

# Možnosti riešenia povodňových situácií na dolnej Ondave

Jakub Mydla

## Abstract

### **POSSIBILITIES OF SOLVING FLOOD SITUATION ON THE LOWER ONDAVA RIVER.**

Contribution deals with the mathematical modelling of the water level regime during the flood, which was on the Ondava River in 2010. After the breakthrough of the dam in 2004, a 250 m long side wall was built during its reconstruction. HEC-RAS software was used in mathematical modelling of the flood flow process in connection of 1-D and 2-D model. The work examines not only the level regime in the flow, but also the progress and rate of flooding. It also deals with reducing the flooded area by draining water using the existing channel system to the pumping stations.

## Anotácia

V tomto príspevku sa venujem matematickému modelovaniu povodne (hladinový režim a záplavová oblasť), ktorá vznikla na dolnej Ondave po extrémnych a dlhotrvajúcich dažďoch. Simuláciou som sa nesnažil zrekonštruovať prietrže hrádzi, ale práve naopak vytvoriť model, ktorý predpokladá neporušenie ochranných hrádzi. Ďalej sa venujem možnosti zmiernenia povodňových škôd.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: povodňová vlna, bočný priepad, protipovodňová ochrana

## Annotation

In this article I deal with mathematical modelling of flood (water level regime and flood area), which originated in lower Ondava river after extreme and prolonged rains. By simulation, I did not try to reconstruct the dams, but on the contrary to create a model that assumes that the dams are not damaged. Furthermore, I deal with the possibility of mitigation of flood damage.

KEY WORDS: flood wave, lateral spillway, flood protection

## 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. Na dolnej Ondave boli prvé vodohospodárske (VH) regulačné úpravy už v roku 1676. Výraznejších VH úprav sa Východoslovenská nížina (VSN) dočkala po roku 1845. Spomínané úpravy zmenili tok Ondavy s neustále sa meniacim korytom s viacerými ramenami a množstvom močarísk a jazier za pomoci ochranných hrádzí, odvodňovacích kanálov a prečerpávacích staníc na Ondavu, ktorú poznáme dnes (koryto so sústredeným odtokom ohraničené hrádzami). Cieľom VH úprav bola ochrana obyvateľstva a efektívnejšie využívanie územia na poľnohospodárske účely. Na túto činnosť bola v 19. storočí zriadená inštitúcia so sídlom v Trebišove a názvom Vodné družstvo na Ondave. (Kundrát a kol., 1998).

V Trebišove sídli aj súčasný správca toku Slovenský vodohospodársky podnik (SVP), konkrétne Správa povodia Bodrogu. SVP sa v nedávnej histórii dolnej Ondavy potykalo s 2 ničivými povodňami. Povodeň v roku 2004 presiahla dovedy známe maximum zaznamenaná vo vodomernej stanici Horovce a spôsobila pretrhnutie ľavej ochrannej hrádzy (ĽOH) zhruba 500 m nad čerpacou stanicou (ČS) Ladislav (Tkáč, 2005). 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 hrádzy (POH) a následnému prekopaniu ĽOH pracovníkmi SVP (Kolesárová, 2011).



Obrázok 1: Pohľad na priečny profil hrádzy po prietrži v roku 2004 (foto SVP).

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 hrádzí a odstraňovaním povodňových škôd. Všetky tieto problémy boli spojené s pretrhnutím ochranných hrádzí. Na zamedzenie pretrhnutia ochranných hrádzí bol vybudovaný v roku 2005 pevný bočný priepad na ĽOH v mieste pretrhnutia hrádzy v 2004 roku. A práve takéto netradičné riešenie odľahčenia povodňových prietokov bolo hlavnou motiváciou na skúmanie odtokových pomerov na dolnej Ondave.



Obrázok 2: Vylievanie vody po deštrukcii hrádze (foto SVP).

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 (Brunner, 2016), 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 prelievaním vody do mimo hrádzového priestoru výlučne cez bočný priepad.

## 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 (Kundrát a kol., 1998). 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, ktorú znázorňuje Obrázok 3 a v južnej časti tejto oblasti je ČS Kamenná Moľva, ktorá odvádza vnútorné vody do toku Latorice. (Kundrát a kol., 1998).



Obrázok 3: Vtok na ČS Ladislav (foto Jakub Mydla).

### Hydrologické charakteristiky

Z hydrologického hľadiska je modelované územie považované za oblasť so zložitými odtokovými pomermi, kde depresné časti sa dajú považovať za bezodtokové. Na prietoky dolnej Ondavy má výrazný vplyv jej najväčší pravostranný prítok Topľa. V mieste sútoku majú tieto rieky podobné hydrologické charakteristiky (plocha povodia, priemerný ročný prietok). Pri odtokovom režime hovoríme o dažďovo-snehovom, ktorý sa vyznačuje jarnou zvýšenou vodnatosťou a v auguste/septembri sú prietoky iba polovičné voči priemernému ročnému prietoku. Takéto rozloženie prietokov je spôsobené topením tuhých zrážok v horných častiach povodia, ktoré je často do prevádzané dažďami. (Kundrát a kol., 1998). Niektoré hydrologické charakteristiky týchto riek bez účinku Veľkej Domaše nám zobrazuje Tabuľka 1.

Tabuľka 1: Hydrologické charakteristiky Ondavy a Tople (Kutný, 2005).

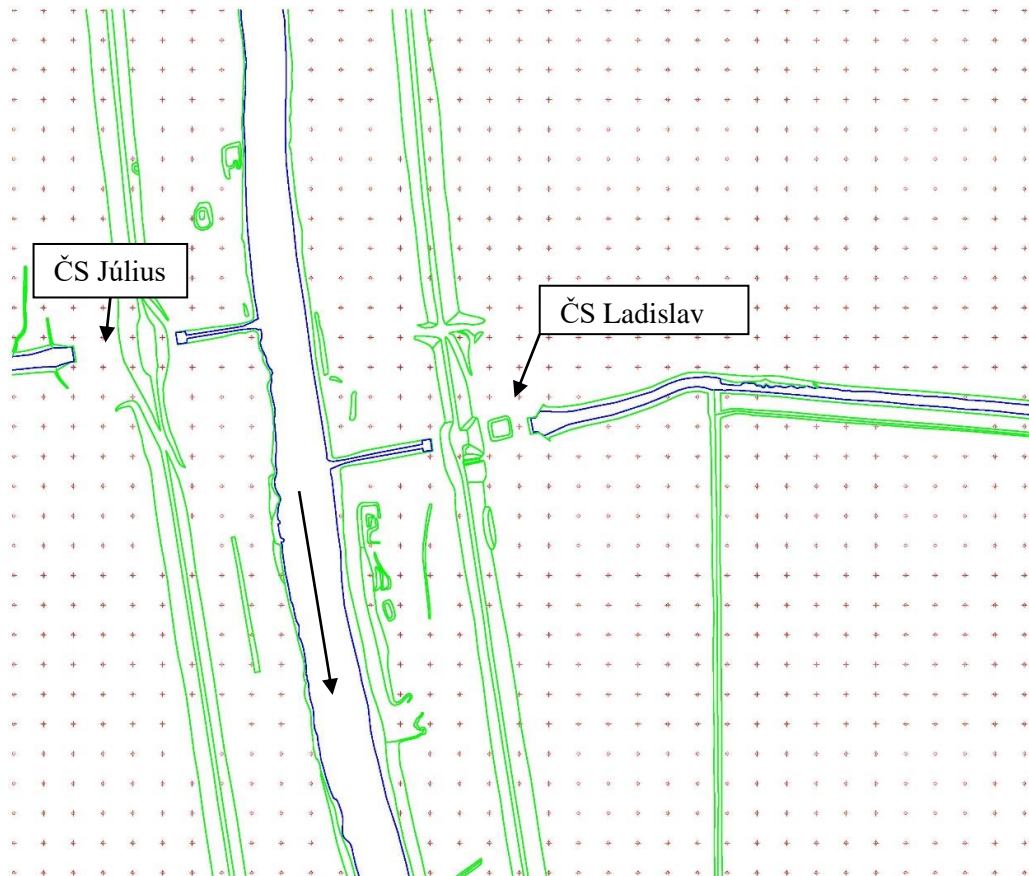
Profil	Plocha povodia	Priem. ročný prietok	Q <sub>1</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>100</sub>
	[km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
Ondava - nad Topľou	1340,89	10,22	165	337	413	495	710
Topľa ústie do Ondavy	1551,90	10,83	123	258	325	392	560
Ondava pod zaústením Topľa	2837,90	21,05	240	440	530	620	830
Ondava - Horovce	2883,40	21,27	240	440	530	620	830

### 3 Podkladové materiály a metódy riešenia

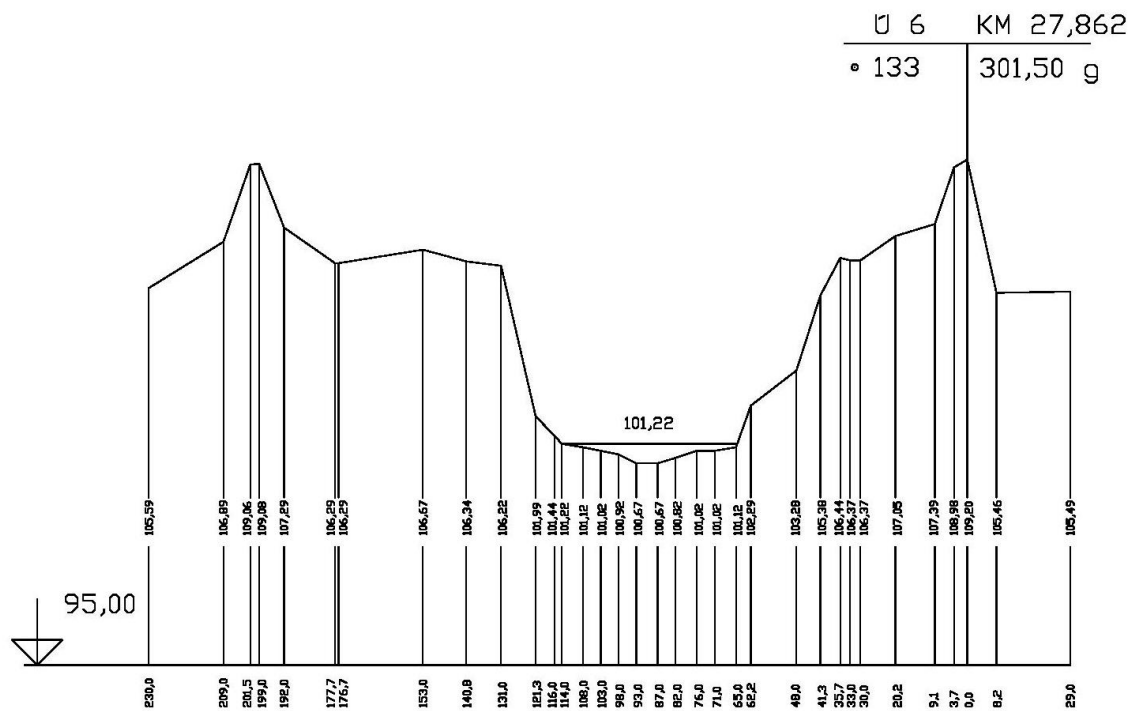
Na výpočet hladinového režimu v toku bol použitý matematický 1-D model zostavený v programe HEC-RAS. Miera záplavy sa riešila 2-D matematickým modelom v tom istom softvéri prostredím, pričom boli vzájomne prepojené. Na zostavenie takto komplexného výpočtu sú potrebné morfológické charakteristiky (pričné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

#### Morfologické podklady

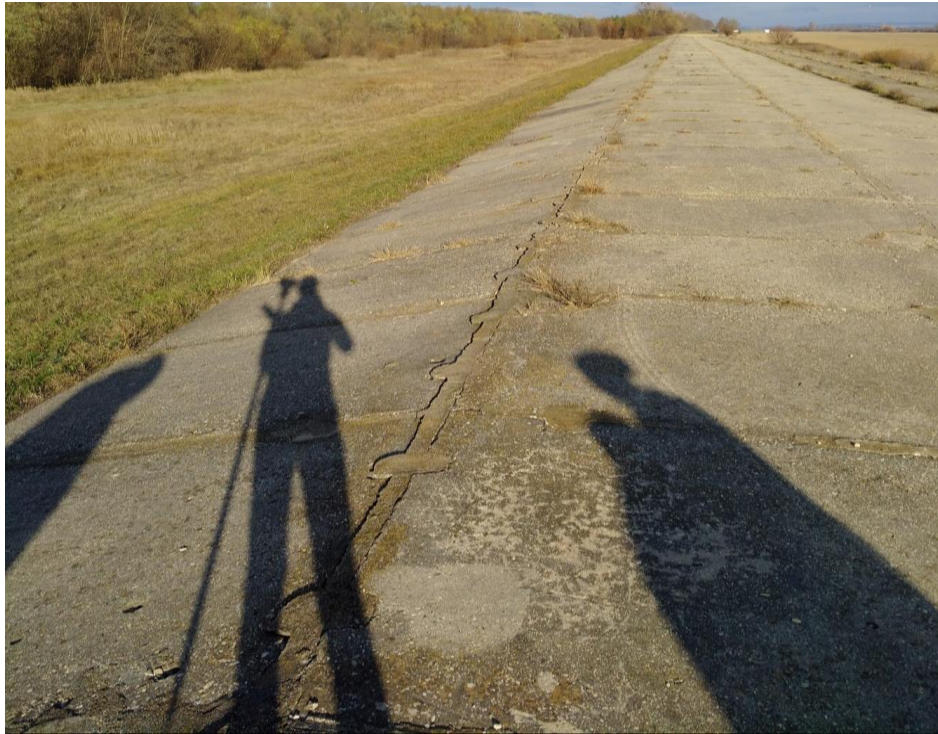
Celková morfológia územia bola určená na základe DTM, ktoré pozostáva z výškovo a priestorovo určených bodov (červené body) a z terénnych hrán, ktoré dobre vystihujú zmeny v sklonitosti terénu (zelené čiary). Príklad menšieho úseku DTM znázorňuje Obrázok 4, na ktorom si môžeme všimnúť aj modré čiary, ktoré zaznamenávajú polohu hladiny v Ondave a v kanáloch počas vyhotovovania mapy. Keďže pod hladinou vody nevieme z DTM vyčítať tvar koryta, tak bol poskytnutý model terénu doplnený o priečne profily od Horoviec až po ČS Hraň. Obrázok 5 je príkladom jedného z doplnených priečných profilov Ondavy. 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. Obrázok 6 zachytáva geodetické meranie bočného priepadu. T týchto podkladov už bolo možné vytvoriť za pomoci programov AutoCad a ArcGIS geometriu pre matematický model prúdenia (Květon, 2011).



Obrázok 4: Časť digitálneho modelu terénu (DTM) z oblasti ČS Ladislav a Július



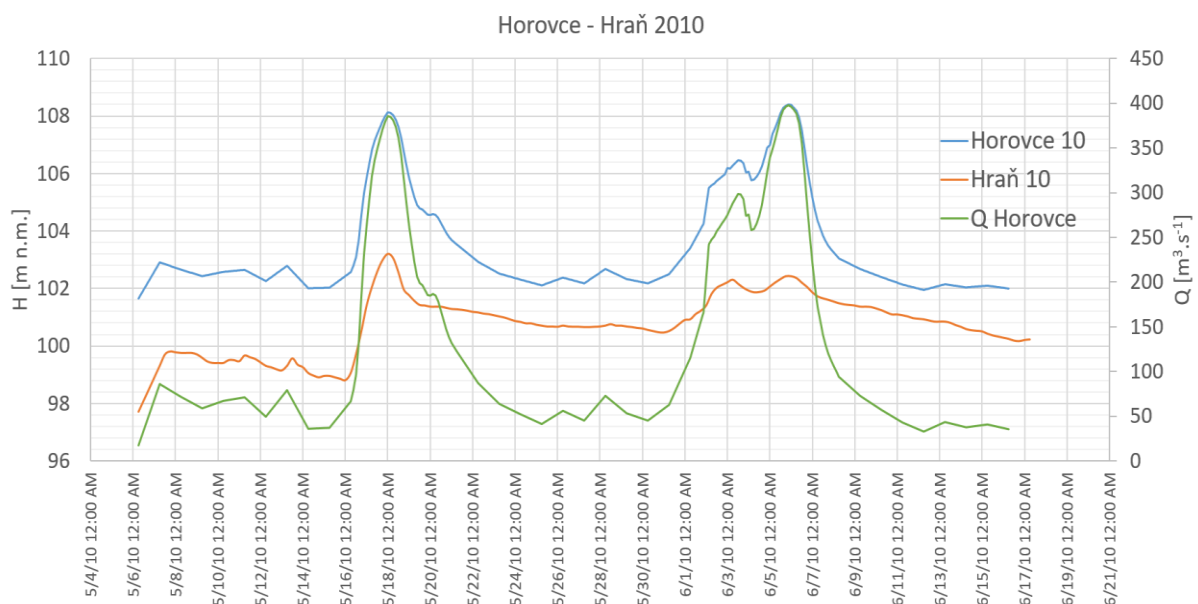
Obrázok 5: Jeden z priečných profilov Ondavy z úseku Horovce-Hraň



Obrázok 6: Bočný priepad počas zamerania (foto Jakub Mydla)

### Hydrologické podklady

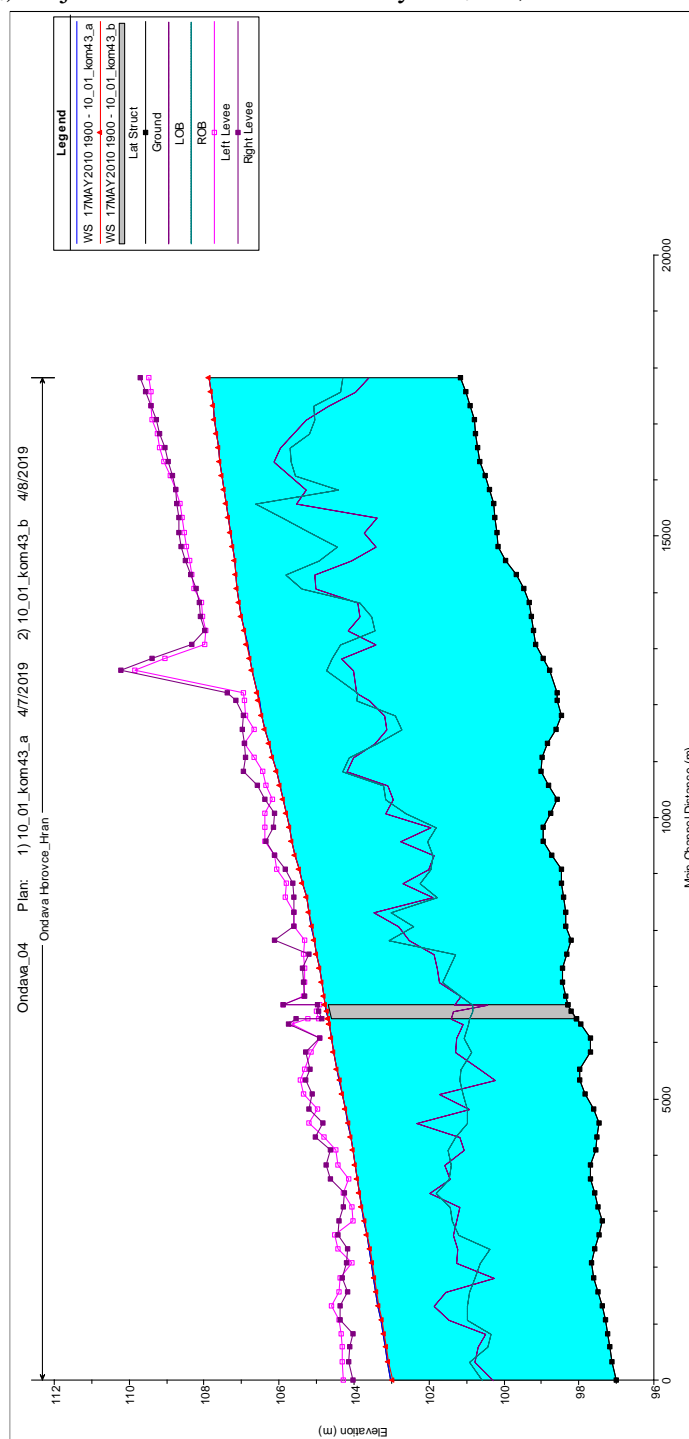
Úsek Horovce-Hraň bol vybraný na simuláciu hladinového režimu, pretože nad (proti prúdu) bočným priepadom sa najbližšie nachádza vodomerná stanica Horovce a pod (po prúde) priepadom je na Ondave vodomerná stanica na ČS Hraň. Pre vodomernú stanicu Horovce zhotovuje SHMÚ pravidelne konzumnú krivku, takže sa v tomto profile dá odvodiť prietok, čo bola aj horná okrajová podmienka pre neustálené prúdenie. Vodomerná stanica 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.



Obrázok 7: Záznam z vodomerných staníc Horovce a Hraň počas povodne v roku 2010

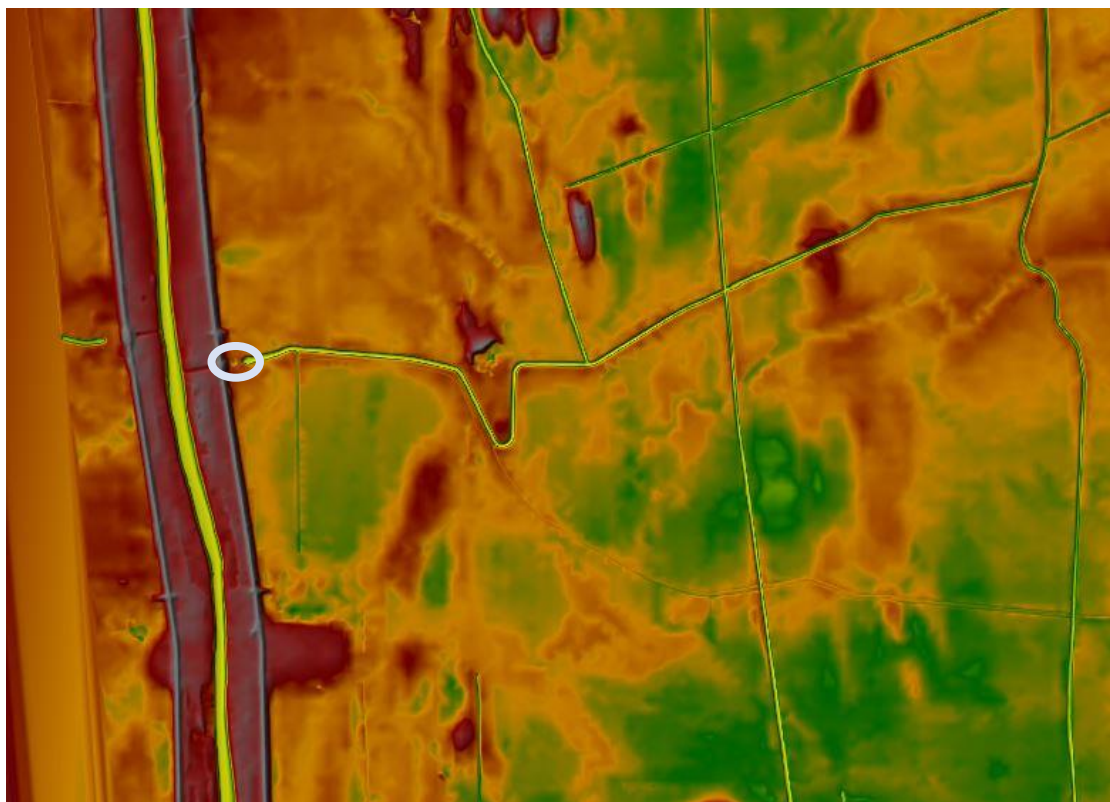
## Metodika riešenia

V prvej fáze riešenia bol zostavený 1-D model. Priečne profily 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 zaznamenaná v Horovciach), ale dolná okrajová podmienka sa menila. Počas prvej kalibrácie drsnosti sa použil záznam polohy hladiny v Hrani, 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  $i_e = 0,3 \text{ ‰}$ .



Obrázok 8: Pozdĺžny profil Ondavy úsek Horovce – Hraň.

Obrázok 8 zobrazuje pozdĺžny profil Ondavy, sivou farbou je naznačený bočný priepad, ktorý bol riešený ako priepad so širokou korunou a celkovou dĺžkou 245,7 m. Priepad vo výpočte slúži aj na prepojenie 1-D a 2-D modelu, a tak sa dostávame k druhej fáze modelovania – k výpočtu zaplavenej plochy. Morfológiu vkladáme cez RAS Mapper (časť programu HEC-RAS 5.0.6.), rastrová forma modelu územia bola vytvorená v ArcGIS-e. Obrázok 9 znázorňuje časť skúmaného územia zobrazenú v RAS Mapper-i. Ide o územie blízko ČS Ladislav, ktorá je zvýraznená ovalom.



Obrázok 9: RAS Mapper – časť rástrového modelu terénu (oblasť ČS Ladislav)

Pri 2-D modelovaní je nutné zvoliť si aj výpočtovú oblasť, čo je vlastne 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 štvorcom (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 prietrže hrádze s presným záznamom zaplavenej oblasti, nie je možné 2D model kalibrovať v dôsledku nedostatku údajov (Kvėton, 2011).

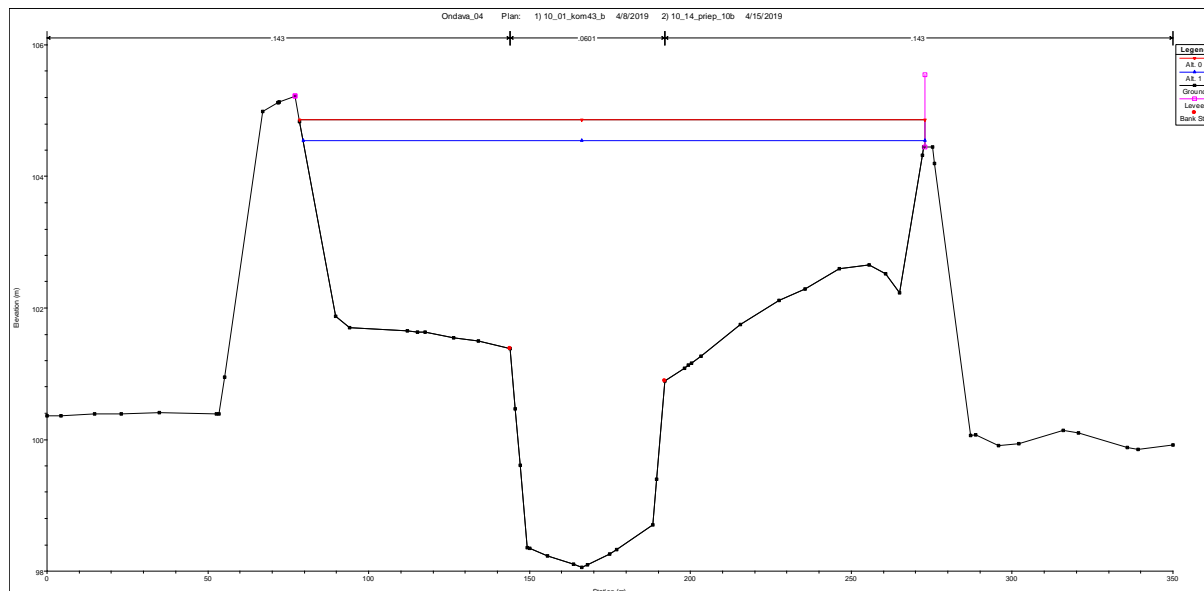
## 4 Výpočet

Pri simulácii povodne z 2010 roku sa uvažovalo s neprelomením ochranných hrádzi. Ďalej sa počítalo s vylieváním vody do mimo hrádzového priestoru iba v mieste priepadu, čo by sa zabezpečilo dočasným navýšením hrádzi, napríklad vrecovaním. 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.



Obrázok 10: Priečny profil Ondavy pod bočným priepadom

Obrázok 10 porovnáva maximálne polohy hladiny, ktoré by boli dosiahnuté počas povodne v roku 2010 pre Alt.0 a Alt.1.

Tabuľka 2: Porovnanie alternatív 0 a 1

	H [m n.m.]	$\Delta H$ [m]	$Q_{PK}$ [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	$V_P$ [mil. m <sup>3</sup> ]	$A_Z$ [ha]	d [km]
<b>Alt. 0</b>	<b>104,86</b>	<b>0,00</b>	<b>365,00</b>	<b>4,073</b>	<b>1 304</b>	<b>2,4</b>
<b>Alt. 1</b>	<b>104,57</b>	<b>-0,29</b>	<b>290,00</b>	<b>14,514</b>	<b>2 598</b>	<b>0,3</b>

kde

H – nadmorská výška hladiny pri kulminačnom prietoku,

$\Delta H$  – zmena polohy hladiny pri kulminačnom prietoku voči Alt. 0,

$Q_{PK}$  – kapacita koryta po hranu priepadu,

$V_P$  – pretečené množstvo vody počas simulácie povodne z 2010 roku,

$A_Z$  – približná zaplavená plocha,

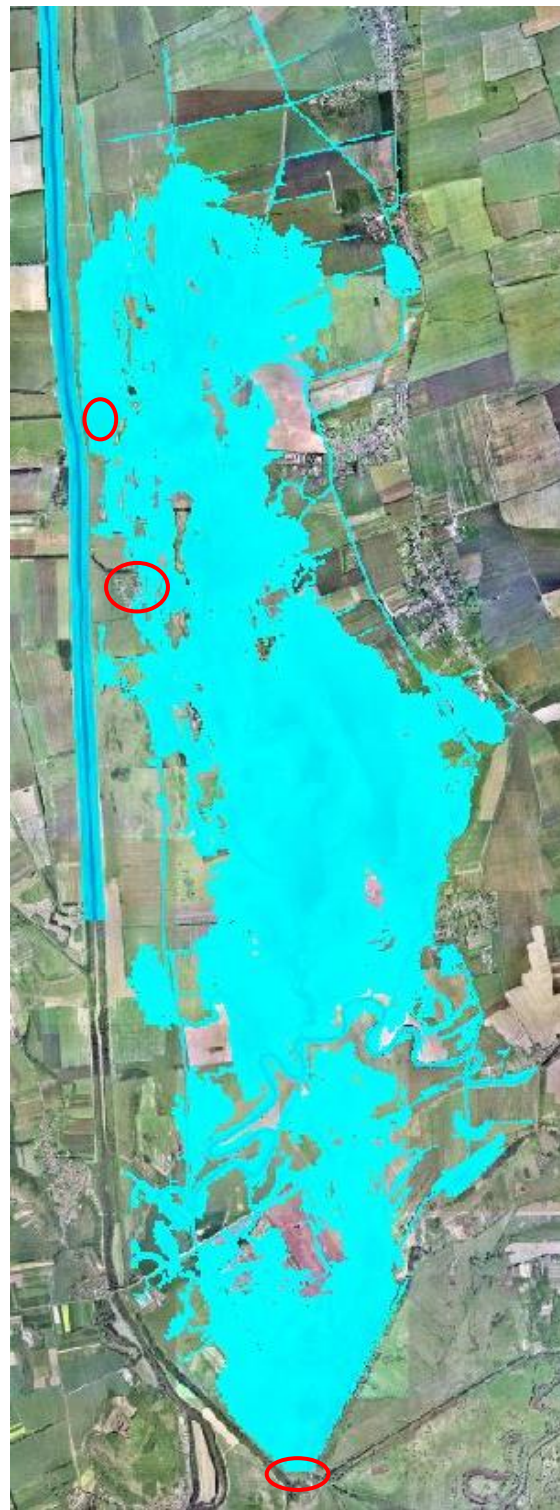
d – dĺžka preliatých úsekov.

Podľa množstva preliatých 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.

Obrázok 11 a Obrázok 12 znázorňujú približnú zaplavenú oblasť pri simulácii povodne z roku 2010. V červených ovaloch sú vyznačené problémové miesta, ktoré by boli postihnuté záplavou. Ide o ČS Ladislav a okrajové časti obce Hradištská Moľva. Taktiež by došlo k zatopeniu jedinej 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 ohrozované nepriaznivým vplyvom povodne, avšak pri Alt. 1 hrozí zaplavenie ČS Kamenná Moľva.



Obrázok 11: Alt. 0 Zatopená plocha



Obrázok 12: Alt. 1 Zatopená plocha

## 5 Zníženie zaplavovanej plochy

Na zníženie následkov záplav bol navrhnutý polder. Ohradenie poldra bolo navrhnuté z juhu zvýšením 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 je nutné navrhnuť ochranu pre ČS Ladislav, ktorá by pozostávala z násypu zviazaného do hrádze Ondavy a zo stavidla na prírodnom 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 hrádzí 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.

Tabuľka 3: Porovnanie alternatív 0 a 1 po návrhu poldra

	$A_P$ [ha]	$H_{P,MAX}$ [m n.m.]	$T_P$ [deň]
Alt. 0	550,00	99,85	3,5
Alt. 1	900,00	100,70	9,0

kde:

$A_P$  – približná zatopená plocha poldra,

$H_{P,MAX}$  – maximálna poloha hladiny v poldri,

$T_P$  – približná doba vyprázdnenia poldra z maximálneho stavu zatopenia.



Obrázok 13: Alt. 0 Max. záplava – polder



Obrázok 14: Alt. 1 Max. záplava – polder

## 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 medzihrádzného 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 hydraulickej stránke situáciu, ktorá vznikla vybudovaním pevného bočného priepadu na ľavobrežnej hrádzi Ondavy zhruba 500 m povyššie 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 hrádzí 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 medzihrádznom priestore a navýšenie ochranných hrádzí.

### PodĎakovanie

Článok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti protipovodňovej ochrany územia ITMS 26240120004 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## 7 Literatúra

---

Tkáč, J. (2005): Súhrnná správa z povodňovej aktivity na tokoch v správe Povodia Bodrogu za obdobie 27.7.2004 -28.10.2005, Trebišov.

Kolesárová, E. (2011): 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.

Květon, R., Šoltész, A., Baroková, D. (2011): Matematické modelovanie protipovodňovej ochrany na Ondave. Acta Hydrologica Slovaca, vol. 12, č. 2, ss. 304- 311.

Kundrát, V. a kol. (1998): Vodné družstvo na Ondave v Trebišove, Košice, ISBN 80-7132-012-9.

Kutný, J. (2005): Sanácia ľavobrežnej hrádze Ondavy. Technická správa.

Brunner, G. W. (2016): HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual.