MODELOVANIE 100-ROČNEJ POVODNE V OBCI KLÁTOVA NOVÁ VES

Matej Vojtek

Abstract

As for the issue of flooding and minimizing flood damages, there are measures of different character each of which has its justification and plays an important role in flood protection. In the paper, we deal with modeling and assessment of 100-year flood using GIS, remote sensing, and hydraulic modeling in the model area of the Klátova Nová Ves municipality which has 3.23 km². The estimation of 100-year flood discharge and hydraulic modeling using one-dimensional HEC-RAS model were the key steps. Results of the paper can be used especially in the areas of prevention, flood risk and crisis management, spatial planning or insurance industry.

Keywords: hydraulic modeling, 100-year flood, Klátova Nová Ves, HEC-RAS

Úvod

Povodne sú prirodzenou súčasťou kolobehu vody v prírode a život človeka a spoločnosti bol vždy veľmi úzko spojený s vodou. Neustále sme však svedkami častejších a ničivejších povodní, ktoré spôsobujú značné škody a zasahujú aj také miesta, kde by sa ich výskyt nepredpokladal.

V súčasnosti sa vedie diskusia o tom, nakoľko je častý výskyt povodní dôsledkom globálnych klimatických zmien. Rovnako si je potrebné uvedomiť, že dôvodom, prečo povodňové škody neustále narastajú, je aj celkový rozvoj ľudskej spoločnosti. Dnes ľudia totiž obývajú aj také miesta, o ktoré v minulosti nebol záujem, pretože boli často zaplavované.

Antropogénnym vplyvom dochádza k obmedzeniu prirodzenej retenčnej a transformačnej schopnosti povodia. Necitlivé a neuvážené zásahy v povodí často zapríčiňujú znásobenie hospodárskych škôd. A tak sa človek dobrovoľne alebo pod tlakom rozvoja spoločnosti vystavuje riziku, ktoré povodne so sebou prinášajú.

V súvislosti s minimalizovaním povodňových škôd má vykonávanie tradičných protipovodňových opatrení stále veľký význam, avšak čoraz väčšiu úlohu by mala zohrávať predovšetkým prevencia, a to napr. prostredníctvom povodňových máp (Vojtek, Boltižiar, 2011).

Povodňové mapy sa môžu vytvárať v rámci lokálnej, regionálnej, národnej alebo nadnárodnej priestorovej úrovne (Solín, Martinčáková, 2007). So zväčšovaním priestorovej dimenzie sa však znižuje detailnosť a presnosť povodňových máp (Apel et al., 2009).

Cieľom článku je modelovanie a hodnotenie 100-ročnej povodne v obci Klátova Nová Ves s využitím hydraulického modelovania, geografických informačných systémov (GIS) a diaľkového prieskumu Zeme (DPZ).

Modelové územie

Za modelové územie sme si zvolili intravilán obce Klátova Nová Ves, cez ktorý preteká vodný tok Vyčoma. Obec sa nachádza v okrese Partizánske a v Trenčianskom kraji. Modelové územie má veľkosť 3,23 km² a nachádza sa na mapovom liste 35-41-20 Základnej mapy SR v mierke 1 : 10 000 (obr. 1).

Dôvodmi pre výber daného modelového územia boli predovšetkým:

- výskyt viacerých povodňových udalostí v obci Klátova Nová Ves (napr. 1965, 1975, 14.4., 17.4. a 12.6.1994, 11.6.1995, 22.-23.6.1999, 1.-2.6.2010, 4.4.2013),
- ide o lokálnu úroveň, ktorá umožňuje detailne spracovanie,
- predpoklad výskytu povodňových situácií aj v budúcnosti.

Metodický postup

Vzhľadom na cieľ článku si metodický postup vyžadoval aplikáciu viacerých metód s využitím rôznych podkladov, či špecializovaných softvérov. V rámci metodického postupu sme riešili nasledovné úlohy:

- stanovenie storočného maximálneho prietoku pre vodné toky v modelovom území s využitím zrážkovo-odtokových a štatisticko-matematických metód,
- tvorba digitálneho modelu reliéfu (DMR) modelového územia z fotogrametricky nameraných údajov získaných od firmy EUROSENSE, s.r.o. v prostredí ArcGIS Desktop 10.1,
- pre-processing vstupných dát hydraulického modelovania v prostredí ArcGIS Desktop 10.1 pomocou extenzie HEC-GeoRAS na podklade ortofotosnímok z roku 2011 a DMR,
- hydraulické modelovanie ustáleného prúdenia v koryte v rámci modelového územia s využitím 1D modelu HEC-RAS,
- post-processing výstupov z hydraulického modelu v prostredí ArcGIS Desktop 10.1 s využitím extenzie HEC-GeoRAS - vytvorenie mapy hĺbky a rýchlosti prúdenia vody pre Q_{100} ,
- hodnotenie zaplaveného územia 100-ročnou povodňou.

Obr. 1: Základná mapa SR 1 : 10 000 (mapový list 35-41-20)

Figure 1: Basic map of the Slovak Republic at a scale of 1 : 10 000 (part 35-41-20)

Výpočet 100-ročného maximálneho prietoku

Hodnotu 100-ročného maximálneho prietoku ($Q_{\max 100}$) sme zisťovali pre profil v obci Klátova Nová Ves, kde od sútoku s Turčianskym potokom Vyčoma nepriberá už žiadne významnejšie prítoky a taktiež pre záverečné profily Hradského potoka, Turčianskeho potoka a bezmenného potoka, ktoré sa v rámci modelového územia vlievajú do Vyčomy.

Podľa Makeľa a kol. (2003) je na Slovensku najrozšírenejšou a prakticky najpoužívanjšou metódou určovania N-ročných maximálnych prietokov ($Q_{\max}$) v profiloch mimo vodomerných staníc s plochou povodia nad 20 km² metóda využívajúca exaktne odvodené regionálne závislosti maximálnych špecifických odtokov 100-ročných ($q_{\max 100}$) na ploche povodia. Ide o oblasť (regionálne) vzorce, ktoré vychádzajú z poznania morfometrických a morfológických pomerov a regionálnych parametrov odvodených na základe regresnej analýzy maximálnych prietokov pre jednotlivé regióny Slovenska (Dub, 1957, Kohnová et al., 2005).

Výpočet 100-ročného maximálneho prietoku vychádzal najprv z určenia morfometrických a morfológických charakteristík ako sú plocha povodia (S_p), plocha lesov (S_l), dĺžka toku resp. údolnice (L_r , L_u) a tvaru povodia (α).

Maximálny prietok (100-ročný) ($Q_{\max 100}$) sme vypočítali ako súčin maximálneho špecifického odtoku storočného ($q_{\max 100}$) a plochy povodia (S_p) podľa vzťahu (Dub 1957):

$$Q_{\max 100} = q_{\max 100} \cdot S_p$$

Maximálny špecifický odtok (100-ročný) ($q_{\max 100}$) bol vypočítaný podľa nasledovného vzťahu (Dub, 1957):

$$q_{\max 100} = \frac{A_o}{S_p^n} \cdot (1 \pm o_1 \pm o_2)$$

Do vzorca pre výpočet maximálneho špecifického odtoku (100-ročného) vstupujú regionálne parametre A_o a n , ktoré charakterizujú vplyv konkrétnej oblasti na odtokové pomery. Povodie Vyčomy sme priradili do oblasti 4., pričom parameter A_o má hodnotu 4,8 a n má hodnotu 0,415 (Dub, 1957).

Opravu zo zalesnenia (o_1), ktorá vyjadruje vplyv plochy lesov, resp. lesnatosti (S_l) na odtokové pomery, sme vypočítali na základe vzťahu (Szolgay, Dzubák, Hlavčová, 1994, Mosný, 2002):

$$\alpha_1 = 0,5 \cdot \left(0,5 - \frac{S_l}{S_p} \right)$$

Oprava z tvaru povodia (α_2) je charakterizovaná koeficientom tvaru povodia α , ktorý sa vypočíta podľa nasledovného vzťahu, kde S_p je plocha povodia a L_p je dĺžka povodia:

$$\alpha = \frac{S_p}{L_p^2}$$

Oprava z tvaru povodia môže potom nadobúdať hodnoty (Mosný, 2002): $\alpha_2 = 0,05-0,1$ - pre vejárovité povodia, $\alpha = 1,0$, $\alpha_2 = 0,0$ - pre mierne pretiahnuté povodia, $\alpha = 1/3$, $\alpha_2 = -0,1$ - pre silne pretiahnuté povodia, $\alpha = 1/10$.

Výsledná hodnota ($Q_{\max 100}$), maximálneho storočného špecifického odtoku ($q_{\max 100}$) a parametrov vstupujúcich do jeho výpočtu pre jednotlivé toky sú uvedené v tab. 1.

Tab. 1: Maximálny 100-ročný prietok

Table 1: Maximal discharge with 100-year return period

názov toku	A_0	n	S_l (%)	S_p (km ²)	α_1	α	α_2	$q_{\max 100}$ (m ³ /s.km ²)	$Q_{\max 100}$ (m ³ /s)
Vyčoma	4,8	0,415	60,8	82,7	-0,12	0,709	0,07	0,599	60,50
Hradský potok	4,8	0,415	18,4	20,5	-0,20	0,326	0,00	1,041	22,51
Turčiansky potok	4,8	0,415	1,7	4,3	0,05	0,233	-0,05	2,934	11,30
bezmenný potok	4,8	0,415	0,4	2,3	0,16	0,294	0,00	4,746	9,02

Zdroj: Dub, 1957, výpočty: Vojtek, 2014

Hydraulické modelovanie

Pre hydraulické modelovanie sme použili 1D hydraulický model HEC-RAS verzia 4.1.0. Cez modelové územie preteká ako hlavný tok Vyčoma s dĺžkou 3802,62 m a v intraviláne sa do nej vlieva najprv sprava bezmenný potok (812,86 m), potom zľava Hradský potok (338,17 m) a posledným prítokom je sprava Turčiansky potok (782,00 m) (obr. 2).

Samotnej práci s hydrodynamickým modelom HEC-RAS predchádzala príprava (tzv. pre-processing) vstupných dát prostredníctvom extenzie HEC-GeoRAS, ktorá je kompatibilná so softvérom ArcGIS. Podkladmi pre ich vytvorenie boli ortofotosnímky z roku 2011 a DMR.

Hydrodynamické modelovanie si vyžaduje kvalitný DMR. Z toho dôvodu sme ako vstupné údaje použili fotogrametricky namerané údaje z leteckých snímok vo forme 5360 terénnych bodov a tiež zlomových hrán. Z týchto vstupných údajov sme vytvorili DMR vo formáte TIN (obr. 3).

Základnými geometrickými dátami vstupujúcimi do modelu sú línie vodných tokov, línie brehov koryta, ktoré oddeľujú koryto toku od okolitého terénu a tiež prúdnice, ktoré musia byť správne orientované podľa smeru toku. Okrem týchto základných prvkov sme vytvorili aj vrstvy objektov, ktoré tvoria priečnu prekážku v prúde vody pri povodni a môžu vzdúvať hladinu alebo spôsobovať rozliv mimo koryta. V modelovej oblasti sme preto označili výskyt 14 priečných prekážok (mosty, priepusty a lávky) v koryte. Geometrické dáta vstupujúce do modelovania sú znázornené na obr. 2.

Priečne profily sú veľmi dôležitým vstupným údajom a boli volené tak, aby čo najlepšie charakterizovali terén. Z toho dôvodu sme ich umiestnili všade tam, kde sa mení smer prúdenia a smer toku. Celkovo bolo vytvorených 214 priečných profilov na Vyčome, Hradskom, Turčianskom a bezmennom potoku, pričom priemerná vzdialenosť medzi priečnymi profilmi je 26 m.

Ďalšou vrstvou vstupujúcou do modelu je polygónová vrstva využitia krajiny (land use) s odporovými charakteristikami tzv. Manningovými koeficientmi drsnosti pre rôzne využitie krajiny (tab. 2, obr. 4).

Tab. 2: Manningove koeficienty drsnosti pre rôzne využitie krajiny
Table 2: Manning's roughness coefficients for different land use categories

Využitie krajiny	Manningov koeficient drsnosti
Cesta spevnená (asfaltová)	0,016
Krajinná a sídelná vegetácia	0,060
Les	0,150
Lúka	0,040
Orná pôda	0,035
Vodná plocha	0,035
Vodný tok (prirodzené koryto)	0,035
Vodný tok (upravené koryto)	0,027
Zastavaná plocha	0,020

Zdroj: Chow, 1959, upravil: Vojtek, 2014

Obr. 3: Digitálny model reliéfu modelového územia

Figure 3: Digital elevation model of the model area

Obr. 4: Využitie krajiny modelového územia

Figure 4: Land use of the model area

Prvým krokom pri zostavovaní hydraulického modelu je importovanie geometrických údajov vytvorených v GIS pomocou extenzie HEC-GeoRAS. Keďže sme uvažovali s ustáleným nerovnomerným prúdením, ďalším dôležitým krokom bolo zadanie hodnôt N-ročných maximálnych prietokov, ktoré predstavujú horné okrajové podmienky. Tie definujú priebeh nadmorskej výšky hladiny alebo prietoku na hornom okraji zostaveného modelu. Hodnoty okrajových podmienok sú uvedené v tab. 3 a staničenie je znázornené na obr. 2.

Dolná okrajová podmienka definuje charakteristiky prúdenia v dolnej časti zostaveného modelu. Vzhľadom na to, že sa na dolnom okraji nenachádza žiadny definovaný objekt na toku, tak bola ako dolná okrajová podmienka zvolený predpoklad vytvorenia rovnomerného prúdenia, kedy je sklon čiary energie, vodnej hladiny a dna toku totožný.

Tab. 3: 100-ročný prietok (Q_{100}) v profiloch - horné okrajové podmienky
Table 3: 100-year discharge (Q_{100}) in profiles - upper boundary conditions

Názov toku	Staničenie (m)	Q_{100} (m ³ /s)
Vyčoma	3802,62	17,67
Vyčoma	3271,07	26,69
Vyčoma	2578,18	49,20
Vyčoma	2016,39	60,50
bezmenný potok	812,86	9,02
Hradský potok	338,17	22,51
Turčiansky potok	782,00	11,30

Zdroj: Vojtek, 2014, vlastné výpočty

Po nastavení všetkých potrebných parametrov sme v modeli vykonali analýzu ustáleného prúdenia. Výsledky analýzy boli následne spätne v modeli preverené a boli odstránené nelogické inundácie, ktoré sa vytvárajú pri tendencii modelu umiestňovať vodu do najnižších častí v rámci priečných profilov. Opravené výsledky analýzy sme exportovali do GIS, ktorý umožňuje ich prehľadnejšiu vizualizáciu a možnosť ďalej s nimi pracovať.

Výstupy z modelu sme spracovali v prostredí GIS pomocou extenzie HEC-GeoRAS. Post-processing spočíval v spracovaní stavu vodnej hladiny pre jednotlivé priečne profily a vygenerovanie modelu povrchu vodných stavov vo formáte TIN. Prienik plôch modelu terénu TIN a modelu vodných hladín TIN vygeneruje hĺbku vody. Okrem hĺbky vody sme vygenerovali aj raster rýchlosti prúdenia vody, ktorý vznikol z poľa prierezových rýchlostí v jednotlivých priečných profiloch, resp. ich častí. Výsledný raster hĺbky vody (obr. 5) a rýchlosti prúdenia vody (obr. 6) pre návrhový prietok Q_{100} má rozlíšenie 1x1 m.

Obr. 5: Hĺbka vody v modelovom území pri Q_{100} Figure 5: Water depth in the model area for 100-year discharge (Q_{100})

Obr. 6: Rýchlosť prúdenia vody v modelovom území pri Q_{100} Figure 6: Water flow in the model area for 100-year discharge (Q_{100})

Hodnotenie zaplaveného územia 100-ročnou povodňou v modelovom území

Pre namodelovaný povodňový scenár Q_{100} predstavuje celková veľkosť inundácie 28,26 ha.

V úseku Vyčomy (3802,62 – 3271,07 m) vzniká inundácia na pravej strane a zaplavuje ornú pôdu a časť poľnohospodárskeho areálu.

Na úseku (812,85 – 0 m) bezmenného potoka dochádza k výraznejšej inundácii na pravej strane nad cestou III. triedy, kde voda zaplavuje poľnohospodársku pôdu.

Vyčoma sa na úseku (3271,07 – 2578,18 m) vybrežuje najprv na ľavú stranu a zaplavuje jeden rodinný dom s pridomovou záhradou. Na pravej strane sa vybrežuje na časť ornej pôdy za cestou na násype. Po stočení Vyčomy na ľavú stranu dochádza k zaplaveniu časti lúky až po príjazdovú cestu ku kaštielu v Janovej Vsi, kde až po sútok s Hradským potokom sa voda vylieva do príľahlého parku. Na pravej strane sa voda vybrežuje a ohrozuje dva bytové domy. Pri sútoku s Hradským potokom dochádza k zaplaveniu štyroch rodinných domov s dvormi.

Hradský potok sa na úseku (338,16 – 0 m) vylieva na ľavú stranu a zaplavuje ornú pôdu a tiež na pravú stranu, kde sa vylieva do parku.

Na úseku Vyčomy (2578,18 – 2016,39 m) voda zaplavuje v menšej miere ornú pôdu na ľavej strane. Na pravej strane je zaplavená príľahlá orná pôda a za ňou sa nachádzajúce záhrady a dvory rodinných domov. Na tomto úseku je zaplavený jeden rodinný dom.

Turčiansky potok (782,00 – 0 m) sa vybrežuje najprv na pravú stranu a potom na ľavú stranu, kde zaplavuje ornú pôdu. Inundácie na dolnom úseku ohrozujú dva rodinné domy a záhrady na ľavej strane a päť rodinných domov na pravej strane, avšak iba po hlavnú cestu.

V úseku prevažne upravenej časti koryta Vyčomy (2016,39 – 0 m) je výrazná pravá inundácia. Celkovo je pozdĺž hlavnej cesty na pravej strane ohrozených 17 rodinných domov a ich pridomových záhrad a dvorov. Pod hlavnou cestou, kde sa Vyčoma stáča na juh, dochádza k zaplaveniu troch rodinných domov so záhradami a dvormi. Ďalej sa vybrežuje už len na ornú pôdu. Ľavá inundácia úseku je väčšia ako pravá inundácia a zasahuje 31 obývaných domov. Tenisový kurt v areáli základnej školy je sčasti ohrozený rovnako ako aj park pri barokovom kaštieli. Samotný kaštieľ nie je ohrozený storočnou vodou. Za barokovým kaštieľom voda zaplavuje 11 domov so záhradami a dvormi. Posledná ľavá inundácia zaplavuje sčasti tri pridomové záhrady.

Záver

Problematika povodní a minimalizácie povodňových škôd je aktuálnou témou, ktorú je potrebné riešiť vzhľadom na čoraz častejší výskyt ničivých povodní. Existujú opatrenia rôzneho charakteru, z ktorých každé má svoje

opodstatnenie a zohráva dôležitú úlohu v ochrane pred povodňami.

V článku sme sa zamerali na modelovanie 100-ročnej povodne v intraviláne obce Klátova Nová Ves. Použité metódy predstavujú jeden z možných prístupov ich hodnotenia s využitím GIS, DPZ a hydraulického modelovania.

Hydraulické modelovanie je veľmi dôležitým krokom pri stanovení povodňovej hrozby. Pred modelovaním bola potrebná najprv príprava vstupných geometrických dát a DMR. Pri zostavovaní 1D modelu HEC-RAS sme pre nastavenie horných okrajových podmienok použili 100-ročný maximálny prietok vypočítaný podľa regionálneho vzorca Duba (1957) a vykonali simuláciu ustáleného prúdenia. Výsledkom boli rastre hĺbky a rýchlosti prúdenia vody v rozlíšení 1x1 m pre povodňový scenár Q_{100} .

Nadobudnuté informácie o povodňovej hrozbe a riziku je možné v prípade prírodných, či antropogénnych zmien v modelovom území aktualizovať, doplniť a využiť pri realizácii nových úloh, štúdií, projektov, atď.

Uplatnenie výsledkov vidíme najmä v oblasti prevencie, manažmentu povodňového rizika a krízového manažmentu. Svoj účel by mali spĺňať predovšetkým vo zvýšení povedomia obyvateľov o ohrození povodňami a poskytnutí informácií o povodňovom riziku pre účely územného plánovania a výstavby. Zakomponovaním povodňových máp do územného plánu obce by sa mohlo predísť nezodpovednému rozširovaniu a zahusťovaniu výstavby v blízkosti vodného toku. V súkromnom sektore majú potenciál využitia v poisťovníctve.

Literatúra

- APEL, H. – ARONICA, G. T. – KREIBICH, H. – THIEKEN, A. H. 2009. Flood risk analyses - how detailed do we need to be? In *Natural Hazards*. ISSN 0921-030X, 2009, vol. 49, no. 1, pp. 79-98.
- DUB, O. 1957. *Hydrológia, Hydrografia, Hydrometria*. Bratislava : SVTL, 488 s.
- CHOW, V. T. 1959. *Open-channel Hydraulics*. New York : McGraw-Hill Higher Education, 1959. 680 p.
- KOHNÓVÁ, S. – KRIEGEROVÁ, I. – PODOLINSKÁ, J. – SZOLGAY, J. – HLAVČOVÁ, K. 2005. Regional Methods for Design Flood Computation in Slovakia (Review and Comparison). In *Ninth International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering*. Ottenstein, 2005. pp. 369-376.
- MAKEĽ, M. – TURBEK, J. – PODOLINSKÁ, J. – ŠKODA, P. 2003. *Stanovenie N-ročných prietokov a N-ročných prietokových vĺn na väčších tokoch* (Odvetvová technická norma MŽP SR 3112-1:03)
- MOSNÝ, V. 2002. *Hydrológia – Morfológia povodia a prietoky*. Bratislava : STU, 2002. 111 s. ISBN 80-227-1782-7.
- SOLÍN, Ľ. – MARTINČÁKOVÁ, M. 2007. Niekoľko poznámok k metodológii tvorby povodňových máp Slovenska. In *Geografický časopis*. ISSN 1335-1257, 2007, roč. 59, č. 2, s. 131-138.

- SZOLGAY, J. – DZUBÁK, M. – HLAVČOVÁ, K. 1994. *Hydrológia – Odtokový proces a hydrológia povrchových vôd*. Bratislava : STU, 1994. 277 s. ISBN 80-227-0641-8.
- VOJTEK, M. – BOLTÍŽIAR, M. 2011. Manažment povodňových rizík so zreteľom na legislatívny rámec a význam povodňových máp. In *Geographia Cassoviensis*. ISSN 1337-6748, 2011, roč. 5, č. 1, s. 125-128.

MODELING OF 100-YEAR FLOOD IN THE MUNICIPALITY OF KLÁTOVA NOVÁ VES

Summary

The issue of flooding and minimizing flood damages is a current issue which needs to be addressed because of the increasingly frequent occurrence of devastating floods. There are measures of different nature each of which has its justification and plays an important role in flood protection.

In the paper, we focus on the modeling of 100-year flood in the urban area of the municipality of Klátova Nova Ves. The methods used represent one possible approach for their assessment using GIS, remote sensing, and hydraulic modeling.

Hydraulic modeling is a crucial step in determining the flood hazard. Before modeling, it was necessary to prepare the input geometric data and DEM. When compiling one-dimensional HEC-RAS model, the upper boundary conditions of 100-year maximum discharge were calculated according to the regional formula by Dub (1957). Then, we conducted a simulation of steady flow where the result is represented by raster data of water depth and water velocity with a resolution of 1x1 m for the defined flood scenario of Q_{100} .

The results can be used in particular for prevention, flood risk and crisis management. They are useful particularly in increasing awareness of the population about flood risks and providing information on flood risk for the purposes of spatial planning and construction. By including flood maps into the spatial-urban plans, the irresponsible expansion and densification of construction near the watercourses could be avoided. In the private sector, they have a potential of use in the insurance industry.

Mgr. Matej Vojtek, PhD.

Katedra geografie a regionálneho rozvoja FPV UKF v Nitre
Trieda A. Hlinku 1, 949 74 Nitra
E-mail: mvojtek@ukf.sk