

# VYUŽITIE ZRÁŽKOVO-ODTOKOVÉHO MODELU KINFIL NA POVODÍ HUČAVY

## USE OF RAINFALL-RUNOFF MODEL KINFIL ON HUČAVA CATCHMENT

VÁCLAV KADLEC - PAVEL KOVÁŘ  
LF TU Zvolen; FZP ČZU Praha

### ABSTRACT

The paper reports on flood events on the forested Hučava catchment. It shows a practical implementation of the rainfall-runoff model KINFIL. This model has been used for the reconstruction of the rainfall-runoff events on this catchment. Then the model was used to simulate the design discharges with event duration  $t_d = 30, 60, 90, 120$  and  $300$  min in time recurrence of 100 years and scenario simulation of land use change when 30% and 50% of forest in the catchment have been cut. Implementation of the KINFIL model supported by GIS has been found as a proper tool for the runoff assessment on small catchments when using different scenarios of land use changes.

**Kľúčové slová:** zrážkovo-odtokový model, GIS, návrhové prietoky, zmena využitia krajiny  
**Key words:** rainfall-runoff model, GIS, design discharges, land use changes

### ÚVOD

Jedným zo základných problémov hydrológie je odvodenie vzťahu medzi zrážkami a z nich vytvoreným odtokom. Tento problém narastá na svojej dôležitosti hlavne z dôvodov možných významných globálnych zmien klímy. Tieto zmeny sú postupne čoraz viac vyvolávané negatívne pôsobiacimi antropogénnymi vplyvmi - predovšetkým emisiou skleníkových plynov v atmosfére, následným zhoršovaním zdravotného stavu lesov a tým aj znižovaním ich hydrickej účinnosti, čo má za následok zvyšovanie odtoku z povodí. Globálne klimatické zmeny sa čiastočne prejavujú už aj v tomto období a to hlavne vo zvyšovaní intervalu medzi extrémami počasia - na jednej strane sú to dlhotrvajúce suchá a na strane druhej čoraz ničivejšie privalové povodne, ktorých periodicita sa zvyšuje.

HALMOVÁ (2000) definuje privalovú povodeň, čiže prudký nástup narastania povodňovej vlny, ako jav spôsobený kombináciou extrémnych meteorologických, fyzicko-geografických a hydrologických podmienok v určitom čase a oblasti. Špecifiká privalových povodní charakterizuje nasledovne: relatívne malý plošný rozsah, enormná intenzita javu a minimálny časový odstup medzi príčinou a dôsledkom, vplyv lokálnych povrchových činiteľov na intenzitu účinkov privalovej povodne, ktorý je často výraznejší v porovnaní s vplyvom primárneho impulzu - privalového dažďa.

Všeobecne môžeme povedať, že hydroklimatické situácie, charakteristické pre vznik povodňových situácií, sa vyznačujú (GREŠKOVÁ 2001):

1. extrémne výdatnými zrážkami, ktoré spadnú vo veľmi krátkom čase počas búrkovej činnosti alebo lokálnych privalových dažďov,
2. dlhšie trvajúcou regionálnou zrážkovou činnosťou, ktorá je často spojená s prechodom viacerých frontálnych systémov, zriedkavejšie náhlym topením snehu a ľadovcami na tokoch.

S rozvojom výpočtovej techniky nastal pomerne veľký rozvoj matematického modelovania, ktoré sa v súčasnosti stále viac uplatňuje takmer vo všetkých oblastiach hydrológie a vodného hospodárstva. Súčasný rozvoj metód matematického modelovania, podporený možnosťami výpočtovej techniky, poskytuje nové, moderné spôsoby prognózovania hydrologických systémov ovplyvnených ľudskou činnosťou, určovaní návrhových veličín i spätne overenie parametrov, navrhnutých v minulosti.

Základným hydrologickým podkladom pre návrh opatrení proti povodňiam sú návrhové hodnoty N-ročných prietokov, spôsobených privalovými dažďami rovnakej periodicity výskytu. Predložená štúdia slúži k prevereniu možnosti určenia návrhových prietokov na malých povodiach modelom KINFIL (KOVÁŘ 1992a).

Simulácia povrchového odtoku je riešená modelom kinematickej vlny pri rešpektovaní podrobnej topografie povodia. Topografické vlastnosti terénu sú spracované softwarom ARC/INFO. Spolahlivosť týchto moderných metód matematického modelovania a ich prepojenia so systémami GIS je úmerná vernosti matematického popisu fyzikálneho procesu a rozsahu i spoľahlivosti dátového súboru.

### CHARAKTERISTIKA MODELU KINFIL

Model KINFIL je založený na kombinácii teórie infiltrácie a transformácie priameho odtoku „kinematickou vlnou“. Tento model používa fyzikálno-geometrické (fyziografické), hydraulické a klimatické parametre povodia, ktoré sa dajú určiť z mapových a iných podkladov pri absencii priamych pozorovaní a pri zohľadnení dôsledkov antropogénnej činnosti v povodí. Model je určený prednostne pre stanovenie návrhových prietokov pre rôzne „scenárové situácie“, dané touto činnosťou, ako je zmena kultúr, odlesnenie, urbanizácia atď.

Súčasná verzia modelu KINFIL je založená na infiltračnej teórii Greena a Ampta zo zavedením koncepcie „výtopy“ podľa Morel-Seytoux (MOREL-SEYTOUX 1982):

$$K_s \left( \frac{z_f + H_f}{z_f} \right) = (\theta_s - \theta_i) \frac{dz_f}{dt} \quad (1)$$

$$S_f = (\theta_s - \theta_i) H_f \quad (2)$$

$$t_p = \frac{S_f}{i \left( \frac{i}{K_s} - 1 \right)} \quad (3)$$

kde: $K_s$	nasýtená hydraulická vodivosť	(m.s <sup>-1</sup> )
$z_f$	hlbka infiltračnej fronty	(m)
$\theta_s$	nasýtená pôdna vlhkosť	(-)
$\theta_i$	počiatočná pôdna vlhkosť	(-)
$H_f$	sací tlak pod infiltračnou frontou	(-)
$i$	intenzita dažďa	(m.s <sup>-1</sup> )
$S_f$	retenčný súčiniteľ sacieho tlaku	(m)
$t_p$	doba výtopy	(s)
$t$	čas	(s)

Základnou úlohou je určenie parametrov  $K_s$  a  $S_f$  (pri stave poľnej vodnej kapacity - PVK). Riešením bolo využitie vyššie odvodených vzťahov medzi týmito parametrami a hodnotami čísel odtokových kriviek CN (Curve Number), vo svete široko používannej metódy (U.S.SCS 1986). Indexové hodnoty CN korešpondujú s konceptuálnymi hodnotami pôdných parametrov  $K_s$  a  $S_f$  (PVK):  $CN = f(K_s, S_f)$

Druhým komponentom modelu KINFIL je transformácia priameho odtoku. Rovnica popisuje neustálený pohyb, aproximovaný kinematickou vlnou (po zanedbaní nevýznamných rýchlostných členov dynamickej Saint Venantovej rovnice) po ploche sklonenej rovinnej dosky (CPLANE). Druhý člen pravej strany rovnice (v hranatej zátvorke) popisuje prúdenie po konvergentnom segmente (CONVER), ktorý býva často používaný pri geometrizácii topografických plôch povodia:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha m h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = r_e(t) \dots + \left[ \frac{c h^m}{L-x} \right] \quad (4)$$

kde: $h, t, x$	súradnice hĺbky, času a polohy (m, s, m)
$\alpha, m$	hydraulické parametre (-)
$r_e(t)$	intenzita efektívneho dažďa (m.s <sup>-1</sup> )
$L$	polomer konvergentného segmentu (m)

Kinematická rovnica bola prevedená do tvaru konečných diferencií a riešená explicitným numerickým schématom Laxe-Wendroffa (L-W, KOVÁŘ 1992b). Pre praktické riešenie je povodie rozdelené na jednotlivé subpovodia do kaskád dosiek o približne rovnakých sklonoch, prípadne konvergentných segmentov tak, aby simulácia topografických plôch povodia bola dostatočne verná. Počiatočné podmienky riešenia L-W schématu sú dané, ak  $h(x,0) = 0$  pre všetky  $x$ . Horná

okrajová podmienka je daná polohou každej rovinnej dosky v kaskáde, prípadne hornou hranou segmentu. Pre sústredené neustálené prúdenie v koryte je možné použiť submodelu Muskingum-Cunge (KOVÁŘ 1992b), kde autori zaviedli zjednodušujúce predpoklady do rovnice kinematickej vlny transformované korytom toku.

## IMPLEMENTÁCIA GIS

Geograficko informačné systémy umožňujú ako získavanie a správu priestorových dát, tak aj ich účinnú analýzu a odvodzovanie ďalších informácií modelovaním a následnou vizualizáciou výsledkov. V predkladanej štúdií boli nástroje GIS využité pre identifikovanie povodia, vytvorenie digitálneho modelu terénu, sklonitostných pomerov územia, pre získanie vrstiev hydrologických skupín pôd, „land-use“ a následnému rozdeleniu riešeného povodia na subpovodia. Pomocou zonálnych štatistických operácií mapovej algebry boli v prostredí GIS pre celé povodie aj jednotlivé subpovodia odvodené geometrické charakteristiky a charakteristiky sklonových pomerov uvedené v tabuľke 3.

Priestorové vlastnosti povodia sú charakterizované rastrovými mapami. Podkladom nám boli mapy mierky 1 : 25 000 od NLC Zvolen a GKÚ Bratislava. Na vytvorenie grafických vstupov a vizualizáciu výstupov sme využili prostredie vybranej GIS aplikácie - ArcView a ArcGIS. Tieto mapy boli spracované v S-JTSK súradnicovom systéme.

Pretože odvodenie uvedených vstupných veličín je komplexná a pomerne zložitá úloha, boli na jej riešenie použité štatistické a špecializované analytické nástroje systému ArcGIS (verzia 9.0). Z georeferencovaných máp záujmového územia (zdroj: GKÚ, mierka 1 : 25 000) bola vektorizáciou vytvorená samostatná vektorová vrstva vodných tokov. Z vektorovej reprezentácie vrstevníc bol interpoláciou vytvorený digitálny model reliéfu (DMR), viď obrázok 2. Pomocou špecializovaných hydrologických nástrojov uvedeného GIS prostredia bolo na základe hydrologických charakteristík DMR (smer odtoku, akumulácia odtoku) identifikované povodie k vodnému toku Hučava. To bolo následne rozdelené na subpovodia (obr. 1 a 2).

Ďalším parametrom vstupujúcim do modelu sú hodnoty súčiniteľov drsnosti povrchu jednotlivých spôsobov využívania krajiny. Digitálna mapa „land-use“ bola vytvorená v programe ArcGIS vektorizáciou nad rastrom základnej mapy 1 : 25 000. Rozlišované boli tieto typy využitia územia: les (ihličnatý, listnatý, zmiešaný, kroviny), trvalé trávne porasty, orná pôda, vodné plochy, zastavané územie vrátane cestnej siete (obr. 3).

Ďalším krokom bolo odvodenie typu a čísla odtokovej CN krivky. Typ CN krivky bol odvodený na základe predchádzajúcich vlhkostných podmienok v povodí. Odvodenie týchto kriviek pre lesné pôdy je vo fáze upresňovania, kde sa berú do úvahy aj hydraulické vlastnosti geologických substrátov, na ktorých sa vytvorili príslušné lesné pôdy (ČHMÚ 2006).

Vo vektorovej vrstve pôdných predstaviteľov (zdroj: NLC - ULZI Zvolen) sa na základe ich číselného kódu identifikujú jednotlivé bonitované pôdno-ekologické jednotky (BPEJ). Pre jednotlivé subpovodia sa odvodila priemerná hydrologická skupina pôd (HSP) váženým priemerom podľa plošného zastúpenia jednotlivých HSP s využitím buď súčiniteľov filtrácie alebo kódu BPEJ. Pre odvodenú HSP sa vypočítala hodnota CN váženým priemerom podľa plošného zastúpenia jednotlivých spôsobov využívania krajiny v jednotlivých subpovodiach.

## CHARAKTERISTIKA EXPERIMENTÁLNEHO POVODIA HUČAVY

Výskum bol realizovaný na toku Hučava, ktorý podľa vypočítaného koeficientu bystrinnosti spadá do kategórie stredne silnej bystriny. Povodie sa rozprestiera v orografickom celku Slovenské stredohorie v masíve Chránenej krajiny oblasti Poľana, ktorej južná a juhozápadná časť povodia je súčasťou biosférickej rezervácie.

Z hľadiska hydrologického začlenenia patrí skúmaný tok (hydrologické číslo 4-23-03-070) do hlavného povodia SVP-IX-Hron, čiastkového povodia Slatina. Uzavierajúci profil územia je v nadmorskej výške 522 m (riečny kilometer 13,8), najvyššou kótou je Poľana (1 458 m n. m.), ktorá sa nachádza na rozvodnici. Z absolútneho výškového rozdielu (936 m) vyplýva aj rôznorodosť prírodných pomerov povodia. Priemerný sklon svahov v povodí je 32,08 %.

Hlavnou zložkou polygénneho stratovulkánu Poľana sú neovulkanity. Na stavbe vulkánu sú prevládajúcim typom hornín rôzne petrografické variety andezitov, ktoré prevládajú nad ryodacitmi a dioritmi. Najrozšírenejším pôdnym typom je kambizem (78,66 %). Dominantným pôdnym druhom je v povodí hlinitá pôda so zastúpením 94,46 %.

Do nadmorskej výšky 700 - 800 m možno územie zaradiť do mierne teplej oblasti. Vyššie položené oblasti Poľany spadajú do oblasti chladnej - C1. Priemerné ročné teploty sa pohybujú od 6 °C do 2,5 °C. Priemerný ročný úhrn zrážok sa pohybuje od 957 mm do 1 300 mm.

Lesné porasty sa v povodí vyskytujú v štyroch lesných vegetačných stupňoch: 4. lvs (bukový); 5. lvs (jedľovo-bukový); 6. lvs (smrekovo-jedľovo-bukový) a 7. lvs (smrekový). Z drevín má prevahu v zastúpení smrek (45,36 %), nasleduje buk (35,61 %); javor horský (6,79 %); jedľa (4,97 %). Ostatné dreviny (prevažne listnáče) tvoria spolu 7,27 %.

Plocha povodia je 41,36 km<sup>2</sup>. Lesnatosť povodia je 81,33 % (33,63 km<sup>2</sup>), lúky a TTP zaberajú 18,48 %, orná pôda a zastavané územie spolu 0,19 %.

Pre hydrologickú štúdiu boli použité zrážkové dáta zo staníc: Hrochoť (652 m n. m.), Kyslinky (770 m n. m.) a Poľana (1 264 m n. m.). Tieto dáta boli pripravené pre výpočet plošného pokrytia povodia váženým priemerom (Thiessenove polygóny). V uzavierajúcom profile toku sa nachádza limnigraf.

Zdrojom pre určenie fyzikogeografických charakteristík povodia Hučavy bol lesný hospodársky plán z NLC - ULZI Zvolen. Základné charakteristiky povodia sú uvedené v tabuľke 1 (a, b, c, d).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Rekonštrukcia pozorovaných prípadov a kalibrácia parametrov modelu

V dobe vzniku obidvoch povodňových vln bolo povodie mierne nasýtené predchádzajúcimi zrážkami za posledných 5 dní na stav IPZ II podľa metodiky CN (vlňa 1 - 44,8 mm, vlňa 2 - 27,2 mm). Povodie bolo v tom čase i napriek nepriaznivým topografickým podmienkam (vysoké sklony svahov) dostatočne chránené existujúcim zdravým alebo mierne poškodeným lesným porastom (lokálne poškodenie kôrovcom) o rozlohe 81,33 %. Mierne nasýtenie povodia predchádzajúcimi zrážkami, teplé obdobie (vysoký výpar) a vysoký stupeň zalesnenia malo priaznivý vplyv pri týchto

extrémnych zrážkových situáciách s úhrnom 107,2 mm, resp. 71,4 mm za 12 hod. Tieto náhle intenzívne dažde vyvolali povodňové odtoky, ktoré svojimi kulmináčnymi prietokmi 19,220 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, resp. 5,140 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> je možné zaradiť do kategórie prietokov o dobe opakovania N = 3 až 4, resp. N = 1 rok (podľa výpočtov SHMÚ). Tabuľka 2 uvádza základné charakteristiky týchto povodňových vln.

Jednotlivé subpovodia boli rozlíšené predovšetkým podľa sklonových, pôdných a „land use“ pomerov. V nich boli určené pomocou GIS kaskády o 2 - 3 elementoch. Celkom bolo rozlíšene do odtokových procesov 17 základných subpovodií, v ktorých sa odtokový proces rozlíšil v 42 odtokových elementoch, tj. v 42 podrobných subpovodiach.

Pri geometrizácii topografických plôch platí zásada, že transformácia základných geomorfologických vlastností do odpovedajúcich geometrických útvarov (kaskáda dosiek, konvergentné alebo divergentné segmenty a charakteristické úseky koryta) by nemala ísť do prílišných podrobností, avšak sklonovým a drsnostným pomerom by mala byť venovaná pozornosť. Potvrdila to aj citlivostná analýza modelu KINFIL (KOVÁŘ et al. 2002). Všetky subpovodia boli prevedené na rovnoploché obdĺžnikové prvky kaskády. Táto schématická na jednotlivé útvary je dobre zreteľná z obrázku 1 a tabuľky 3, ktorá prehľadne uvádza geometrické parametre jednotlivých subpovodií. Výsledky rekonštrukcie sú vyhodnotené v tabuľke 4 a grafoch 1 a 2.

### Simulácia povodňových odtokov z N-ročných privalových dažďov

Po rekonštrukcii riešených zrážkovo-odtokových prípadov a nakalibrování parametrov modelu bolo prístupné k simulácii scenárov povodňových odtokov z N-ročných návrhových dažďov periodicity výskytu p = 1,0 (N = 100 rokov).

Návrhové dažde rôznej doby trvania a periodicity výskytu boli zisťované metódou redukcie denných maximálnych zrážok podľa Gumbelovej štatistiky extrémov (ŠAMAJ et al. 1983). Pre výpočty bola vybraná zrážkomerná stanica Kyslinky v povodí toku Hučava. Z maximálnych jednodenných zrážkových úhrnov ( $P_{1d,N}$ ) vo vybranej zrážkomernej stanici boli vypočítané zrážkové úhrny ( $P_{t,N}$ ) a náhradné intenzity dažďov ( $i_{t,N}$ ) pre rôzne doby trvania dažďa a rôzne doby opakovania podľa vzorcov (HRÁDEK, KOVÁŘ 1994):

$$P_{t,N} = P_{1d,N} \cdot a \cdot t^{1-c} \quad (5)$$

$$i_{t,N} = P_{1d,N} \cdot a \cdot t^{-c} \quad (6)$$

kde a, c sú redukčné súčinitele náhradných privalových dažďov (tab. 5).

### Scenárové simulácie pri zmene využívania územia

Ďalším krokom implementácie modelu KINFIL po rekonštrukčných výpočtoch bolo vytvorenie scenára využitia pozemkov, kedy 30 resp. 50 % lesných pozemkov bolo nahradených trvalým trávnyim porastom (TTP). Pri súčasnej lesnatosti povodia 81 % to činí 50 resp. 30% lesnatosť. Zmena „land use“ bola graficky spracovaná v GIS. Z mapových podkladov bolo tradičnou metódou vypočítané priemerné číslo CN (U.S. SCS 1986) na povodie s hodnotou 56,53 pre IPZ II a aktuálnu lesnatosť 81 %. Pri simulovaní hypotetickej redukcie „land use“ sme vychádzali z predpokladu, že povodie bolo výrazne nasýtené predchádzajúcimi zrážkami,

čo odpovedalo stavu IPZ III, čo je stupeň nasýtenia. Vypočítaná priemerná hodnota CN 56,53 sa nám zmenila na hodnotu 75,25 a následne sme dostali aj hodnoty pre situácie so zníženou lesnatosťou, a to 75,91 pre 50% lesnatosť, resp. 76,11 pre 30% lesnatosť. Výsledky sú prehľadne znázornené v tabuľke 7 a grafe 4.

Tento scenár zmeny „land use“ (zníženie lesného porastu na úkor TTP) spôsobil zvýšenie prietoku o 20,4 % (50% lesnatosť), resp. 35,3 % (30% lesnatosť) pri dobe trvania dažďa 60 min, kedy bol pri všetkých scenároch dosiahnutý najvyšší kulminačný prietok.

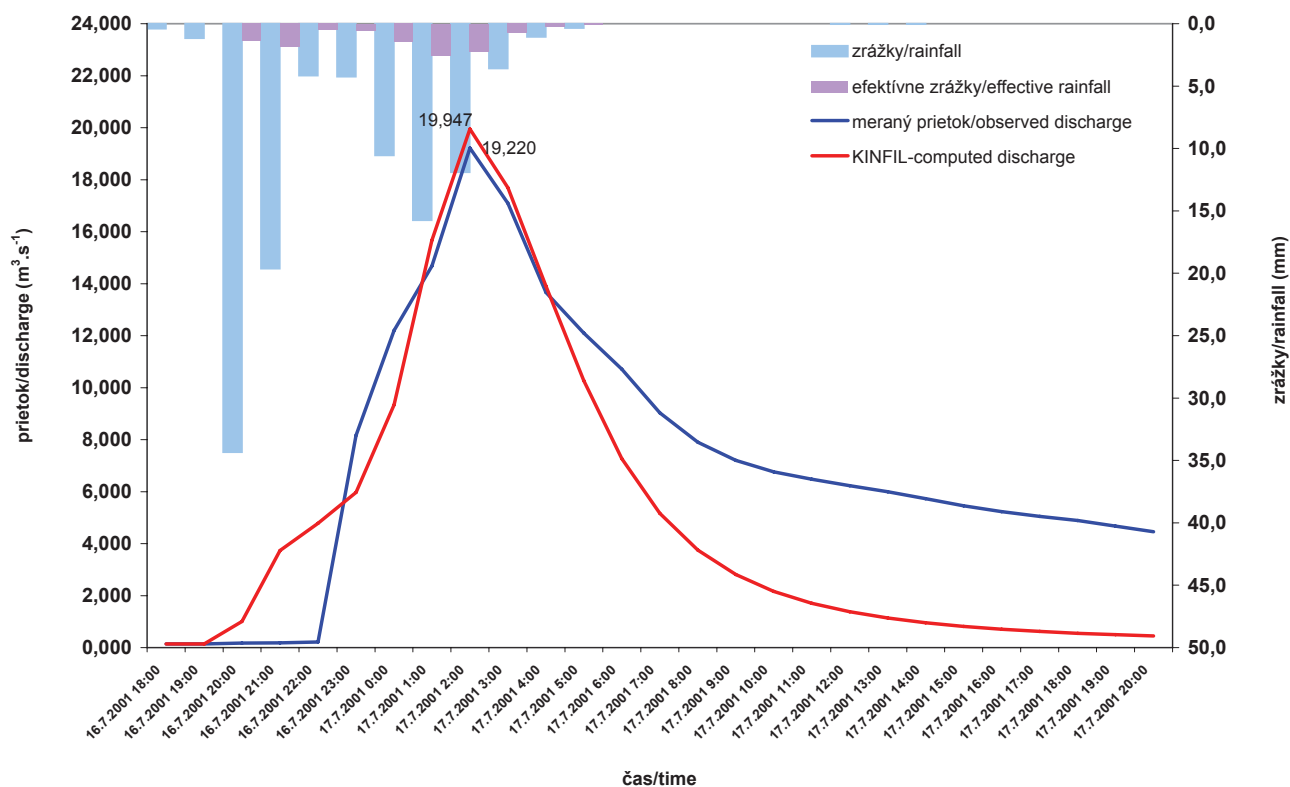
Problematikou vplyvu lesnatosti na odtok sa zaoberalo mnoho autorov. Na tomto povodí konkrétne prevádzali výskum Valtýni a Závacká s podobnými výsledkami pri použití CN – metódy (VALTÝNI 1998, VALTÝNI, ZÁVACKÁ 2000, ZÁVACKÁ, MERGANIČ 2003), na ktorej je založený model KINFIL.

Z výsledkov ďalej vyplýva, že najnebezpečnejšia doba trvania dažďov pre periodicitu výskytu  $N = 100$  je okolo 60 až 90 minút. Rozdiely medzi 30min a 120min dobou trvania dažďov pri súčasnej lesnatosti však nie sú veľmi veľké a so znižovaním lesnatosti (les nahradený TTP) sa tento stav stále zvyšuje.

## ZÁVER

Zrážky rôznej intenzity, dĺžky trvania a miesta výskytu spôsobujú rozsiahle škody na majetku, nezriedka aj na životoch a zdraví obyvateľov obcí a miest pozdĺž vodných tokov, na ktorých dochádzalo k prudkému vzostupu hladín, vybrežovaniu vody a zaplavovaniu okolitých území. Metódy zrážkovo-odtokového modelovania umožňujú simulovať nielen skutočný hydrologický proces, ale s ich pomocou môžeme aproximatívne predpovedať správanie povodí v rôznych extrémnych situáciách.

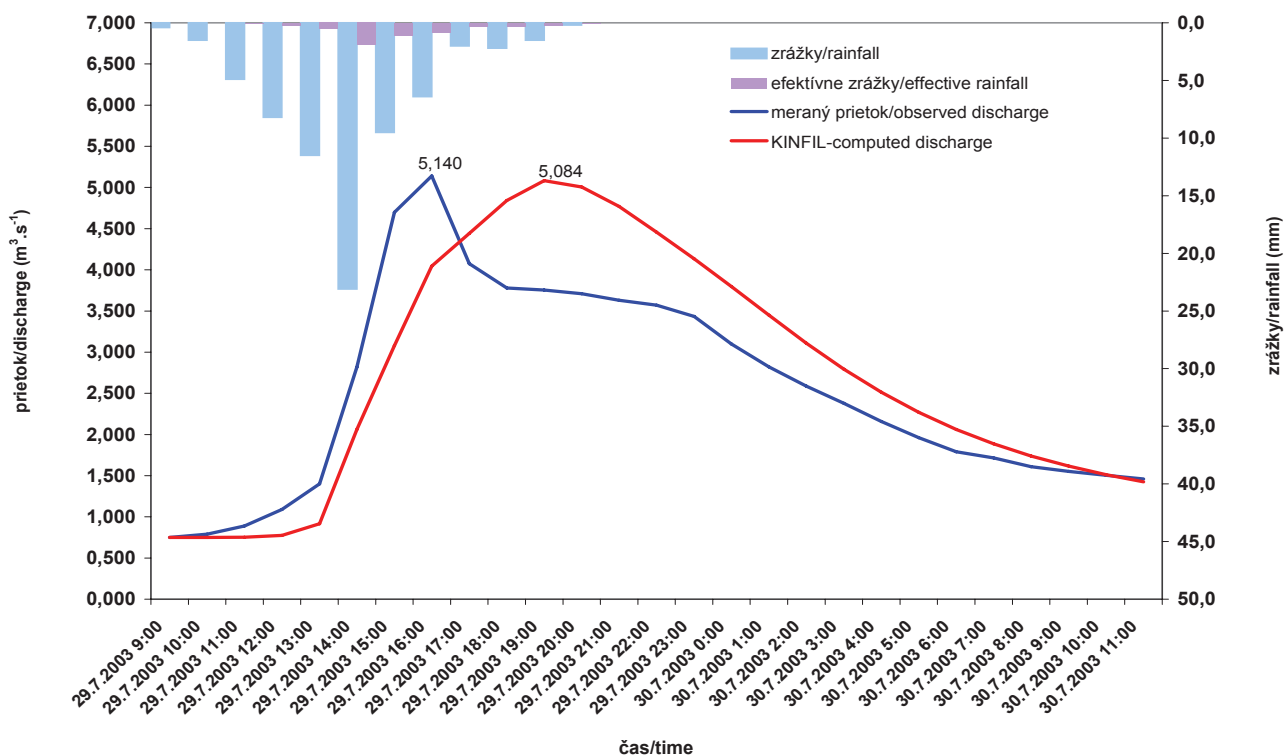
Model KINFIL, ktorý je fyzikálne založeným distribuovaným deterministickým zrážkovo-odtokovým modelom, je osvedčeným modelom pre účely simulačné (scenárové), rekonštrukčné i návrhové. Model KINFIL je vo svojej infiltračnej časti založený na vyššie odvodených vzťahoch modelových parametrov nasýtenej hydraulikkej vodivosti a sorptivity pri retenčnej vodnej kapacite a hodnotách CN kriviek, ktorá bola odvodená prevažne pre poľnohospodársky využívané povodia a z toho dôvodu sú odtoky a scenárové situácie lepšie simulovateľné práve pre tieto podmienky. V poslednej dobe, kedy sa aplikácia CN kriviek rozširuje aj na lesné pôdy (klasifikácie geologických substrátov), sa i výskum na použitie modelu KINFIL zameriava na vylepšenie modelových simulácií pre lesné povodia. V spojení s technikou GIS, ktorá taktiež rešpektuje plošnú heterogenitu povodia, tvorí výkonný a pomerne dômyselný



**Graf 1.**

Merané a vypočítané prietoky modelom KINFIL, povodie Hučava, vlna 16. 7. 2001

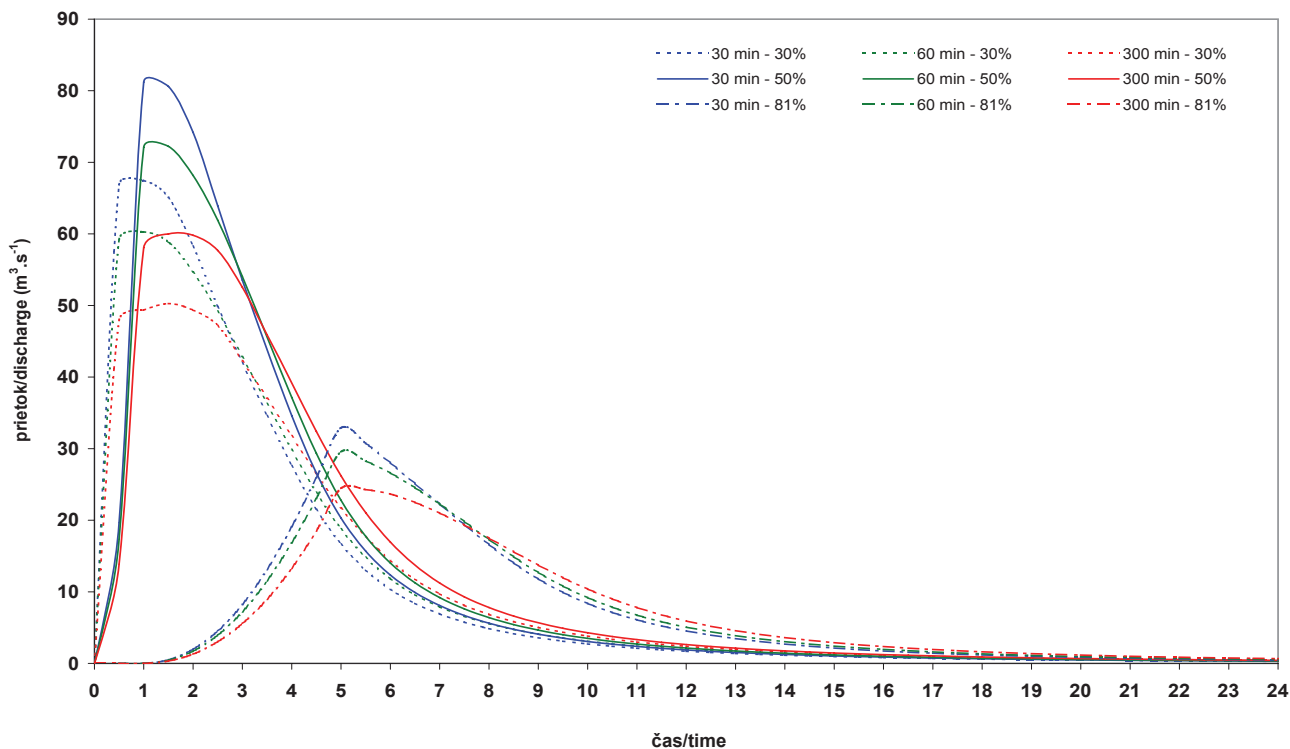
Measured and computed discharges of model KINFIL, Hučava catchment, wave 16. 7. 2001



Graf 2.

Merané a vypočítané prietoky modelom KINFIL, povodie Hučava, vlna 29. 7. 2001

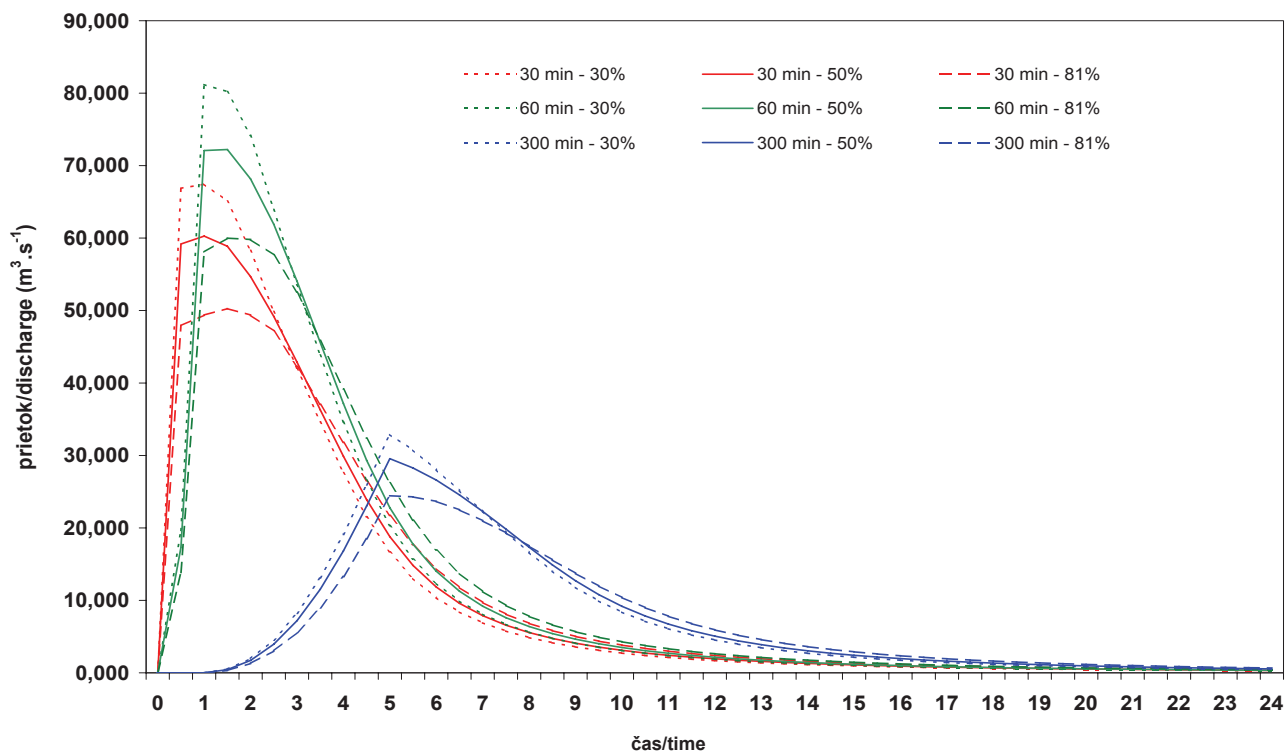
Measured and computed discharges of model KINFIL, Hučava catchment, wave 29. 7. 2001



Graf 3.

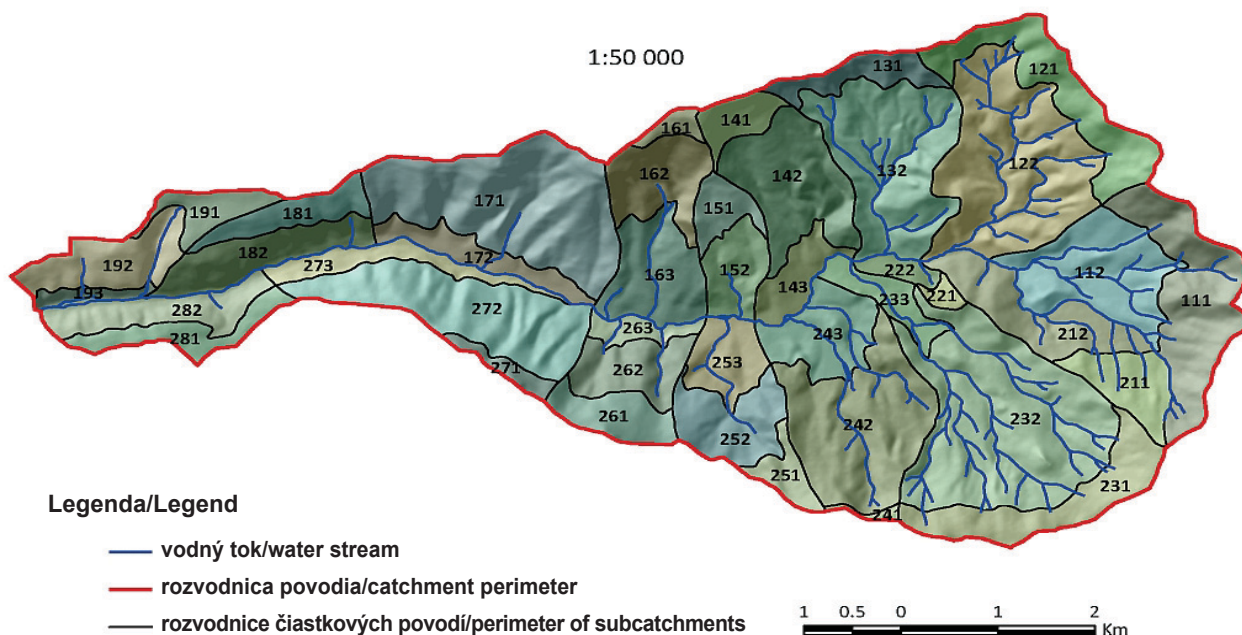
Výšky ( $P_{t,N}$ ) a intenzity ( $i_{t,N}$ ) privalových dažďov pre stanicu Kyslinsky

Design rainfall depths ( $P_{t,N}$ ) and intensities ( $i_{t,N}$ ) for the Kyslinsky station



Graf 4.

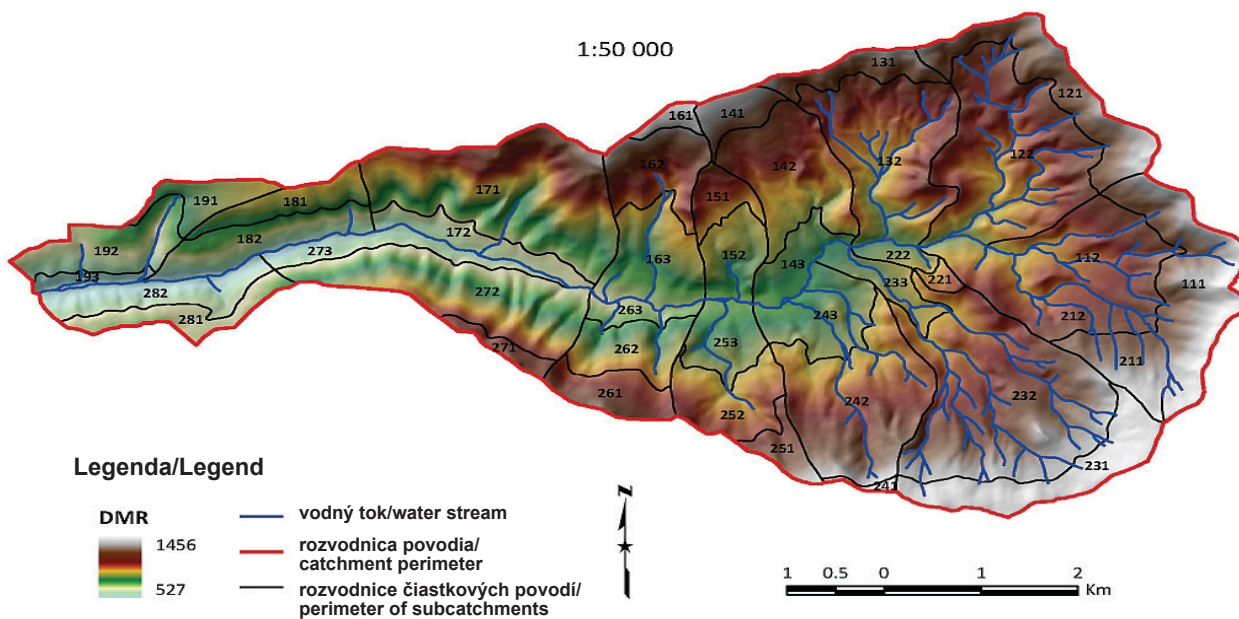
Scenárová simulácia zmeny „land use“ pre návrhové dažde  $N = 100$ ,  $t_d = 30, 60, 300$  min  
 Scenario simulation of change land use for design rainfall  $N = 100$ ,  $t_d = 30, 60, 300$  min



© Ing. Václav Kadlec, TU vo Zvolene, 2007

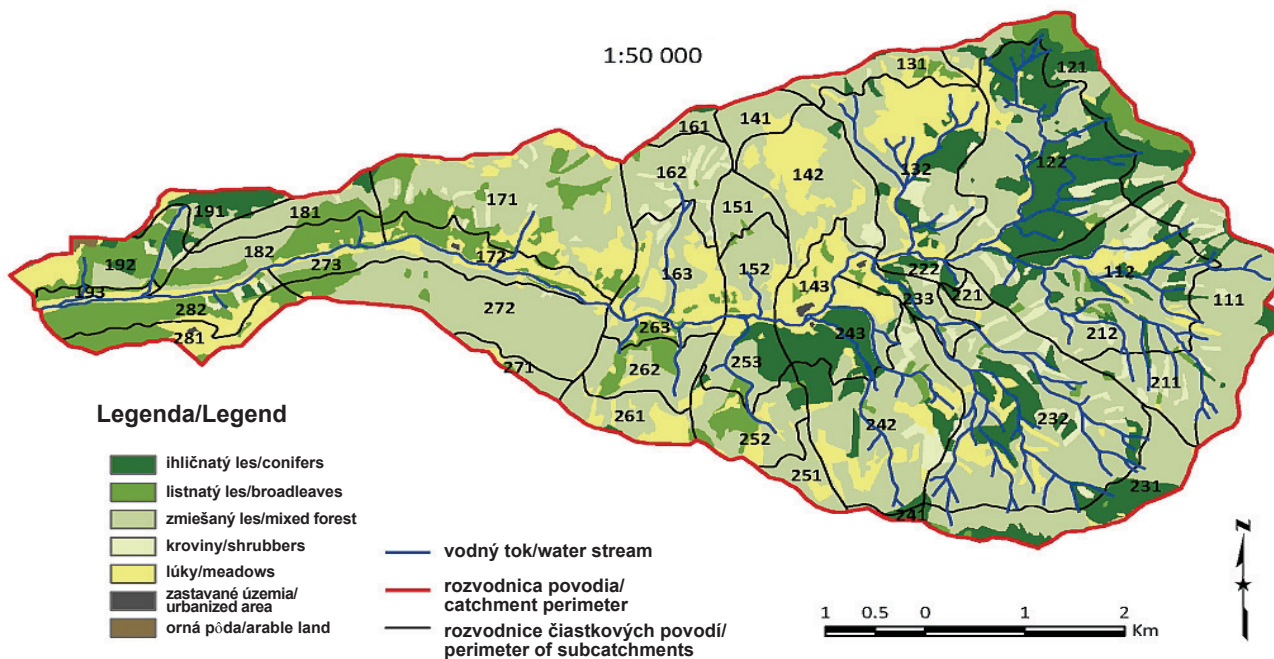
Obr. 1.

Rozdelenie na subpovodia – schématická odtoku Hučavy  
 The Hučava sub-catchments



© Ing. Václav Kadlec, TU vo Zvolene, 2007

**Obr. 2.**  
Digitálny model reliéfu povodia Hučavy s rozdelením na subpovodia  
Digital elevation model of the Hučava catchment with division into sub-catchments



© Ing. Václav Kadlec, TU vo Zvolene, 2007

**Obr. 3.**  
„Land use“ na povodí Hučavy s rozdelením na subpovodia  
Land use on the Hučava catchment with division into sub-catchments

**Tab. 1.**

Základné fyzickogeografické charakteristiky povodia Hučavy  
 Basic of physiographic characteristics of Hučava catchment

## a) Charakteristiky povodia/Catchment characteristics

Plocha povodia/Catchment area	km <sup>2</sup>	41,36
Zalesnená plocha povodia/Forested catchment area	km <sup>2</sup>	33,63
Lesnatosť povodia/Forestation	%	81,33
Dĺžka hlavného toku/Length of river	km	14,97
Dĺžka prítokov/Length of inflows	km	60,87
Dĺžka rozvodnice/Catchment perimeter	km	33,45
Dĺžka údolnice/Length of talweg	km	15,23
Min. nadmorská výška povodia/Min. catchment altitude	m n. m.	522
Max. nadmorská výška povodia/Max. catchment altitude	m n. m.	1458
Absolútny spád povodia/Absolute catchment gradient	m	936
Priemerná nadmorská výška povodia/Average catchment altitude	m n. m.	929,27
Stredná šírka povodia/Average width catchment	km	2,716
Priemerný sklon toku/Average river slope	%	10,94
Priemerný sklon údolnice/Average talweg slope	%	5,83
Stredný sklon svahov povodia/Average catchment slope	%	32,08

## b) Zastúpenie pôdnych druhov v povodí/Representation of soil classes

Pôdny druh/Soil class	Rozloha/Area (km <sup>2</sup> )	Procentuálne zastúpenie/Percentage
Hlinitá pôda/Loam	39,07	94,46
Piesočnato-hlinitá pôda/Sandy loam	1,31	3,16
Hlinito-piesočnatá pôda/Loamy Sand	0,02	0,05
Ílovito-hlinitá pôda/Clay loam	0,96	2,33



## c) Zastúpenie pôdných typov v povodí/Representation of soil types

Pôdny typ/Soil type	Rozloha/Area (km <sup>2</sup> )	Procentuálne zastúpenie/Percentage
Kambizem/Cambisols	32,53	78,66
Andosolová pôda/Andosols	4,02	9,73
Rankrová pôda/Regosols	2,15	5,20
Glejová pôda/Gleysols	2,65	6,41

## d) Využitie územia/Use of area

Land use	Rozloha/Area		Procentuálne zastúpenie/Percentage
	km <sup>2</sup>	ha	
Ihličnatý les/Coniferous forest	6,12	611,53	14,79
Listnatý les/Deciduous forest	4,37	436,53	10,56
Zmiešaný les/Mixed forest	21,16	2116,40	51,18
Kroviny/Shrubbery	1,78	177,81	4,30
Lúky a trvalé trávne porasty/Meadows and permanent grasslands	7,34	734,40	17,75
Zastavané plochy/Urbanized areas	0,04	3,45	0,08
Orná pôda/Arable land	0,05	4,62	0,11
Cestná sieť/Road network	0,50	50,40	1,23

**Tab. 2.**

Základné informácie zrážkovo-odtokových prípadov na povodí Hučavy  
Basic information on rainfall-runoff events on the Hučava catchment

Hučava	Vlna 1/Wave 1	Vlna 2/Wave 2
Začiatok príčinného dažďa/Beginning of causal rainfall	16. 7. 2001 18:00 hod	29. 7. 2003 9:00 hod
Koniec príčinného dažďa/End of causal rainfall	17. 7. 2001 5:00 hod	29. 7. 2003 20:00 hod
Kulminačný prietok/Peak flow	19,220 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	5,140 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Celková výška príčinného dažďa/Total depth of causal rainfall	107,20 mm	71,40 mm
Celková výška efektívneho dažďa/Total depth of effective rainfall	11,46 mm	5,44 mm

**Tab. 3.**Schématická povodia Hučavy (podľa obrázka 1)  
Scheme of the Hučava catchment (according to figure 1)

Kaskáda/Cascade	Plocha/Area (km <sup>2</sup> )	Doska/Plane no.	Plocha/Area (km <sup>2</sup> )	Priem. šírka/Average width (km)	Dĺžka/Length (km)	Sklon/Slope (-)
DP 11	3,453	111	1,846	3,758	0,491	0,433
		112	1,607		0,428	0,234
DP 12	4,278	121	1,332	3,647	0,365	0,339
		122	2,946		0,808	0,284
DP 13	2,825	131	0,514	2,446	0,210	0,419
		132	2,311		0,945	0,307
DP 14	1,941	141	0,395	1,614	0,245	0,452
		142	1,546		0,958	0,305
		143	0,511		0,317	0,182
DP 15	1,013	151	0,391	1,570	0,249	0,323
		152	0,622		0,396	0,239
DP 16	2,171	161	0,163	2,249	0,072	0,313
		162	0,902		0,401	0,451
		163	1,106		0,492	0,243
DP 17	5,688	171	2,932	2,504	1,171	0,419
		172	0,585		0,234	0,236
DP 18	1,495	181	0,563	2,629	0,214	0,318
		182	0,932		0,355	0,456
DP 19	1,566	191	0,442	1,175	0,376	0,139
		192	0,943		0,803	0,327
		193	0,181		0,154	0,441
DP 21	1,810	211	0,677	4,557	0,149	0,302
		212	1,133		0,249	0,249
DP 22	0,312	221	0,110	0,753	0,146	0,282
		222	0,202		0,268	0,209
DP 23	7,245	231	1,200	4,242	0,283	0,366
		232	3,758		0,886	0,304
		233	0,477		0,112	0,175
DP 24	3,307	241	0,059	2,918	0,020	0,395
		242	2,302		0,789	0,301
		243	0,946		0,324	0,197
DP 25	1,873	251	0,326	2,746	0,119	0,348
		252	0,905		0,329	0,273
		253	0,642		0,234	0,210
DP 26	1,640	261	0,599	1,390	0,431	0,346
		262	0,759		0,546	0,362
		263	0,282		0,203	0,217
DP 27	0,985	271	0,215	3,791	0,057	0,308
		272	0,199		0,525	0,436
		273	0,571		0,151	0,265
DP 28	1,431	281	0,568	2,517	0,226	0,200
		282	0,863		0,343	0,359

**Tab. 4.**

Štatistické vyhodnotenie zhody meraných a vypočítaných prietokov  
Statistical evaluation of correlation of measured and computed discharges

Vlna č./Wave no.	Koeficient determinácie/ Efficiency coefficient RE (-)	Koeficient variácie/ Variation coefficient PE (-)	Chyba v kulminácii PEAK/ Error peak (%)	Chyba v objeme TVOL/ Error volume (%)
16. 7. 2001	0,50	0,50	-3,78	31,58
29. 7. 2003	0,73	0,28	1,09	-6,91

Poznámka: Pre najlepšiu zhodu prietokových poradnic platí RE = 1,0; PE = 0,0/Note: For the best correlation of discharge coordinates is valid RE = 1.0; PE = 0.0

**Tab. 5.**

Hodnoty redukčných súčiniteľov náhradných prívalových dažďov  
The reduction coefficient values for design rainfalls

N (roky/years)	t (min)	10 - 40	40 - 120	120 - 1 440	t (min)	10 - 40	40 - 120	120 - 1 440
2	a	0,166	0,237	0,235	c	0,701	0,803	0,801
5	a	0,171	0,265	0,324	c	0,688	0,803	0,845
10	a	0,163	0,280	0,380	c	0,656	0,803	0,867
20	a	0,169	0,300	0,463	c	0,648	0,803	0,894
50	a	0,174	0,323	0,580	c	0,638	0,803	0,925
100	a	0,173	0,335	0,642	c	0,625	0,803	0,939

**Tab. 6.**

Výšky ( $P_{t,N}$ ) a intenzity ( $i_{t,N}$ ) prívalových dažďov pre stanicu Kyslinsky  
Design rainfall depths ( $P_{t,N}$ ) and intensities ( $i_{t,N}$ ) for the Kyslinsky station

N (roky/years)	Kyslinsky		t (min)				
	P1d,N (mm)		30	60	90	120	300
2	46,6	Pt,N	21,39	24,74	26,80	28,39	34,07
		it,N	0,71	0,41	0,30	0,24	0,11
5	61,2	Pt,N	30,24	36,33	36,35	41,65	48,00
		it,N	1,01	0,61	0,44	0,35	0,16
10	70,6	Pt,N	37,08	44,29	47,97	50,71	57,29
		it,N	1,24	0,74	0,53	0,42	0,19
20	80,4	Pt,N	44,99	54,03	58,53	61,83	68,14
		it,N	1,50	0,90	0,65	0,52	0,23
50	92,4	Pt,N	55,07	66,86	72,42	76,74	82,20
		it,N	1,84	1,11	0,80	0,64	0,27
100	101,8	Pt,N	63,05	76,40	82,75	87,52	92,55
		it,N	2,10	1,27	0,92	0,73	0,31

**Tab. 7.**

Návrhové prietoky pre dobu trvania dažďa  $t_d = 30, 60, 90, 120, 300$  min, s dobou opakovania 100 rokov a rôznej lesnatosti povodia  
Design discharges with event duration  $t_d = 30, 60, 90, 120, 300$  min, time period of 100 years and scenario changes of forestation

KINFIL	Návrhové kulminačné prietoky ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) z povodia Hučavy pri 100ročnej zrážke/ Design discharges on the Hučava catchment, time period of 100 years (101.8 mm)				
	Doba trvania dažďa $t_d$ /Rain period (min)				
Lesnatosť/Forestation	30	60	90	120	300
30 %	67,439	81,196	80,749	79,577	32,891
50 %	60,279	72,224	71,681	68,470	29,559
81 %	50,269	59,990	59,170	55,845	24,434

aparát pre povodňové analýzy. Scénarové simulácie N-ročných prietokov (pri zmene „land use“ a rôznej doby trvania prívalového dažďa) poskytujú pomerne spoľahlivé prognostické predstavy o týchto povodňových vlnách – ich tvaru, kulminácii a dobe trvania. Na zalesnených povodiach bolo modelom KINFIL dosiahnutých veľmi dobrých výsledkov, predovšetkým na povodiach Jizerských hôr, experimentálnych povodiach Kamenice, Smědě, Černé Desné, Černé Nisy. Hlavne na Černé Desné (plocha povodia 4,75 km<sup>2</sup> so zalesnením 91,7 %) a Mumlavě (51,0 km<sup>2</sup> so zalesnením 90,0 %) bolo dosiahnutých taktiež solídnych výsledkov (KOVÁŘ 1992a).

## LITERATÚRA

- ČHMÚ. Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Výzkumný úkol MZe QD 1368, 2006. 127 s.
- GREŠKOVÁ, A. Identifikácia rizikových oblastí a rizikových faktorov vzniku povodní v malých povodiach. Geografický časopis, 2001, roč. 3, s. 247-268.
- HALMOVÁ, D. Porovnanie modelovaných odtokov z povodia Malej Svinky. Acta hydrologica Slovaca, 2000, s. 5-14.
- HRÁDEK, F., KOVÁŘ, P. Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů. Vodní hospodářství, 1994, roč. 11, s. 49-53.
- KOVÁŘ, P. Možnosti určování návrhových průtoků na malých povodích. Doktorská disertační práce. Praha: SIC ČZU, 1992a.
- KOVÁŘ, P. Possibilities of determining design discharges on small catchments using the KINFIL model. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 1992b, vol. 40, no. 2, s. 197-220.
- KOVÁŘ, P., CUDLÍN, P., HEŘMAN, M., ZEMEK, F., KORYTÁŘ, M. Analysis of flood events on small river catchments using the KINFIL model. Journal Hydrology nad Hydromechanics, 2002, vol. 2, s. 157-171.
- MOREL-SEYTOUX, H. J. Analytical results for prediction of variable rainfall infiltration. Journal of Hydrology, 1982, no. 59, s. 209-230.
- ŠAMAJ, F., BRÁZDIL, R., VALOVIČ, J. Denné úhrny zrážok s mimo-riadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901 - 1980. In Zborník prác SHMÚ. Bratislava: Alfa, 1983. s. 9-112.
- U.S. SCS. Urban hydrology for small watersheds. U.S. Soil Conservation. Technical Release 55(13), SCS, Washington. 1986.
- VALTÝNI, J. Vplyv lesa na retenčnú kapacitu povodia. Povodne a protipovodňová ochrana (zpk), 1998, s. 262-265.
- VALTÝNI, J., ZÁVACKÁ, M. Výsledky 4ročného monitoringu kulmináčnych prietokov vo dvoch malých povodiach v BR Poľana. In Zborník referátov Biosférické rezervácie na Slovensku III. Zvolen: Technická univerzita, 2000, s. 57-60.
- ZÁVACKÁ, M., MERGANIČ, J. Vplyv lesa na odtok vody z malého povodia Zvolen: Acta facultatis forestalis, 2003, s. 101-111.

## USE OF RAINFALL-RUNOFF MODEL KINFIL ON HUČAVA CATCHMENT

### SUMMARY

The paper provides a practical implementation of the hydrological model KINFIL which is used for the reconstruction of the rainfall-runoff events on the Hučava catchment and then for the simulation of design discharges with event duration  $t_d = 30, 60, 90, 120$  a  $300$  min in time recurrence of 100 years and scenario simulation of changed land use. This scenario simulation has reflected extreme runoff processes with non-structural measures in the catchment.

The simulation has been performed for the mountainous catchment of the Hučava creek, the Poľana Mountains. The catchment area is 41.36 km<sup>2</sup>, elevations range between 522 and 1,458 m a. s. l. Average slope of the catchment is 32.08 %. Soil classes are the most represented by Loam (94.5 %) and soil types by Cambisoils (78.7 %). The forestation is 81 %, meadows and permanent grasslands occupy 17.8 %.

The KINFIL model, based on an infiltration approach computing net design rainfall to be transformed into direct runoff by a kinematic wave mechanism, has been implemented. The infiltration part of the model is based on the Morel-Seytoux equations, derived from the Green/Ampt concept distinguishing pre- and post-ponding infiltration from constant or variable rainfall. The second basic component of the KINFIL model is a simulation of runoff which is based on a kinematic flow approximation. All the topographical and morphological data were analysed and prepared for the KINFIL model using GIS facilities.

Thus model was implemented for design discharge assessment (N = 100 years) and it has been shown again that land use changes (substitute 30% and 50% of forest by permanent grassland) do not affect peak flood discharges by more than 20 and 35 percent at most.

Implementation of the KINFIL model supported by GIS has been found as a proper tool for the runoff assessment on small catchments when using different scenarios of land use changes.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Václav Kadlec, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.,  
Žabovřeská 250, 156 27, Praha 5 - Zbraslav, Česká republika  
tel.: 257027 111; e-mail: kadlec@vumop.cz