

Comparison of SCS-CN and Green-Ampt methods and methods of using sensitivity analysis based on changes to antecedent precipitation index

Porovnání metod SCS-CN a Green-Ampt pomocí metod citlivostní analýzy na základě změny indexu předchozí srážky

Jan UNUCKA^a, Michaela HORÍNKOVÁ^a, Veronika ŘÍHOVÁ^a, Martin ADAMEC^b

^aHGF VŠB – TU Ostrava, jan.unucka@vsb.cz, michaela.horinkova@vsb.cz, veronika.rihova@vsb.cz

^bPřírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita, martin.adamec@osu.cz

Abstract

The SCS-CN and Green-Ampt are the most common methods for rainfall-runoff modelling. Both of these methods deal with transformation rainfall to runoff. A various input data of Antecedent Precipitation Index (measuring of soil moisture condition) is used as input for these methods, as tested parameter. The other parameters coming into the rainfall-runoff modelling are unchanged. Results of these methods are tested further for evaluation, using methods of sensitivity analysis. For this testing was used the medium-sized Ostravice catchment, which has a ordinary schematisation with typical common components on this flow. Used program for the computation is the HEC-HMS which contains both of these methods in one consistent program environment. The objective of this study is to present the pros and cons both of the used methods using the sensitivity analysis methods.

Keywords: SCS-CN, Green-Ampt, Antecedent Precipitation Index, HEC-HMS

Klíčová slova: SCS-CN, Green-Ampt, ukazatel předchozích srážek, HEC-HMS

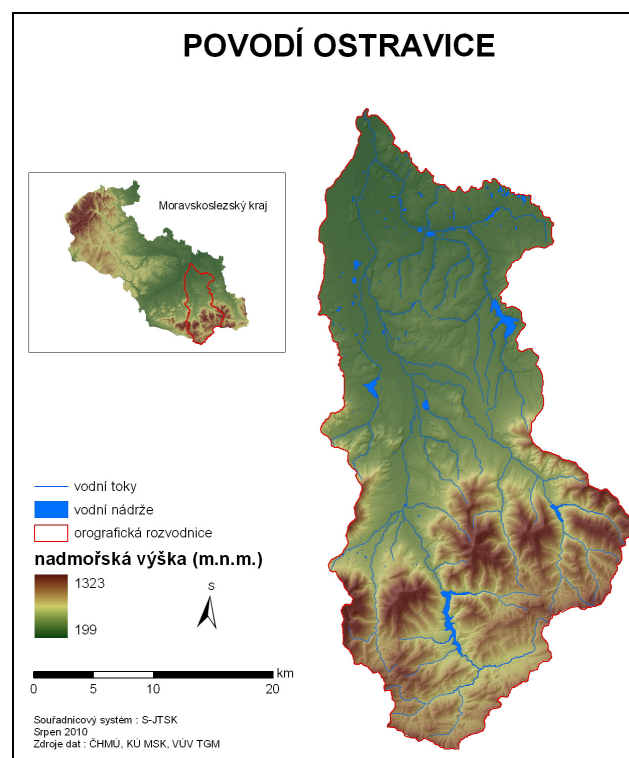
1. Úvod

Jednou z nejvýznamnějších úloh současné hydrologie je poznání srážko-odtokového procesu v krajině. Srážko-odtokové modely jsou spolu s geografickými informačními systémy (GIS) velmi silným a účinným analytickým nástrojem v této problematice. Jedním z velmi důležitých kroků ve srážko-odtokovém modelování je nastavení počátečních podmínek. Jejich chybným zadáním může dojít k výraznému ovlivnění výsledného hydrogramu. Jedním z klíčových parametrů v tomto ohledu je ukazatel předchozích srážek, jenž vyjadřuje schopnost povodí absorbovat další srážky. Cílem této práce je provést testování citlivosti ukazatele předchozích srážek na výslednou velikost kulminační vlny, a to za použití dvou metod – SCS-CN a Green-Ampt.

2. Povodí řeky Ostravice

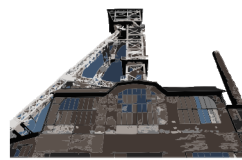
Povodí řeky Ostravice je karpatským flyšovým povodím, jehož plocha zaujímá cca 816 km² a délka toku je 64 km při uznání Bílé Ostravice jako pramene Ostravice. Horní část povodí tvoří členitý terén Moravskoslezských Beskyd tvořený flyšovým souvrstvím jílovců, pískovců a slepenců. Ve střední části převažuje pahorkatinný ráz krajiny s hojně zastoupenými flyšovými horninami s kvartérními překryvy a náplavovými kužely řek. Dolní část povodí je pak je silně antropogenně ovlivněna průmyslovou činností. Průměrný průtok u ústí činí 14,25

m³.s⁻¹. Dnes je řeka prakticky v celé délce kromě pramenné oblasti upravena (Weissmannová et al., 2004).



Obr. 1 Povodí řeky Ostravice

3. Ukazatel předchozích srážek



Ukazatel předchozích srážek (UPS, angl. Antecedent precipitation index – API) se využívá k posouzení nasycenosti povodí a vyjadřuje vliv srážek vyskytujících se k danému datu zpětně v přecházejících dnech. Vyjadřuje tak schopnost povodí absorbovat další srážky. V literatuře je rovněž možné setkat se s označením předchozí vláhové podmínky (PVP, angl. Antecedent Moisture Conditions – AMC).

Tento ukazatel je možné vypočítat například podle vzorce (Mishra et Singh, 2003):

$$UPS_n = \sum_{i=1}^n 0,93^i \cdot P_i$$

n znamená celkový počet dní před výskytem příčinné srážky,

i je pořadí dne počítané nazpět ode dne, ke kterému je API určován,

P je denní úhrn srážky v milimetrech v i -tém dni před výskytem příčinné srážky.

Počáteční stav nasycenosti půdy ovlivňuje hodnoty potenciální retence a tím i odvození čísla CN. Podle úhrnů dešťů za 5 dnů je možné počáteční stav nasycenosti půdy charakterizovat 3 skupinami (Hrádek, Kuřík 2004): I charakterizuje nízkou nasycenost aktivní zóny půd v povodí, II charakterizuje průměrnou nasycenost aktivní zóny půd v povodí a III charakterizuje vysokou nasycenost aktivní zóny půd v povodí předchozími dešti.

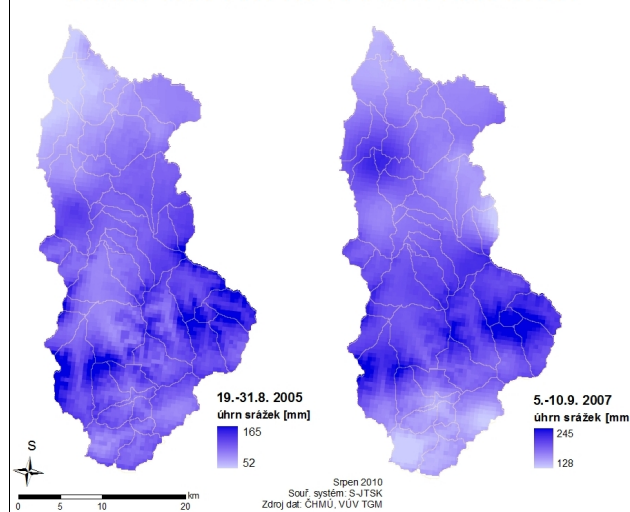
Ukazatel 5denního API byl vypočítán pro dvě srážkoodtokové epizody a to ke dni 19. 8. 2005 (počátek první epizody) a ke dni 5. 9. 2007 (počátek druhé epizody). Pro srpnovou epizodu z roku 2005 byl zjištěn průměrný ukazatel API na celé povodí Ostravice 7,14 mm (tedy kategorie API I) a pro zářijovou epizodu byl průměr na celé povodí 41,51 mm (tedy API II). Pro přepočítání těchto parametrů byl vyvinut vlastní program (viz dále v textu).

4. Vybrané srážko-odtokové epizody

4.1. Epizoda 19. – 31. srpna 2005

Počasí na našem území v měsíci srpnu ovlivnilo chladné a vlhké západní až severozápadní proudění. To se projevilo takřka po celý měsíc podnormálními teplotami. V poslední dekádě měsíce do střední Evropy zasáhla od jihovýchodu brázda nízkého tlaku vzduchu, která ještě více ovlivnila počasí především na východě našeho území. Srážkové úhrny v noci přesáhly i 100 mm. Nejvíce se v reakci na srážky zvedly hladiny především v povodí Ostravice a Olše, přičemž byly dosaženy i 1. a 2. SPA.

ÚHRNÝ SRÁŽEK PRO EPIZODY 2005 a 2007



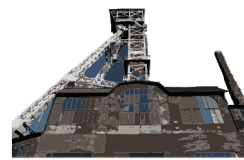
Obr. 2 Úhrny srážek pro epizody srpen 2005 a září 2007

4.2. Epizoda 5. – 9. září 2007

Po několikaměsíčním období sucha s minimem srážek začal začátkem měsíce září na naše území pronikat velmi chladný vzduch od severu spojený s tlakovou níží nad Maďarskem a Slovenskem. Počasí bylo velmi chladné a odpolední teploty většinou nepřesáhly 16 °C. Kromě nízkých teplot i vydatně pršelo. Celorepublikově napršelo v první dekádě září průměrně 72 mm, což o 50 mm přesáhlo normál a průměrné měsíční množství srážek přesáhlo 200 % srážkového normálu. Ve čtvrtek 6. září vydalo ČHMÚ výstrahu o výskytu extrémních jevů na území ČR. Za večer a noc toho dne spadlo na některých místech Moravskoslezského kraje až 140 mm srážek. Následkem intenzivních srážek došlo k prudkým vzestupům malých toků s dosažením 2. až 3. SPA. Od 8. 9. 2007 docházelo ke kulminaci a pozvolným poklesům hladin řek. V první dekádě září na našem území průměrná teplota dosáhla 12 °C, což je o 2,3 °C méně, než je dlouhodobý průměr pro toto období.

5. Modelování v HEC-HMS

Softwarový produkt hydrologického centra ženijních inženýrů Americké armády (HEC-USACE – Hydrologic Engineering Centre - U.S. Army Corps of Engineers) HEC-HMS je semidistribuovaný srážkoodtokový model (US Army Corps of Engineers, 2002). Jedná se o průmyslový standard FEMA (*Federal Emergency Management Agency*, viz http://www.fema.gov/plan/prevent/fhm/en_hydro.shtm). Model pracuje se srážkovou epizodou reprezentovanou časovou řadou úhrnů ve zvoleném časovém kroku, jejíž načtení je možné přes rozhraní přímo z databáze a zpracovává její transformaci na dílčích povodích a v korytě. HEC-GeoHMS je extenze pro ArcView GIS 3.2, která umožňuje zpracování všech druhů modelů



(lumped/sdružených, semidistribuvaných, distribuovaných) z digitálního modelu terénu s výpočtem charakteristik povodí a jeho export do HEC-HMS, čímž podstatně zjednodušil stavbu modelu povodí Ostravice (viz např. Maidment et Djokic, 2000). Model i extenze jsou volně dostupné na internetové adrese <http://www.hec.usace.army.mil/software/heh-hms/>. V modelu HEC-HMS byly použity dvě metody pro hydrologickou transformaci srážky: SCS CN a Green-Ampt.

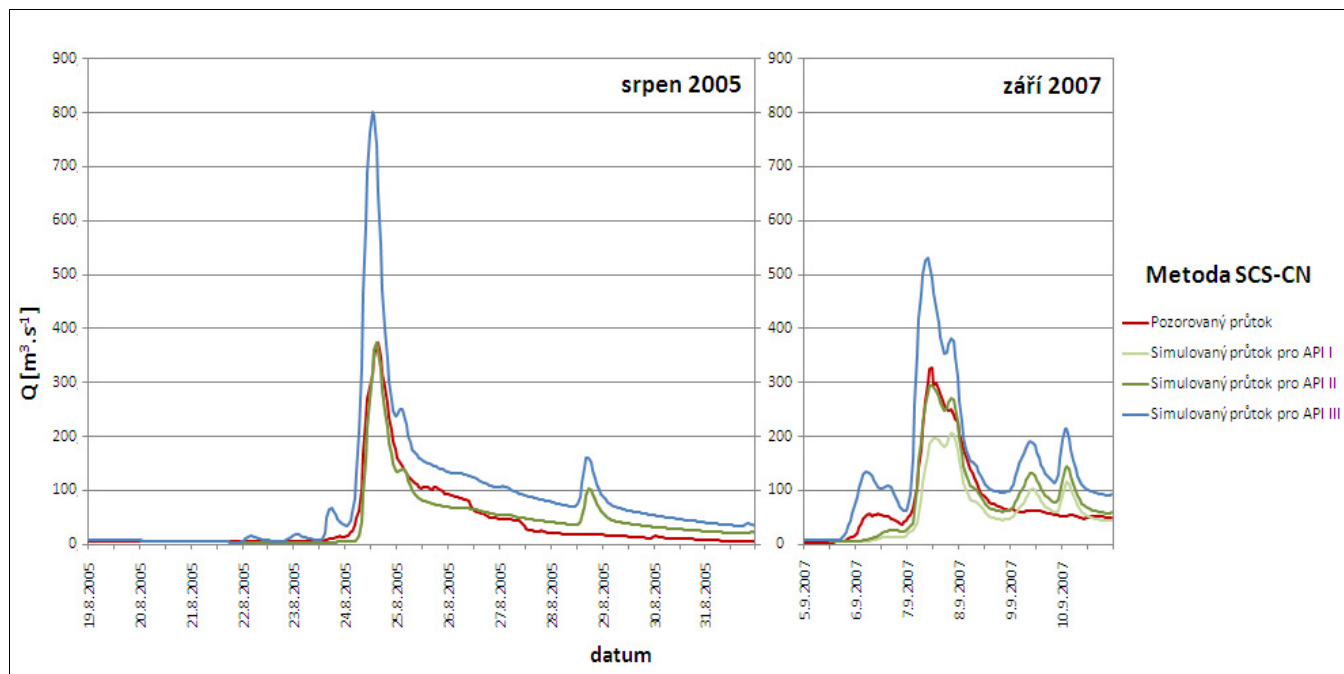
Metoda SCS-CN (1957, 1964) byla odvozena na základě analýz jednotkového hydrogramu (z angl. „unit hydrograph“). Princip této metody spočívá ve sdružení klíčových parametrů krajinného pokryvu (nebo lépe prvků využití půdy) a hydrologických charakteristik půd do jediného čísla CN (které vyjadřuje odtokovou ztrátu na povodí).

Metoda Green-Ampt byla rozpracována jako jedna z prvních (1911), přesto se zejména v USA používá hojně v s-o modelech. Metoda řeší infiltraci v nenasyčené zóně a je ve své podstatě zjednodušením Darcyho zákona, kdy je hydraulický gradient tohoto zákona zanedbán a řeší se zde pouze vertikální migrace infiltrované vody jako kolmý pístový tok (*piston flow*). Metoda Green and Ampt pak používá charakteristiky

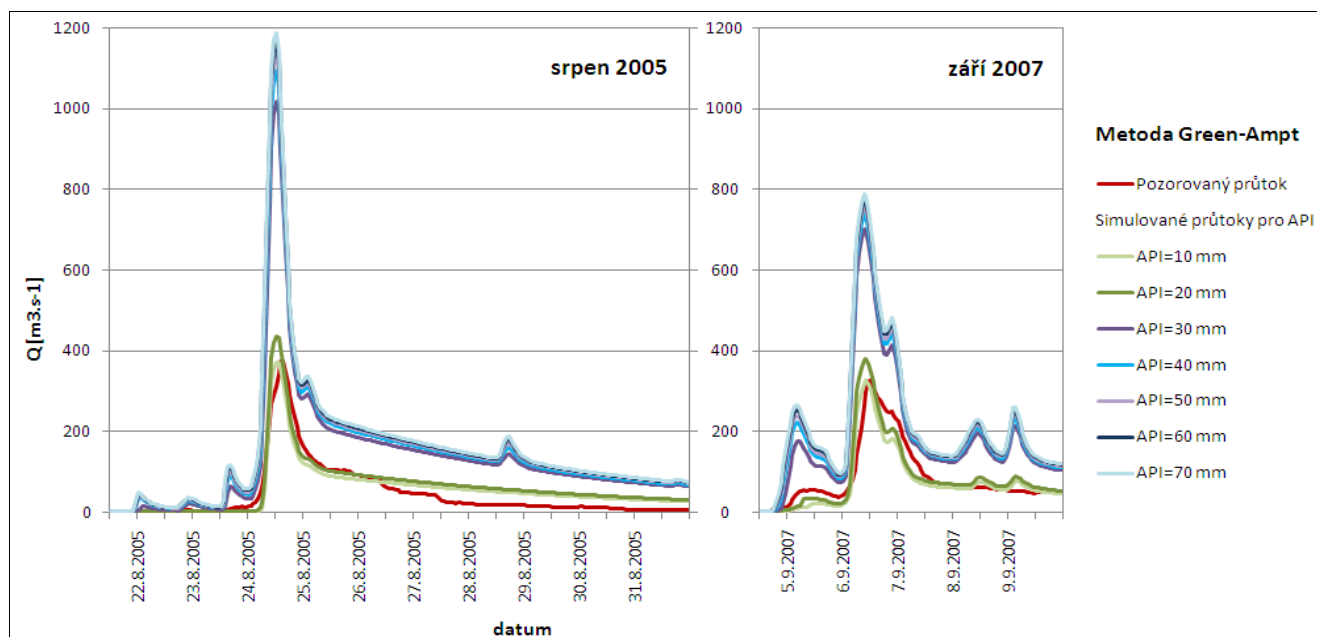
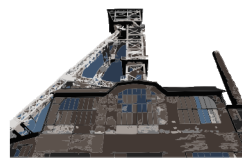
přímé jako je iniciální objem vlhkosti a vlhkostní deficit (viz např. Bedient, Huber et Vieux, 2007 nebo Mishra et Singh, 2003). Parametry metody Green-Ampt lze také odvodit z CN křivek.

6. Výběr z výsledků

Model povodí Ostravice byl nakalibrován postupně na obě uvedené srážkoodtokové epizody (srpen 2005 a září 2007). Poté byla měněna počáteční nasycenost povodí prostřednictvím ukazatele předchozích srážek za 5 dní předcházejících daným epizodám. Pro tyto analýzy byla využita aplikace, kterou vytvořil Jan Unucka pro platformu .NET. Aplikace velmi přehledně a jednoduše umožňuje pracovat se schematizacemi zvolených povodí pro model HEC-HMS a je možno velmi efektivně provádět požadované operace jako např. přepočty vybraných parametrů (počáteční ztráta na povodí, hydraulická vodivost,...), konverzi mezi metodami SCS-CN a Green-Ampt, změny parametrů kinematické vlnové aproximace a mnohé další. Tato aplikace tak umožňuje velmi rychlou a efektivní práci s celým *.basin souborem a výraznou měrou tak zjednodušuje nastavení počátečních podmínek pro danou epizodu na vybraném povodí a tím pádem zjednodušuje i celý kalibrační proces.



Obr. 3 Výsledné hydrogramy testování citlivosti API – metoda SCS-CN

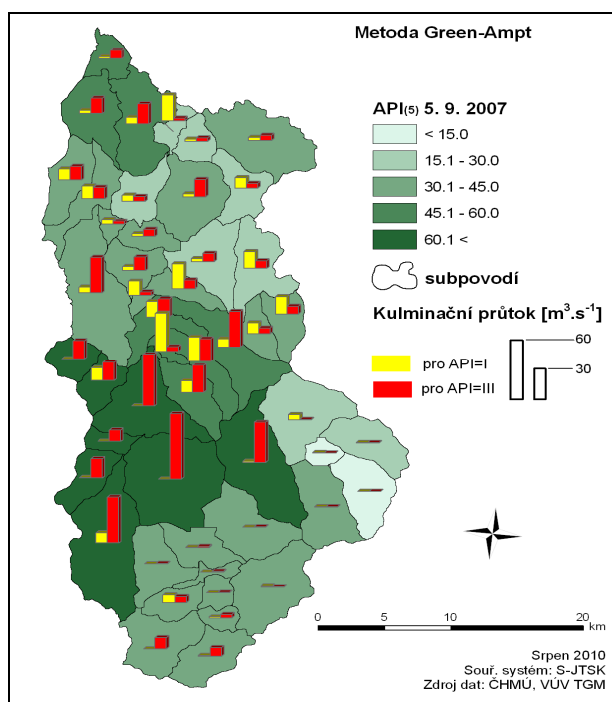
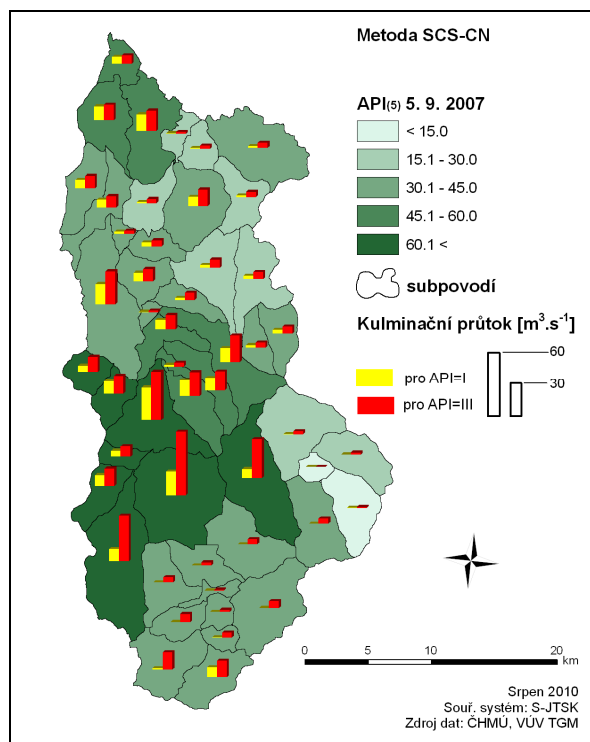


Obr. 4 Výsledné hydrogramy testování citlivosti API – metoda Green-Ampt

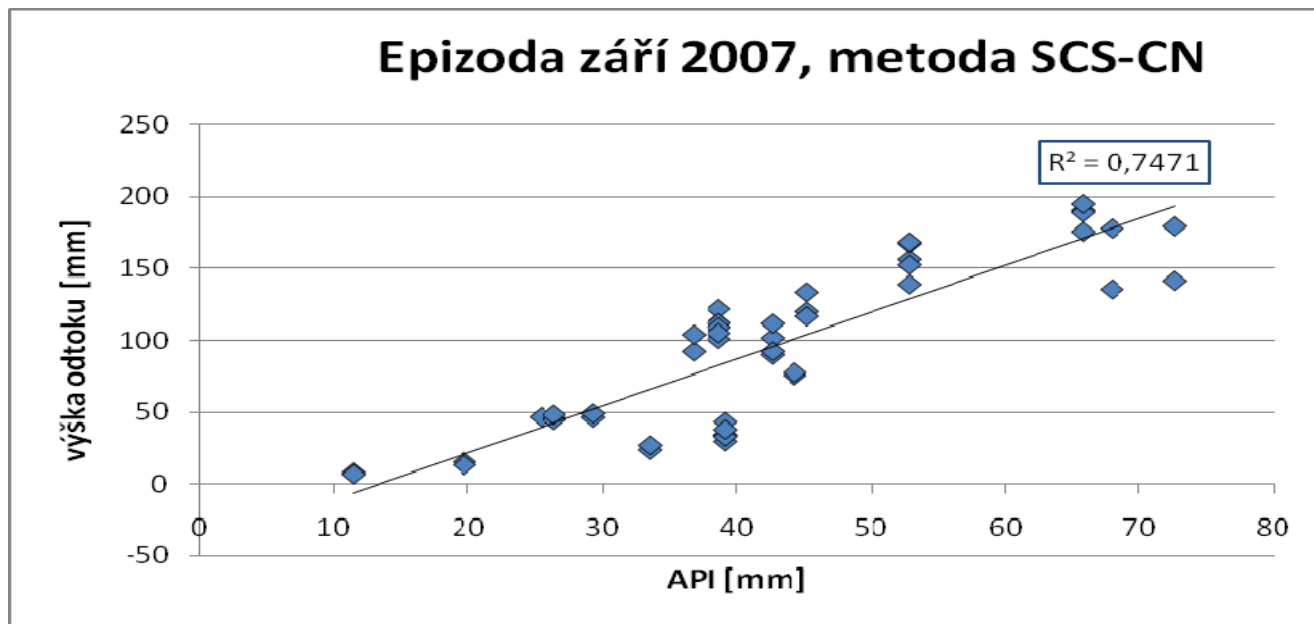
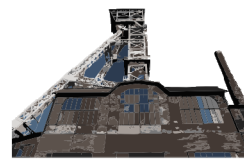
Obrázky 3 a 4 znázorňují hydrogramy v závěrovém profilu povodí Ostravice. Jsou na nich srovnávány rozdíly v kulminačních průtocích pro různé ukazatele předchozích srážek. Na všech uvedených hydrogramech je patrné, jaký vliv má nasycenost povodí před příčinnou srážkou na velikost kulminačního průtoku. Může dojít až ke dvojnásobně většímu průtoku v závěrovém profilu

povodí, v některých případech dokonce až k trojnásobně většímu průtoku (viz obr. 4).

Následující obrázek 5 zobrazuje kulminační průtoky pro jednotlivá subpovodí povodí Ostravice pro epizodu září 2007. V modelu HEC-HMS byla spuštěna simulace, jak by se lišily jednotlivé kulminační průtoky za předpokladu, že by povodí bylo nasyceno méně, než ve skutečnosti (API I) a více než ve skutečnosti (API III).



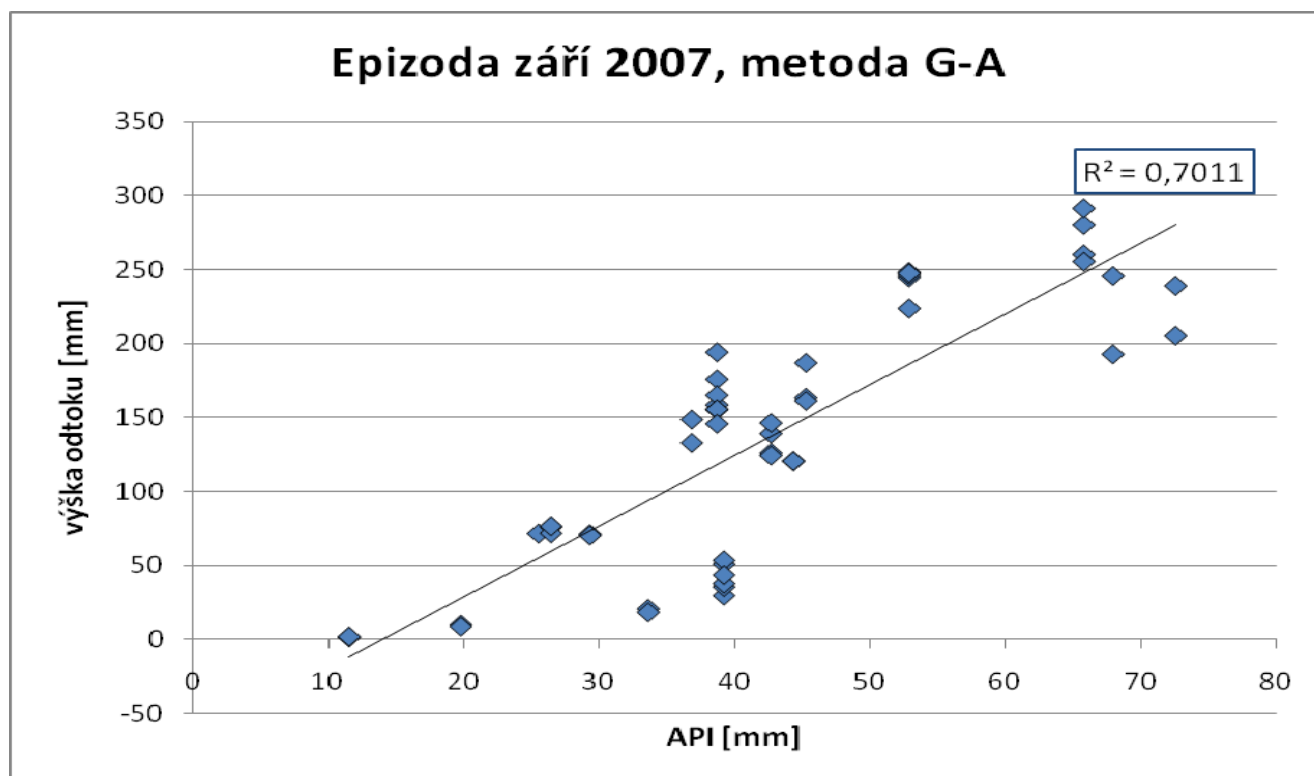
Obr. 5 Velikost kulminačních průtoků pro jednotlivá subpovodí povodí Ostravice v závislosti na různé velikosti API pro epizodu září 2007



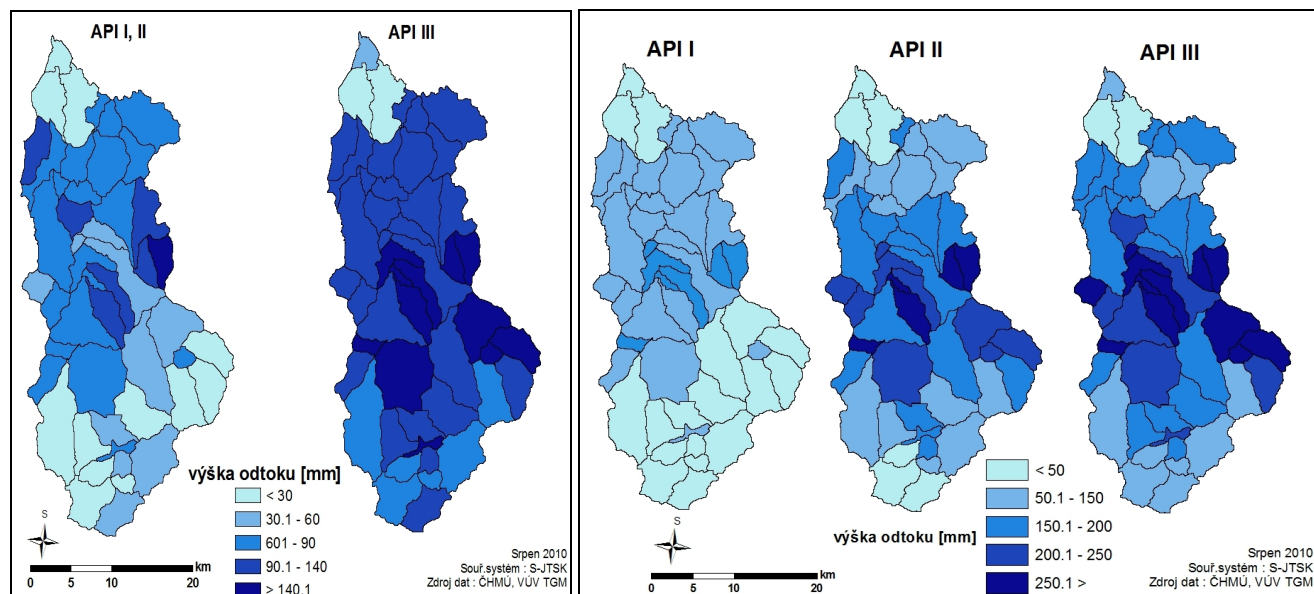
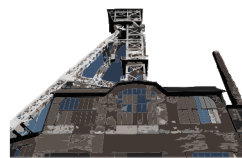
Obr. 6 Závislost mezi ukazatelem předchozích srážek (API=III) a výškou odtoku pro metodu SCS-CN

Obrázky 6 a 7 zobrazují závislost mezi ukazatelem předchozích srážek a výškou odtoku. Na základě koeficientu determinace (R^2) je patrné, že v tomto případě u metody SCS-CN i u metody Green-Ampt platí vztah, že s rostoucím ukazatelem předchozích srážek (a tedy větší nasyceností povodí) se zvětšuje i výška odtoku v povodí. Tato statistická závislost však nebyla

prokázána pro všechny scénáře a proto bude této problematice věnována pozornost i při dalších výzkumech. Především pro epizodu 2005 vyšly hodnoty koeficientu determinace takřka nulové, proto byla tato epizoda ze závěrečných posuzování týmem dočasně vyloučena. Její průběh bude znovu modelován a bude hledána příčina tohoto výsledku.



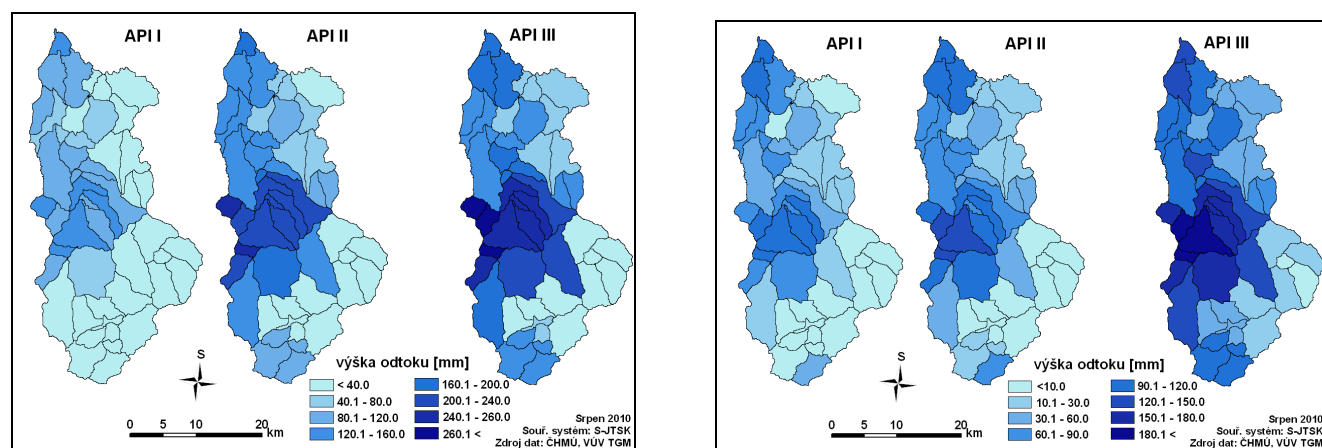
Obr. 7 Závislost mezi ukazatelem předchozích srážek (API=III) a výškou odtoku pro metodu Green-Ampt



Obr. 8 Výška odtoku pro jednotlivá subpovodí povodí Ostravice v závislosti na různé velikosti API pro epizodu srpen 2005- vlevo metoda SCS-CN, vpravo Green-Ampt

Obrázky 8 a 9 znázorňují výšku odtoku pro jednotlivá subpovodí povodí Ostravice pro obě zvolené metody. U obou epizod je patrné, že u metody Green-Ampt dosahuje hodnota výšky odtoku s rostoucími hodnotami API vyšších hodnot než u metody SCS-CN.

Stejně tak se to projevilo i na výsledných hydrogramech (obr. 3 a 4), kdy je průtok závěrovým profilem povodí u metody Green-Ampt při větší nasycenosti povodí vyšší oproti průtoku u metody SCS-CN.



Obr. 9 Výška odtoku pro jednotlivá subpovodí povodí Ostravice v závislosti na různé velikosti API pro epizodu září 2007- vlevo metoda SCS-CN, vpravo Green-Ampt

7. Závěr

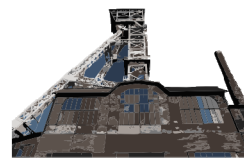
Uvedené výsledky potvrdily vliv předchozího nasycení povodí na velikost kulminačního průtoku a tedy i na celkový průběh povodně. V důsledku většího nasycení povodí předchozí srážkou může docházet ke zvýšení průtoku v závěrovém profilu na dvojnásobnou či dokonce trojnásobnou hodnotu, což může mít velmi neblahé účinky na dopady povodňových situací. Výsledkem jsou rozličné typy výstupů a prakticky všechny ukazují větší citlivost na API u metody Green-

Ampt. Ať už se jedná o vyšší hodnoty kulminačních průtoků pro obě srážko-odtokové epizody (obr. 3 a 4) či vyšší hodnoty výšky odtoku (obr. 8 a 9).

Všechny výše zmíněné závěry ovšem není možné zevšeobecnit jen na základě dvou vybraných srážko-odtokových epizod a aplikovat jen na jednom vybraném povodí. Výzkumem v této oblasti se tedy bude řešitelský tým zabývat i nadále, neboť tato problematika vlivu ukazatele předchozích srážek je zajímavá nejen z hlediska regionálních srážek ale i z hlediska velmi



XXII SJEZD ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI OSTRAVA 2010



nebezpečných přívalových srážek a z nich vznikajících bleskových povodní.

Použité zdroje:

BEDIENT P.B., HUBER W.C. et VIEUX B.C., 2007: Hydrology and Floodplain analysis. 4th edition. Prentice Hall, London, 795 s.

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

HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. (2004): Hydrologie. Skriptum. Praha, ČZU. 271 s. ISBN: 80-213-0950-4

JANEČEK et al. (1999): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, nakladatelství ISV, 202 s., ISBN: 80-85866-86-2

MAIDMENT, D. R. ed. (1993): Handbook of Hydrology. 1st edition. London, McGraw-Hill Professional. 1424 s., ISBN: 978-0070397323

MAIDMENT D., DJOKIC D., ed., 2000: Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. Redlands, ESRI Press. 232 s.

MISHRA S. K. et SINGH V. P., 2003: Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, 511 s.

LYON, JOHN G. ED. (2003): GIS for Water Resources and Watershed Management. Boca Raton, CRC Press.

US Army Corps Of Engineers, 2002: HEC-GeoRAS. User's Manual. Davis, US Army Corps of Engineers, 114 s.

VIEUX, B. E. (2004): Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

WEISMANNOVÁ H. et al., 2004: Ostravsko. In Mackovčín P. et Sedláček, M. eds.: Chráněná území ČR, svazek X. Praha, AOPK & EkoCentrum Brno, 456 s.

Výzkum byl financován z projektu SGS SP/2010101 „Integrace GIS a numerických modelů pro analýzu zranitelnosti území a operativní krizové řízení ve vztahu k vybraným přírodním a antropogenním rizikům“, za což by autoři rádi poděkovali.

Adresa autorů:

Doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D., Ing. Veronika Říhová
Institut geologického inženýrství
Hornicko-geologická fakulta VŠB – TU Ostrava
17. listopadu 15/2172
708 33 Ostrava-Poruba
jmeno.prijmeni@vsb.cz

Ing. Mgr. Michaela Hořinková
Institut geoinformatiky
Hornicko-geologická fakulta VŠB – TU Ostrava
17. listopadu 15/2172
708 33 Ostrava-Poruba
michaela.horinkova@vsb.cz

Mgr. Martin Adamec, Ph.D.
Katedra fyzické geografie a geoekologie
Přírodovědecká fakulta Ostravské univerzity
Dvořákova 10
701 03 Ostrava
martin.adamec@osu.cz