

**Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV
v spolupráci
s Ústavom krajinnej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava
a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVal UKF v Nitre**



EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Ročník 14

Číslo 2/2023

Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV
v spolupráci s
Ústavom krajinnej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava
a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVai UKF v Nitre



EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Ročník 14

Číslo 2/2023

EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Recenzovaný vedecký časopis venovaný aktuálnym problémom ekológie, krajinej ekológie a príbuzných vedných disciplín

Hlavný redaktor / Editor-in-Chief:

prof. RNDr. František Petrovič, PhD.

Výkonný redaktor / Executive editor:

prof. PaedDr. PhD. RNDr. Martin Boltžiar, PhD.

Redakčná rada / Editorial board:

RNDr. Peter Gajdoš, CSc.

prof. Fedir Hamor, DrSc. (Ukrajina)

RNDr. Vladimír Herber, CSc. (Česká republika)

prof. RNDr. Juraj Hreško, CSc.

prof. RNDr. Zita Izakovičová, PhD.

doc. RNDr. Zdeněk Lipský, CSc. (Česká republika)

Dr.h.c. prof. RNDr. László Miklós, DrSc.

RNDr. Milena Moyzeová, PhD.

Ing. Július Oszlányi, CSc.

Dr. László Podmanický (Maďarsko)

prof. Ing. Ivan Vološčuk, DrSc.

Dr.h.c. prof. RNDr. Florin Žigrai, DrSc. (Rakúsko)

Technické spracovanie / Computer typesetting:

Mgr. Henrik Kalivoda, PhD.

Za obsahovú a jazykovú stránku príspevkov zodpovedajú autori

Vydavateľ: Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV v spolupráci s Ústavom krajinej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVaI UKF v Nitre

Dátum vydania: december 2023

Číslo: 2

Ročník: 14

Vychádza 2x ročne

Časopis Ekologické štúdie je dostupný online na stránke <http://publikacie.uke.sav.sk/>

Evidenčné číslo MK SR: EV 4174/10

ISSN 1338-2853

OBSAH

HALADA, L., DAVID, S., GAŠPAROVIČOVÁ, P.: Vegetácia obce Runina (Národný park Poloniny, SV Slovensko) a jej prírodoochranná významnosť.....	4
HUTÁROVÁ, D., ŠTEFUNKOVÁ, D., KOZELOVÁ, I.: Ekosystémové služby záhradkárskeho osád v mestách – systematický prehľad.....	16
MARETTA, M., ČALKOVSKÝ, M.: Tvorba mapy ohrozenia bleskovými povodňami v povodí Sklabinského potoka.....	30
PALAJ, A., KOLLÁR, J.: Zmeny v zastúpení endemických druhov v alpínskej vegetácii Západných Karpát.....	40
MIHÁL, I.: Štruktúra symbiotickej a saprotrofnej mykobioty v kultúrnych smrečínach	52
KRNÁČOVÁ, Z.: Využitie techník faktorovej analýzy pri modelovaní agroekosystémov	67
HRIVNÁKOVÁ, K., ČAJKOVÁ, S., HREŠKO, J.: Morfodynamika povodí plies Vysokých Tatier (Dolina Zeleného plesa) v kontexte zmeny klímy.....	80

TVORBA MAPY OHROZENIA BLESKOVÝMI POVODŇAMI V POVODÍ SKLABINSKÉHO POTOKA

CREATION OF A FLASH FLOOD HAZARD MAP IN THE SKLABINSKÝ POTOK CREEK CATCHMENT AREA

Martin MARETTA, Michal ČALKOVSKÝ

Esprit spol. s r.o., Pletiariska 2, 969 27 Banská Štiavnica, Slovenská republika, e-mail: maretta@esprit-bs.sk, calkovsky@esprit-bs.sk

Abstract: *The article deals with the creation of a flash flood hazard map. The aim of this text is to create a flash flood hazard map that takes into account all the factors influencing rainfall-runoff processes in the landscape. For the development of the flash flood hazard map, we rely on existing approaches to determine maximum design flows for small catchments without direct observations, and we try to adapt them so that they can be used to determine the design flow and subsequently the magnitude of the flood hazard continuously for the catchment area. Geographic information systems tools are used to model the spatial distribution of environmental parameters that determine the magnitude of the hazard. Based on an initiating natural process that negatively affects the interests of human society, we define the hazard as a physical quantity that can be expressed by a map. The hazard map should serve as a basis for management and planning of human activities in the landscape.*

Key words: *flash floods, flood hazard, surface runoff, runoff modelling*

Úvod

Vzhľadom na to, že voda predstavuje významnú zložku životného prostredia ovplyvňujúcu ostatné súčasti krajiny, je potrebné eliminovať negatívne javy vznikajúce pri jej nekontrolovanom prenose za extrémnych okolností (prívalové dažde a následné povodne), pričom treba mať na zreteli, že na tvorbu a priebeh zrážkovo-odtokových procesov v krajine vplývajú svojou mierou všetky zložky prírodno-antropogénneho systému. Pri narastajúcom probléme extrémnych zrážkových udalostí a ich následných odoziev v krajine pritom vstupuje do popredia otázka predikcie možných hrozieb. Hrozba (hazard) je podľa Minára, Tremboša (1994) výsledkom pôsobenia iníciačného prírodného procesu, ktorý negatívne vplýva na záujmy ľudskej spoločnosti. Jeho veľkosť možno vyjadriť v určitých fyzikálnych jednotkách. Veľkosť hrozby je teda možné stanoviť pre každý bod geografického priestoru a vyjadriť ho mapou. Význam takejto priestorovej interpretácie hrozby bleskových povodní vidíme predovšetkým v tom, že dáva obraz o potenciálnom ohrození ľudských aktivít, nielen v účelovo zvolených profiloch na toku, ale kontinuálne pre celé povodie vrátane svahov a odtokových línií mimo stálej riečnej siete a môže byť tak dôležitým podkladom pre manažment existujúcich aktivít človeka a plánovanie nových aktivít v krajine. Všetky parametre prostredia určujúce veľkosť hrozby majú svoju zákonitú priestorovú distribúciu a je teda takisto veľmi účelné modelovať ich za pomoci nástrojov a metód ponúkaných geografickým informačnými systémami.

Metodika

Koncepcia riešenia

Pri spracovaní mapy ohrozenia územia bleskovými povodňami sa opierame o existujúce prístupy k určovaniu maximálnych návrhových prietokov pre malé povodia bez priamych pozorovaní, pričom sa ich snažíme prispôsobiť tak, aby ich bolo možné použiť pre stanovenie návrhového prietoku a následne veľkosti povodňovej hrozby kontinuálne pre plochu povodia. Tieto metódy vychádzajú z genetickej predstavy tvorby odtoku v povodí a z nej odvodených zjednodušených empirických vzťahov pre tvorbu odtoku. Väčšina týchto vzťahov je založená na závislosti návrhového prietoku od intenzity návrhového dažďa (metódy intenzitného typu) alebo od objemu priameho odtoku (objemové metódy) a obsahujú parametre hydrologického prostredia (postupová doba, doba koncentrácie, indexy priepustnosti a vododržnosti prostredia, CN čísla a pod.). Naše konkrétne riešenie je potom možné načrtnúť nasledovne: Hodnotené povodie (Sklabinský potok) bolo diskretizované na pravidelný grid 20x20m. Pre zvolený grid bol vypočítaný hydrologicky korektný (prietočný) digitálny model terénu, rešpektujúci aktuálny priebeh riečnej siete a boli odvodené potrebné polia morfometrických veličín (sklon, smery odtoku, prispievajúce plochy). V ďalšom kroku boli superpozíciou údajov o reliéfe, pôdach, geologickom podloží a krajinnej pokrývke ohraničené hydrologicky homogénne jednotky – hydroekologické komplexy (HEK), pre ktoré bol stanovený koeficient povrchového odtoku. S využitím smerov odtoku a vypočítanej rýchlosti prúdenia bol stanovený pre každú bunku potenciálny kumulatívny odtok a čas koncentrácie odtoku. Vychádzajúc z predpokladu, že kritické trvanie dažďa spôsobujúce maximálny odtok sa rovná dobe koncentrácie, bola pre každú bunku rastra stanovená návrhová intenzita „10 ročného dažďa“, ktorá bola použitá pre stanovenie návrhového prietoku pre uvažovanú bunku. V poslednom kroku sme stanovili hrozbu prívalovej povodne pre každú bunku, pričom sme predpokladali, že čím je kladná odchýlka kulminačného prietoku väčšia vzhľadom k priemernému kulminačnému prietoku pre povodia rovnakej veľkosti, tým sú morfológické, pôdne, geologické podmienky a podmienky krajinnej pokrývky prispievajúceho povodia menej priaznivé vzhľadom k pravdepodobnosti vzniku bleskových povodní.

2.2 Opis územia

Väčšina povodňových situácií vyvolaných krátkodobou extrémnou zrážkovou udalosťou je v podmienkach Slovenska lokalizovaných v horských a podhorských oblastiach v povodiach s krátkou dobou koncentrácie determinovanou vysokými sklonmi a veľkými rýchlosťami v horných úsekoch vodných tokov.

Zaujímavé územie – povodie vymedzuje hydrologický profil Sklabinský potok, pod Bôrovským potokom, ohraničené orografickou rozvodnicou oboch vodných tokov a prítokom Sklabinského potoka Kalníkom. Povodie sa nachádza na rozhraní geomorfologických celkov Veľká Fatra a Turčianska kotlina s potenciálne ohrozenými podhorskými obcami Turčianske Jaseno, Horný a Dolný Kalník, Dražkovce a Sklabiňa.

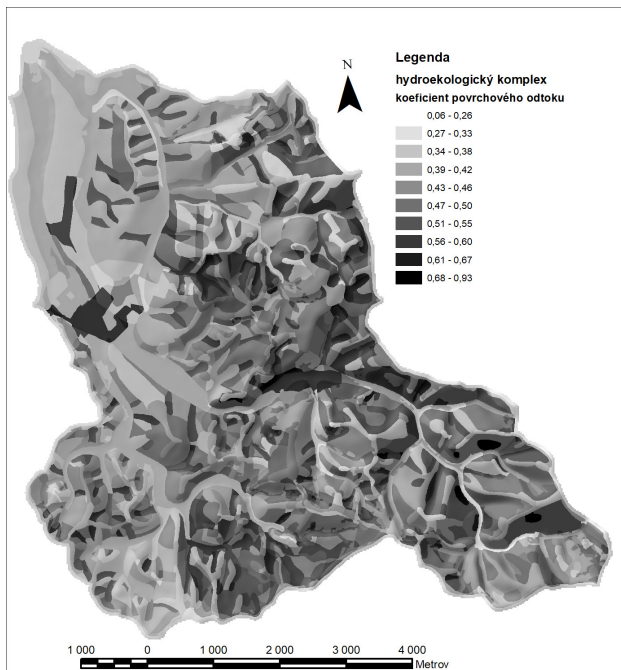
Koeficient povrchového odtoku

Pri hodnotení boli základnou databázou hydro-ekologické komplexy (HEK) s presne určenou kombináciou uvažovaných charakteristík (reliéf, pôda, geologické pomery, krajinná pokrývka). Takto ohraničené kvázi homogénne jednotky majú rovnaké predpoklady pre správanie sa

procesov vplývajúcich na tvorbu odtoku. Veľkosť potenciálneho povrchového odtoku, bola hodnotená parametrizovaním jednotlivých charakteristík hydro-ekologických komplexov z hľadiska ich protiodtokovej funkcie spôsobom, že každej čiastkovej charakteristike hydro-ekologického komplexu sme priradili index povrchového odtoku, vyjadrujúci relatívnu veľkosť vplyvu danej charakteristiky na retenčnú schopnosť celého hydro-ekologický komplexu, a to tak, že čím vyššia je hodnota indexu, tým väčší je podiel povrchového odtoku z celkového odtoku. Koeficient povrchového odtoku s istým zjednodušením vyjadrujúci tendenciu HEK transformovať zrážky na rýchlu zložku odtoku bol potom definovaný nasledovne:

$$K_p = K_w \cdot I_p,$$

kde: K_w – potenciálny koeficient povrchového odtoku pre nasýtené podmienky podľa zrážkovo-odtokového modelu FRIER, kde je vyjadrený ako funkcia sklonu, pôdneho druhu, a typu krajinnej pokrývky (Horváth 2007). I_p – index nasýtenia stanovený ako vážená suma čiastkových indexov pre jednotlivé prvky hydroekologického komplexu normovaná na rozsah hodnôt 0 – 1. Vyjadruje náchylnosť HEK dosiahnuť nasýtené podmienky. Jedná sa o rozvinutie prístupu, ktorý použil Kirby pri definovaní „topografického indexu“ využívanom modelom TOPMODEL (Kirby 1979), (Beven 2001). Pre výpočet indexu sme použili okrem sklonu a prispievajúcej plochy aj ďalšie parametre determinujúce rýchlosť dosiahnutia nasýtených podmienok pre HEK. Priestorovú distribúciu koeficientu povrchového odtoku znázorňuje obrázok 1.



Obr. 1: Koeficient povrchového odtoku stanovený pre každý typ hydro-ekologického komplexu. Vstup pre výpočet kulminačného prietoku.

Modelovanie integrácie odtoku v povodí.

Na základe digitálneho modelu reliéfu (DMR) 20x20m bol metódou D8 spracovaný grid smerov odtoku a následne bola počítaná prispievajúca plocha v m² pre každú bunku rastra vyjadrujúca veľkosť povodia a s využitím koeficientu povrchového odtoku bola pre každú bunku rastra modelovaná vážená prispievajúca plocha vyjadrujúca veľkosť maximálneho odtoku spôsobeného jednotkovým dažďom zasahujúcim celé povodie s trvaním rovným dobe koncentrácie (Obr. 2).



Obr. 2: Vážená prispievajúca plocha vyjadruje spôsob integrácie odtoku v povodí.

Rýchlosť prúdenia po svahu a v koryte

Rýchlosť prúdenia je počítaná pre každú bunku Chezyho rovnicou:

$$v_i = \frac{1}{n} R_i^{\frac{2}{3}} S_i^{\frac{1}{2}}$$

kde: R_i – hydraulický polomer [m], n – Manningov koeficient drsnosti [$m^{-1/3} \cdot s$], S_i – sklon [$m \cdot m^{-1}$].

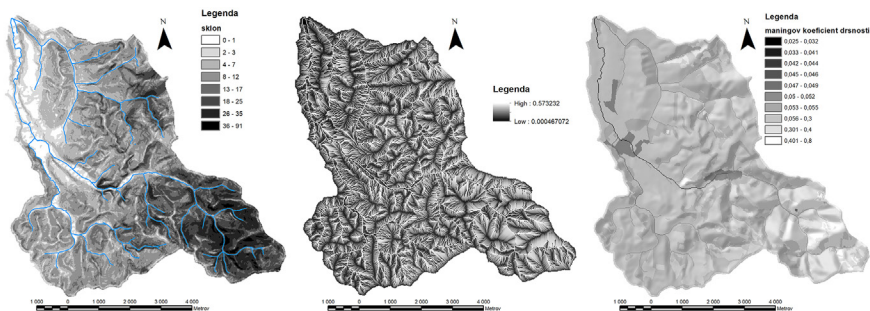
Sklon svahu bol odvodený z DMR 20x20m. Manningov koeficient drsnosti bol pre každý HEK stanovený na základe triedy krajinej pokrývky. Hodnoty Manningovho koeficienta drsnosti pre riečne toky boli v rámci prípravy údajov počítané interpolovaním medzi hraničnými hodnotami podľa rádu tokov vytvorených metódou Shreva.

Hydraulický polomer R_i závisí od veľkosti váženej prispievajúcej plochy odtoku pre danú bunku (Obr. 2), podľa vzťahu:

$$R_i = a_p (A_i)^{b_p}$$

kde: A_i – veľkosť váženej prispievajúcej plochy odtoku pre danú bunku [km^2] (Obr. 2), a_p , b_p – koeficienty závisiace od pravdepodobnosti prekročenia výpočtovej povodne (Q 10). (Liu, De Smedt, 2003).

Priestorová distribúcia jednotlivých členov rovnice je vyjadrená mapami v obrázku 3. Rozloženie rýchlostí prúdenia v povodí zachytáva obrázok 4.



Obr. 3: Sklon svahu, hydraulický polomer a Manningov koeficient drsnosti - vstupy pre výpočet rýchlosti prúdenia.

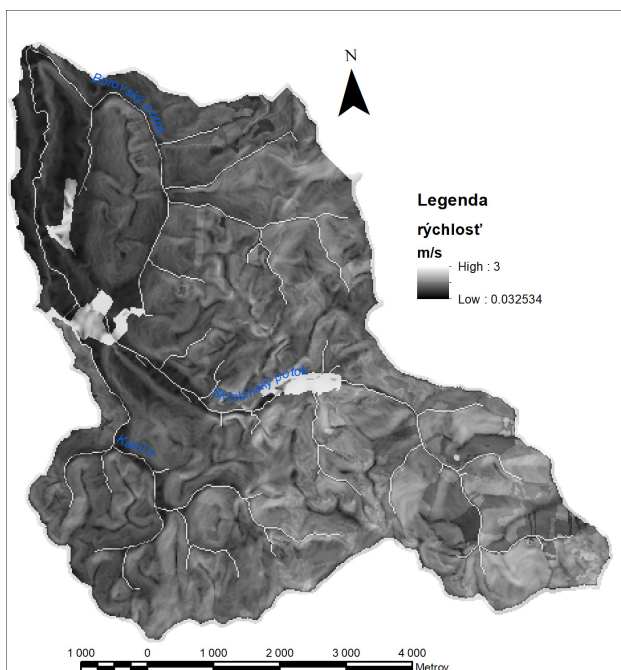
Určenie intenzity návrhového dažďa Konštrukcia mapy kulmináčnych prietokov pre návrhový dažď q 10

Pri určení intenzity návrhového dažďa sme vychádzali z predpokladu, že kritické trvanie dažďa spôsobujúce maximálny odtok sa rovná dobe koncentrácie. Takto bola pre každú bunku rastra stanovená návrhová intenzita „10 ročného dažďa“ podľa Dubovho vzorca (Dub 1957):

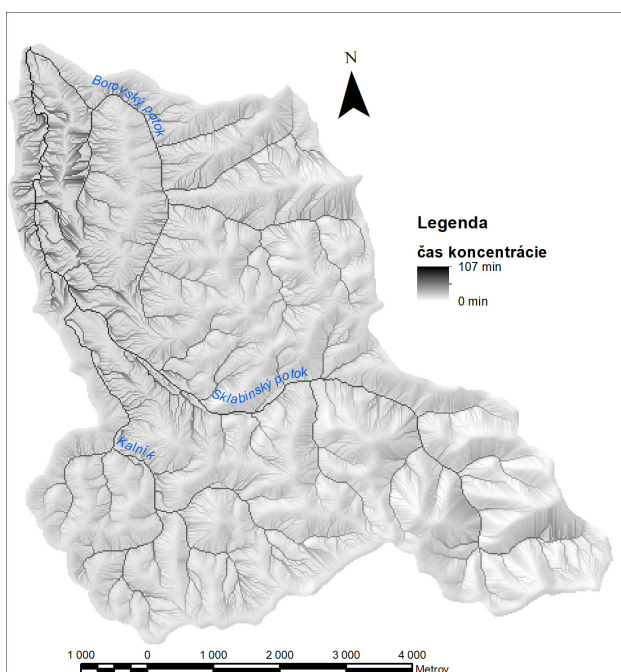
$$q_s = \frac{3200}{(t_d + b)^{0.675} \cdot (150 \cdot p)^n}$$

kde: q_s – výdatnosť návrhového dažďa s periodicitou výskytu p [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$], t_d – tvorenie dažďa [min] = času koncentrácie, b – konštanta = 1, p – periodicitu návrhového dažďa = 0,1, n – koeficient, závislí na vyšetrovanej lokalite = 0,3.

Čas koncentrácie pre každý bod povodia, bol vypočítaný integráciou časov potrebných na pretečenie každej bunky pozdĺž časovo najdlhšej dotokovej línie (Obr. 5). Pre každú bunku

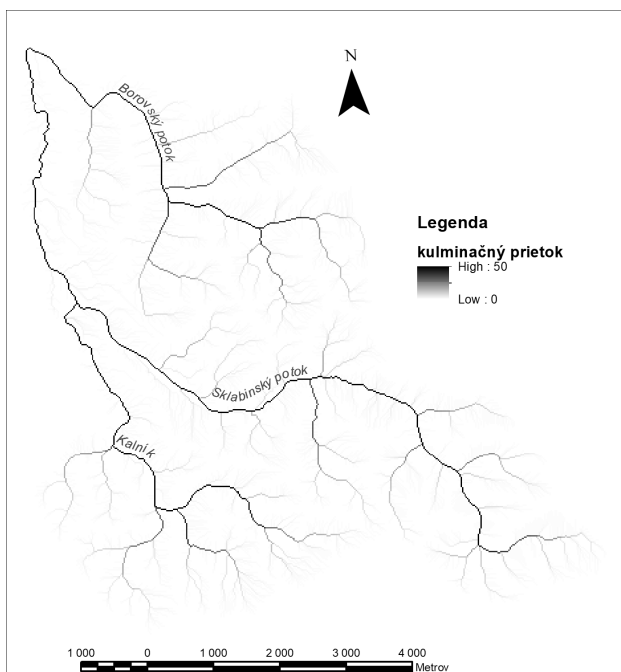


Obr. 4: Rýchlosť prúdenia pre každý bod (plôška 20x20m).

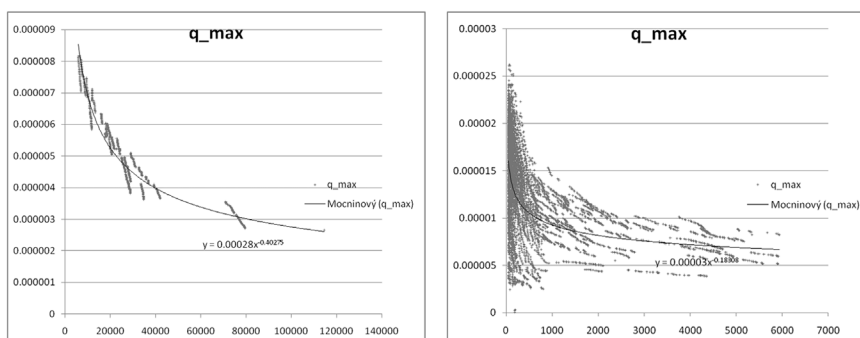


Obr. 5: Čas koncentrácie pre každý bod povodia, vypočítaný integráciou časov dotoku pozdĺž najdlhšej dotokovej línie.

bol následne modelovaný maximálny kulminačný prietok pre zvolený návrhový dážď s intenzitou zodpovedajúcou dobe koncentrácie povodia prispievajúceho do daného bodu. Predpokladali sme, že intenzita dažďa je rovnaká počas celej doby trvania dažďa. Výsledná mapa kulminačných prietokov je na obrázku 6.



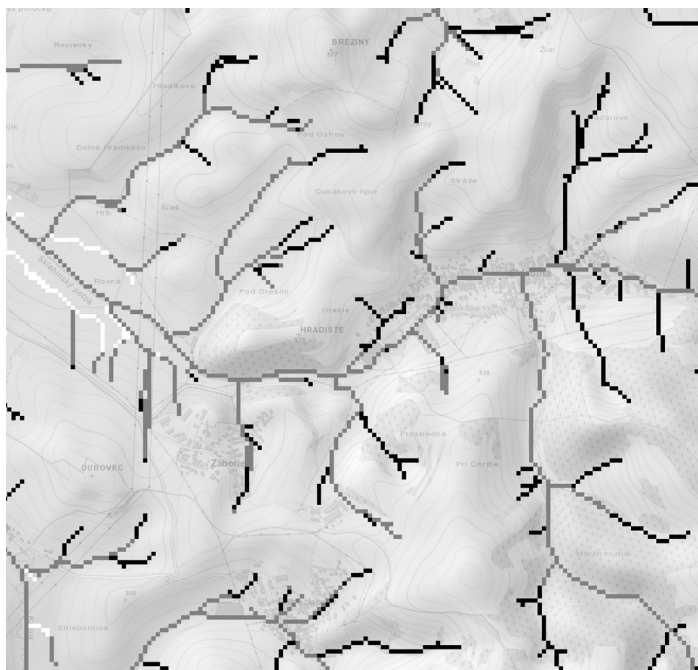
Obr. 6: Kulminačný prietok m³.s⁻¹ pre návrhový dážď s pravdepodobnosťou opakovania 10 rokov s intenzitou zodpovedajúcou času koncentrácie.



Obr. 7: Závislosť špecifického kulminačného odtoku ad plochy povodia pre časti s vyvinutým korytom a pre časti územia bez stáleho povrchového odtoku.

Výsledky

Výsledkom metodického postupu bolo stanovenie hrozby privalovej povodne pre každú bunku rastra. Hodnotili sme závislosť kulminačného prietoku pre každú bunku povodia od veľkosti prispievajúcej plochy integrovanej k danému bodu. Vytvorili sme takto mapu špecifických kulminačných prietokov Vychádzali sme z predpokladu, že čím je kladná odchýlka špecifického kulminačného odtoku väčšia vzhľadom k priemernému špecifickému kulminačnému odtoku pre povodia rovnakej veľkosti, tým sú morfológické, pôdne, geologické podmienky a podmienky krajinej pokrývky prispievajúceho povodia menej priaznivé vzhľadom k pravdepodobnosti vzniku bleskových povodní. Výsledné závislosti dokumentuje graf na obrázku 7. Výrez z mapy hrozby bleskových povodní je na obrázku 8.



Obr. 8: Výrez z mapy ohrozenia územia bleskovými privalovými povodňami.

Diskusia

Výsledkom prezentovaného metodického postupu je mapa povodňového ohrozenia, ktorá vyjadruje v relatívnych hodnotách intenzitu ohrozenia pre celé územie povodia, nielen pre stále vodné toky. Súčasťou výsledkov sú aj mapy maximálnych kulminačných prietokov a časov kulminácie. Domnievame sa, že využívanie takýchto podkladov môže priniesť dôležité informácie pri odhade možných rizík ľudských aktivít a v krajine. Ich spracovanie je v súčasnosti vďaka možnostiam GIS technológií a všeobecnej dostupnosti potrebných priestorových podkladov relatívne rýchle a efektívne. Pri ich spracovaní sme sa opierali o existujúce postupy stanovovania maximálnych prietokov kombinujúc ich s metódami

analýzy DMR a metódami priestorového modelovania. Naším cieľom bolo predovšetkým poukázať na možnosti GIS technológií pri tvorbe takýchto máp a uvedomujeme si viaceré zjednodušenia ktorých sme sa dopustili. Predovšetkým ide o nasledujúce problémy, ktorých riešeniu sa venujeme v súčasnosti:

- koeficient povrchového odtoku sa mení v čase a závisí od nasýtenia územia
- je potrebné venovať pozornosť určeniu intenzity návrhových dažďov
- predpoklad, že kritický maximálny odtok je vyvolaný zrážkou ktorej trvanie je rovné času koncentrácie sa ukázal ako zjednodušujúci
- je potrebná kalibrácia výsledkov na meraných profiloch (výsledný maximálny odtok je značne nadhodnotený)
- aké je skutočné ohrozenie v závislosti od morfológie priečných profilov
- zlepšenie odhadu všetkých vstupných parametrov

Napriek uvedeným zjednodušeniam je výpočet priestorovo distribuovaného relatívneho ohrozenia založený na výpočte špecifického kulminačného odtoku, kvalitatívny posun od klasického znázornenia distribúcie kulminačných prietokov aký je v rámci Slovenska použitý napríklad v práci Šinka a kol. (2013)

Záver

V súčasných podmienkach stále intenzívnejšie sa prejavujúcej klimatickej zmeny a zároveň intenzívneho ekonomického a sociálneho tlaku na zmenu krajinej štruktúry sa ukazuje využívanie prezentovaných metód pre manažment krajiny, vodohospodárske plánovanie, protipovodňovú ochranu a krajinné inžinierstvo ako nevyhnutné, pokiaľ chceme minimalizovať riziká spojené s extrémnymi hydrologickými javmi. Výstupy takýchto postupov môžu poskytovať veľmi názorné podklady, v prostredí GIS ľahko kombinovateľné s inými priestorovými vrstvami (mapy sídel, cestnej a železničnej siete, nebezpečnými skládkami alebo priemyselnými prevádzkami, ortofotomapami...), pre podporu hydrologicky kompetentného rozhodovania a plánovania, protipovodňovej výstrahy a ochrany a pod. Takisto sú využiteľné aj v rámci ďalších plánovacích dokumentov a činností:

- tvorba dokumentácie ochrany prírody a krajiny
- tvorba technických noriem,
- tvorba územno-plánovacej dokumentácie,
- projekty pozemkových úprav
- plány manažmentu povodí

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt „Vývoj systému pre hodnotenie hrozby bleskových povodní a na podporu tvorby návrhov modro-zelenej infraštruktúry“, NFP313010BWT8, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- BEVEN, K. J., 2001, Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 360 p.
- DUB, O., 1957: Hydrológia, hydrografia, hydrometria. Bratislava (SNTL).

- HORVÁTH. O., 2007: Parameterization of Hydrologic Processes in the Runoff Modelling. Dizertačná práca, odbor Hydrológia a vodné hospodárstvo, Katedra vodného hospodárstva krajiny SvF STU Bratislava, 129 s.
- KIRBY, M. J. 1979: Hillslope Hydrology. John Willey & Sons, Ltd., 235 p.
- LIU, Y., DE SMEDT, F. 2003: WetSpa Extension, A GIS-based Hydrological Model for Flood Prediction and Watershed Management. Documentation and user manual, Vrije Universiteit Brusel, Belgium, 118 s.
- MINÁR. J., TREMBOŠ .P., 1994: Prírodné hazardy – hrozby, niektoré postupy ich hodnotenia. AFRNUC, Geographica, PRIF UK, Bratislava, 35, s. 173-193.
- ŠINKA, K., MUCHOVÁ, Z., KONC, L., 2013: Aplikácie geografických informačných systémov v pozemkových úpravách. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita.