SIMULÁCIA POVODNE NA ONDAVE

FLOOD SIMULATION ON THE ONDAVA RIVER

Jakub Mydla^{*1}, Andrej Šoltész¹, Martin Orfánus¹

^{*}jakub.mydla@stuba.sk

¹Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá matematickou simuláciou povodne, ktorá postihla dolný tok Ondavy v roku 2010. Simulácia skúmala za pomoci 1-D modelovania hladinový režim v toku, pretečené množstvo vody cez bočný priepad a pomocou 2-D modelovania zatopenú plochu mimo hrádzového územia. Príspevok sa ďalej zaoberá alternatívnym znížením hrany priepadu a aj vybudovaním poldra, ktorého úlohou je zníženie zaplavenej plochy. Simuláciami bolo zistené, že aj napriek vplyvu bočného priepadu zabezpečia ochranné hrádze bezpečné odvedenie prietoku, len s periodicitou menšou ako 10 rokov.

Keľúčové slová

Povodeň, Matematické modelovanie, HEC-RAS, Bočný priepad

Abstract

Contributions deals with a mathematical simulation of the flood that affected the lower Ondava in 2010. The simulation examined 1-D modelling of the level regime in the stream, the amount of water flowing through the lateral spillway, and 2-D modelling the flooded area outside the dike area. Contributions also deal with the alternative reduction of the spillway edge and the construction of a polder, the task of which is to reduce the flooded area. The simulations revealed that, despite the influence of the side overflow, the protective dikes would ensure safe drainage, only with a periodicity of fewer than 10 years.

Key words

Flood, Mathematical modelling, HEC-RAS, Lateral spillway

1 ÚVOD

Ondava je významná východoslovenská rieka, ktorá je v súčasnosti výrazne ovplyvnená ľudskou činnosťou. V strednej časti toku je od roku 1967 v prevádzke vodné dielo Veľká Domaša, ktoré má výrazný vplyv na prietokové pomery v nižších častiach toku. V dolnej časti je tok obojstranne ohradzovaný zemnými sypanými hrádzami. Slovenský vodohospodársky podnik (SVP) sa v nedávnej histórii dolnej Ondavy potýkal s 2 ničivými povodňami. Povodeň v roku 2004 presiahla dovtedy známe maximá zaznamenaná vo vodomernej stanici Horovce a spôsobila pretrhnutie ľavej ochrannej hrádze (EOH) zhruba 500 m nad čerpacou stanicou (ČS) Ladislav [1]. Obr. 1 zobrazuje záujmové územie. Druhá ešte výraznejšia povodeň nastala v roku 2010. Táto povodeň sa vyznačovala dvomi špičkami prietokov, pričom kulminácia prekonalala maximum aj z 2004 roku. Počas tejto povodne došlo k pretrhnutiu pravostrannej ochrannej hrádze (POH) a následnému prekopaniu EOH pracovníkmi SVP [2].

Spomínané povodne si našťastie nevyžiadali obety na životoch. Zaliali, však veľkú časť poľnohospodársky využívanej VSN. Bola nutná evakuácia obyvateľstva a vznikli aj významné náklady pre SVP spojené s opravou ochranných hrádzi a odstraňovaním povodňových škôd. Všetky tieto problémy boli spojené s pretrhnutím ochranných hrádzi. Na zamedzenie pretrhnutia ochranných hrádzi bol vybudovaný v roku 2005 pevný bočný priepad na EOH v mieste pretrhnutia hrádze v 2004 roku. A práve takéto netradičné riešenie odľahčenia povodňových prietokov bolo hlavnou motiváciou na skúmanie odtokových pomerov na dolnej Ondave.

Príspevok sa ďalej venuje hladinovému režimu v úseku Horovce – Hraň, pri simulácii povodne z roku 2010. Na skúmanie povodne sa využil program HEC-RAS a to 1-D a 2-D matematické modelovanie, ktoré sa zaoberalo hladinovým režimom v toku, kapacitou a funkčnosťou priepadu (1-D) a zatopenou plochou územia (2-D). Pri modelovaní sa uvažovalo s nepoškodením ochranných hrádzi a s prelieváním vody do mimo hrádzového priestoru výlučne cez bočný priepad.

Obr. 1 Prehľadná situácia záujmovho územia.

2 CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA

Geomorfológia a klimatické podmienky

Pre VSN v okolí dolnej Ondavy je charakteristický minimálny sklon územia s množstvom depresných plôch, ktoré boli vytvorené prevažne riečnou činnosťou. Geologická štruktúra je tvorená riečnou akumuláciou pričom ju dotvorila veterná činnosť. Územie spadá podľa klimatickej klasifikácie do teplej a mierne suchej až suchej oblasti s kontinentálnym typom podnebia. Skúmané územie leží na rozhraní okresov Trebišov a Michalovce (Košický kraj). Na záujmovom území ležia 4 ČS. Na pravej strane sú to ČS Július a Hraň, na ľavej strane Ondavy je ČS Ladislav a v južnej časti tejto oblasti je ČS Kamenná Moľva, ktorá odvádza vnútorné vody do toku Latorice [3].

Hydrologické charakteristiky

Z hydrologického hľadiska je modelované územie považované za oblasť so zložitými odtokovými pomermi, kde depresné časti sa dajú považovať za bezodtokové. Na prитоky dolnej Ondavy má výrazný vplyv jej najväčší pravostranný prítok Topľa. V mieste sútoku majú tieto rieky podobné hydrologické charakteristiky (plocha povodia, priemerný ročný prítok). Pri odtokovom režime hovoríme o dažďovo-snehovom, ktorý sa vyznačuje jarnou zvýšenou vodnatosťou a v auguste/septembri sú prитоky iba polovičné voči priemernému ročnému prítoku. Takéto rozloženie prítokov je spôsobené topením tuhých zrážok v horných častiach povodia, ktoré je často do prevádzané dažďami [3]. Niektoré hydrologické charakteristiky týchto riek bez účinku Veľkej Domaše nám zobrazuje Tab. 1.

Tab. 1 Hydrologické charakteristiky Ondavy a Tople [4].

Profil	Plocha povodia [km ²]	Priem. ročný prietok [m ³ .s ⁻¹]	Q ₁ [m ³ .s ⁻¹]	Q ₅ [m ³ .s ⁻¹]	Q ₁₀ [m ³ .s ⁻¹]	Q ₂₀ [m ³ .s ⁻¹]	Q ₁₀₀ [m ³ .s ⁻¹]
Ondava - nad Topľou	1341	10,2	165	337	413	495	710
Topľa ústie do Ondavy	1552	10,8	123	258	325	392	560
Ondava - Horovce	2883	21,3	240	440	530	620	830

3 PODKLADOVÉ MATERIÁLY A METÓDY RIEŠENIA

Na výpočet hladinového režimu v toku bol použitý matematický 1-D model zostavený v programe HEC-RAS. Miera záplavy sa riešila 2-D matematickým modelom v tom istom softvéri prostredí, pričom boli vzájomne prepojené. Na zostavenie takto komplexného výpočtu sú potrebné morfológické charakteristiky (priečne profily toku a digitálny model terénu - DTM), ktoré boli poskytnuté SVP a hydrologické údaje, ktoré poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ).

Morfologické podklady

Celková morfológia územia bola určená na základe DTM, ktoré pozostáva z výškovo a priestorovo určených bodov (červené body) a z terénnych hrán, ktoré dobre vystihujú zmeny v sklonitosti terénu (zelené čiary). Príklad menšieho úseku DTM znázorňuje Obr. 2, na ktorom si môžeme všimnúť aj modré čiary, ktoré zaznamenávajú polohu hladiny v Ondave a v kanáloch počas vyhotovovania mapy. Keďže pod hladinou vody nevieme z DTM vyčítať tvar koryta, tak bol použitý model terénu doplnený o priečne profily od Horoviec až po ČS Hraň. Overenie presnosti poskytnutého modelu prebehlo geodetickým zameraním. Pri meraní sa zistilo, že DTM je dostatočne presný a k jeho úprave došlo iba v mieste vybudovaného priepadu. Z týchto podkladov už bolo možné vytvoriť za pomoci programov AutoCad a ArcGIS geometriu pre matematický model prúdenia [5].

Obr. 2 Časť digitálneho modelu terénu (DTM) z oblasti ČS Ladislav a Július.

Hydrologické podklady

Úsek Horovce-Hraň bol vybraný na simuláciu hladinového režimu, pretože nad (proti prúdu) bočným priepadom sa najbližšie nachádza vodomerná stanica (VS) Horovce a pod (po prúde) priepadom je na Ondave vodomerná stanica na ČS Hraň. Pre VS Horovce zhotovuje SHMÚ pravidelne konzumnú krivku, takže v tomto profile sa dá odvodiť prietok, čo bola aj horná okrajová podmienka pre neustálené prúdenie. VS Hraň prináša iba záznam o polohe hladiny, tieto údaje sa použili pri kalibrácii matematického modelu, a to dolnej okrajovej podmienky (sklon čiary energie). Celková dĺžka 1-D modelu (dĺžka toku medzi stanicami Horovce a Hraň) je približne 18,0 km. Obr. 3 zobrazuje jednotlivé hydrologické podklady.

Obr. 3 Záznam z vodomerných staníc Horovce a Hraň počas povodne v roku 2010.

Metodika riešenia

V prvej fáze riešenia bol zostavený 1-D model. Pričné profile boli generované každých 200 m a v mieste priepadu hustejšie. Prvý odhad určenia drsnosti podľa Manninga v kynete (n_k) a bermách (n_b) bol na základe rekognoskácie terénu určený na $n_k = 0,042$ a $n_b = 0,100$. Tieto hodnoty boli pri kalibrácii modelu určené na $n_k = 0,0601$ a $n_b = 0,143$. Horná okrajová podmienka bola počas všetkých výpočtov nemenná (prietoky zaznamenané v Horovciach), ale dolná okrajová podmienka sa menila. Počas prvej kalibrácie drsnosti sa použil záznam polohy hladiny v Hraňi, tento prináša relevantné informácie iba do chvíle prietru ochrannej hrádze, preto bola zamenená počas druhej kalibrácie za sklon čiary energie (i_e). Jej sklon bol kalibráciou určený na $i_e = 0,3 \text{ ‰}$.

Obr. 4 Výpočtové oblasti kombinovaného 1-D a 2-D modelu.

Pri 2-D modelovaní je nutné zvoliť si aj výpočtovú oblasť, čo je vlastne v základe štvorcová sieť, v ktorej prebieha výpočet. Náročnosť výpočtu nezáleží len od veľkosti siete, ale aj od veľkosti štvorca. Malé štvorce by síce priniesli presnejší výpočet, ale zvýšili by dobu výpočtu na neprípustné hodnoty. Preto sa pristúpilo k väčším štvorcům (10 m) a k ich zjemňovaniu v mieste výraznejšej zmeny morfológie. Hornú okrajovú podmienku teda prítok do oblasti je zabezpečený bočným priepadom, ktorý sa zadával v 1-D modeli. Dolnú okrajovú podmienku (odtok z oblasti) tvorí sklon čiary energie. Odtok z oblasti bol určený v najnižšom bode územia, kde sú vedené aj odvodňovacie kanály a to na ČS Kamenná Moľva. Sklon čiary energie bol zvolený na hodnotu 0,2 ‰ a bol určený na základe priemerného pozdĺžneho sklonu územia. Pre celé územie sa zvolila jednotná drsnosť $n_t = 0,045$ a vychádzala z rekognoskácie terénu. Keďže neexistuje žiaden záznam, kedy bol bočný priepad prelievaný bez prietru hradze s presným záznamom zaplavenej oblasti, nie je možné 2-D model kalibrovať v dôsledku nedostatku údajov [5]. Obr. 4 zobrazuje červenou farbou oblasť toku, ktorá bola počítaná 1-D modelom a žltá farba ohraničuje 2-D výpočtovú oblasť. Jednalo sa o kombinovaný 1-D a 2-D model.

4 VÝPOČET

Pri simulácii povodne z 2010 roku sa uvažovalo s neprelomením ochranných hrádží. Ďalej sa počítalo s vylieváním vody do mimo hrádzového priestoru iba v mieste priepadu, čo by sa zabezpečilo dočasným navýšením hrádží, napríklad použitím vriec. Pri výpočte boli zvolené 2 alternatívy výpočtu, ktoré sú odlišné výškou priepadu:

- Alt. 0 – súčasný stav, priepad vo výške 104,70 m n.m.
- Alt. 1 – priepad znížený o 0,5 m (104,20 m n.m.)

Skúmala sa poloha hladiny voči ochranným hrádzam, prepadnutý objem vody a zatopená plocha, tieto údaje sú uvedené v Tab. 2.

Tab. 2 Porovnanie alternatív 0 a 1.

	H [m n.m.]	Q_{PK} [m ³ .s ⁻¹]	V_P [mil. m ³]	A_z [ha]	d [km]
Alt. 0	104,86	365,00	4,073	1304	2,4
Alt. 1	104,57	290,00	14,514	2598	0,3

kde H je nadmorská výška hladiny pri kulminačnom prietoku, Q_{PK} je kapacita koryta po hranu priepadu, V_P je pretečené množstvo vody cez priepad, A_z je približná zaplavená plocha a d je dĺžka preliatych úsekov.

Podľa množstva preliatych úsekov sa môže zdať, že nižšia poloha priepadu by bola najvhodnejšia. Musíme si však uvedomiť, že pri Alt. 1 začne voda cez priepad tiecť skôr a tým sa ohrozi aj väčšie územie. Podľa simulácií by bola ohrozená ČS Ladislav a okrajové časti obce Hradištská Moľva. Taktiež by došlo k zatopeniu jednej prístupovej cesty do spomínanej obce. K zatopeniu štátnej cesty Oborín – Sirník by nemalo dôjsť ani pri Alt. 1. Povodeň by v oboch prípadoch zaplavila predovšetkým poľnohospodársku pôdu a lúky. Osídlené oblasti by mali byť minimálne ohrozené nepriaznivým vplyvom povodne, avšak pri Alt. 1 hrozí okrem väčšieho a dlhšieho zatopenia pozemkov ešte aj zaplavenie ČS Kamenná Moľva.

5 ZNÍŽENIE ZAPLAVOVANEJ PLOCHY

Na zníženie následkov záplav bol navrhnutý polder. Ohradenie poldra bolo navrhnuté z juhu vyvýšením prístupovej cesty na ČS Ladislav a z východnej strany postupným ľavobrežným ohradzovaním Bočného („F“), Spojovacieho a Brehovského („D“) kanála. Zo západnej strany tvorí ohradenie poldra ochranná hrádza Ondavy. Severná časť je vďaka stúpajúcemu terénu bez ohradenia. Ďalej bolo nutné navrhnuť ochranu pre ČS Ladislav, ktorá by pozostávala z násypu zaviazaného do hrádze Ondavy a zo stavidla na privodnom kanály.

Takéto pomerne rozsiahle ohradenie umožňuje pri odvádzaní vody využiť kapacitu všetkých troch kanálov vedúcich na ČS Kamenná Moľva („E“, „F“ a „D“) a prečerpávanie vody do Ondavy cez ČS Ladislav.

Pri simulácii povodne z roku 2010 a súčasnej polohe bočného priepadu (Alt. 0) je postačujúca výška hrádží na kóte 100,15 m n.m. Pri znížení hrany priepadu o pol metra (Alt. 1) vyhovuje koruna vo výške 101,00 m n.m. Polder by znížil zaplavenú plochu na 550 ha pre Alt. 0 a na 900 ha pre Alt. 1. Doba zaplavenia poldra by bola pri Alt. 0 približne 3,5 dňa a pri alternatíve so zníženou hranou priepadu by bola 9 dní.

Obr. 5 Zaplavená plocha po výstavbe poldra a) - Alt. 0, b) - Alt. 1.

6 ZÁVER

Napriek enormnej snahe vodohospodárov – či už v minulosti alebo v prítomnosti – ochrániť túto časť Východoslovenskej nížiny pred povodňami, dochádza k zatápaniu územia v povodí Ondavy aj v dnešnej dobe. Jasným dôkazom toho sú aj v príspevku spomínané povodne z rokov 2004 a 2010.

Vybudovanie bočného priepadu malo byť iba dočasným riešením. Komplexnejší návrh riešenia, ktorý pozostával najmä z odstránenia sedimentov z medzihrádneho priestoru, nebol doposiaľ zrealizovaný. Problémy so záplavami v tejto oblasti sú spojené aj s materiálom, z ktorého sú ochranné hrádze vybudované (prevažne piesčité zeminy – miestny materiál).

Predkladaný príspevok analyzuje a hodnotí po hydraulikej stránke situáciu, ktorá vznikla vybudovaním pevného bočného priepadu na ľavobrežnej hrádzi Ondavy zhruba 500 m powyše ČS Ladislav. Skúma alternatívne zníženie priepadu a zaoberá sa zatopeným územím v prípade využitia priepadu. Ďalej rieši zníženie zaplavovaného územia a jeho odvodnenie za pomoci kanálov a čerpacích staníc. Pri súčasnom stave koryta a ochranných hrádzi je podľa matematického modelovania najvýhodnejším riešením zníženie hrany priepadu o 0,5 m a vybudovanie suchého poldra. Tieto úpravy však zabezpečia ochranu územia len do prietoku cca $Q = 400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Na ochranu územia pred transformovaným storočným prietokom ($Q_{100T} = 720 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) sú potrebné návrhy zahrňujúce odstránenie nánosov vzniknutých v medzihrádnom priestore a navýšenie ochranných hrádzi.

Použité zdroje

- [1] TKÁČ, Ján. Súhrnná správa z povodňovej aktivity na tokoch v správe Povodia Bodrogu za obdobie 27.7.2004 -28.10.2005. Trebišov, 2005.
- [2] KOLESÁROVÁ, Eva. Súhrnná správa o priebehu povodní, ich následkov a vykonaných opatreniach na tokoch v správe Povodia Bodrogu za obdobie 7.5.200- 16.11.2011. Trebišov, 2011.
- [3] VLADIMÍR, Kunderát. Vodné družstvo na Ondave v Trebišove. Košice: Východoslovenské tlačiarne, vydavateľský odbor, 1998. ISBN 80-7132-012-9.
- [4] KUTNÝ, Jozef. Sanácia ľavobrežnej hrádze Ondavy: Technická správa. 2005.
- [5] KVĚTON, Radomil, ŠOLTĚSZ, Andrej, BAROKOVÁ, Dana. 2011. Mathematical modelling of flood protection on the Ondava River. In Acta Hydrologica Slovaca, vol. 12, no.2, pp. 304-311. 2644-6291