

ANALÝZA Vlivu PARAMETRŮ DMT NA VÝSLEDKY SIMULACÍ DISTRIBUOVANÉHO SRÁŽKODTOKOVÉHO MODELU - PŘÍPADOVÁ STUDIE Z POVODÍ PLOUČNICE.Iva PONÍŽILOVÁ¹, Jan UNUCKA^{2,3}

¹ Český hydrometeorologický ústav pobočka Ústí nad Labem, Kočkovská 18/2699, 400 11, Ústí nad Labem, Česká republika
iva.ponizilova@chmi.cz

² Český hydrometeorologický ústav pobočka Ostrava, K Myslivně 3/2182, 708 00, Ostrava-Poruba, Česká republika
jan.unucka@chmi.cz

³ Hornicko-geologická fakulta VŠB-TUO, 17. Listopadu 15/2172, 708 33, Ostrava-Poruba, Česká republika
jan.unucka@vsb.cz

Abstrakt

Se zvyšujícím se počtem a kvalitou vstupních geodat pro potřeby hydrologického modelování a zároveň nárůstem výkonu výpočetní techniky se stále častěji ve výzkumné i aplikační sféře setkáváme s plně distribuovanými srážkoodtokovými modely. Důvod pro tento vzestupný trend lze spatřit ve větší komplexnosti těchto modelů a jejich metod, což bezesporu platí pro lídry na úrovni průmyslových standardů USACE/HEC a DHI MIKE. Dalším důvodem je snaha o podchycení povodní z konvektivních srážek a tzv. flash floods v rámci simulačního aparátu a zejména predikce tohoto typu povodní, které semidistribuované modely nebudou principiálně nikdy schopny explicitně numericky řešit, mj. díky absenci analytických a numerických metod pro řešení odtoku na plochách povodí ve 2D. Zde se pak otevírá prostor pro plně distribuované modely, které toto explicitně řeší, na druhou stranu však mají vyšší požadavky na vstupní data a jejich kvalitu. Pokud jsou data kvalitní a s vysokým rozlišením, narůstá výpočetní čas a tedy kritický faktor včasné předpovědi. Tento příspěvek se soustředí na analýzu vlivu rozlišení DMT na výsledky simulací komplexního distribuovaného modelu DHI MIKE SHE v povodí Ploučnice.

Abstract

With the increasing number and quality of the spatial data sources for hydrological modelling together with the increasing performance of hardware sources we encounter with fully distributed rainfall-runoff models more frequently both in research and application sphere. The reasons for this upward trend can be found in a greater complexity of these models and their methods, which certainly applies to the leaders at the level of industrial standards of hydrological modelling USACE / HEC and DHI MIKE. The second reason is possibility of the underpinning and proper numerical solution of a so-called flash floods generated from the convective precipitation. Flash floods is such type of the flood events in the framework of the simulation and prediction systems, that semidistributed rainfall-runoff models will in principle never be able to bring explicit numerical solution, among others due to the lack of methods and numerical methods for overland runoff solution within the subbasins in 2D numerical scheme. Here then open the horizons for the fully distributed models, which can explicitly simulate above mentioned processes, but on the other hand, have higher requirements for the input data and their quality. If the data accuracy and their spatial resolution are on the high level, the computational time increases consequently and therefore also a critical factor of early predictions availability. This paper focuses on the analysis of the impact of DTM resolution on the results of simulations of complex distributed model DHI MIKE SHE in the Ploučnice basin.

Klíčová slova: srážkoodtokové modelování; DMT, MIKE SHE; HEC-HMS; povodí Ploučnice

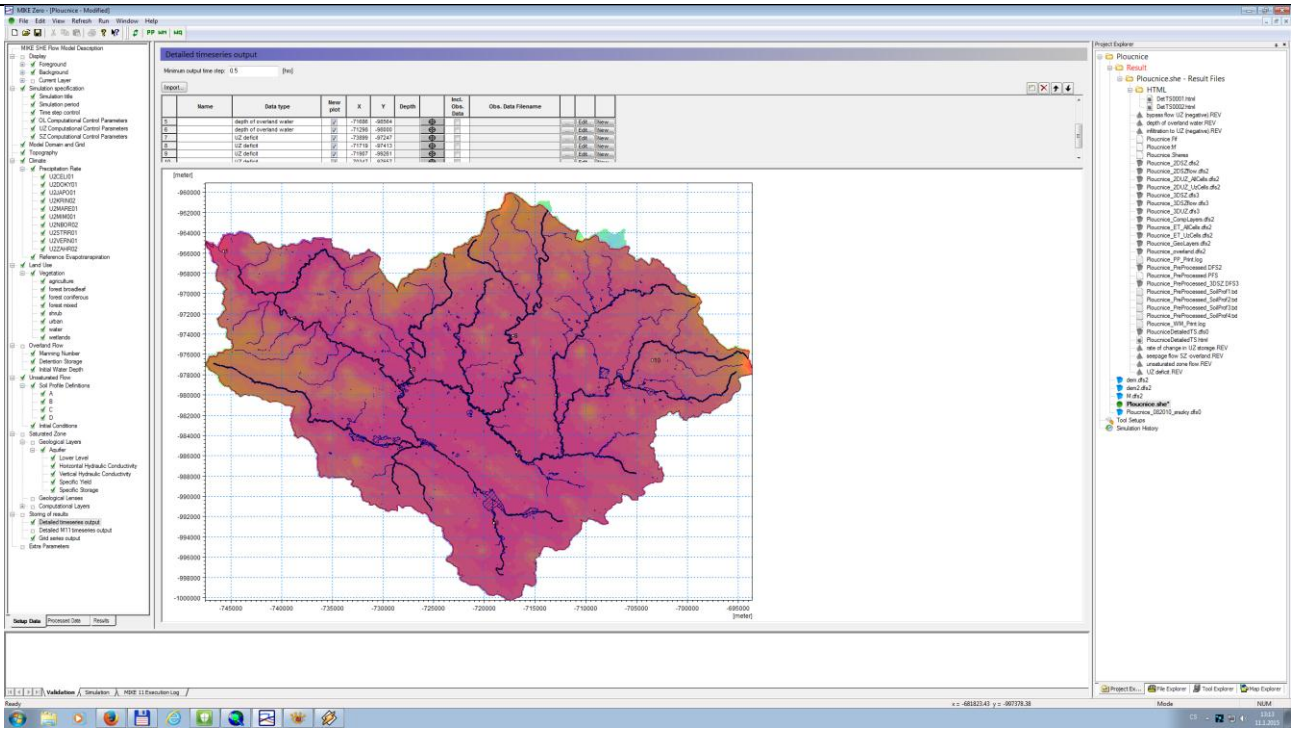
Keywords: rainfall-runoff modelling; DTM; MIKE SHE; HEC-HMS; Ploučnice basin

ÚVOD

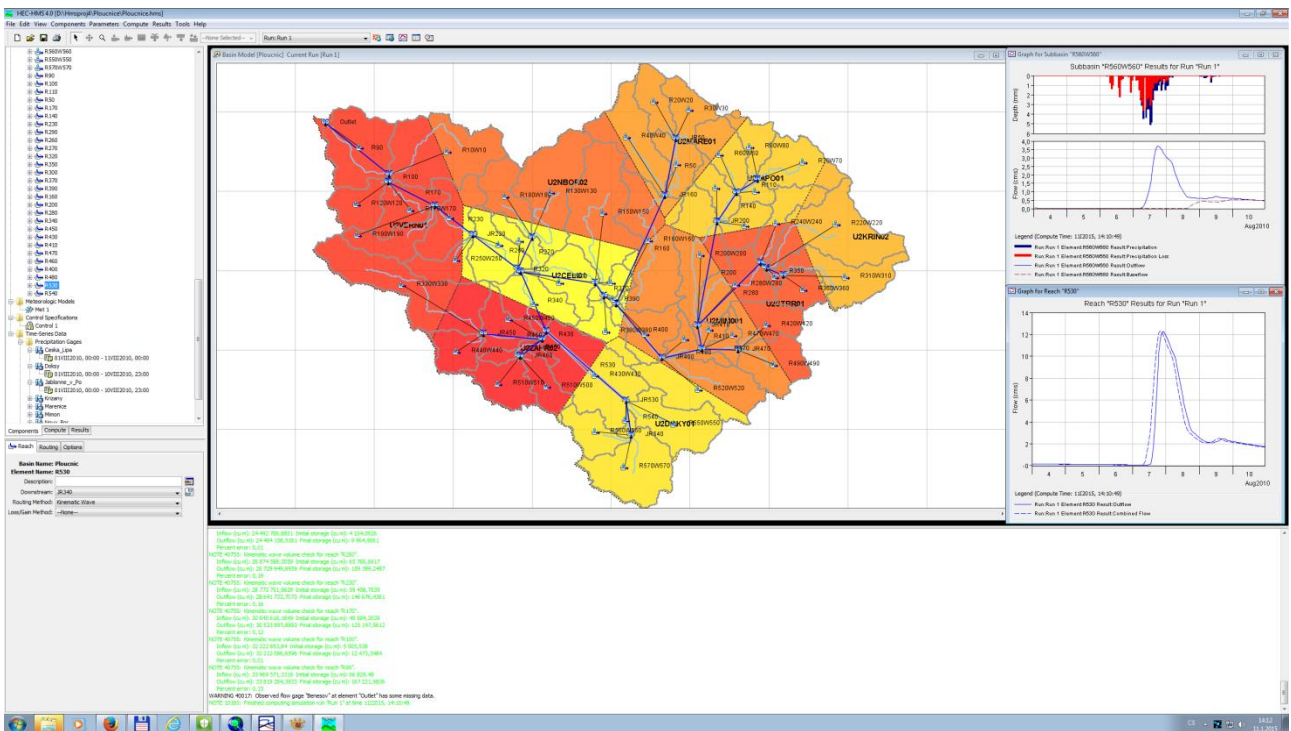
Plně distribuované srážkoodtokové (dále jen SO) modely díky své náročnosti na vstupní data a výkon hardwaru zatím nedominují v operativní hydrologické prognóze včetně HPPS ČR, ale jejich potenciál v souhrnných studiích odtokových poměrů povodí je již neoddiskutovatelný. Dalším faktorem je modularita těchto systémů. Na jedné straně lze disponovat komplexní simulační platformou včetně přímého napojení na hydrauliku otevřených koryt a stokových sítí s modelem proudění podzemních vod a na straně druhé pak modelem, který řeší pouze povrchový odtok se zanedbáním či parametrizací hypodermického a základního odtoku. Zatímco první skupinu nástrojů reprezentují modely MIKE SHE či GSSHA, typickými reprezentanty skupiny druhé jsou nástroje typu SIMWE či TOPMODEL. Tyto zjednodušené varianty distribuovaných SO modelů se v současnosti používají na simulaci povrchového odtoku z konvektivních srážkových epizod (tzv. *flash floods*), protože je poměrně logickým předpokladem, že během těchto rychlých událostí s rychlým překročením infiltrační kapacity půdy lze do určité míry příspěvky hypodermického a základního odtoku zanedbat. Je však nasnadě, že jak pro zjednodušené varianty, tak pro varianty komplexní je kvalita a rozlišení DMT jedním se základních faktorů. Pro detailnější popis této problematiky lze odkázat např. na práce Vieux (2004), Wilsona a Gallanta (2000), Bedienta, Hubera a Vieux (2013), Fárka (2014), Unucky (2014) nebo Fárka a Unucky (2010, 2014, 2015). V tomto příspěvku se autoři soustředili na plně distribuovaný SO model DHI MIKE SHE a povodí Ploučnice, které je v gesci ČHMÚ Ústí nad Labem v rámci operativní HPPS ČR.

METODIKA A POUŽITÉ PROGRAMOVÉ PROSTŘEDKY

Jak již bylo zmíněno v úvodu, pro samotné SO modelování byl použit model DHI MIKE SHE. Pro doplňkové analýzy, které však nejsou zmíněny v tomto článku, byly použity modely HEC-HMS a AquaLog. Pro preprocessing dat byly využity vybrané nástroje a analýzy v rámci GIS platform ESRI ArcGIS, GRASS GIS a SAGA GIS. Jelikož je tento článek zaměřen na vliv rozlišení DMT na výsledky simulací plně distribuovaného SO modelu, autoři se omezí na popis dílčích analýz DMT a parametrizace modelu MIKE SHE. Krom standardních hydrologických analýz poplatných platformě ArcHydro byly provedeny další hydrologické analýzy DMT Ploučnice v modulech *r.slope.aspect*, *r.terraflow* a *r.topidx* v platformě GRASS GIS a morfometrické analýzy v SAGA GIS jako jsou vlhkostní indexy, hloubka údolí a šířka údolí. Další hydrologické parametry, jako jsou čas koncentrace či lag time, byly odvozeny v HEC-GeoHMS / ArcHydro Tools. Regresní analýzy jednotlivých DMT a další analýzy byly provedeny v extenzích Jeffa Jenness pro ArcView GIS 3.2. Některé regresní analýzy byly provedeny v IDRISI Selva a SAGA GIS. Povrchový odtok byl v modelu MIKE SHE řešen metodou konečných rozdílů, hypodermický odtok a dynamika nenasycené zóny pomocí Richardsovy rovnice a základní odtok pak metodou konečných rozdílů pomocí MODFLOW. Odtok v korytech toků byl zajištěn propojením s modelem MIKE 11, přičemž hydraulická transformace byla řešenou dynamickou vlnovou aproximací vyššího řádu. SO model HEC-HMS byl pro zájmové povodí schematizován jako semidistribuovaný a parametrizován ve dvou variantách. První byla varianta s využitím metod SCS-CN, Clarkova jednotkového hydrogramu, kinematické vlnové aproximace a recesní metody a druhá s využitím metody SAC-SMA pro možnost srovnání s výstupy SO modelu AquaLog. Pro parametrizaci výškových poměrů a následnou simulaci povrchového odtoku byly využity DMT interpolovaný z dat ZABAGED (pro samotnou schematizaci bylo testováno rozlišení 100x100 a následně využito 25x25 m, varianta 1) a Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (dále jen DMR 5G) (ve schematizaci SO modelu MIKE SHE konvertován na rastr s rozlišením 5x5 m, varianta 2). Pro informace, jakým způsobem se rozlišení DMT promítá do schematizací SO a hydraulických (dále jen HD) modelů, lze odkázat na práci Unucky (2010, 2014), Fárka (2014) či Fárka, Unucky a kol. (2010, 2014, 2015). Pro detailnější popis dílčích modulů a jejich principů v GRASS GIS lze využít komplexní publikaci Netelera a Mitášové (2008), stejně tak pro popis morfometrických analýz v SAGA GIS práci Hengla a Reutera (2009). Další studie povodí Ploučnice z hlediska hydrologického modelování lze nalézt v pracích Ponížilové a kolektivu (2014). Výsledky jednotlivých variant byly analyzovány na úrovni celého povodí (rastry výšek povrchového, hypodermického a podzemního odtoku) a na úrovni srovnání hydrogramů pro zvolené SO epizody v závěrovém profilu Benešov nad Ploučnicí (http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307137).



Obr. 1 Schematizace povodí Ploučnice a nastavení parametrů simulace v MIKE SHE



Obr. 2 Schematizace povodí Ploučnice a výsledky simulace v HEC-HMS

CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Povodí Ploučnice je povodím III. řádu s číslem 1-14-03. Plocha povodí činí 1193 km² (dle DIBAVOD). Ploučnice pramení na jihu západním svahu Ještědu (1012) ve výšce 654 m n. m. V Děčíně pak tvoří pravostranný přítok Labe. Od pramenů z ještědského hřbetu přitéká do Zákupské pahorkatiny a pod Českou Lípou vtéká do Verneřického středohoří, kde vytváří hlubší údolí. Významné je napájení toku z podzemních vod. Střední část povodí Ploučnice je charakteristická největší akumulací vody z celého povodí, která je vázána převážně v povodí Robečského potoka a jeho rybníční soustavu. Povodí Ploučnice je orograficky členěno na Krušnohorskou soustavu a Českou tabuli. Z geologického hlediska převážnou část povodí tvoří mezozoické horniny (pískovce a jílovce). Podél hlavního toku Robečského potoka i jeho přítoků se pak místy objevují kvartérní horniny (hlíny, spraše, písky, štěrky). Geomorfologicky výrazné elevace různých tvarů i rozměrů jsou důsledkem průniků neovulkanických těles z čedičových a znělcových hornin, původně podpovrchových, denudačními procesy postupně vypreparovaných z pláště svrchnokřídových hornin. Takovéto uspořádání je charakteristické prakticky pro celé povodí Ploučnice. Nejvíce zastoupeným typem půd v povodí Robečského potoka jsou podzoly a kambizemě. Dále jsou zastoupeny gleje, hnědozemě, organozemě a luvizemě. (Vlček ed. 1984, Kuncová J. et al. 1999). Charakter povodí Ploučnice můžeme rozdělit do dvou částí: severní povodí pravostranných přítoků se vyznačuje větší výškovou členitostí podhůří Lužických hor a také mnohem hustší říční sítí než je tomu u jižní rovinné části levostranných přítoků Ploučnice. Výškově členitější území severní části povodí má vliv na mnohem větší příspěvky z mezipovodí pravostranných přítoků do řeky Ploučnice (Vlček ed. 1984). Výskyt povodňových stavů je zde poměrně častý v měsících leden až březen díky vlivu jarního tání, letní povodně ze stratiformních či konvektivních srážek jsou v posledních letech také poměrně frekventované. Další informace lze nalézt např. na webových stránkách systému POVIS MŽP a ČHMÚ (http://www.povis.cz/pdf/PZPR_labe.pdf), popř. v publikaci Kuncové J. a kol (1999) či Vlček ed. (1984).

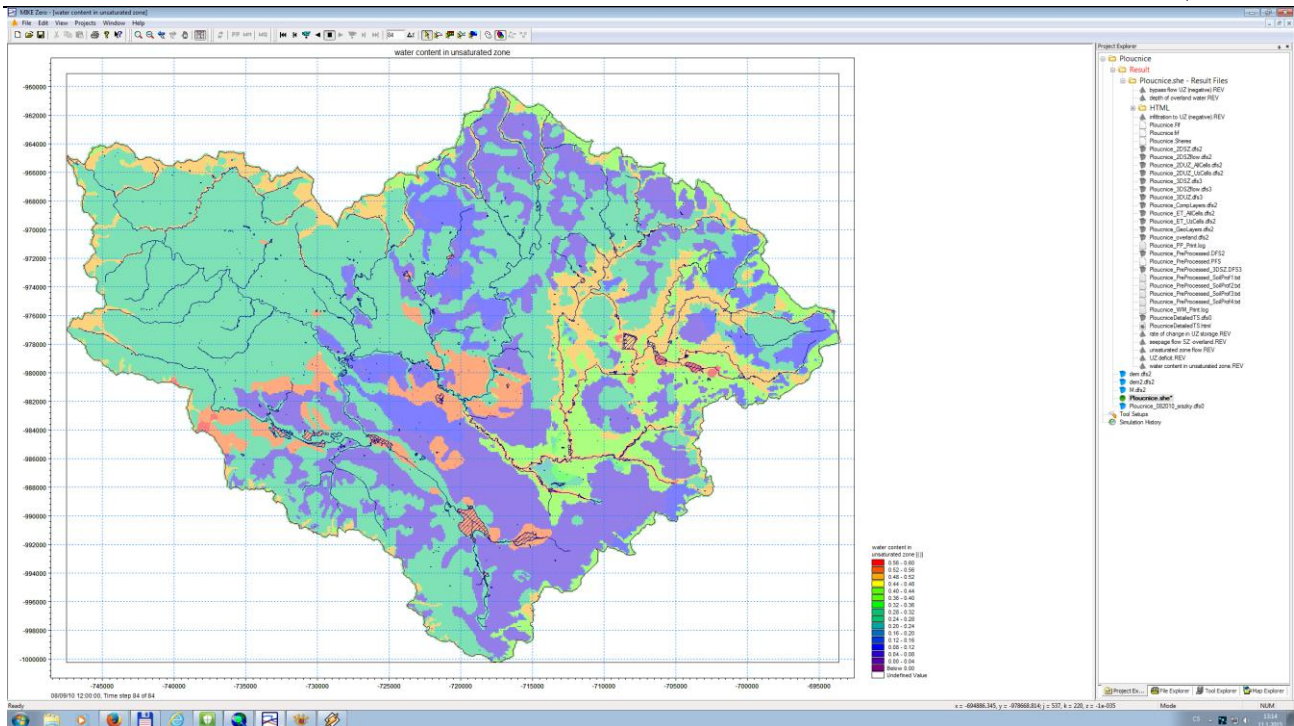
VÝBĚR Z VÝSLEDKŮ

Na úvod je nutné předeslat, že jednotlivé varianty modelu MIKE SHE se liší zejména v délce výpočtu. S rastrem v MIKE SHE o rozlišení 5x5 m a pro epizodu 6.-10.8.2010 probíhala simulace 57 h na stroji, který disponoval CPU Intel Core i7-4790K, 16 GB RAM, GPU nVidia GeForce GTX 750i, systémovým SSD Intel a stále výkonnými HDD WD VelociRaptor pro data modelu a OS Windows 7 Professional x64. Na starší konfiguraci se dvěma fyzickými CPU Intel Xeon 5405 a OS Windows Server 2008 R2 x64 byl čas výpočtu ještě vyšší, a to 64 h. Pro operativní prognózní výpočty je tedy taková schematizace a parametrizace modelu naprosto nevhodná. Výpočet stejné epizody v semidistribuovaném SO modelu HEC-HMS trvá na stejné konfiguraci cca. 3 s pro první variantu s metodami SCS-CN, Clarkova jednotkového hydrogramu, kinematické vlnové aproximace a recesní metody, respektive 17 s pro variantu s algoritmem SAC-SMA. Následující obrázky č. 3 a 4 znázorňují výsledky modelu MIKE SHE, konkrétně dynamiku nenasycené a nasycené zóny. Srovnání výsledků pro uvedenou epizodu, jejíž kulminační průtok v Benešově nad Ploučnicí měl hodnotu 189 m³.s⁻¹ pak znázorňuje tabulka č. 1. Dlužno dodat, že se jedná o výsledky nekalibrovaných modelů, aby byly zřejmé rozdíly mezi jednotlivými variantami.

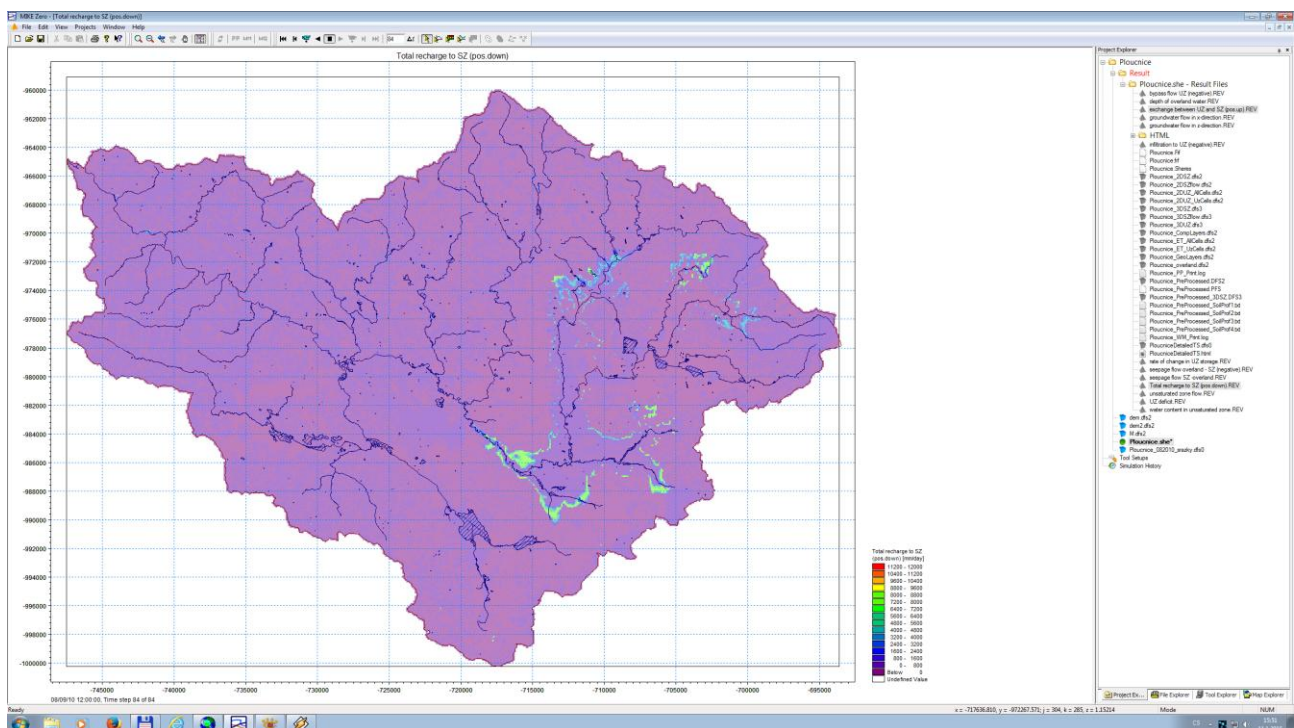
Tab. 1 Výsledky simulace jednotlivých variant modelů HEC-HMS a MIKE SHE (popis variant modelů viz text)

| Varianta SO modelu | kulminační Q [m ³ .s ⁻¹] | čas kulminace | max. výška povrchového odtoku [mm] |
|---------------------|---|---------------|------------------------------------|
| HEC-HMS varianta 1 | 217 | 8.8. 23:00 | - |
| HEC-HMS varianta 2 | 193 | 9.8. 03:00 | - |
| MIKE SHE varianta 1 | 218 | 8.8. 21:00 | 4200 |
| MIKE SHE varianta 2 | 211 | 9.8. 2:00 | 3900 |

Z výsledků je patrné, že rozdíly se pro tuto epizodu pohybují v řádu jednotek procent (maximální rozdíl činí cca. 11 %). Výška povrchového odtoku je pak vztažena ke korytu Ploučnice v závěrových staničeních toku (Benešov n. Pl., Děčín). Všechny varianty modelů HEC-HMS i MIKE SHE měly tendenci nadhodnocovat, což může být ovlivněno hned několika faktory, viz diskuze.



Obr. 3 Výsledky simulace MIKE SHE – objem vody v nenasycené zóně



Obr. 4 Výsledky simulace MIKE SHE – perkolace do nasycené zóny

DISKUZE

Z uvedeného textu je patrné, že rozdíly mezi jednotlivými variantami modelů jsou poměrně malé a žádnou variantu vyloženě nediskvalifikují. Zároveň je nutno zdůraznit, že zatímco varianty modelu HEC-HMS představovaly jen výběr různých metod nad stejnou variantou preprocessingu v rámci schematizace a tedy i stejných geodat včetně DMT, u MIKE SHE byly varianty založeny principiálně na stejných metodách, ale jiným rozlišení vstupních dat, konkrétně DMT. K variantám MIKE SHE je však žádoucí poukázat na ještě jednu skutečnost. Schematizace modelu MIKE 11 byla provedena nad nejkvalitnějším DMT, a sice DMR 5G ČÚZK.

Pakliže by byla pro generování základních *.NWK11 a *.XNS11 souborů použita varianta DMT 25x25 ZABAGED, topologické a geometrické chyby v korytech by byly mnohem výraznější (dle dosavadních zkušeností autorského kolektivu na úrovni 30-60 %), navíc generování schematizace malých vodních toků v MIKE 11 GIS by byla pod rozlišovací schopností DMT. Tyto faktory by propagovaly mnohem výraznější chyby a rozdíly jak do hydrogramů ve sledovaných profilech, tak do hodnot výšek povrchového odtoku. Navíc použití kombinace „MIKE 11 nad daty ZABAGED“ a „MIKE SHE overland flow nad DMR 5G“ by s největší pravděpodobností vedlo k havárii simulace respektive kvantu chybových hlášení v důsledku špatné korespondence hodnot kót v souboru *.XNS11 a DMT ve schematizaci MIKE SHE. Jelikož je schematizace HD modelu pro povodí o velikosti řádově v tisících km² dost pracnou záležitostí, autoři ne zvolili v testech tyto variantní schematizace HD modelu MIKE 11. Vlivem DMT na hydraulické simulace v 1D modelech, jaké představují MIKE 11 či HEC-RAS, se v povodích ČR zabývají Kožaná a kol. (2012) nebo Jančíková a Unucka (2015). Jinou diskuzi lze nalézt v publikacích Vieux (2004) či Di Baldassare a kol. (2012). Dalším aspektem je pak „zrychlování“ povrchového odtoku v případě menšího rozlišení DMT (varianta 1 MIKE SHE). Důležitým faktem je zde to, že toto menší rozlišení se propaguje v rámci celé simulované domény, takže obdobně ovlivňuje i dynamiku nenasycené a nasycené zóny. Neméně důležitým aspektem je i fakt, že v případě potřeby integrovaného výpočtu SO a HD modelu jsou pak rozlišením rastru DMT SO modelu ovlivněny zásadním způsobem rastry výsledných hladin a rozlivů. Pro analýzy tohoto typu tedy nemá smysl používat rastry s menším rozlišením, než je 10x10 m (pro menší toky a inundační území spíše vyšším). Vliv vstupních dat na celkové výsledky simulací v SO modelech je diskutován v poměrně velkém počtu publikací, přičemž lze zmínit opět práce Vieux (2004), Bedient, Huber a Vieux (2013), di Baldassare a kol. (2012), Mujumdar, P., Nagesh Kumar, D. a kol. (2012) nebo Ruiz-Villaneuva, R. a kol. (2013). Příští simulované epizody v rámci následného výzkumu mohou dle očekávání autorů přinést zajímavé výsledky i překvapení.

ZÁVĚR

Uvedený příspěvek si nekladl za cíl podat vyčerpávající popis vlivu rozlišení DMT na výsledky distribuovaných SO modelů, tento záměr by mnohonásobně překročil kapacitu nejen vymezenou na jednotlivé příspěvky, ale i sborníku jako takového. Autoři tedy doufají, že takto bude i vnímán – jako případová studie s dílčími výsledky, přičemž další výzkum může dále napomoci k poznání vlivu DMT na výsledky plně distribuovaných SO modelů. Důležitým faktorem je i racionální výběr variant schematizací (viz předešlý komentář k MIKE 11) a zejména racionální výběr rozlišení vstupních dat. Je věcí diskuze, zda z hlediska SO modelování je žádoucí kombinovat ve schematizaci distribuovaného SO modelu rozlišení DMT 5x5 m a zároveň údaje o krajinném pokryvu a využití půdy z dat CORINE. Toto jsou otázky nejen akademické, ale i praktické, protože podobné výzkumy se odrážejí do vývoje metod HPPS ČR, přičemž dosavadní primární využívání semidistribuovaných SO modelů některé výše uvedené problémy nemuselo zohledňovat. Lze tedy jen závěrem vyslovit přání, ať jsou distribuované srážkoodtokové modely využívány co nejvíce a počet případových studií v nejrůznějších fyzicko-geografických podmínkách a hydrosynoptických situacích nadále vzrůstá.

Poděkování:

Autoři by rádi poděkovali projektu TAČR č. TA04021123 „Nové metody měření morfologie dna povrchových vodních útvarů a jejich využití pro územní a krizové plánování“, přičemž bez realizační podpory tohoto projektu by článek nemohl vzniknout. Rovněž děkují Povodí Labe, s.p., ČÚZK a ČHMÚ za podporu nejen na úrovni datové základny pro realizaci analýz.

LITERATURA

- Bedient, P.B., Huber W.C. et Vieux B.C. (2013): Hydrology and Floodplain Analysis. 5th edition. Prentice Hall, London, 815 s., ISBN: 978-0-273-77427-3
- Beven K.J. (2009): Environmental Modelling: An Uncertain Future ? London, Routledge, 310 s. ISBN: 978-0-415-46302-7 Blackwell. 451 s. ISBN: 978-0-470-71459-1.
- Callow, J.N., Boggs, G.S. (2013): Studying reach-scale spatial hydrology in ungauged catchments. S. 31 - 46. In Journal of Hydrology 496. ISSN: 0022-1694
- Di Baldassarre, G. et al. (2012). Floods in a changing climate. Inundation Modeling. XIV, 105 s.. ISBN 11-070-1875-7.
- Fárek, V., Unucka J. (2010): Modelování povrchového odtoku v extrémním reliéfu. In sborník symposia GIS Ostrava, Ostrava, VŠB-TUO. 9 s. ISBN: 978-80-248-2171-9
- Fárek, V., Unucka, J. et al. (2014): Využití GIS a distribuovaných srážko-odtokových modelů v odhadu hydrologických parametrů malých povodí. Případová studie z NP České Švýcarsko a Jetřichovického potoka. 5 s. In Vodní hospodářství 1/2014. ISSN: 1211-0760
- Fárek, V., Unucka J. et al. (2015): Assessment of the runoff conditions of small ungauged catchments using GIS and fully distributed hydrologic models. 10 p. In Acta Montanistica Slovaca 1/2015, ISSN 1335-1788
- Grimaldi, S., Petroselli, A., Arcangeletti, E., Nardi, F. (2013): Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic-hydraulic modeling. S. 39 - 47. In Journal of Hydrology 487. ISSN: 0022-1694
- Haan, C.T., Barfield, B.J., Hayes, J.C. (1994): Design Hydrology an Sedimentology for Small Catchments. London, Academic Press, Inc., 588 s., ISBN: 978-0123123404
- Hengl, T., Reuter, H.I. (2009): Geomorphometry. Concepts, Software, Applications. Amsterdam, Elsevier. 775 s. ISBN: 978-0-12-374345-9
- Chang, M. (2006): Forest Hydrology. 2nd ed. London, Taylor & Francis, 474 s., ISBN: 978-0849353321
- Ilorme, F., Griffis, V. W. (2013): A novel procedure for delineation of hydrologically homogeneous regions and the classification of ungauged sites for design flood estimation. S. 151 - 162. In Journal of Hydrology 492. ISSN: 0022-1694
- Jančíková, A., Unucka, J. (2015): DTM impact on the Results of Dam Break Simulation in 1D Hydraulic Models. GIS Ostrava 2015, 7 s.
- Kožaná, B., Štěřba, O., Unucka, J. et al. (2014): Příspěvek k možnostem stanovení vlivu lužního lesa na tlumení povodňových vln s využitím 1D a 2D hydraulických modelů a GIS. 7 s. In Zprávy lesnického výzkumu vol. 59, 2/2014. ISSN: 0322-9688
- Kuncová J. et al. (1999): Ústecko. In: Mackovčín P. a Sedláček M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek I. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 352 s. ISBN: ISBN 80-86064-37-9
- Maidment, D.R. ed. (2002): ArcHydro. GIS for Water Resources. ESRI Press. 220 s. ISBN: 978-1589480346
- Maidment, D., Djokic, D. eds. (2000): Hydrologic and Hydraulic Modelling Support with Geographic Information Systems. Redlands, ESRI Press. 232 s. ISBN: 978-879102804
- Mujumdar, P., Nagesh Kumar, D. et al. (2012):. Floods in a changing climate. XIII. Hydrologic Modeling., 177 s. ISBN 978-110-7018-761.
- Neteler, M., Mitasova, H. (2008): Open Source GIS. A GRASS GIS Approach. 3rd ed. New York, Springer. 417 s. ISBN: 978-0-387-35767-6
- Singh, V.P., Frevert, D.K. (2006): Watershed Models. Boca Raton, CRC Press. 653 s. ISBN: 978-08493-3609-6

Ruiz-Villaneuva, R., Díez-Herrero, A., Bodoque, J.M., Ballasteros Canóvas, J.A., Stoffel, M. (2013): Characterisation of flash floods in small ungauged mountain basins of Central Spain using an integrated approach. S. 32 -43. In *Catena* 110. ISSN: 0341-8162

Stednick, J. D. ed. (2007): *Hydrological and Biological Responses to Forest Practices: The Alsea Watershed Study*. New York, Springer. 322 s. ISBN: 978-1441928436

Unucka, J. (2010): Možnosti propojení GIS a environmentálních modelů pro potřeby krizového řízení a ochrany přírody. Ostrava, 2010. Habilitační práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta. 241 s.

Unucka, J., Jařabáč, M., et al. (2011): Srovnání možností využití semidistribovaných a distribuovaných srážkoodtokových modelů v lesnické hydrologii na příkladu povodí Ostravice. In *Zprávy lesnického výzkumu* 1/2011. ISSN: 0322-9688

Unucka, J. (2014): *Environmentální modelování 1*. Skriptum PŘF OU. 209 s. SVZZ CZ.1.07/2.3.00/35.0053 & PŘF OU.

Vieux, B. E. (2004): *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 289 s., ISBN: 978-1402024597

Vlček V. ed. (1984): *Zeměpisný lexikon ČR. Vodní toky a nádrže*, Academia Praha, 315 s. ISBN:

Wilson, J.P., Gallant, J.C. eds. (2000): *Terrain Analysis. Principles and Applications*. London, John Wiley & Sons. 479 s. ISBN: 978-0471321880