použito např. v modelech	použito např. v modelech
infiltrace	MIKE SHE	HEC-HMS, HYDROG, GSSHA
evapotranspirace	MIKE SHE, SWAT	HEC-HMS
povrchový odtok	MIKE SHE, HEC-HMS, HYDROG, GSSHA	HEC-HMS
odtok v korytech	MIKE SHE, HEC-HMS, HYDROG, GSSHA	HEC-HMS
základní odtok	MIKE SHE, MODFLOW, FEFLOW	HEC-HMS, HYDROG
tání sněhu		HEC-HMS, HYDROG, MIKE SHE

Tabulka 1: Přehled nejrozšířenějších metod pro řešení s-o procesu

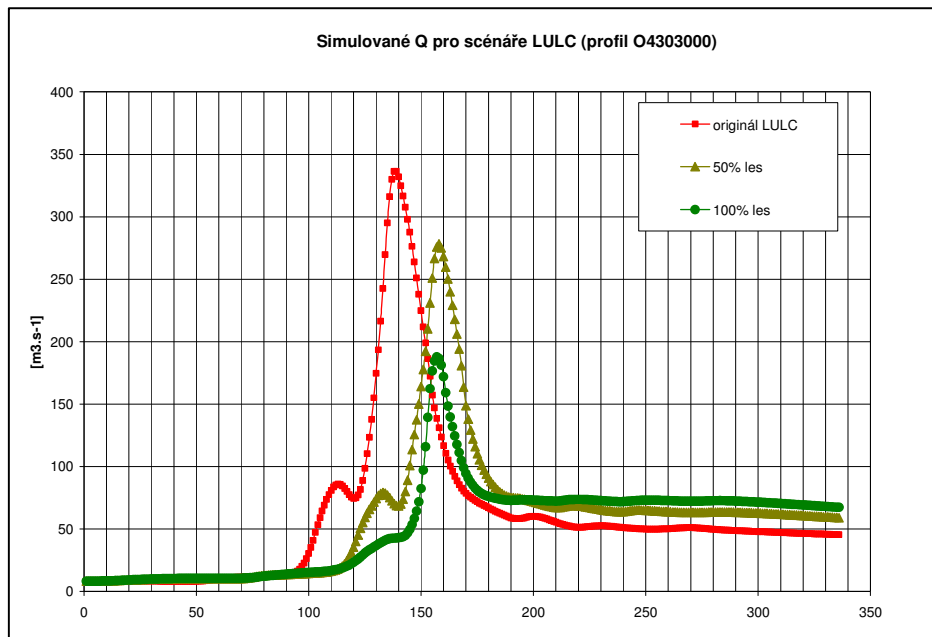
složka s-o procesu	HEC-HMS		HYDROG		MIKE SHE		WMS/GSSHA		SIMWE	
	F/K	dimenze	F/K	dimenze	F/K	dimenze	F/K	dimenze	F/K	dimenze
infiltrace	●/●	1D	●/○	1D	●/●	1D	●/●	1D	●/○	1D
evapotranspirace	●/○	1D	-	-	●/○	2D	●/○	2D	-	-
povrchový odtok	●/●	2D	○/●	2D	○/●	2D	○/●	2D	○/●	2D
odtok v korytech	●/●	1D	○/●	1D	○/●	1D	○/●	1D	-	-
základní odtok	●/○	1D	●/○	1D	●/●	3D	●/●	2D	-	-
tání sněhu	●/○	1D	●/○	1D	●/○	1D	●/○	1D	-	-

Tabulka 2: Klasifikace metod používaných v konkrétních s-o modelech

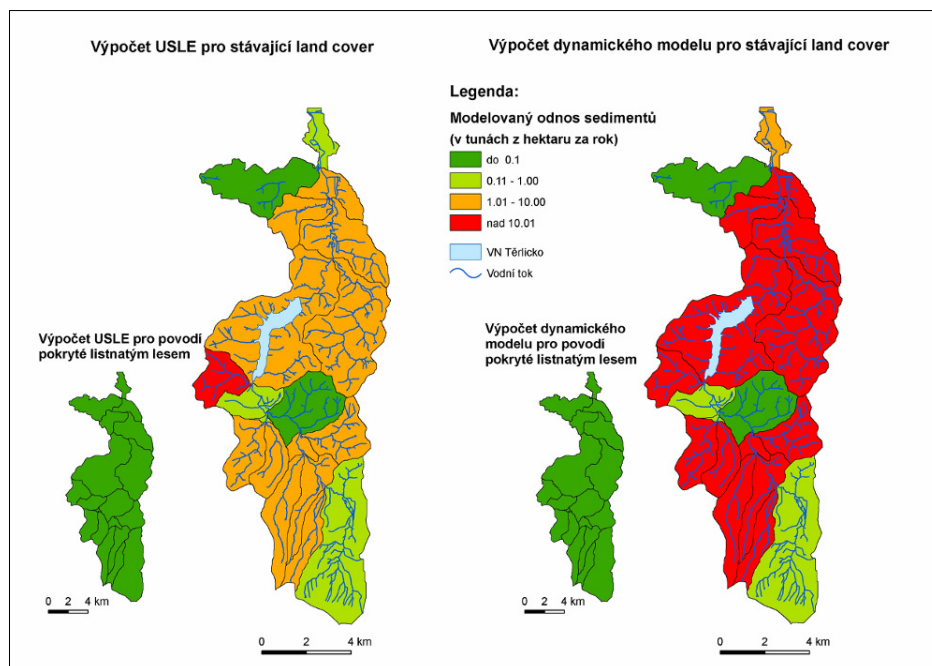
F – fyzikální, mechanistická metoda

K – koncepční metoda

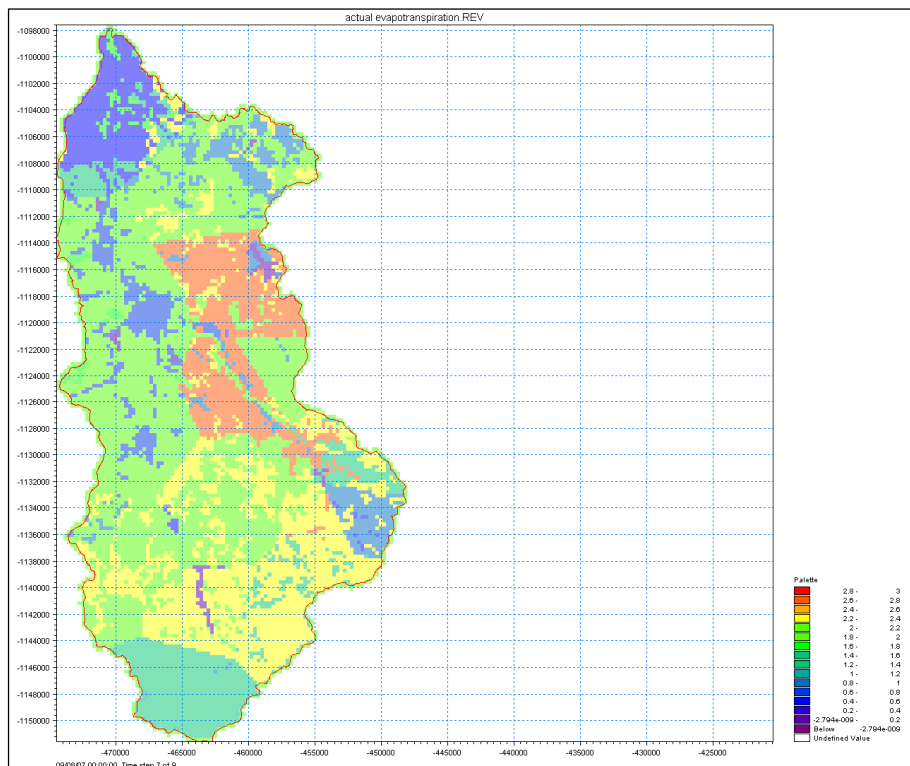
3. Výběr z výsledků



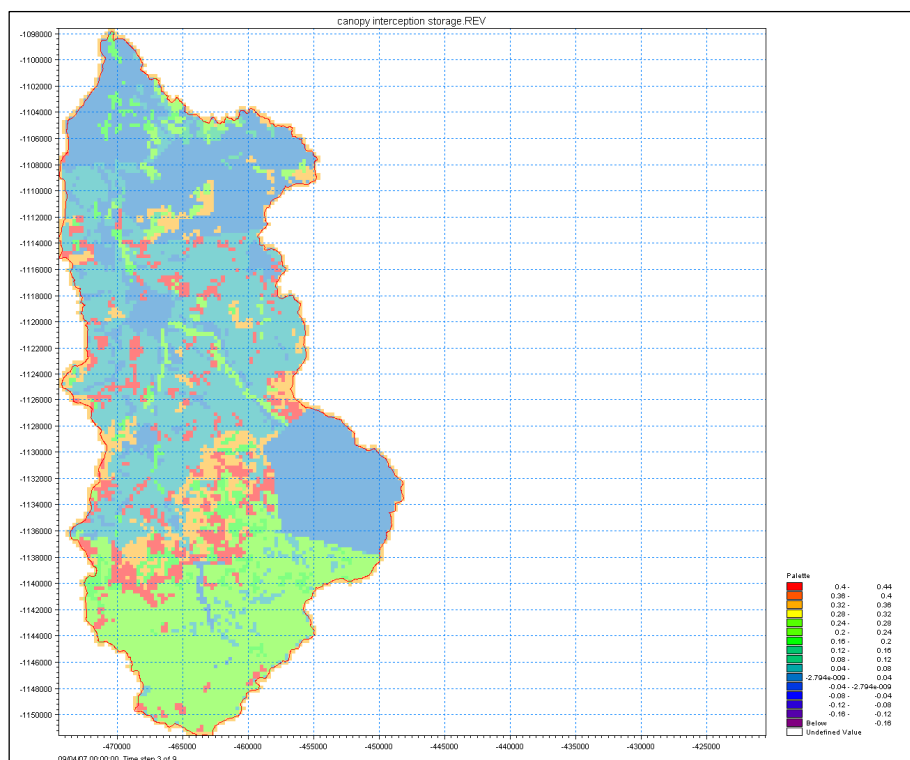
Obr. 1: Výsledky simulací jednotlivých scénářů (aktuální LULC, 50% les, 100% les) pro epizodu 4-15.9.2002 a povodí Olše (HYDROG)



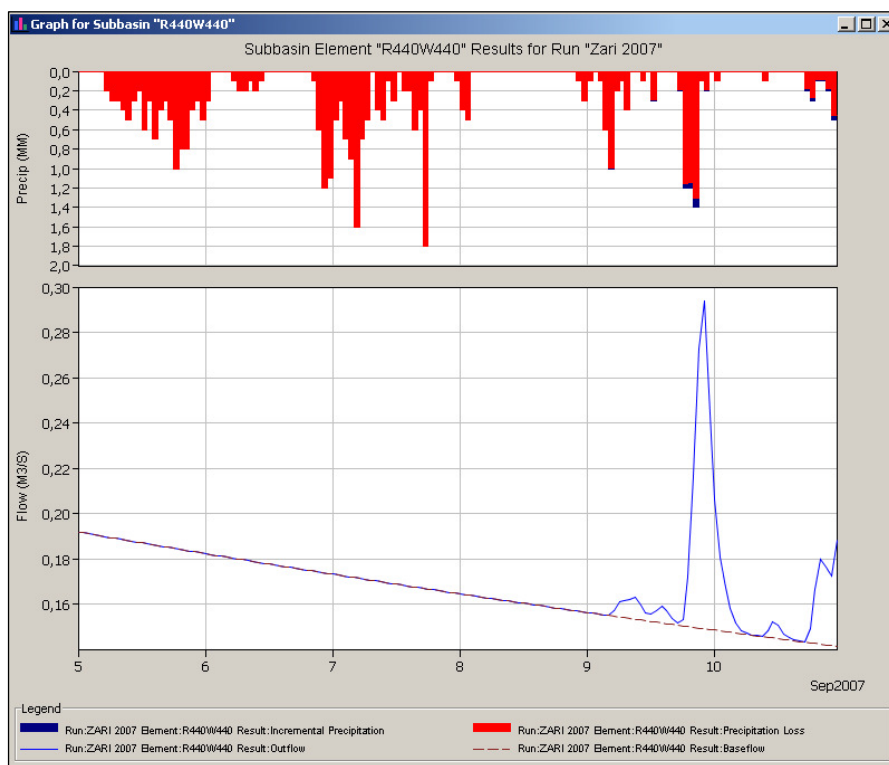
Obr. 2: Výsledky simulací RUSLE a dynamického erozního modelu SWAT pro povodí Stonávky (aktuální LULC, 100% les)



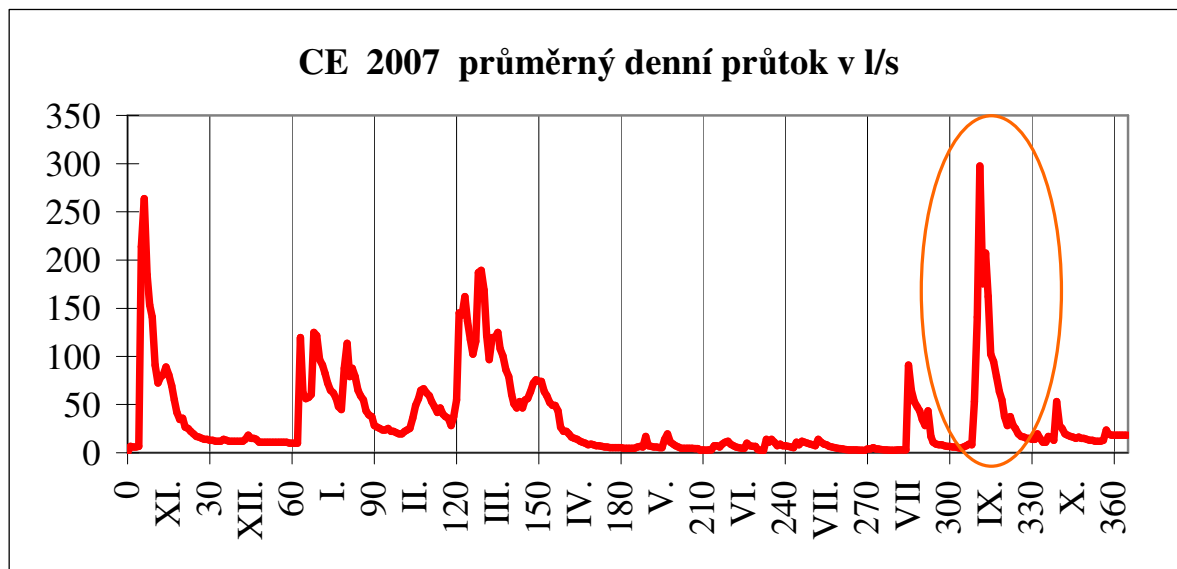
Obr. 3: Simulovaná evapotranspirace MIKE SHE pro s-o epizodu 9/2007 a povodí Ostravice



Obr. 4: Simulovaná intercepce MIKE SHE pro s-o epizodu 9/2007 a povodí Ostravice



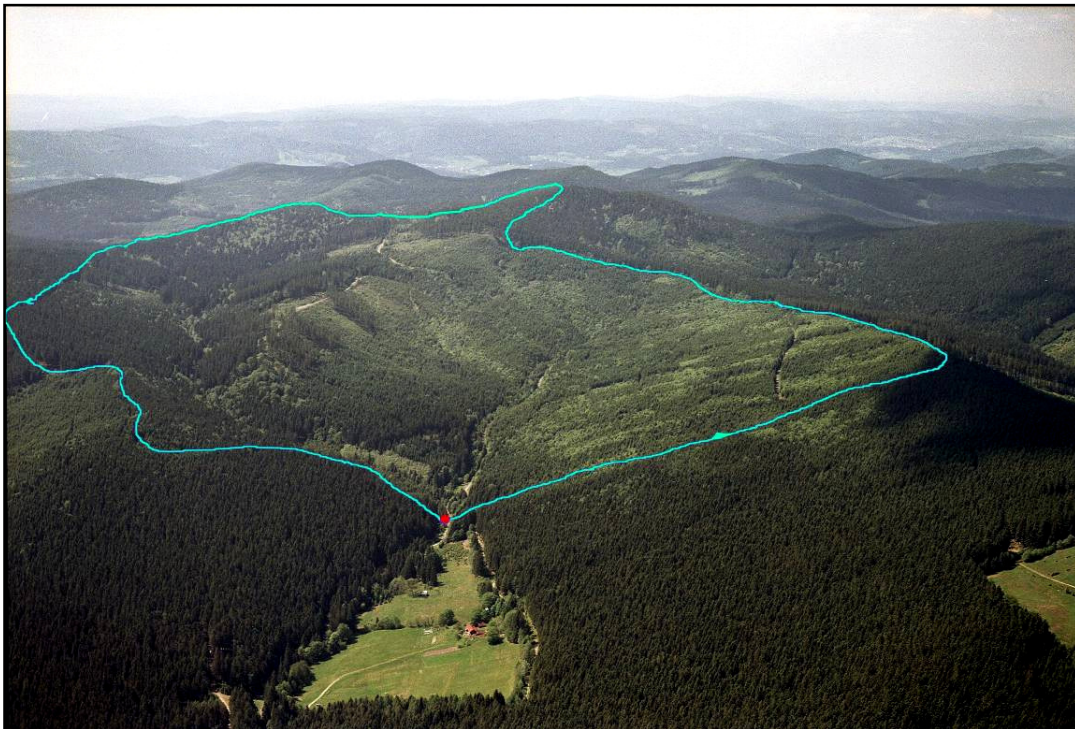
Obr. 3: Hyetogram a simulovaný základní a celkový odtok z povodí Červíku v $m^3 \cdot s^{-1}$ HEC-HMS pro epizodu 09/2007



Obr. 4: Pozorovaný průtok v povodí Červíku v $l \cdot s^{-1}$ v roce 2007 se zvýrazněním epizody 9/2007 (Zdroj dat. VÚLHM)

4. Závěr

Předběžné výsledky z let 2006 – 2008 podpořily názor autorského kolektivu, že hydrologické a dynamické erozní modely představují dobrý potenciál při výzkumu vlivu lesního vegetačního krytu na odtokové a erozní procesy v povodí. V prvních studiích bylo použito zejména událostních metod v semidistribovaných modelech typu HEC-HMS a HYDROG. Ty jsou v současnosti doplněny kontinuálními metodami v distribuovaných modelech typu MIKE SHE a GSSHA pro detailnější studium prostorové variability hydrologické a hydraulické transformace ovzdušné srážky na povodí.



Obr. 5: Celkový pohled na povodí Červíku (foto J. Vondra)

Tak, jak budou analýzy prováděny i pro jiné srážkoodtokové epizody různé vodnosti a srovnávány s dlouhodobým měřením na obou výzkumných povodích, přibude i poznatků umožňujících zobecnit vhodnost aplikace s-o modelů pro daný typ studií a také upozornit na případné problémy v průběhu této implementace. Rovněž dobré studium fyzickogeografických podmínek a jejich projevů umožní určitou typologizaci povodí dle převažujících geologických, geomorfologických, hydrologických, hydrogeologických, meteorologických, pedologických a biocenologických podmínek.



Obr. 6: Závěrový profil povodí Červíku a jeho vybavení měřícími přístroji (foto B. Šír)

Poděkování:

Výzkum byl financován z následujících projektů, za což by autoři rádi poděkovali.

- GA 205/06/1037 "Využití geoinformačních technologií pro zpřesňování srážko-odtokových vztahů"
- Výzkumný projekt Moravskoslezského kraje 01562/2006/RER „FLOREON - FLOODS REcognition On the Net“ <http://floreon.vsb.cz>

5. Reference:

1. ADAMEC, M., UNUCKA, J. (2005): *Vliv dostupnosti a mezinárodní výměny dat na predikci povodňových stavů příhraničních toků na příkladu povodí Olše*. In Transformační procesy 1990 - 2005. 10.10.2005-11.10.2005 Ostrava. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2005. s. 232 -238, ISBN 80-7368-106-4
2. ADAMEC, M., BŘEZKOVÁ, L., HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J. (2006): *Modelování vlivu land use na srážkoodtokové vztahy s podporou GIS*. Příspěvek na konferenci Říční krajina 4. Olomouc, PšF UPOL, s. 335-350, ISBN 80-244-1495-3
3. ADAMEC, M., HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J., ŽIDEK, D. (2007): *Modelování hydrologických extrémů s podporou DPZ a GIS*. In Sborník semináře Změny v krajině a povodňové riziko. Praha 5.6.2007, 12 s., ISBN 978-80-86561-87-5

4. ADAMEC, M., UNUCKA, J. (2007): *Modelování vlivu land use na erozní procesy s podporou GIS*. In sborník konference Říční krajina 2007. ISBN 978-80-244-1890-2
5. ADAMEC, M., UNUCKA, J. (2008): *Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážkoodtokové vztahy povodí Olše*. Vodohospodářský časopis/Journal of Hydrology and Hydromechanics, SR, 17 s. ISSN 0042/790X
6. BEDIENT, P.B., HUBER, W.C. et VIEUX, B.C. (2007): *Hydrology and floodplain analysis*. 4th edition. Prentice Hall, London, 795 s., ISBN: 978-0131745896
7. BEVEN, K.J. (2002): *Rainfall-runoff modelling*. The Primer. London, John Wiley & Sons. 372 s., ISBN: 978-0470866719
8. BROWN, A.G., QUINE, T.A. eds. (1999): *Fluvial processes and environmental change*. London, John Wiley & Sons, 413 s., ISBN: 978-0471985488
9. BUZEK, L. (1998): *Eroze lesní půdy v Moravskoslezských Beskydech*. In: Veronica, 12. zvl. číslo „Krajina a povodeň“, XII, Regionální sdružení ČSOP, Brno, s. 40 – 41
10. BUZEK, L., KRÍŽ, V., ŘEHÁNEK, T. (2000): *Hodnocení vodní eroze lesní půdy v povodí horní Ostravice formou plaveninového režimu*. In: Sborník prací PřF OU, 189, 8, Ostrava, s. 37 – 57
11. HAAN, C.T., BARFIELD, B.J., HAYES, J.C (1994): *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. London, Academic Press, Inc., 588 s., ISBN: 978-0123123404
12. HANZLOVÁ M., UNUCKA J., VOŽENÍLEK V. (2006): *Využití a pokryv krajiny (LULC) ve vazbě na hydrologické modelování*. Příspěvek na XXI. Sjezdu České geografické společnosti, České Budějovice, 30.8.-2.9.2006, ISBN 978-80-7040-986-2
13. HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J. et al. (2006): *Klasifikace pokryvu území v povodí Bělé pro hodnocení srážko-odtokových poměrů*. In konference GIS ve státní správě, Brno, 8 s.
14. HARMON, R.S., DOE III, W.W. eds. (2001): *Landscape erosion and evolution modeling*. New York, Kluwer Academic Publ., 540 s., ISBN: 978-0306467189
15. HEWLETT, J.D. (1986): *Principles of forest hydrology*. Athens, University of Georgia Press, 183 s., ISBN: 978-0820323800
16. CHANG, M. (2006): *Forest hydrology*. 2nd edition. London, Taylor & Francis, 474 s., ISBN: 978-0849353321
17. CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M. (1998): *Optimalizace koloběhu vody z hlediska stability lesních ekosystémů a ochrany krajiny a vodních zdrojů*. Závěrečná zpráva k oponentnímu řízení úkolu č. 9211. Frýdek-Místek, VÚLHM, s. 7-102
18. CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M., HOŠEK, A. (1997): *Dlouhodobé odtoky z malých lesnatých povodí*. In Zpravodaj Beskydy. MZLU Brno, s. 51-56
19. JANEČEK et al. (1999): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha, nakladatelství ISV, 202 s., ISBN: 80-85866-86-2
20. KANTOR, J et al. (2003): *Lesy a povodně*. Praha, MŽP. 48 s., ISBN: 80-7212-255-X
21. LEOPOLD, A. (1999): *Obrázky z chatrče a rozmanité poznámky*. Sand County Almanac. Tulčík, Vydavatelství Abies. 264 s.
22. LYON, JOHN G. ED. (2003): *GIS for Water Resources and Watershed Management*. Boca Raton, CRC Press. 266 s., ISBN: 0-415-28607-7
23. MAIDMENT, D.R. ED. (1993): *Handbook of Hydrology*. 1st edition. London, McGraw-Hill Professional. 1424 s., ISBN: 978-0070397323
24. MAIDMENT, D., DJOKIC, D. ED. (2000): *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems*. Redlands, ESRI Press. 232 s. ISBN: 978-1879102804
25. NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G. et al. (2002): *Soil And Water Assesment Tool Theoretical Documentation*. Temple, Blackland Research Centre, 506 s.
26. UNUCKA J., HORÁK J., RAPANTOVÁ N. (2005): *Možnosti propojení GIS s hydrologickými a hydrogeologickými modely*. In Sborník konference Hydrologické dni 2005. Bratislava, Slovensko, 21-23.9.2005. s. 198- 210, 13 stran, ISBN 80-88907-53-5
27. UNUCKA, J. (2006): *Hydrologické a vodohospodářské aspekty revitalizace Bečvy*. Disertační práce. PřF OU Ostrava, 178 s.

-
28. UNUCKA, J. (2007): *Modelování hydrologických procesů s podporou DPZ a GIS*. In sborník workshopu Informační technologie pro modelování krizových situací – IT4DM. VŠB-TU Ostrava, 13.9.2007, 15 s., ISBN 978-80-248-1537-4
 29. UNUCKA, J., HORÁK, J., RAPANT, P., RAPANTOVÁ, N. (2007): *Využití GIT a numerických modelů pro komplexní management povodí*. In sborník konference Říční krajina 2007. PřF UP, Olomouc.
 30. UNUCKA, J. (2008): *Modelování vlivu lesa na srážkoodtokové vztahy a vodní erozi s pomocí GIS*. In Vodní hospodářství, 7/2008. 7 s. ISSN 1211-0760
 31. VÁŠKA, J. et al. (2000): *Hydromeliorace*. Praha, ČKAIT, 220 s., ISBN 80-86426-01-7
 32. VÁLEK, Z. (1977): *Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel*. Praha, Státní zemědělské nakladatelství 1977. 203 s.
 33. VIEUX, B. E. (2004): *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 289 s., ISBN: 978-1402024597
 34. WARD, A., TRIMBLE, S. W. (2004): *Environmental Hydrology*. 2nd. Edition. Boca Raton, CRC Press & Lewis Publishers, 504 s., ISBN: 978-1566706162