

POUŽITIE MODELU HEC-RAS PŘI MODELOVANÍ POVODŇOVEJ HROZBY V POVODÍ STUPÁVKY

Michal Hazlinger

Slovenský Hydrometeorologický ústav, Jeséniova, 17
83315, Bratislava, SR

Michal.hazlinger@shmu.sk

Abstrakt. Z hľadiska ochrany a prevencie pred povodňami je dôležité vedieť, ktoré časti riečnej nivy alebo povodia môžu byť predmetnou povodňou aj reálne zasiahnuté, tj. spoznanie hodnoty povodňovej hrozby v modelovom území. Používanie hydrodynamických modelov umožňujúcich aj modelovanie inundácie vody z koryta je asi najefektívnejším spôsobom mapovania povodňovej hrozby.

Na jej modelovanie a mapovanie bol použitý hydrodynamický model HEC-RAS v kombinácii so submodelom HEC-GeoRAS, pracujúcim v prostredí GIS. Submodel bol použitý pri vkladaní vstupných údajov do samotného modelu, v ktorom prebiehal výpočet výšok hladiny vody v koryte, prípadne v okolitom teréne a modelovanie potenciálnych inundácií.

Modelovanie prebiehalo v časti povodia Stupávky, ľavostrannom prítoku Maliny (povodie Moravy).

Kľúčová slova: povodňová hrozba, modelovanie, model HEC-RAS, Stupávka.

Abstract. Using of „HEC-RAS“ model for estimating of flood hazard in the Stupavka river basin.

For flood protection and prevention is very important to know which parts of river basin could be affected by flood water, or we could say that we should know the value of flood hazard in our area of interest. The most effective way of modeling the flood hazard is using of hydrodynamical models, which allow the modeling of inundation of flood water.

Hydrodynamical model HEC-RAS was used for modeling of flood hazard for this time. We used submodel HEC-GeoRAS for import the data into the HEC-RAS model. Calculation of water levels and potential area of potential inundations was realized by the HEC-RAS model and for final visualization was used the HEC-GeoRAS submodel again.

Area of interest was localized into the Stupavka river basin – the left tributary of Malina river in the March river basin.

Keywords: flood hazard, modeling, „HEC-RAS“ model, Stupavka river

1 Úvod

Povodne sú prírodným javom, s ktorým sa ľudstvo stretávalo od pradávna. To nám ostatne dokumentujú najstaršie zachované literárne diela ako Epos o Gilgamešovi alebo Biblia, nehovoriac už o archeologických nálezoch. Postupne sa však učilo akým spôsobom sa proti povodňam brániť, či aspoň ako s nimi žiť. Zo začiatku sa ľudstvo bránilo útekmi, alebo lokalizáciou aktivít do bezpečných oblastí. So zvyšujúcim sa tlakom na využitie priestoru narastal aj tlak na riečne nivy. Výsledkom bola aplikácia systémov protipovodňovej ochrany ako sú ochranné hrádze a neskôr aj úpravy koryt a brehov a retenčné nádrže. Kombinácia existencie premyslených systémov protipovodňovej ochrany a dlhého obdobia bez výraznejších povodní viedla k domienke, že problematika povodní je viacmenej vyriešená.

Omylnosť tohto názoru bola dokázaná v ostatnom desaťročí na mnohých prípadoch aj v rámci priestoru strednej Európy. Ukázalo sa, že nami vybudovaný systém ochrany je postačujúci pre povodne s nižšou dobou opakovania, ale v prípade povodní charakteru 100- a viac -ročnej vody sú už jeho parametre väčšinou nedostatočné. Toto tvrdenie platí najmä pre “hydrologicky významné” vodné toky.

Trochu iná situácia panuje na hydrologicky menej významných tokoch. V minulosti na nich neboli robené úpravy v takom rozsahu ako na tých významnejších. Protipovodňová ochrana bola robená nekoncepčne, prípadne spočívala v udržiavaní určitých vzdialeností obytných objektov od vodných tokov. Dlhšie obdobie povodňového kľudu viedlo v tomto prípade k zastavovaniu týchto citlivých oblastí, kvôli chýbajúcej alebo ignorovanej informácii o možnosti povodne. Informácia o tom, ktoré oblasti v rámci riečného údolia môžu byť atakované N-ročnou vodou, sa tak stávajú životne dôležitou.

2. Povodňová hrozba

Rovnako v prípade väčších aj menších tokov je nevyhnutné poznať veľkosť hroziaceho nebezpečenstva. Toto nebezpečenstvo plynúce z prírodného procesu, ktorý je v tomto prípade definovaný maximálnym prietokom, resp. jeho N-ročnou hodnotou budem charakterizovať termínom *povodňová hrozba*.

Pri povodňovej hrozbe je podstatné identifikovať areály ohrozené potenciálnou povodňou a stanoviť záplavovú čiaru. Táto úloha je efektívne splnená prostredníctvom mapy povodňovej hrozby. V nej môžu byť zachytené areály postihnutelné určitou hodnotou N-ročnej vody (najčastejšie 100-ročná voda), aj areály postihnutelné inými hodnotami N-ročnej vody ($N=1, 2, 5, 10, 50, 200, 500, 1\ 000$).

Povodňovú hrozbu môžeme zaradiť do skupiny prírodných hrozieb limitujúcich rozvoj ľudských aktivít v krajine. Postihované sú najmä mladé fluvialne formy reliéfu ako riečne nivy alebo náplavové kužele. Pri hodnotení povodňovej hrozby je treba vychádzať zo znalosti hydrologicko – hydraulických údajov (pre poznanie predmetného množstva vody) a zo znalosti parametrov krajiny (pre poznanie rozsahu ohrozovaného územia, prípadne pre odhad povodňového potenciálu územia). V zmysle práce Minár, Tremboš (1994) je možné prírodnú hrozbu vyjadriť takou fyzikálnou charakteristikou daného prírodného procesu, ktorá najlepšie odráža mieru ohrozenia ľudských záujmov týmto procesom. Pri povodňovej hrozbe sú týmito charakteristikami periodicita výskytu povodne a výška hladiny pri kulminácii povodne v danom mieste (Trizna, Minár, 1996).

3. Metodika

Na modelovanie povodňovej hrozby sme sa rozhodli použiť niketory s dostupných hydrodynamických modelov, ktorý by nám umožňoval vypočítať nadmorskú výšku hladiny vody v koryte pri určitom prietoku. Túto výšku hladiny by sme potom priestorovo umiestnili do okolitého územia na základe priebehu reliéfu.

Na splnenie vytýčenej úlohy bol vybraný model HEC-RAS s nadstavbou HEC-GeoRAS. Tento model umožňoval nielen spomenutý výpočet nadmorskej výšky hladiny vody v jednotlivých priečných profiloch, ale aj druhý krok, t.j. vizualizáciu potenciálnej inundácie, ktorá by vznikla vyliatím sa N – ročnej vody s danou nadmorskou výškou hladiny.

3.1. Prípravná fáza

Prípravná fáza práce mala dve základné časti. Tou prvou bol terénny výskum, ktorého cieľom bolo preskúmať samotné koryto vodného toku aj s jeho bezprostredným okolím a vytipovať najcitlivejšie lokality z hľadiska povodňovej hrozby (znížená kapacita koryta,

prípadne znížená prietoknosť koryta, meandre, prudké zmeny smeru prúdenia, prudké zmeny pozdĺžneho sklonu dna atď.). Geodetické zameriavanie priečných profilov, ktoré sú podkladom pre prácu v modeli HEC-RAS, bolo lokalizované nielen do týchto kritických oblastí, ale aj do lokalít “typických” pre určitý úsek toku. Pri neskoršom zahusťovaní počtu priečných profilov sme tak mohli použiť kombináciu výsledkov geodetického zameriavania a poznatkov z predchádzajúceho terénneho prieskumu.

3.2. Príprava dát v HEC-GeoRAS

Samotnej práci s hydrodynamickým modelom HEC-RAS predchádza príprava vstupných parametrov. Tá prebieha v prostredí GIS pri použití modelovej nadstavby HEC-GeoRAS. Tá funguje ako extenzia pre ESRI ArcView.

Pri práci s touto extenziou postupuje užívateľ pohodlne podľa roletového menu, ktoré sa zjaví po nainštalovaní extenzie. Postupne vytvárame líniu samotného vodného toku (vodných tokov), línie brehov, prúdnice a vyznačujeme priečne profily. Tieto prvky sú pre prácu programu nevyhnutné a bez nich nedokáže importovať data do HEC-RAS. Podkladmi pri vytváraní týchto línií môžu byť topografické mapy, ortofoto snímky a digitálny model reliéfu (DMR). Lokality jednotlivých zameraných priečných profilov určujeme pomocou súradníc GPS, v krajnom prípade odčítame z mapy. V našom prípade sme z technických dôvodov jednotlivé vrstvy vytvorili len pre hlavný tok bez prítokov. V prípade priečných profilov sme museli umiestniť profil do každého miesta, kde sa mení smer prúdenia a smer toku, pretože model má tendenciu linearizovať úseky medzi jednotlivými priečnymi profilmi. V prostredí HEC-RAS boli profily neskôr zahustené až na vzdialenosť 10 metrov, aby sme dosiahli čo najväčšiu priestorovú presnosť údajov.



Obr. 1. Vyznačené vstupné data ako sú vodný tok, brehy, prúdnice a priečne profily

Okrem “povinných” prvkov umožňuje HEC-GeoRAS vytvoriť aj samostatné vrstvy pre hrádze, prípadne “ineffective areas” v prípade, že sa v povodí nachádzajú. V našom prípade boli do modelu vložené línie s parametrami ochranných hrádzí. Relatívne samostatnou kapitolou je možnosť vkladať do modelu aj polygónový súbor LandUse s unikátnymi hodnotami manningových koeficientov drsnosti pre jednotlivé typy využitia krajiny.

Poslednou časťou práce v tejto nadstavbe je príprava exportného súboru do modelu HEC-RAS. Sú načítavané nami vytvorené vrstvy s jednotlivými líniovými prvkami a ako podklad pre relief je načítaný aj DMR v podobe TIN súboru.

3.3. Modelovanie v prostredí HEC-RAS

Prvým krokom, ku ktorému sme museli pristúpiť v samotnom modeli, bola úprava importovaných geometrických údajov. Do jednotlivých importovaných priečnych profilov bolo treba implementovať existenciu koryta vodného toku, ktorá nebola zachytená v podkladovom DMR. Menšie úpravy prebiehali aj mimo koryta v profiloch, ktoré boli geodeticky zamerané.

Po úprave geometrických parametrov sme mohli pristúpiť priamo k samotnému modelovaniu povodňových vln. Model umožňuje pracovať s ustáleným aj neustáleným prúdením. Keďže neustálené prúdenie vyžadovalo zadanie údajov, ktoré sme nemali k dispozícii, museli sme pracovať len s ustáleným prúdením, ktoré vyžadovalo iba zadanie hodnoty kulminačného prietoku – v našom prípade hodnoty N-ročných vôd. Celkovo sme teda pracovali so 7 vlnami.

Tabuľka 1. Použité hodnoty N-ročných vôd

N	1	2	5	10	20	50	100
Prietok v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1,1	1,9	3,3	4,6	6	8,8	11

Model ponúka relatívne dosť simulácií, ktoré umožňujú nielen pozorovať, ale aj hodnotiť dosiahnuté predbežné výsledky a potom spätne vstupovať do procesu modelovania a odstraňovať data spôsobujúce anomálie a logické nezmysly vo výstupoch modelu (čo sa však bohužiaľ nie vždy podarilo).

Záverečná vizualizácia výsledkov je možná aj v HEC-RAS, ale považovali sme za optimálne načítať výsledky modelovania späť do prostredia HEC-GeoRAS, kde je vizualizácia prehľadnejšia, jednoduchšia a môžeme s ňou pracovať pomocou nástrojov GIS.

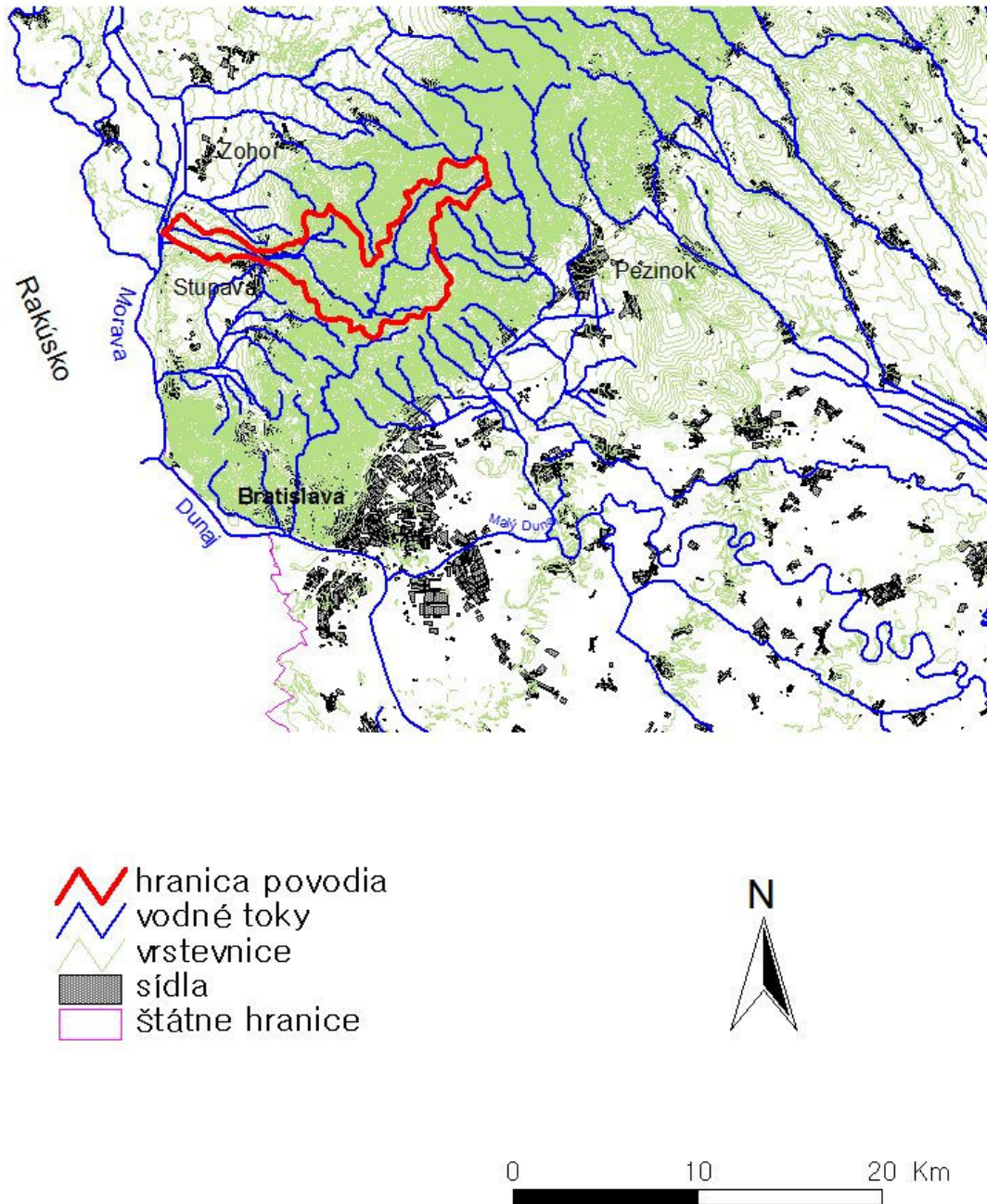
4. Modelové územie

Vybrané modelové územie muselo spĺňať niekoľko hlavných podmienok. V prvom rade malo ísť o menší vodný tok s povodím do 50 km^2 . Ďalšími lokačnými kritériami boli reálna existencia možnosti povodní (v minulosti už bolo zasiahnuté povodňou), vodný tok mal prechádzať intravilánom minimálne jednej obce a územie malo byť bezproblémovo dostupné pre terénny prieskum (blízkosť Bratislavy).

Na základe týchto podmienok bol na modelovanie povodňovej hrozby vybraný Stupavský potok (Stupávka). Pramení v Malých Karpatoch pod vrchom Konské Hlavy. Geologické podmienky územia (vápence) podmienili krasový charakter územia aj to, že veľká časť toku Stupávky tečie pod zemou. Definitívne sa vynára na povrch až v lokalite Medených Hámrov. Postupne preteká intravilánmi Borinky a Stupavy. Je ľavostranným prítokom Maliny, ktorá sa asi 5 km po sútoku vlieva z ľavej strany do Moravy. Zatiaľ čo horná polovica vodného toku má quasi prirodzený charakter, v intraviláne Borinky je už koryto upravované a za ním už tečie Stupávka v upravenom lichobežníkovom profile viacmenej až po svoje ústie.

Po uvážení viacerých hľadísk bolo modelové územie zmenšené z celého povodia resp. z celej dĺžky vodného toku na územie od definitívneho výveru Stupávky na povrch v Medených Hámroch po koniec zámockého parku v intraviláne Stupavy. Územie nad Medenými

Poloha modelového územia



Obr. 2. Lokalizácia povodia Stupávký

Hámrami je z hľadiska riešenej úlohy nezaujímavé, keďže vodný tok v tomto úseku tečie z väčšej časti pod povrchom. V intraviláne Stupávký a pod jej intravilánom zase kapacita koryta značne prekračuje hodnoty prietoku pre 100-ročnú vodu.

V rámci modelového územia sa do Stupávký vlieva viacero vodných tokov. Pri lokalite Medené Hámre sa z ľavej strany vlieva Červený potok. Na začiatku intravilánu Stupávký sa do Stupávký z pravej strany vlieva aj Mláka. Na jednotlivých prítokoch nebola povodňová

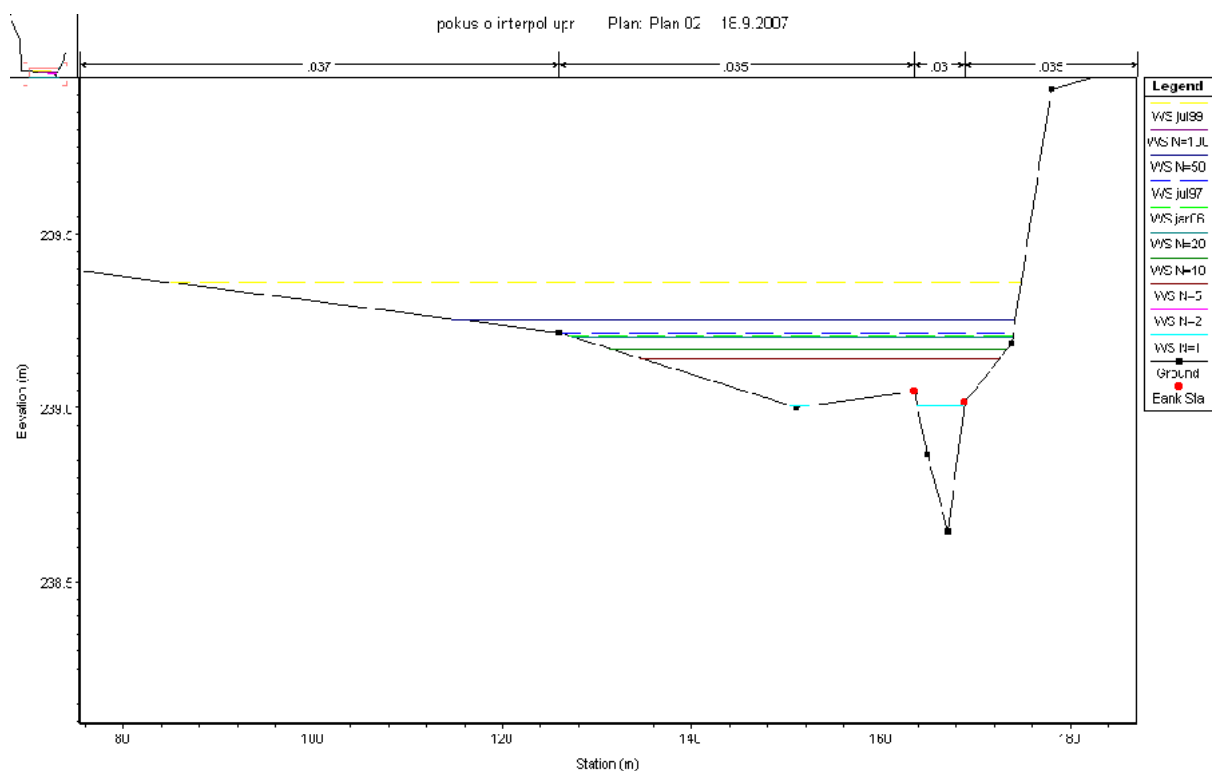
hrozby modelovaná. Ich prítomnosť je však do systému implementovaná pomocou nárastov hodnoty prietoku pod sýtokmi. Keďže na týchto menších tokoch sa nenachádzajú vodomerné stanice, ich podiel na celkovom prietoku Stupávky sme vyjadrili ako podiel plochy ich povodia voči celému povodiu.

5. Výsledky modelovania

5.1. Výsledky modelovania v priečných profiloch

V rámci prípravnej fázy sme v povodí geodeticky zamerali 10 priečných profilov. Profil 1. sa nachádzal v hornej časti záujmového územia pri sútoku Stupávky a Červeného potoka. Druhý profil reprezentoval nivu nad intravilánom Borinky. Profily 3., 4. a 5. boli zamerané v hornej časti intravilánu Borinky v miestach, kde má koryto Stupávky ešte quasi prirodzený charakter. Naproti tomu je koryto v profile 6. silne upravené. Podobná situácia je aj pri profile 7., ktorý sme lokalizovali do miesta prudkého ohybu toku s bezprostredne nasledujúcim znížením prietoknosti koryta mostom. Profil 8. je lokalizovaný pod intravilán Borinky a reprezentuje celý úsek toku medzi intravilánmi Borinky a Stupavy. Posledné dva profily reprezentujú situáciu v intraviláne Stupavy. Profil 9. zastupuje situáciu s paralelne tečúcimi Stupávkou a Mlákou a profil 10 situáciu s ohradeným tokom v stupavskom zámockom parku.

Ako už zmieňujem vyššie, pri použití len týchto geodeticky zameraných profilov bolo skreslenie výsledkov neakceptovateľné. Preto sa pristúpili k dvojitému zahusťovaniu profilov. V prvej fáze sme doplnili profil v každom ohybe toku. V tej druhej sme zahusťovali profily tak, aby bola maximálna vzdialenosť jednotlivých profilov 10 m. Ďalej budem uvádzať iba výsledky modelovania v geodeticky zameraných profiloch.



Obr. 3. Namodelované úrovne hladiny vody pri jednotlivých N- ročných vodách v profile 5.

Výsledky modelovania ukázali zjavnú rozdielnosť parametrov upraveného a neupraveného koryta v rámci modelového územia. Zatiaľ čo v hornej časti modelového

územia má koryto takmer prirodzený character s veľkou premenlivosťou kapacity, v dolnej časti je upravené do pravidelného profilu a jeho kapacita je mnohonásobne vyššia. V hornej časti povodia na prirodzenom úseku toku opúšťa koryto vždy minimálne 50- ročná a 100-ročná voda, v dolnom úseku už ostávajú všetky prietoky v koryte. Najextrémnejšie výsledky vyšli v profile 5. zameranom v centre intravilánu Borinky (pozri obr. 3.- obrázok má nekorektnú mierku), kde koryto opúšťa už aj 2-5 ročná voda.

5.2. Priestorové vyjadrenie namodelovaných inundácií

Ako už spomínam vyššie, celkovo sme modelovali 7 rôznych povodňových vlín s hodnotami kulminácie predstavujúcimi N – ročné vody. Keďže nie každý prietok prekročil kapacitu koryta, vzniklo pri každej vlne určité množstvo lokalít inundácií s určitou rozlohou, pričom počet aj celková veľkosť týchto inundácií sa zvyšovali so zvyšovaním hodnoty prietoku, ako je ostatne patrné aj v tabuľke 2. Najviac inundovaných lokalít aj najväčšiu plochu inundácie sme teda zaznamenali pri 100- ročnej vode.

Tabuľka 2. Počet a plocha inundácií pri jednotlivých N- ročných vodách

Q_n	Prietok v $m^3 \cdot s^{-1}$	Početnosť inund. lokalít	Plocha inund. v m^2
1	1,1	22	6868
2	1,9	27	10 350
5	3,3	29	19 859
10	4,6	33	32 879
20	6	31	53 419
50	8,8	34	96 031
100	11	38	122 366

Už pred samotným modelovaním sme si vyčlenili niekoľko lokalít, v ktorých sme vybrežovanie vodného toku pri povodni očakávali. Tieto oblasti sa nachádzali nad intravilánom Borinky a v jeho hornej časti, kde bola na mnohých miestach kapacita koryta očividne nedostatočná. V iných lokalitách by ku komplikáciám mohlo dôjsť iba pri nepredvídateľných (a nemodelovateľných) situáciách ako nahromadenie predmetov v koryte toku s následným vzduťím hladiny proti prúdu prípadne situácia aká by nastala po náhlom pretrhnutí takejto bariéry.

Pri popisovaní priestorových výsledkov modelovanej inundácie sa zameriam na 100-ročnú vodu. Podľa modelu by sa pri 100- ročnej vode v modelovom území vyskytlo viacero lokalít s vybrežením vody z koryta. Viacero relatívne málo rozľahlých ale pomerne hlbokých inundácií bolo namodelovaných v hornej časti modelového územia v miestach, kde dochádza k poklesom pozdĺžneho sklonu koryta a voda má tendenciu sa “hromadiť” v koryte a vybrežovať.

Prvá plošne rozdiahlejšia inundácia je lokalizovaná do lužného lesa nad intravilánom Borinky. Vodný tok tu bifurkuje, koryto (korytá) majú nízku kapacitu a k inundáciám tu dochádza relatívne pravidelne. Lokálne tu koryto opúšťaajú všetky modelované N- ročné vlny (vrátane 1- ročnej vody). Všeobecne tu však inundovaná voda dosahuje hĺbku max 1 m v lokálnych depresiách.

Významnejšia inundácia sa nachádza v spomínanej hornej časti intravilánu Borinky. Model tu modeluje takmer súvislý vyše kilometra dlhý a 20 až 150 metrov široký pás zaplaveného územia. Postihnuté sú najmä záhrady a potenciálne stavebné pozemky na pravom brehu Stupávky. Zasiahnutých je však aj viacero obytných domov ležiacich na pravobrežnej nive (pozri obr. 4). Ďalej na západ sa Stupávka vybrežuje smerom do záhrad na

pravom brehu toku, keďže na ľavej strane je limitovaná relatívne strmým svahom nachádzajúcim sa v bezprostrednej blízkosti vodného toku.



Obr. 4.: Namodelované inundácie 100-ročnej vody vo východnej (hornej) časti intravilánu Borinky.

Situácia sa opätovne mení pri zameranom profile č. 5 (obr. 2.), kde sa dramaticky znižuje kapacita koryta a 100 ročná povodeň z neho vystupuje na oboch brehoch. Na ľavom brehu je zasiahnutá oblasť záhrad, na pravom brehu sú zasiahnuté 4 rodinné domy (pozri obr. 5.). Inundácia je v tejto lokalite obmedzená násypom štátnej cesty, pričom potencionálne zaplavené obytné objekty sa nachádzajú pod úrovňou tohto násypu. Smerom dolu po toku sa Stupávka aj jej inundácia odkláňajú od obytných objektov a potencionálne je zaplavovaný asi 60 metrov široký pás územia nachádzajúci sa na oboch brehoch toku.

Poslednou plošne zaujímavou lokalitou inundácie je malá oblasť v intraviláne Stupavy. Paralelne tu vedľa seba tečú Stupávka a Mláka. Model tu vypočítal inundácie medzi umelým korytom v ktorom tečie Stupávka a medzi „prirodzeným“ korytom, v ktorom tečie Mláka. Oba toky tečú v tesnej blízkosti pri sebe (do 25m) a sú priamo prepojené tak, aby nižšie položené koryto Mláky odoberalo „prebytočnú“ vodu z koryta Stupávky. Tento stav sa mi však nepodarilo uspokojivo implementovať do modelu. Výsledkom sú spomenuté lokálne inundácie, ktoré sú v prevažnej miere situované do umelého lesa medzi dvoma korytami.

Model však vypočítal aj možnosť menej plošne výrazného zasiahnutia obytných domov na pravom brehu Stupávky. Táto inundácia spolu s ďalšou, ktorá parciálne zasahuje lokalitu Stupavských rybníkov (obrazok č. 6.) sú však modelom vypočítane pravdepodobne na základe svojej depresnej polohy pri tendencii modelu umiestňovať vodu do najnižších častí reliéfu v modelovom území



Obr. 5.: Namodelované inundácie 100-ročnej vody v centrálnej časti intravilánu Borinky.



Obr. 6. : Namodelované inundácie 100-ročnej vody vo východnej časti intravilánu Stupavy (lokalita stupavských rybníkov)

5.3. Iné N- ročné vody

Výsledky modelovania 50-ročnej vody sú do značnej miery zhodné s výsledkami pri 100-ročnej vode. Nepatrne sa zmenšil počet lokalít inundácie (z 38 na 34), aj ich rozloha.

V citlivej oblasti intravilánu Borinky je však rozsah inundácie zmenený len nepatrne a voda by pri inundácii zasiahla de facto rovnaký počet obytných objektov.

Pri 20-ročnej vode sa zmenšil počet lokalít inundácie na 31 a samotná inundácia v priestore intravilánu Borinky má roztrieštený charakter s viacerými samostatnými bazénmi vybreženej vody. Miznú aj niektoré plošne aj rozsahom menej výrazné inundácie po celej ploche modelovaného územia.

Pri hodnotou kulminačného prietoku menej výrazných povodniach (10- , 5- , 2- a 1-ročnej vode) sa aj naďalej znižuje počet inundovaných lokalít a zároveň aj ich rozloha. Pri 1-ročnej vode sú už inundácie len ostrovkovito roztrúsené v modelovom území a inundovaná voda by už nemala zasahovať obývané časti intravilánu.

6. Možné neistoty pri dosiahnutých výsledkoch

Modelovanie je proces, ktorý sám osebe v sebe nesie riziko prílišného zjednodušenia situácie. Všetky prvky a vplyvy do modelu obsiahnuť nemôžeme (potom by to už nebol model) a je treba sa rozhodnúť, ktoré do systému implemetujeme a ktoré môžeme zanedbať, prípadne zjednodušiť. Keď sa však už rozhodneme použiť konkrétne vstupy, musíme sa spoliehať na ich presnosť a dôverovať ich hodnotám.

Model HEC-RAS je takisto závislý od presnosti vstupov. A práve táto závislosť sa ukázala byť aj jeho najväčšou slabinou. Problémom sa stal DMR, ktorý svojou presnosťou nezodpovedal mierke, v ktorej bola povodňová hrozba hodnotená. DMR bol vyhotovený na základe podkladovej topografickej mapy, kde bol základný interval medzi vrstevnicami 2 výškové metre. Takéto zjednodušenie reliéfu však môže mať pri takej práci akou je mapovanie povodňovej hrozby fatálny dopad.

Výsledky modelovania v povodí Stupávky “zapalavili” viacero lokalít, kde DMR vykazuje depresiu, ktorá sa ale v skutočnosti v teréne nenachádza, prípadne je omnoho menej výrazná, ale do ktorej model automaticky umiestni inundovanú vodu. K podobnej situácii došlo v intravilánoch Borinky aj Stupavy. V Borinke má nepresnosť DMR “na svedomí” inundáciu vo východnej časti obce za vstupom Stupávky do intravilánu. V Stupave je zase zatopená lokalita v blízkosti Stupavských rybníkov aj s niekoľkými rodinnými domami.

Súvisiacim problémom je absencia mikroelevácií vo vstupnom DMR, s ktorých niektoré môžu mať aj charakter hrádze (napríklad násyp cesty), prípadne môžu spôsobiť presmerovanie inundovanej vody. Problem takéhoto charakteru nastal v hornej časti modelového územia, kde model umiestnil inundovanú vodu do oblasti, ktorá je ale reálne chránená práve násypom cesty.

Druhým zdrojom pochybností a neistoty je druh použitého prúdenia. Pri ustálenom prúdení je jediným vstupným parametrom hodnota kulminačného prietoku. Model sa potom správa, ako keby územím tento prietok pretekal neobmedzene dlho. V takychto malých povodiach ako je povodie Stupávky sú však omnoho častejšie kratšie trvajúce prívalové povodne s vysokou hodnotou kulminácie, ale s krátkou dobou trvania a malým objemom povodňovej vlny. Pri takomto type povodňovej vlny je menšia pravdepodobnosť zaplavenia územia vnútornými vodami a inundované by mali byť iba oblasti v miestach vybreženia a oblasti v smere spádu od lokality vybreženia.

7. Záver

V tomto príspevku sme v skratke predstavili výsledky modelovania povodňovej hrozby v povodí malého západoslovenského toku – Stupávky. Na modelovanie sme použili hydrodynamický model HEC-RAS spolu s jeho extenziou fungujúcou pod GIS-mi – HEC-GeoRAS.

Výsledky modelovania ukázali viacero oblastí, ktoré by mohli byť ohrozené potenciálnou povodňou. Model dokonca modeloval inundáciu už aj pri 1-ročnej vode. V príspevku som sa zamerlal hlavne na výsledky modelovania povodňovej hrozby pri 100-ročnej vode. Namodelovaných bolo viacero plošne relatívne rozsiahlych tzaplavených oblastí. Z hľadiska využitia územia mali najväčšiu váhu inundácie v intraviláne. Tie boli namodelované v intravilánoch Borinky aj Stupavy. Zatiaľ čo v Borinke bola táto inundácia spôsobená malou kapacitou koryta, v intraviláne Stupavy naopak pravdepodobne chybou v podkladovom DMR.

Napriek viacerým nedostatkom je model HEC-RAS pomerne jednoduchým a relatívne ľahko použiteľným nástrojom na predikovanie možnosti zaplavenia určitých lokalít N-ročnou vodou. Podmienkou bezproblémového akceptovania jeho výsledkov je však dostatočná kvalita podkladov – najmä DMR.

8. Zoznam použitej literatúry

1. Adamec, M., Hanzlová, M., Horák, J., Unucka, J., Židek, D. Modelování hydrologických extrémů s podporou DPZ a GIS. In: *Změny v krajině a povodňové riziko: Zborník príspevkov zo seminára „Povodně a změny v krajině“*. Edit. Langhammer, J. Praha: PřF UK Praha, 1998, s. 193-196. ISBN 978-80-86561-87-5
2. Cameron, D., Beven, K., Tawn, J. Modelling extreme rainfalls using a modified random pulse Bartlett±Lewis stochastic rainfall model (with uncertainty). In: *Advances in Water Resources*, č. 24, 2001, s. 203±211.
3. Gilard, O. Flood risk management: Risk cartography for objective negotiations. In: *Third IHP/IAHS George Kovacs colloquium (Paris 19-21 9. 1996)*. Paris: UNESCO, 1996. Manuscript.
4. Hambek, B., Fűry, J. Rozvoj povodňovej ochrany na Slovensku po prietrži hrádzí v roku 1965. In: *Vodohospodársky spravodajca*, roč. XXXVIII., č. 6/95, 1995.
5. Hazlinger, M. Porovnanie výsledkov modelovania povodňovej hrozby pomocou modelov FÉNIX a HEC-RAS vo vybranom modelovom území. In: *Změny v krajině a povodňové riziko: Zborník príspevkov zo seminára „Povodně a změny v krajině“*. Edit. Langhammer, J. Praha: PřF UK Praha, 1998, s. 193-196. ISBN 978-80-86561-87-5
6. HYDROLOGIC ENGINEERING CENTRE. *HEC- River analyses system, application guide*. U.S. Army Corps of Engineering (USACE), Davis, CS, 2001.
7. Chow, V.T. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Copany, New York, 1964.
8. Kubiš, P. *Simulácia povodňovej vlny na toku Kamienka*. Bratislava: Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra Krajinej ekológie, 2005. 68 s.- Diplomová práca.
9. Minár, J., Tremboš, P. Prírodné hazardy-hrozby, niektoré postupy ich hodnotenia. In: *AFRNUC, Geographica*, Nr. 35, Bratislava: Univerzita Komenského, 1994, s. 173-194.
10. Rodda, J.E., Berger, A. The aplication of flood modelling and mapping for managing flood risk in the UK. In: *International conference on flood estimation (Bern, Švajčiarsko 6.-8. 3. 2002)*. s. 645-650.
11. Singh, V.P. *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 1995, 186 s.
12. Szolgay, J. *Matematické modely v hydrológii*. Brno: Prírodovedecká fakulta MU, 1991, 95 s.
13. Trizna, M., Minár, J. Niektoré nové metodické aspekty hodnotenia povodňovej hrozby. In: *AFRNUC, Geographica*, Nr. 39, Bratislava: Univerzita Komenského, 1996, s. 89-98.

14. Trizna, M. *Identifikácia a hodnotenie povodňovej hrozby a povodňového rizika*. Bratislava : Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, 1998. 94 s. – Dizertačná práca.
15. Ward, R.C. *Floods: A Geographical perspective*. MacMillan, London, 1978.
16. Ward, R.C., Robinson, M. *Principles of Hydrology*. London: McGraw-Hill Book Company, 1990. ISBN 0-070707204-9.