

## EXTRÉMNI SRÁŽKY NA PÍSKOVCOVÉM PODLOŽÍ

Vladimír FÁREK<sup>1</sup>, Jan ŠREJBER<sup>1</sup>, Veronika ŘÍHOVÁ<sup>3</sup>, Jan UNUCKA<sup>3</sup>, Michaela HOŘÍNKOVÁ<sup>4</sup>, Dušan ŽIDEK<sup>2</sup>, Ondřej MALEK<sup>3</sup>, Boris ŠÍR<sup>4</sup>, Michal PODHORÁNYI<sup>4</sup>, Marie VYLEŽÍKOVÁ<sup>3</sup>, Jozef RICHNAVSKÝ<sup>4</sup>, Vladimír TĚTHAL<sup>4</sup>, Vladimíra HAPLOVÁ<sup>4</sup>, Peter SPÁL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav, Kočkovská 18/2699, 400 11, Ústí nad Labem, ČR  
[farek@chmi.cz](mailto:farek@chmi.cz), [srejber@chmi.cz](mailto:srejber@chmi.cz)

<sup>2</sup> Český hydrometeorologický ústav, K myslivně 3/2182, 708 00, Ostrava-Poruba, ČR  
[zidek@chmi.cz](mailto:zidek@chmi.cz)

<sup>3</sup> Institut geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 30, Ostrava-Poruba, ČR  
[fjmeno.prijmeni@vsb.cz](mailto:fjmeno.prijmeni@vsb.cz)

<sup>4</sup> Institut geoinformatiky, Hornicko-geologická fakulta, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 30, Ostrava-Poruba, ČR  
[fjmeno.prijmeni@vsb.cz](mailto:fjmeno.prijmeni@vsb.cz)

### Abstrakt

Konvektivní srážky s extrémními úhrny postihly v rozmezí let 2005 – 2010 různé části České republiky s tím, že hydrologická odezva povodí na tyto srážkové impulsy byla rozdílná. Jakkoliv je povodeň z hlediska lidských aktivit škodlivým až destruktivním fenoménem, z hlediska přírodních věd je pochopení její dynamiky a určujících faktorů jedním ze základních předpokladů pro existenci životaschopných a efektivních prognostických mechanismů a nástrojů pro podporu rozhodování v krizovém řízení. Pokud se zaměříme na povodně iniciované konvektivními srážkami (často s místním orografickým zesílením) z let 2005-2010 na různých povodích v rámci ČR (Stonávka, Rožnovská Bečva, Ostravice, Suchá Bělá, Kamenice a další), je zřejmé, že fyzikogeografické podmínky těchto povodí poměry jsou spolu s příčinnou srážkou faktorem, který determinuje objem odtoku, kulminační průtok či tvar povodňového hydrogramu. Pokud odhlédneme od dalších činitelů, které přímo ovlivňují tyto parametry (vlastnosti půdního pokryvu, aktuální využití půdy, krajinný pokryv a popř. struktura fytocenóz), zasluhuje reliéf a litologická stavba povodí adekvátní pozornost. V tomto příspěvku se autorský kolektiv zaměřil na analýzy geomorfologických poměrů a litologie území s pomocí GIS a hydrologických modelů, přičemž se výsledky snažil korelovat s původními předpoklady a měřenými průtoky ve staniční síti během těchto epizod. Litologická stavba území je v základních parametrech shodná – pískovcové podloží. Tektonika a vývoj srovnávaných povodí však zapříčinily, že v povodích v oblasti Labských pískovců se jedná často v horních partiích o extrémní reliéf skalních měst, kdežto v moravskoslezských povodích představují zájmová území typická povodí karpatského flyše. Zda je dominantním faktorem litologie nebo geomorfologické poměry území (morfometrické parametry reliéfu), je složité na základě těchto výsledků zobecňovat, nicméně je zjevné, že GIS a hydrologické modely jsou v tomto výzkumu efektivním nástrojem. Kvantifikace hlavních faktorů pak tvoří matici rizik vzniku extrémní povodně z přívalových srážek.

**Klíčová slova:** extrémní srážky, pískovcové podloží, GIS, hydrologické modelování

### Abstract

Convective precipitation with high intensities affected within the years 2005 - 2010 different parts of the Czech Republic and the basin hydrologic response to these precipitation inputs was quite different. However is a flood from the point of view of human activities detrimental and even destructive phenomenon from the point of view of science is thanks to its dynamics and determinants - one of the essential prerequisites for the existence of viable and effective forecasting mechanisms and tools for decision support in crisis management. If we focus on floods initiated by convection precipitation (often with the local orographic

amplification) during the years 2005 - 2010 in various basins in the Czech Republic (Stonavka River, Roznovska Becva River, Ostravice River, Sucha Bela River, Kamenice River and others), it is obvious that the physical geographical conditions of these catchments- are together with the causal precipitation the factors, which determinates the volume of runoff, peak flow values and the shape of flood hydrograph. Apart from other factors that affect these parameters directly (characteristics of the soil cover, current land use, land cover and respectively phytocoenosis structure), the relief and lithological structure of the basin deserves adequate attention. In this contribution, the team of authors focused on the geomorphological relationships and lithology analyses with the support of GIS and hydrologic models. The team of authors also tried to correlate the results with original assumptions and measured flow at station network during these episodes. Lithological structure is in the basic parameters the same - the sandstone bedrock. Tectonics and the compared basins development caused that in the basins of the Elbe Sandstone area an extreme rock cities landscapes in the upper parts occurs -, while in the Moravian-Silesian basin area of interest are typical Carpathian flysch basin. Whether the geomorphological conditions or lithology is the dominant factor (morphometric parameters of relief), it is difficult to generalize these results, however, it is obvious that GIS and hydrological models in this research are an effective tools. Quantification of the major factors will then form an extreme flood risk matrix of torrential precipitations.

**Keywords: extreme rainfalls, sandstone bedrock, GIS, hydrologic modelling**

## 1. ÚVOD

Extrémní úhrny srážek vyvolávají různé hydrologické odezvy na povodí. Většinou však jsou jejich dopady na jednotlivé složky krajiny v mnohých případech až destruktivní. Jejich významným důsledkem je to, že dochází k povrchovému odtoku mimo koryta toků.

Když opomeneme základní rizikový faktor druh hydrosynoptické situace a zaměříme se na geomorfologické a litologické vlastnosti poměry území, můžeme provádět jejich analýzy pro vybrané synoptické situace, jejich výsledky porovnávat a zobecňovat. K tomu si autoři vybrali 2 geneticky, morfologicky i litologicky rozdílné oblasti ČR, byť by se laickým pohledem mohlo zdát, že se jedná o území z petrografického hlediska obdobná. Dílčí výsledky poukazují jednak na nutnost dalšího studia a jednak na aplikovatelnost nástrojů z oblasti GIT a hydrologických modelů. Jedním z nejdůležitějších faktorů v tomto ohledu je však dostupnost vstupních dat, která se na jedné straně stává limitujícím faktorem pro analytická či numerická řešení srážkoodtokového procesu, na druhé straně však díky výkonu současných nástrojů z oblasti GIT a matematického modelování jednoznačně poukazuje na to, že hydrologické modely a pokročilejší analytické nástroje GIS jsou v současnosti zřejmě jediným efektivním nástrojem pro systematické studium větších územních celků a zejména mechanismem pro zevšeobecnění nabytých dílčích poznatků. Analýzy tak doplňují již publikované studie autorského kolektivu, ve kterých byly coby dominující faktory studovány vlivy vegetačního krytu (zejména lesní porosty) a půdního profilu (hydrologické vlastnosti půd) (Unucka et al. 2008, 2009, 2010).

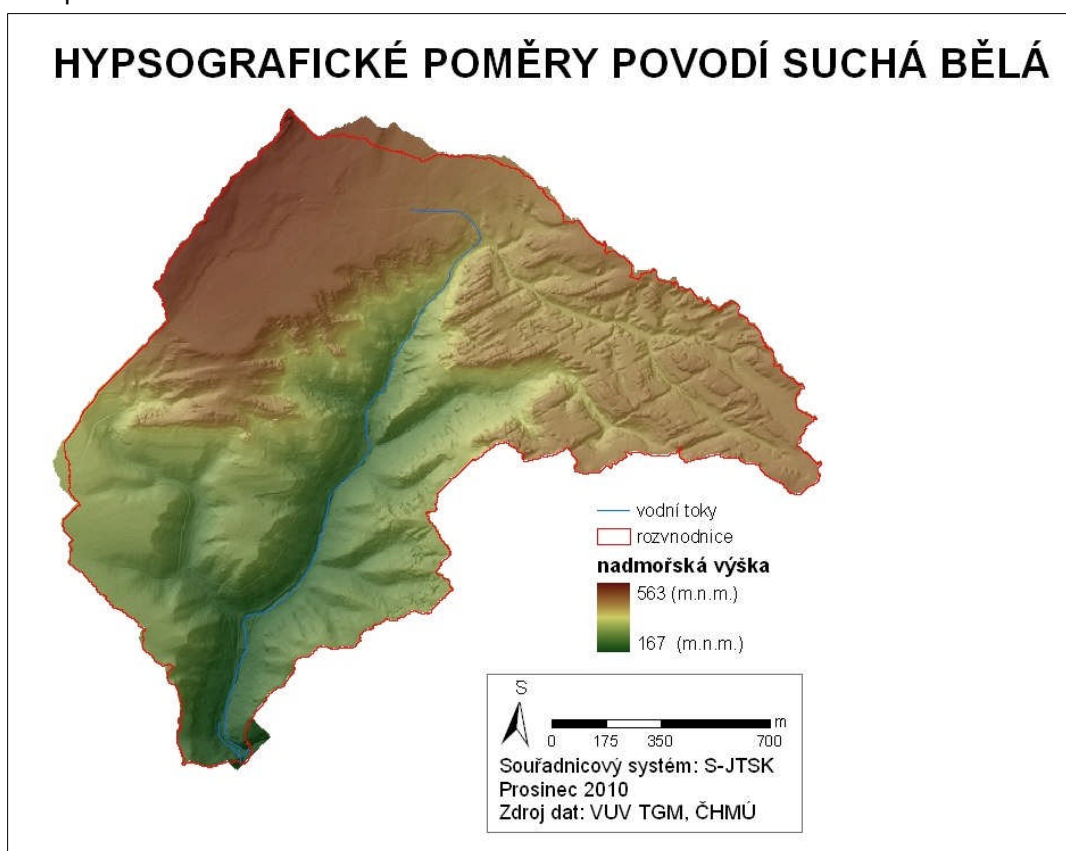
## 2. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÝCH ÚZEMÍ

### 2.1 České Švýcarsko

Nejdůležitější fází geologického vývoje území byla existence svrchnokřídového moře, které před více než 90 milióny lety pokrývalo většinu území Čech. S postupným poklesem mořského dna se zde uložily sedimenty až 1000 m mocné, tvořené především pískovci, méně i slínovci, prachovci a slepenci. Zdejší pískovce jsou označovány jako kvádrové na základě typického blokového rozpadu podél zlomů a puklin. V terciéru probíhala v severních Čechách intenzivní vulkanická činnost, která měla za následek vznik Českého středohoří. K významným vulkanitům patří dominanta Českého Švýcarska Růžovský vrch, dále pak Český vrch (Böhmův vrch), Suchý vrch, Koliště, Mlýny, Vosí Vrch a Vlčí hora. Mezi hlavní geomorfologické rysy patří existence hlubokých soutěsek, protékaných vodními toky i mohutného kaňonu Labe, dále pak výskyt četných

výrazných stolových hor na saské straně území a relativně nízká nadmořská výška spodního patra pískovcové oblasti (hladina Labe v Hřensku s kótou 117 m představuje nejnižší bod ČR). Nejznámějším pískovcovým útvarem je bezesporu Pravčická brána, která vznikla boční erozí v úzkém pískovcovém ostrohu a svými rozměry (výška 16 m, šířka necelých 27 m) představuje největší pískovcovou skalní bránu v Evropě (Härtel 2007). Dalším specifikem Českého Švýcarska jsou nesčetné skalní věže, rokle nazývané v této oblasti doly skalní okna a brány, ostrohy, pilíře, převisy a římsy, nebo také hřibovité útvary, skalní pokličky a skalní mísy. Mezi menší formy reliéfu patří také voštiny a pseudoškrapy, které rozrývají vrcholy věží a okraje skal. Pískovcové sedimenty představují velmi dobře propustné prostředí, které je dáno jednak hustotou sítí puklin a jednak přítomností otevřených pórů mezi zrna pískovce. Nejdůležitějším zdrojem podzemních vod je infiltrace srážkových vod. Díky litologii se zde střídají vrstvy propustné a téměř nepropustné a vznikají tak kolektory s volnou a napjatou hladinou. Pro infiltraci srážek mají zásadní význam vertikální puklinové systémy, které umožňují komunikaci srážky póry sedimentů.

Z této oblasti bylo vybráno a analyzováno povodí Suché Bělé (1-14-05-0260), které je takřka celé tvořeno druhohorními pískovci.



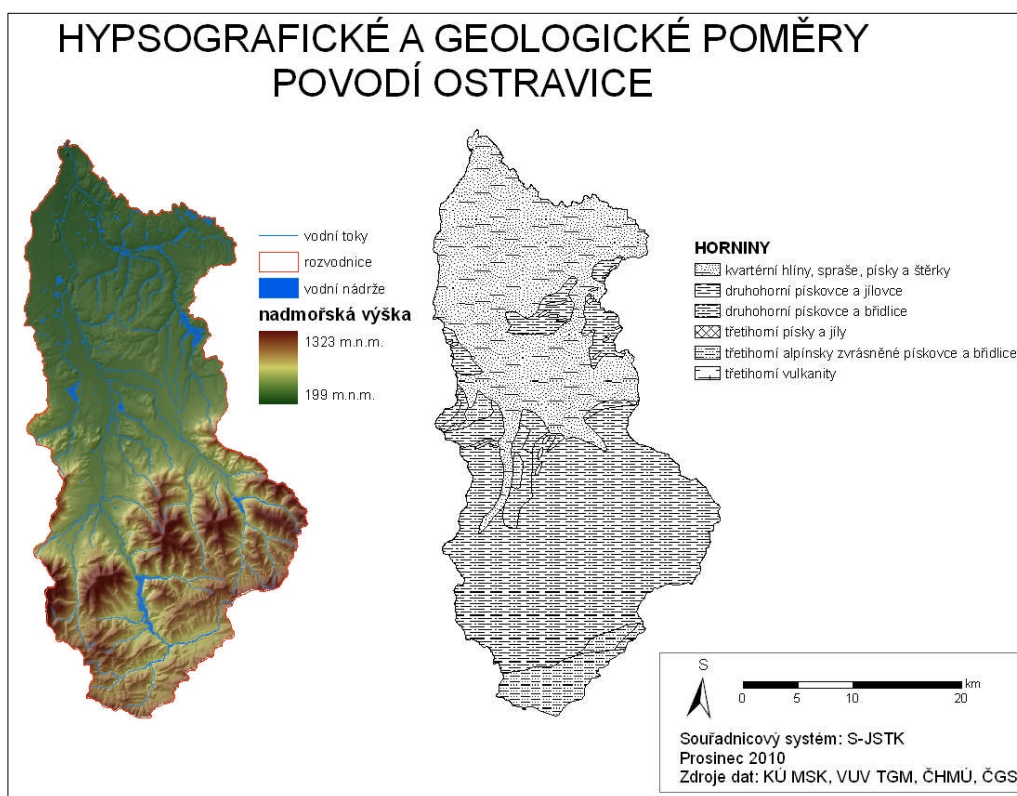
Obr. 1 Hypsografické poměry povodí Suchá Bělá

## 2.2 Moravskoslezské Beskydy

Beskydy řadíme do pásma Západních Karpat, jež byly utvářeny alpsko-himálajským vrásněním, které probíhalo od konce mezozoika a dozvuky tohoto horotvorného procesu můžeme pozorovat i dnes. Sedimenty tvořící orogén se původně ukládaly v mořské soustavě Tethys a následně byly v průběhu třetihor zvrásněny v mohutné pásemné horstvo. Celá karpatská soustava se člení do několika pásem, z nichž Beskydy patří do pásma vnějšího, často také označovaného jako flyšového. Flyšem se v geologii rozumí rytmičné střídání vrstev pískovců a jílovců, kde mocnost jednotlivých vrstev může být velmi proměnlivá. Vrásněné hmoty flyšových usazenin vytvořily příkrovy, které byly sunuty přes sebe, převážně severním směrem. Po nasunutí příkrovů se uplatňovaly především pohyby podél zlomů. V Beskydech vystupují souvrství příkrovů podslezského, slezského a magurské skupiny příkrovů (Chlupáč 2002). Vyšší část

vrstevního sledu je tvořena odolnými vrstvami charakteristických zelenavých glaukonitických pískovců, které mohou být až 3100 metrů mocné a budují pásmo nejvyšších hornatin Moravskoslezských Beskyd (Menčík 1983). Měkké spodnokřídové sedimenty formují a vyplňují deprese. Z pohledu geomorfologického členění reliéfu patří Moravskoslezské Beskydy do karpatské soustavy, z níž na naše území zasahuje jen malá část Vnějších Západních Karpat. Díky své litologii a genezi jsou Beskydy typické výskytem svahových deformací, pro něž jsou zde vhodné předpoklady v podobě střídajících se propustných a nepropustných vrstev, upadajících souhlasně se sklonem svahů. Pískovcová souvrství v kombinaci s tektonickými pochody vytváří také ideální prostředí pro vznik pseudokrasového reliéfu. Ten je reprezentován např. Ondrášovými dírami na Lukšinci na úpatí Lysé hory, Radhošťskými a Kněhyňskými důrami nebo jeskyní Cyrilkou na Pustevnách. Z hydrogeologického hlediska představují vrstvy pískovců kolektor a vrstvy jílovců izolant. V Moravskoslezských Beskydech má vysoká intenzita srážek při velké nepropustnosti flyše i jeho produktů zvětrávání také vysoké specifické odtoky, jehož hodnoty překračují v horských oblastech  $20-30 \text{ l.s}^{-1}$ . Flyšová stavba pohoří má za následek infiltraci menšího objemu srážky v pásmové části pohoří. Z důvodu menší schopnosti infiltrace dochází k vyšším hodnotám odtoku z oblasti, a následného rozlivu v místech měkkých spodnokřídových sedimentů tvořících kotliny.

Z této oblasti bylo analyzováno povodí Ostravice (2-03-01) a jeho dílčí subpovodí na VD Šance a Morávka.



Obr. 2 Hypsografické a geologické poměry povodí Ostravice

### 3. POUŽITÉ PROGRAMOVÉ PROSTŘEDKY

#### 3.1 GRASS GIS

V současnosti tento programový prostředek představuje jeden z nejpokročilejších nástrojů pro práci s geodaty v oblasti freeware a open source produktů. Původní verze, ve kterých dominovala příkazová řádka (konzole) coby nejefektivnější prostředí s grafickou nástavbou Tcl/Tk, jsou postupně nahrazovány plně grafickým prostředím s využitím knihoven wxWidgets pro programovací jazyk Python. Rovněž z původní portace programového prostředku pro OS UNIX/Linux vznikl multiplatformní projekt, takže jen s minimálním omezením funkcionalit lze GRASS úspěšně provozovat i na jiných OS, včetně nejrozšířenějšího MS

Windows. V současnosti je jako stabilní a podporovaná verze uváděna 6.4. Mezi nejvýhodnější vlastnosti GRASSu v kontextu autorského příspěvku patří zejména pokročilé možnosti hydrologických analýz či přímá integrace distribuovaných hydrologických modelů jako jsou TOPMODEL či SIMWE. Z dalších hydrologických a dynamických erozních modelů, které byly podporovány v určitých verzích, lze jmenovat např. AGNPS, KINEROS či SWAT.

Další informace lze nalézt na oficiálních stránkách konsorcia:

<http://grass.fbk.eu/>

### 3.2 SIMWE

SIMWE (SIMulated Water Erosion) je hydrologický a erozní open source model. Model je součástí GRASS a navazuje na rastrový modul r.sim.water GRASS. Původní modul r.sim.water pro verze 5.x GRASS byl k dispozici jako doplňkový modul, který bylo nutno zkompileovat. V současnosti je v GRASS od verze 6.2.2 implicitně zahrnut jako modul SIMWE v nástrojích hydrologických analýz spolu s modelem SIMWE. Modul řeší infiltraci a povrchový odtok, odtok sedimentů pak řeší modul r.sim.sediment, kde je třeba nastavit parametry DMR a půdy (Manningův koeficient drsnosti, K faktor erodibility, parametry kritického smykového napětí např. podle modelu WEPP).

Povinně jsou vyžadovány následující rastry: digitální model reliéfu (DMR), rastr dx gradientu ve směru V-Z, rastr dy gradientu ve směru S-J, rastr Manningova koeficientu drsnosti, rastr srážek, rastr infiltrace.

Podrobnější informace o modelu SIMWE lze nalézt na:

[http://www.grass.itc.it/grass62/manuals/html62\\_user/r.sim.water.html](http://www.grass.itc.it/grass62/manuals/html62_user/r.sim.water.html) .

### 3.3 MIKE SHE

MIKE SHE představuje distribuovaný s-o model pro simulaci všech hlavních procesů v zemní fázi hydrologického cyklu od srážek až po odtok vody z povodí, a to přes povrchový odtok, podzemní odtok, tání sněhu, evapotranspiraci a další procesy. Model disponuje pokročilým GUI rozhraním a od verze 2007 je styl GUI (hlavní menu, aktivované nástroje, kontextové menu) a aktivace voleb poplatná řešenému projektu (srážkoodtok, hydrodynamika) – obdoba projektu ArcGIS – čemuž se podřizují vstupní a výstupní soubory a nabídky menu, což podporuje vyšší intuitivnost práce. Vzhledem k využití platformy MIKE Zero je možno přímo pracovat s některými formáty ESRI (plná podpora ESRI shapefile, podpora ESRI ASCII raster ad.), což opět usnadňuje napojení na GIS.

MIKE SHE vychází z modelu SHE (Système Hydrologique Européen), který byl od roku 1977 vyvíjen konsorciem tří evropských organizací: The Institute of Hydrology (Velká Británie), SOGREAH (Francie) a DHI Water & Environment (Dánsko). Insitut DHI (Danish Hydraulic Institute) pak od poloviny 80. let minulého století začal dále tento model rozvíjet jako součást řešení platformy HD a s-o modelu v podobě MIKE Zero (Beven 2002).

Povrchový odtok je v tomto modelu řešen pomocí difuzní aproximace Saint Venantových rovnic a Manningova vztahu. Pohyb vody v korytech je řešen napojením na 1D model MIKE 11. Propojení modelu MIKE SHE a MIKE 11 mimo jiné umožňuje 1D simulace říčních toků a vodních stavů pomocí Saint Venantových rovnic, simulaci široké škály objektů jako například jezů a propustků, modelování inundačních oblastí a další. Disponuje všemi těmito metodami hydrologické transformace: Kristensen-Jensen, Richardsova rovnice, nasycená zóna pomocí 3D metody konečných prvků, MODFLOW, degree/day.

Další informace jsou k dispozici na stránkách výrobce:

<http://www.dhigroup.com>

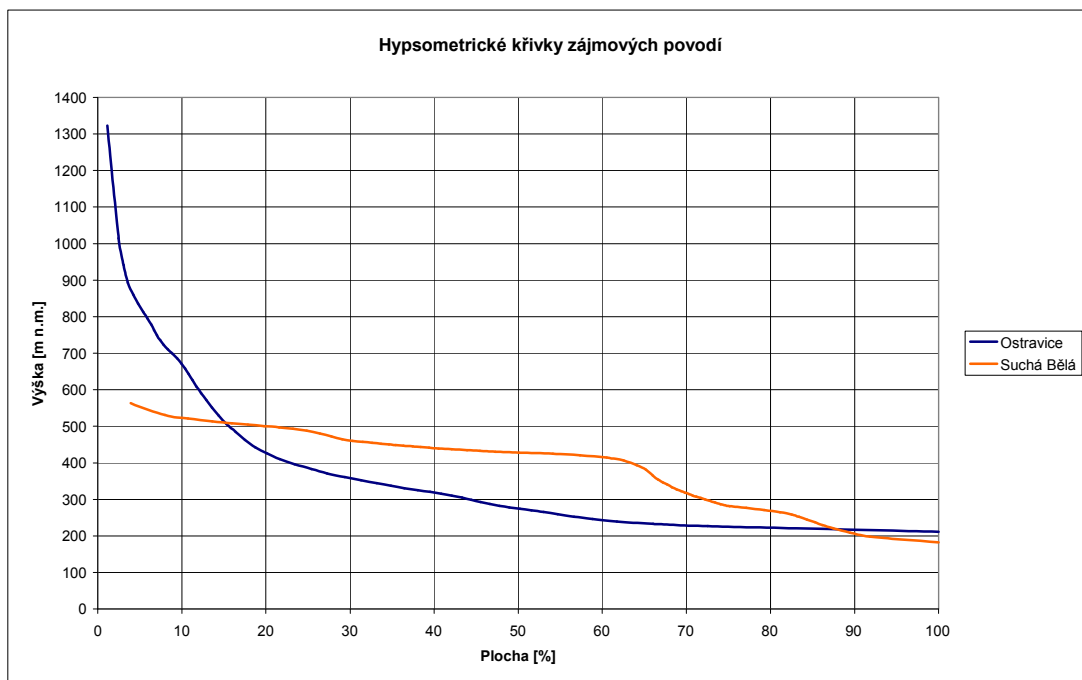
Mezi další nástroje, které byly použity, lze zařadit SAGA GIS, HEC-HMS či HYDROG. V konečném důsledku tedy jde o využití přístupů semidistribúvaného a distribuovaného srážkoodtokového modelování pro analýzy časových a prostorových změn hlavních faktorů ovlivňujících reakci povodí na srážkový impuls.

V tomto kontextu lze zmínit ten fakt, že z mnoha objektivních důvodů v operativní praxi dominují semidistribúvané srážkoodtokové modely, přičemž v ČR se v operativní hydrologické prognóze i ve výzkumných institucích ustálily programové prostředky HYDROG, AquaLog a HEC-HMS. Jedním z nejdůležitějších faktorů ve prospěch této konstelace je fakt, že představují ideální poměr mezi přesností schematizace, rychlosti výpočtu a zejména kalibrovatelnosti (respektive možnosti adekvátní úpravy parametrů povodí a koeficientů metod) v operativním provozu. Pro detailní studium časoprostorové proměnlivosti vůdčích faktorů je však bezesporu nutné aplikovat distribuované modely typu MIKE SHE, SIMWE či GSSHA s tím, že HEC-HMS s každou další verzí více podporuje i plně distribuovaný režim.

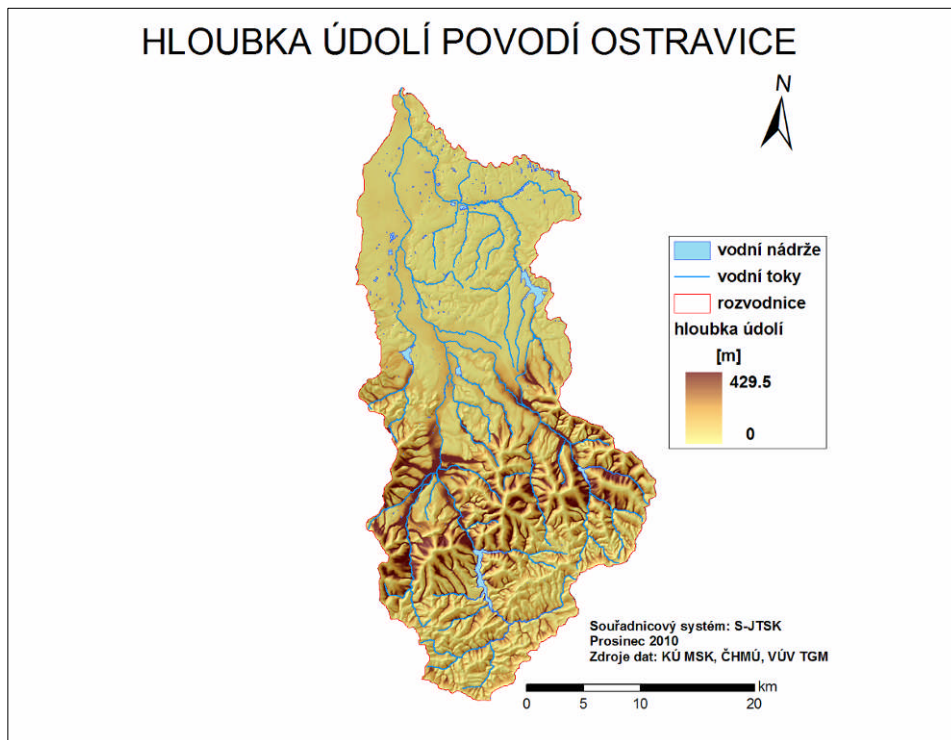
#### 4. POSTUP A DÍLČÍ VÝSLEDKY

Byly provedeny prostorové analýzy v programových prostředcích ArcGIS, ArcView GIS, GRASS a SAGA GIS. Hlavním faktorem byla přesnost konstrukce odvozených odtokových linií, která byla konfrontována s geodeticky zaměřenými vrstvy DIBAVOD a ČHMÚ či v rámci terénního průzkumu zájmových povodí. Jako nejvhodnější se v tomto ohledu jeví rastrové nástroje GRASS a SAGA GIS. Na druhé straně jsou k dispozici mnohé extenze pro platformu ESRI, které významnou měrou zvyšují možnosti této platformy na úrovni hydrologických analýz.

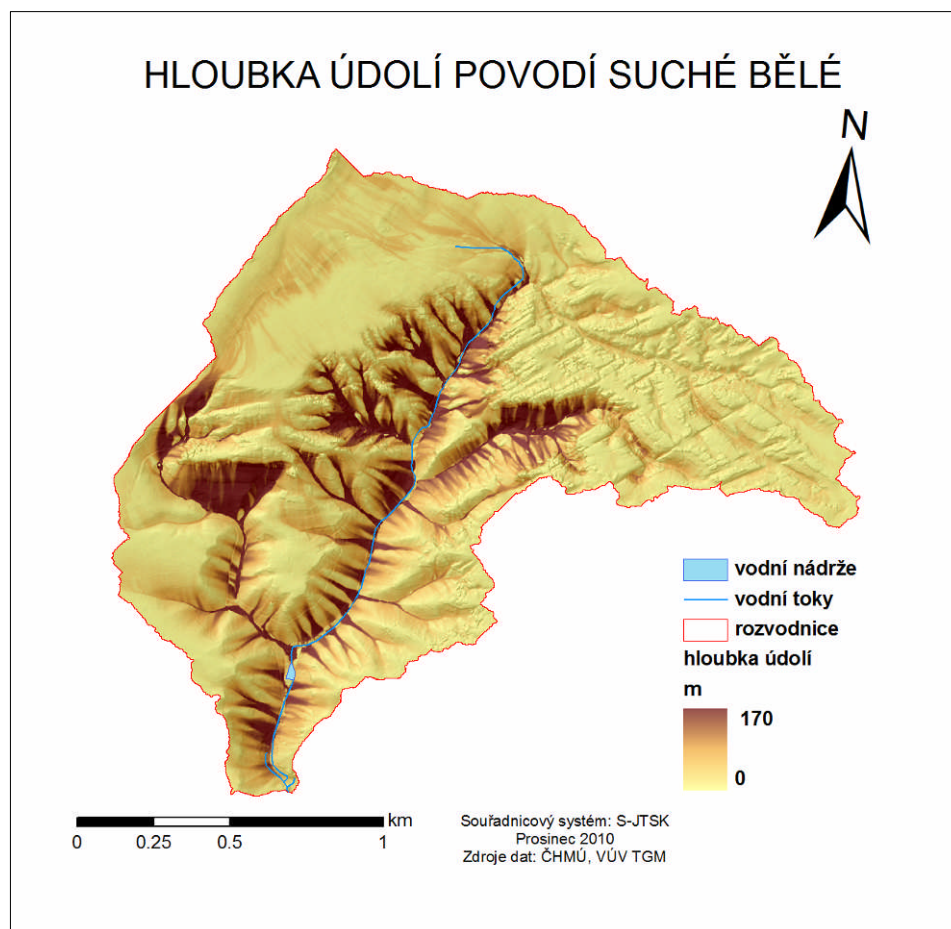
V dalším kroku byla naschematizována zájmová povodí v rámci semidistribúvaných (HEC-HMS, HYDROG) i distribuovaných přístupů (SIMWE, MIKE SHE). Semidistribúvané modely byly využity pro kalibraci parametrů pro zvolené epizody s přihlédnutím k hydrosynoptické situace. Takto odvozené vrstvy drsností povrchu dle Manninga a odtokových koeficientů posloužily jako vstupy do distribuovaných modelů SIMWE a MIKE SHE. Zatímco SIMWE a jeho výsledky představují efektivní přístup pro hodnocení povrchového odtoku, komplexní model MIKE SHE slouží zejména k detailním analýzám srážkoodtokového procesu v zájmových povodích. Zajímavé výsledky přineslo studium skokových změn hypodermického odtoku v extrémním reliéfu povodí Suché Bělé. V neposlední řadě slouží distribuované modely coby nástroje k ověření přesnosti výsledků rastrových analýz DMT zájmového území.



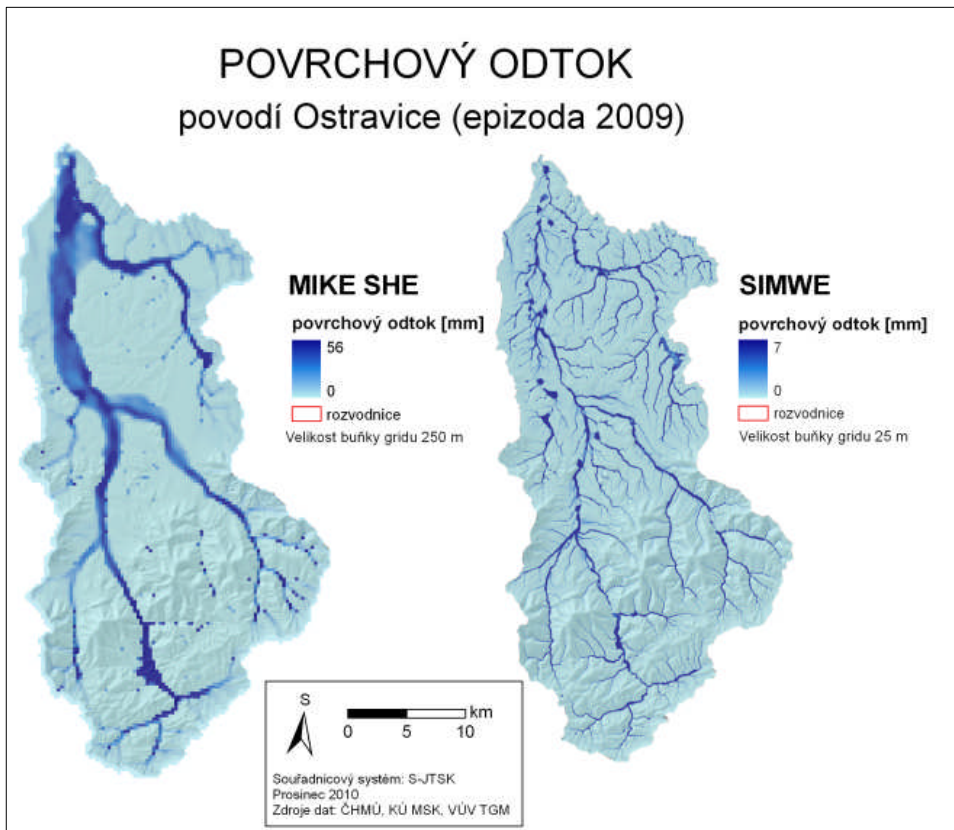
**Obr. 3** Hypsometrické křivky zájmových povodí



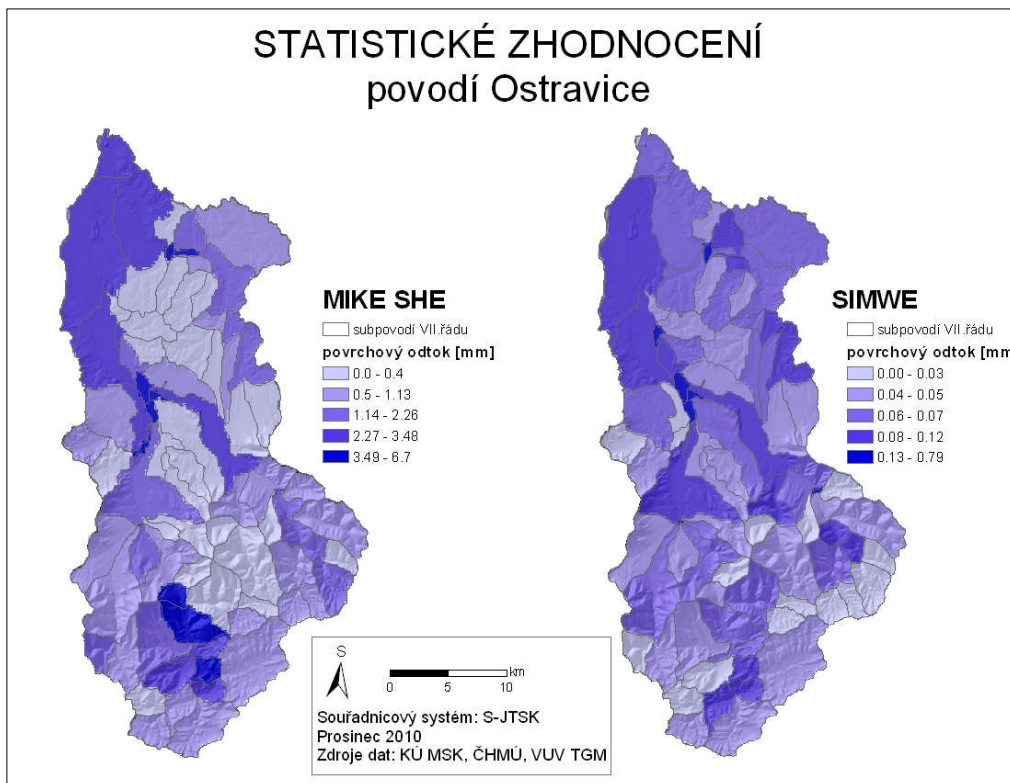
**Obr. 4** Hloubka údolí povodí Ostravice



**Obr.5** Hloubka údolí Suché Bělé

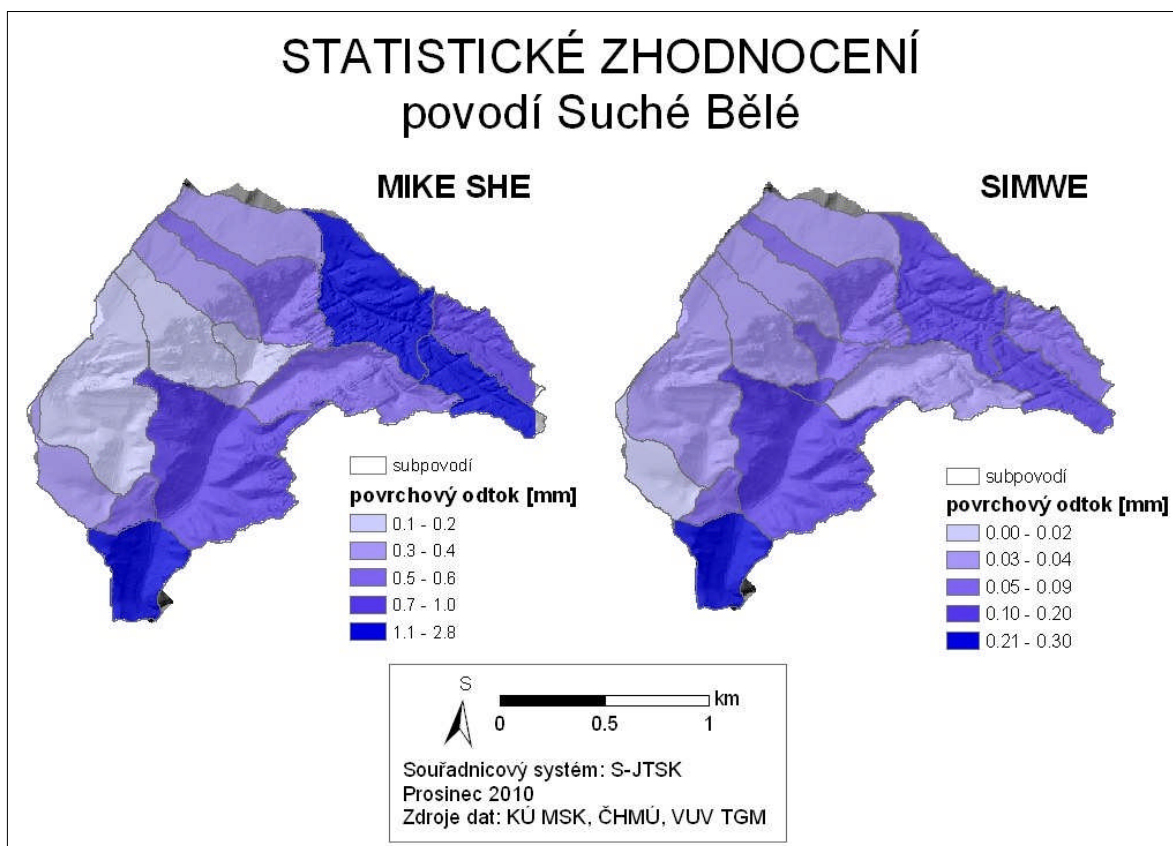


Obr. 7 Výsledky distribuovaných modelů MIKE SHE a SIMWE



Obr. 8 Zonální statistika výsledků distribuovaných modelů MIKE SHE a SIMWE





**Obr. 8** Zonální statistika výsledků distribuovaných modelů MIKE SHE a SIMWE

## 5. ZÁVĚR, DISKUZE

Dílčí výsledky jednoznačně poukazují na fakt, že i v extrémním reliéfu povodí Suché Bělé lze uvážlivým výběrem vhodných analytických a simulačních prostředků dosáhnout uspokojivých výsledků. Jedním z důležitých aspektů je i ten fakt, že se u semidistribuovaných i plně distribuovaných řešení projevuje významnou měrou vliv rozlišení vstupního DMT. Tento vliv byl patrnější u povodí Suché Bělé než u povodí Ostravice. Lze tedy formulovat jeden z dílčích závěrů, že geomorfologie (respektive morfometrie) zájmového území je faktorem, který ovlivňuje jak samotný srážkoodtokový proces, tak přesnost jeho simulace ve srážkoodtokových modelech. A to s využitím semidistribuované i distribuované reprezentace parametrů zájmového povodí.

U semidistribuovaných modelů se vliv DMR projevuje zejména na úrovni přesnosti odvozených vrstevnic, hydrografické sítě a jejich hlavních parametrů - např. topologie a hierarchie hustější sítě vodotečí v oblastech skokové změny sklonu a zakřivení terénu apod. Topologické chyby mohou přímo ovlivnit přesnost výpočtu v semidistribuovaných modelech typu HEC-HMS a HYDROG. Na úrovni interpretace výsledků pak může dojít k propagaci chyb při zonální statistice výsledků, stanovení řádu toku apod.

U plně distribuovaných modelů jako jsou MIKE SHE či SIMWE je znatelný vliv rozlišení vstupního DMT na výsledné rastry povrchového, hypodermického a základního odtoku.

## LITERATURA

Beven, K. J. (2002): Rainfall-runoff Modelling. The Primer. London, John Wiley & Sons. 372 pp. ISBN: 978-0470866719

Härtel, H., et al. (2007): Sandstone Landscapes. 1. vydání. Praha: Academia. 496 s. ISBN 978-80-200-1577-8

Chlupáč, I., et al. (2002): Geologická minulost České republiky. 1. vydání. Praha: Academia. 436 s. ISBN 80-200-0914-0

Kirkby, M. J.: Hillslope Hydrology (Landscape Systems: A Series in Geomorphology). John Wiley & Sons Ltd, Oxford. 389 p. ISBN: 978-0-471-99510-4

Manuálové stránky GIS Grass 6.3 a 6.4 – <http://www.grass.itc.it/gdp/manuals.php> (23. 12. 2010)

Menčík, E., et al. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny. 1. vydání. Praha: Academia. 307 s.

Unucka, J., Adamec, M.: Modelování vlivu krajinného pokryvu na srážkoodtokové vztahy povodí Olše. Vodohospodářský časopis/Journal of Hydrology and Hydromechanics, SR, 2008. 17 s. ISSN 0042/790X

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

Unucka, J., Jařabáč, M., Židek, D.: Využití numerických modelů a GIS v lesnické hydrologii. In. Sborník Krajinné inženýrství 2009. Praha: Česká společnost krajinných inženýrů - ČSSI, 2009, ISBN 978-80-903258-8-3

Unucka, J., Jařabáč, M., Říhová, V., Richnavský, J., Hořínková, M., Malek, O. a kol.: Possibilities of the semi-distributed and distributed models in forest hydrology on example of the Ostravice basin. In Bulletin Beskydy, Brno. s. 205-216. ISSN: 1803-2451

Unucka, J., Jařabáč, M., Šír, B., Bobál, P., Richnavský, J., Ďuricha, M., Podhorányi, M., Hořínková, M., Říhová, V. a kol.: Bleskové povodně - návrh metodiky stanovení ohrožení území a varovného systému. In: Sborník Symposia GIS Ostrava 2010, Ostrava 25. - 27. 1. 2010.