

MODELOVANIE PRIELOMOVEJ VLNY S VYUŽITÍM METÓD POVODŇOVÉHO MAPOVANIA

Katarína Cipovová, Martin Orfánus, Ján Rumann

Anotácia: Cieľom tejto práce je na základe smernice MŽP SR z 30.apríla 2007 č.1/2007 – 1.5. pre výpočet prielomovej vlny z vodnej stavby prezentovať projekt dopočtu prielomovej vlny z vodného diela Liptovská Mara a zdôrazniť rozdiely medzi jednodimenzionálnym (1D) a dvojdimenzionálnym (2D) modelovaním takejto povodňovej vlny. Súčasťou projektu bolo aj vyhodnotenie ničivých účinkov prielomovej vlny.

KLúčové slová: prielomová vlna, extrémna povodeň, riziková analýza, 2D modelovanie, vyhodnotenie ničivých účinkov

FAILURE WAVE MODELLING WITH APPLICATION OF FLOOD MAPPING METHODS.

Annotation: Following the Directive of The Ministry of Environment No.1/2007 – 1.5., the aim of this paper is to present the project of calculation the failure wave from Liptovská Mara water scheme and to emphasize the difference between 1D and 2D modeling of such a flood wave. This project also contains demolition effects evaluation.

Key words: failure wave, extreme flood, risk analysis, 2D model, demolition effects evaluation

1. ÚVOD

Prielomová vlna je špeciálnym prípadom povodňovej vlny, ktorú spôsobila porucha alebo havária zariadení vodnej stavby. Je charakteristická prudkým nábehom extrémneho prietoku s relatívne krátkym trvaním. Spôsob výpočtu prielomovej vlny z vodného diela stanovuje Smernica MŽP SR z 30.apríla 2007 č.1/2007-1.5 [1]. Kolektív riešiteľov riešil v roku 2010 úlohu dopočtu prielomovej vlny z vodného diela Liptovská Mara od hate Trenčianske Biskupice [2].

Vodná nádrž Liptovská Mara vznikla prehradením toku Váh v rkm 338,4. Zátopa o rozlohe 2 100 ha vytvorená prehradením siaha do vzdialenosti asi 8 km od priehradného profilu k okraju mesta Liptovský Mikuláš. Nádrž bola vybudovaná za účelom nadlepšenia prietokov na Váhu pre potreby priemyslu, poľnohospodárstva a pre zlepšenie čistoty vody, ochrany pred povodňami, výroby elektrickej energie, rekreácie, využitia pre rybné hospodárstvo.

Efektívne energetické využitie vodného diela je zabezpečené v spolupráci s uzlom Bešeňová, s ktorým VD Liptovská Mara tvorí vodohospodársky celok. Nádrž VD Liptovská Mara je zaradená do I. kategórie vodných diel, do skupiny A. Správcom vodného diela je Slovenský vodohospodársky podnik š.p., OZ Piešťany. V roku 2004 bola vypracovaná dokumentácia výpočtov prielomových vln na základe Zmluvy o dielo č. 51-20048 a jej dodatkov, uzatvorenej medzi Slovenským vodohospodárskym podnikom š.p., OZ Piešťany - ako objednávateľom a Hydroconsultom Bratislava š.p. - ako zhotoviteľom zákazky. Dokumentácia z roku bola spracovaná použitím jednorozmerného matematického modelu MIKE 11, veľmi precízne a starostlivo, ale s použitím mnohých zjednodušení. Modernejším dvojrozmerným modelovaním, ktoré bolo súčasťou spracovania dopočtu v roku 2010 a ktoré je technicky aj softvérovo náročnejšie sme sa dokázali výsledkami viac priblížiť realite.

Hydroconsult spracoval dokumentáciu v dvoch variantoch – porušenie pri maximálnej prevádzkovej hladine 564,89 m n.m. a minimálnej prevádzkovej hladine 539,59 m n.m. Našou úlohou bol dopočet od hate Trenčianske Biskupice a keďže vlna z porušenia z minimálnej prevádzkovej hladiny v tomto profile nedosahovala výšky storočného prietoku, realizovali sme výpočet len z maximálnej prevádzkovej hladiny.

V tomto príspevku sú formulované odporúčania pre interpretáciu výsledkov 2D modelovania prielomových vln pre tvorbu príloh dokumentácie prielomovej vlny. Popísané je spracovanie výsledkov získaných modelovým prostriedkom MIKE 21 FM s flexibilnou výpočtovou sieťou pre modelovaný úseku údolia Váhu pod haťou Trenčianske Biskupice.

Pilotný projekt aplikácie 2D modelovania na úsekoch presahujúcich svojou dĺžkou 50 km bol možný iba za podpory spoločnosti EUROSENSE, s.r.o [3], ktorá poskytla bezplatne údaje pre digitálny model terénu dotknutej oblasti. Dopočet prielomovej vlny nadväzoval na projekt firmy Hydroconsult realizovaný v roku 2004 ešte podľa dočasnej smernice na úseku VD Liptovská Mara - Opatovce [4]. Vlastná numerická simulácia prielomovej vlny bola realizovaná v spolupráci s firmou DHI Slovakia s.r.o.[5].

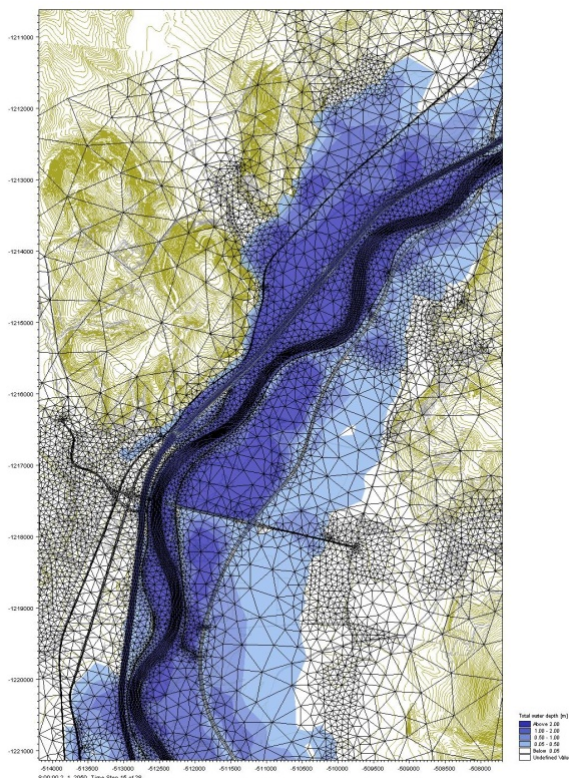
2. SMERNICA MŽP SR z 30. apríla 2007 č. 1/2007 - 1.5

Podľa tejto smernice, dokumentácia k výpočtu prielomovej vlny musí obsahovať:

- technickú správu
- prehľadnú schému modelovaného územia v mierke 1:50 000
- číselné hodnoty vypočítaných veličín spracované v tabuľkách
- graficky spracované veličiny
- vyhodnotenie ničivých účinkov prielomovej vlny
- vykreslenie záplavových čiar v ohrozenej obci do katastrálnej mapy
- zakreslenie záplavových čiar do máp M 1:10 000

Smernica [1] je prevažne orientovaná na využívanie jednorozmerného matematického modelovania prielomovej vlny z vodného diela ako procesu s extrémne sa meniacim prietokom pod dotknutým vodným dielom. Pripúšťa použitie dvojrozmerného matematického modelu pre modelovanie v rovinných územiach, ale pre modelovanie v údoliach s jednoznačným smerom prúdenia predurčuje použiť na simuláciu vetvený jednorozmerný matematický model. Tento prístup bol zvolený v čase tvorby smernice na základe limitovaného využívania 2D modelovania na relatívne malé územia a pre vysokú výpočtovú náročnosť 2D modelovacieho procesu. Moderné modelovacie nástroje a výkonnosť súčasnej výpočtovej techniky umožňujú podrobné 2D modelovanie prúdenia vody na rozsiahlych územiach a dlhých riečnych úsekoch.

3. DVOJROZMERNÉ MATEMATICKÉ MODELOVANIE PRIELOMOVEJ VLNY



Prechod z 1D modelovania neustáleného prúdenia vody s voľnou hladinou na 2D matematické modelovanie nám umožňuje získať o triedu kvalitnejšie výsledky. Flexibilná výpočtová sieť (Obr.1) nám umožňuje zahustiť výpočet v dôležitých oblastiach (líniové stavby, osídlené územia, atď. – charakteristický rozmer modelového prvku môže klesnúť až na 2-5 m), kde buď potrebujeme presnejšie výsledky alebo predpokladáme prudké zmeny v rýchlosti prúdenia vody. Flexibilná výpočtová sieť je ideálna pre striedanie extravilánu (hrana výpočtového prvku je väčšia - 50-100 m) a intravilánu (hrana výpočtového prvku je rádovo v desiatkach metrov). Veličiny charakterizujúce prúdenie pri 1D modelovaní sú vzťahnuté k modelovanému prierezu (celkový prietok cez profil, priemerná prierezová rýchlosť, výška hladiny v priereze). 2D modelovanie nám poskytuje priestorovo lokalizované výsledky modelovania (výška hladiny v modelovanom elemente, zložky priemerných zvislicových rýchlostí vo výpočtovom prvku).

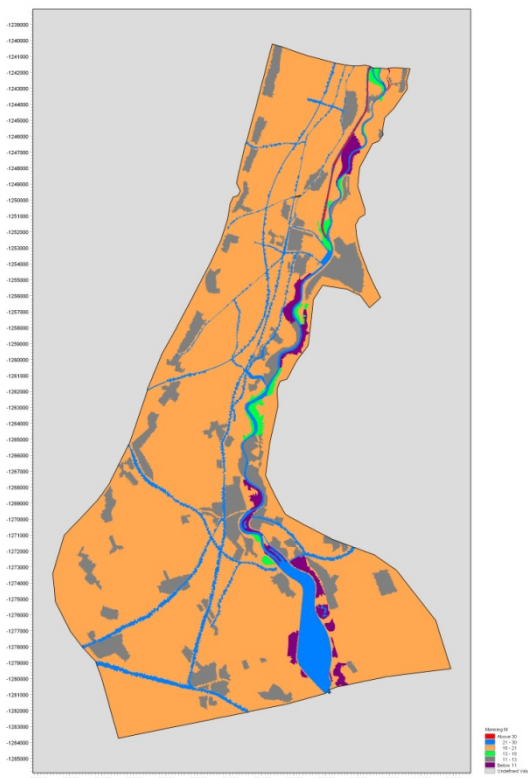
Obr.1 Schéma flexibilnej výpočtovej siete na rastrovom mapovom podklade

Celkový prietok cez zadané vybrané profily vieme zabezpečiť priečnou integráciou lokálnych merných prietokov. Výška hladiny vody (maximálna aj okamžitá) v profile bude mať vždy lokálny charakter. Rádovo väčšie množstvo výsledkov z 2D modelovania oproti 1D modelovaniu, ako aj zmena charakteru výsledkov z prierezových na lokálne nás núti zmeniť nielen metodiku zobrazovania výsledkov ale aj zabezpečiť nástroje na presné získavanie maximálnych ako aj okamžitých hodnôt (v definovanom časovom kroku uchovávaní výsledkov výpočtu) v požadovanej lokalite. Práca s výsledkami 2D modelovania kladie zvýšené nároky na užívateľa, čomu by sa mala prispôbiť aj povinná dokumentácia k výpočtu prielomovej vlny napr. vypracovaním účelovej užívateľskej dokumentácie

4. VÝPOČET PRIELOMOVEJ VLNY

Štandardný scenár simulovanej havarijnej udalosti predpokladá lokálne rozrušenie hrádze pri ustálenom prietoku Q_a (dlhodobý priemerný prietok) prepúšťanom nádržou pod vodnú stavbu - počiatočná podmienka pre výpočet simulácie vlny v území pod prietržou. Simulácia priebehu prielomovej vlny sa vykonáva do vzdialenosti, kde veľkosť jej maximálneho prietoku už neprekročí maximálny prietok opakujúci sa v priemere raz za 100 rokov - $Q_{\max 100}$. V prípade rovinného územia, kde jednotlivé vetvy navrhovaného modelu nekončia v toku pod vodnou stavbou, sa simulácia vlny pod prietržou počíta až do vzdialenosti, pokiaľ výška prielomovej vlny pod prietržou nepoklesne pod 0,5 m nad jestvujúci terén. Ukončenie modelovania pri prietoku Q_{100} je problematické, nie je možné kontrolovať objemovú bilanciú prielomovej vlny a tým aj správnosť modelovacieho procesu (voľba tvaru a hustoty výpočtovej siete). Simulácia prielomovej vlny pod prietržou by sa mala ukončiť až pri poklese prietoku na Q_a a v prípade rovinného územia buď voda úplne ustúpi alebo vzniknú v modelovanom priestore izolované vodné masy. Rozhodujúci vplyv na výsledky simulačného procesu má definovanie drsnostných pomerov v území predpokladanej záplavy. Podľa smernice drsnosti

ohodnotí a určí spracovateľ dokumentácie. Nestanovuje sa povinnosť uviesť tieto hodnoty v projektovej dokumentácii a vlastné nastavenie drsnostných súčiniteľov pre modelovanú oblasť (súčasť zostavenia modelu) sa často označuje ako duševné vlastníctvo (know-how) riešiteľa. Nie je preto možný opakovaný kontrolný výpočet iným riešiteľom.



Obr.2 Mapa drsnostných súčiniteľov modelovaného úseku Drahovce – Kráľová

Tab.1 Odporové súčinitele vo forme Manningovho stupňa drsnosti použité v 2D modeli

kategória	popis územia	n
1	koryto Váhu, prítokov a líniové stavby	0.033
2	derivačný kanál	0.025
3	polia a nedefinované plochy	0.048
4	obce a mestá	0.077
5	inundácie 1 – menej zarastené	0.063
6	inundácie 2 – viac zarastené	0.077
7	inundácie 3 – husto zarastené	0.090

5. GEODETICKÉ PODKLADY

Výsledky modelovacieho procesu do značnej miery ovplyvňuje kvalita a aktuálnosť geodetických podkladov. Podkladom pre vygenerovanie výpočtovej siete bol aktuálny digitálny model terénu

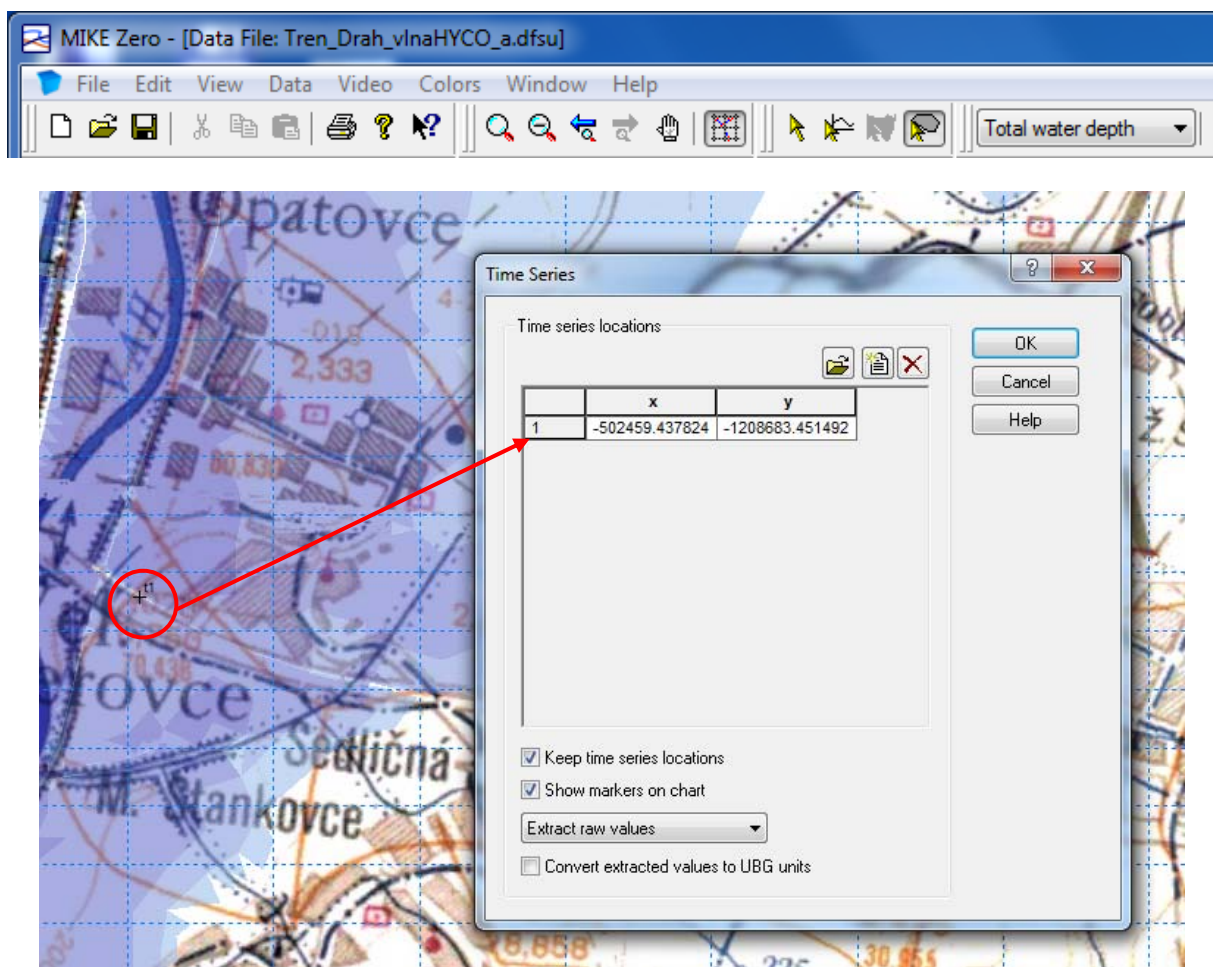
(DMT) poskytnutý firmou EUROSENSE, s.r.o. [3]. Rastrové mapy poskytnuté objednávateľom slúžili iba pre vizualizáciu výsledkov spracovania, nakoľko boli neaktuálne, staršieho dáta vyhotovenia a riešiteľ bol nútený niektoré údaje získavať alebo overovať z voľne dostupných zdrojov, napr. <http://maps.google.sk>.

6. ČÍSELNÉ HODNOTY VYPOČÍTANÝCH VELIČÍN – TABUĽKY

Nárast zložitosti modelu územia a strata jednoduchej orientácie (nepravidielný tvar a rozmer prvkov modelu) si vyžiada nové prístupy k získavaniu číselných hodnôt. Nárast počtu získaných údajov dokazuje nasledovné porovnanie množstva získaných údajov z modelovacieho procesu [2].

Územie medzi haťou Trenčianske Biskupice a haťou Drahovce bolo pokryté výpočtovou sieťou s počtom 71 935 uzlov a 101 777 prvkov (úsek dĺžky 47 rkm), čo predstavuje priemerný počet 1 530 uzlov a 2 165 prvkov na jeden riečny kilometer. Porovnateľný 1D model s 5 vetvami a priemernou vzdialenosťou medzi profilmi 100 m má 50 výpočtových úsekov a 55 výpočtových uzlov.

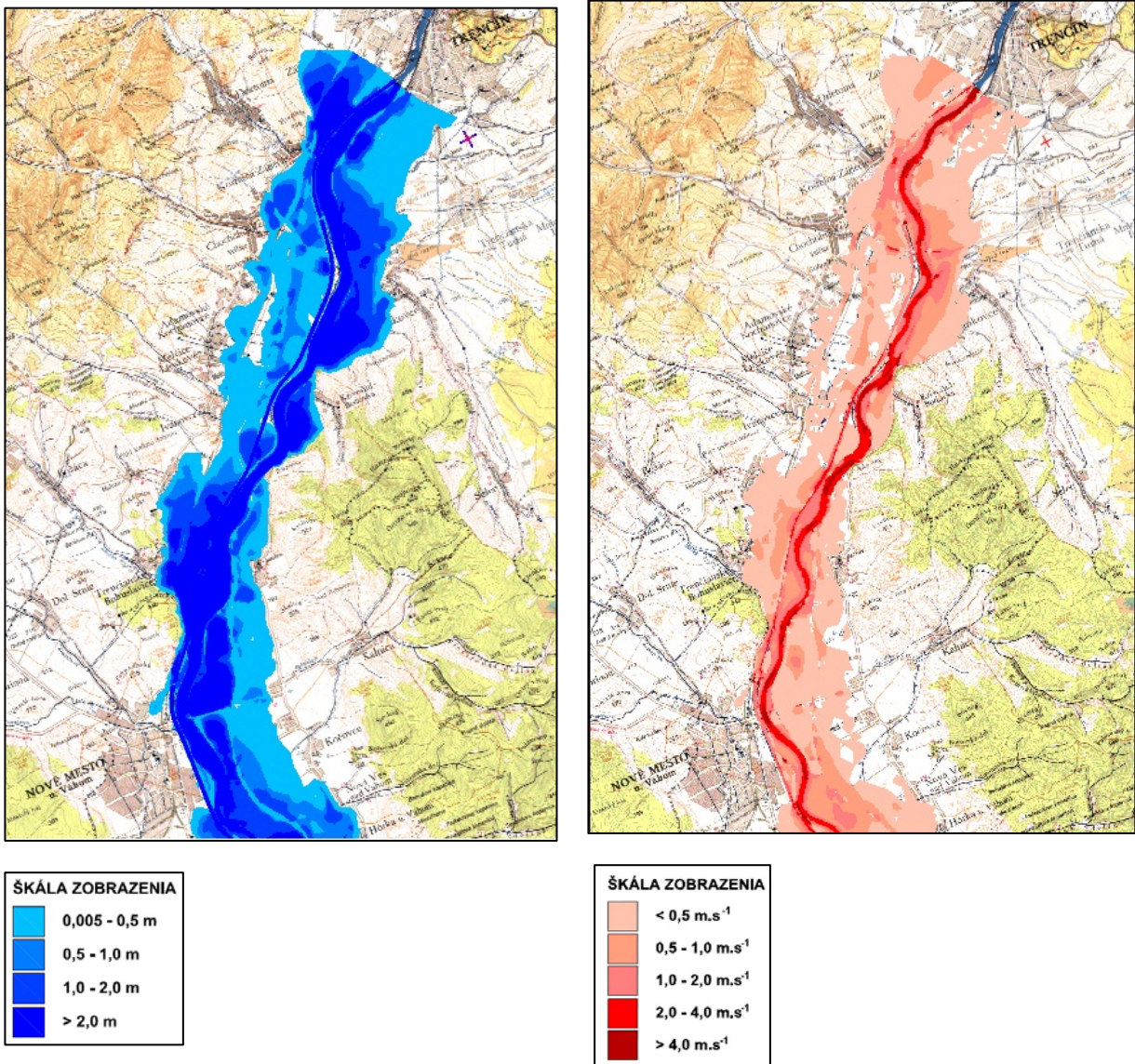
Z uvedeného vyplýva, že tabuľkovou formou sa môžu vypočítané údaje zobraziť iba pre vybrané profily a vo vhodnej úprave. Ostané vypočítané údaje je potrebné sprístupniť programovými prostriedkami v grafickom prostredí, umožňujúcim ľahkú priestorovú orientáciu a selekciu požadovaných údajov (v [2] bol použitý program MIKE ZERO View).



Obr.3 Získavanie časového priebehu priemernej zvislicovej rýchlosti a hĺbky vody v konkrétnom bode výpočtovej siete

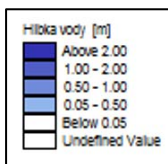
7. GRAFICKÁ INTERPRETÁCIA ČÍSELNÝCH HODNÔT VYPOČÍTANÝCH VELIČÍN

Smernica predpisuje spracovať výstupy z 2D modelu v grafickom tvare formou situačných obrázkov zobrazujúcich dokumentovanú veličinu (hladinu, priemernú zvislicovú rýchlosť) v každom uzle výpočtovej siete, pričom rozpätiu hodnôt zobrazovaných veličín je priradená paleta farieb.

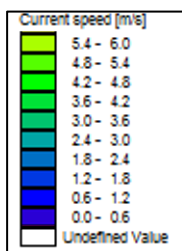
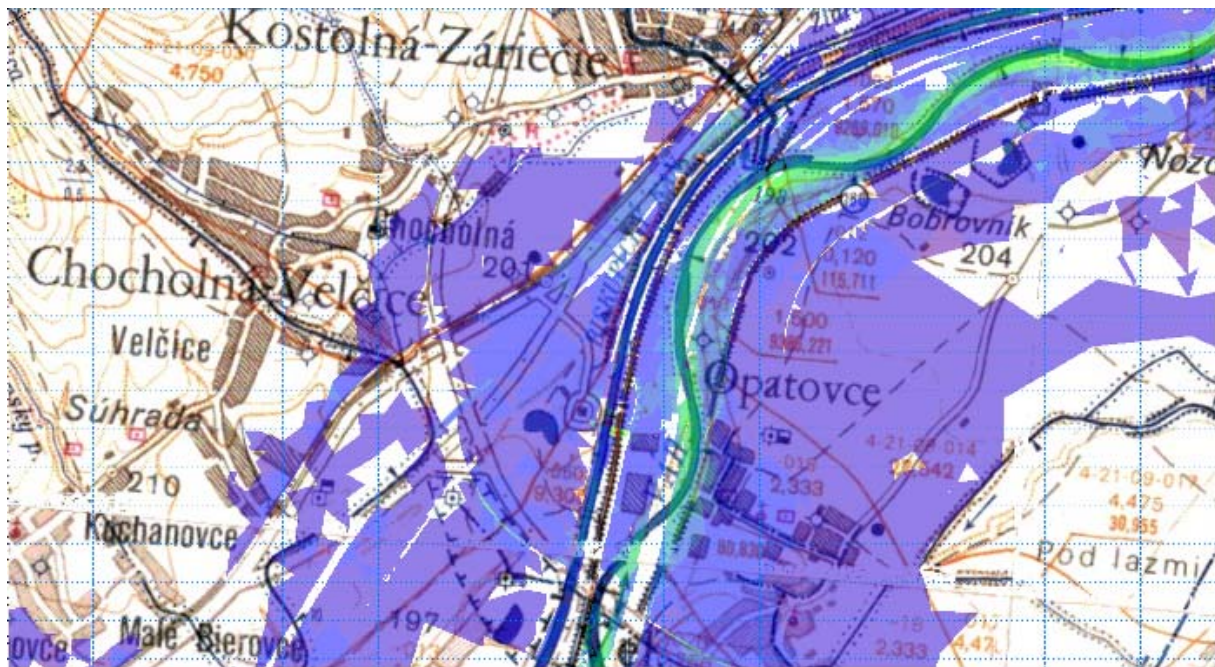


Obr.4 Mapy dosiahnutých maximálnych hĺbok (vľavo) a rýchlostí (vpravo) v úseku T. Biskupice - Nové Mesto nad Váhom.

Stupnica farieb (obr.4) musí zohľadňovať hĺbky vody charakteristické pre hodnotenie priebehu prielomovej vlny (0,5 m – hranica poklesu vodnej hladiny) a mala by poskytovať základnú orientáciu pri stanovení stupňa poškodenia objektov alebo ohrozenia ľudí v zaplavenej oblasti prielomovou vlnou. Stupnica farieb maximálnych dosiahnutých rýchlostí (obr.4) musí zohľadňovať rýchlosti prúdenia vody charakteristické pre stanovenie stupňa poškodenia objektov alebo ohrozenia ľudí v zaplavenej oblasti prielomovou vlnou. Hranica rýchlosti prúdenia vody 1 m.s⁻¹ rozdeľuje priestor na oblasť kde prevláda hydrostatické pôsobenie vody a na oblasť hydrodynamického pôsobenia prielomovej vlny.



Obr.5 Mapa maximálnych hĺbok z prostredia MIKE Zero View – výrez Opatovce a okolie



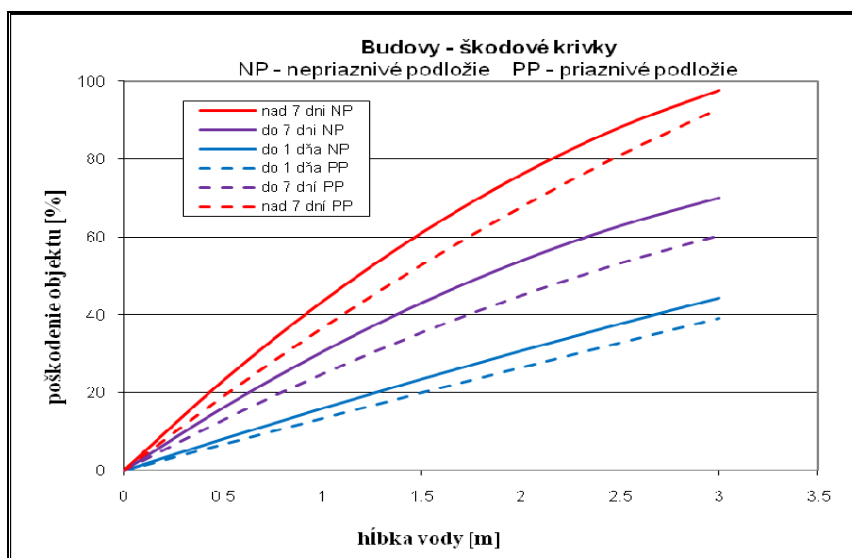
Obr. 6 Mapa maximálnych rýchlostí z prostredia MIKE Zero View – výrez Opatovce a okolie

9. VYUŽITIE ŠKODOVÝCH KRIVIEK

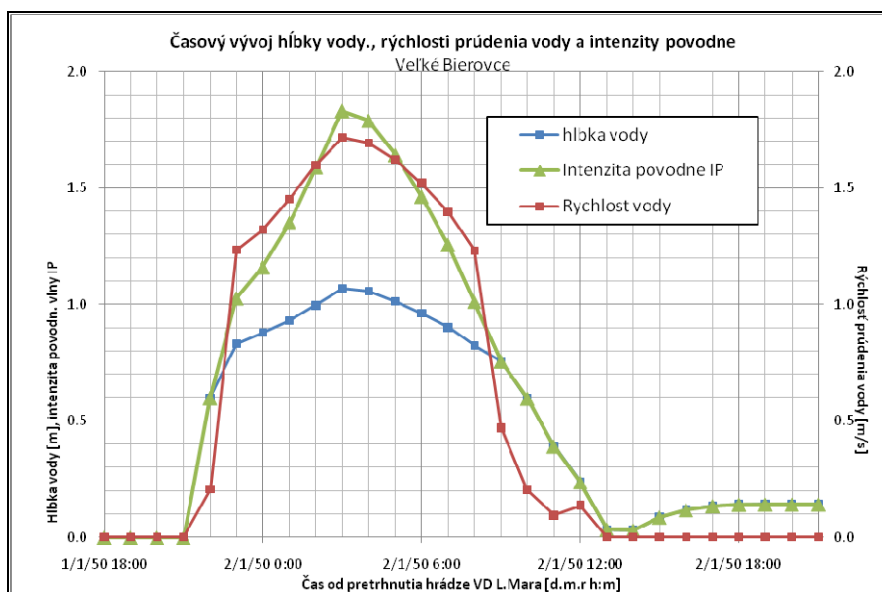
Škodová krivka predstavuje funkčnú závislosť miery poškodenia od charakteristík priebehu povodne. Po povodniach na južnej Morave v roku 2006 boli pozorovaniami a štatistickým spracovaním poškodení jednotlivých objektov spracované škodové krivky pre viacero typov reprezentantov majetku (budovy, jednoduché rodinné domy, rodinné domy poschodové, haly, telovýchovné objekty...) [8]. Tieto škodové krivky boli potom verifikované na základe informácií o povodňových škodách v ČR v roku 2002.

Základným parametrom pre tvorbu grafických škodových kriviek bola hĺbka vody a doba trvania povodne. Ďalej sa uvažovalo s vplyvom podlažia (priaznivé, nepriaznivé), kontamináciou a transportom sedimentov. V [8] sa však pri tvorbe grafov škodových kriviek neuvažuje s vplyvom rýchlosti vody a teda hydrodynamické pôsobenie vody sa zanedbáva.

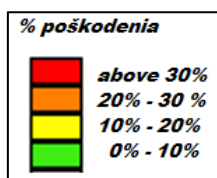
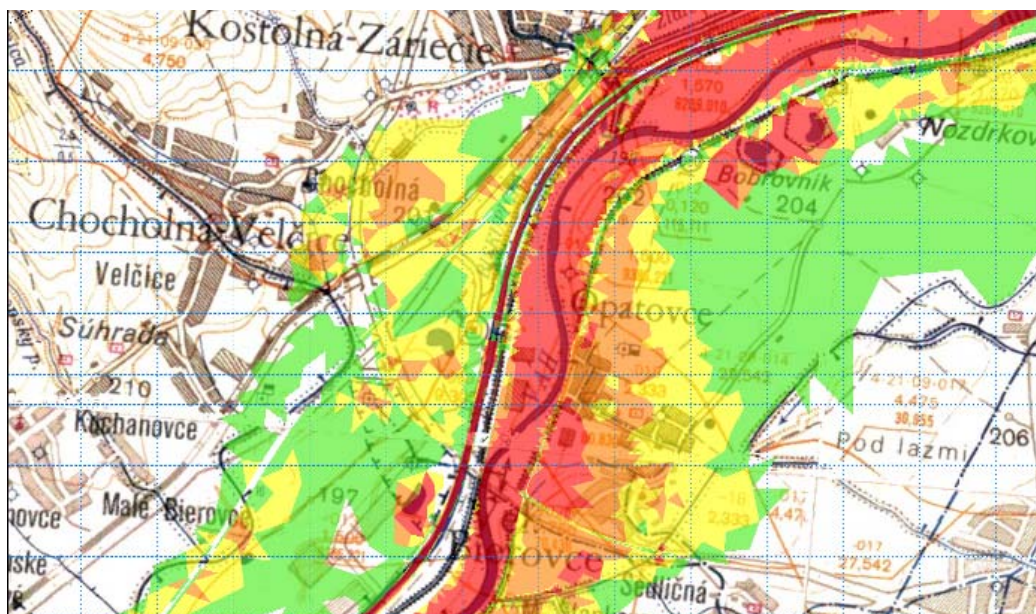
V prípade prielomovej vlny z Liptovskej Mary je možné použiť modré krivky z obr.8, nakoľko celá povodeň má približne jednotňové trvanie.



Obr.8 Škodové krivky pre budovy v zaplavenej oblasti podľa charakteru podlažia a trvania záplavy



Obr. 9 Ukážka vyhodnotenia IP pre bodovo zadanú lokalitu Velké Bierovce



Obr. 10 Plošné vyhodnotenie % poškodenia budov pre lokalitu Opatovce a okolie

10. ZÁVER

Predložený článok na základe uvedených údajov a námetov dostatočne demonštruje potrebu úpravy smernice pre výpočet prielomovej vlny z vodnej stavby, tak aby sa mohli využívať moderné prostriedky matematického modelovania a tým dosiahnuť aj presnejšie výsledky.

Využitie škodových kriviek v našich podmienkach je vhodné a žiaduce, aj keď by možno bolo vhodné ich prispôbiť aj pre oblasti s hydrodynamickým pôsobením.

Tento článok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, ITMS: 2624012000 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Zoznam použitej literatúry :

- [1] Smernica Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky z 30.apríla 2007 č.1/2007 – 1.5. pre výpočet prielomovej vlny z vodnej stavby.
- [2] VD Liptovská Mara – Kompletná dokumentácia výpočtu prielomovej vlny, Dopočet od hate Trenčianske Biskupice, SvF STU v Bratislave, 08/2010.
- [3] Digitálny model terénu dotknutej oblasti © EUROSENSE, s.r.o., www.eurosense.sk.
- [4] VD Liptovská Mara, Kompletná dokumentácia výpočtu prielomovej vlny, Hydroconsult Bratislava, 11/2004.
- [5] Mišík, M.- Kučera, M. -Květon, R. -Šulek, P.: Modelovanie prielomových vln v údolí riek pomocou 2D matematického modelu, Medzinárodná odborná konferencia o bezpečnosti vodných stavieb pri príležitosti 35. výročia činnosti TBD, Bratislava, 2010.
- [6] Květon, R. - Šulek, P. - Orfánus, M. - Mišík, M. – Kučera, M. : Smernica pre výpočet

- prielomovej vlny z vodnej stavby a 2D matematické modelovanie, Medzinárodná odborná konferencia o bezpečnosti vodných stavieb pri príležitosti 35. výročia činnosti TBD, Bratislava, 2010.
- [7] Dráb A. : Riziková analýza záplavových území s podporou GIS, habilitačná práca, VUT Brno, 2009.
- [8] Korytárová J. a kol. : Povodně a nemovitý majetek v území, FAST VUT Brno 2007.

ABSTRACT:

This year we participated in calculation of Liptovská Mara failure wave. A failure wave is a specific type of a flood wave caused by failure or crash of a water structure. Its characteristics are rapid increase of an extreme discharge and relatively short duration. The Directive of The Ministry of Environment from 30th April 2007 No. 1/2007 – 1.5 determinates the calculation methods of failure wave calculation.

Whole directive is predominantly 1D oriented. It allows application of 2D model in plane areas but for valleys with uniform flow direction it predetermines branch 1D model.

At a time when the Directive had been formed this approach was chosen because of limited application of 2D models. Because of high computing demanding ness 2D modelling was applied only on relatively small areas.

Modern modelling tools and efficient computer-assisted techniques enable exact 2D modelling of water flow on large areas and long river stretches.

This paper also contains recommendations for 2D model results interpretation and elaboration of results from MIKE 21 FM is described.

A very calculation was realized with MIKE 21 FM software with flexible computation mesh, which enables compressing the computation mesh at important objects, line structures or water-courses. Simulation of a failure wave is performed that far until its maximum discharge is lower than $Q_{\max 100}$. In case of plane areas simulation is performed till failure wave elevation falls to 0,5 m over existing ground. Correctly simulation should end not till the discharge falls under Q_a (average year discharge) or isolated water masses originate.

Submitted paper sufficiently demonstrates the necessity to modify the Directive for failure wave calculation so that modern computing systems could be used and more accurately results should be obtained.

This paper also contains application of Loss Curves for evaluation of damages caused by flood wave.

Ing. Katarína Cipovová, Ing. Martin Orfánus, Ing. Ján Rumann, PhD.

Katedra hydrotechniky Stavebnej fakulty STU
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

katarina.cipovova@stuba.sk, martin.orfanus@stuba.sk, jan.rumann@stuba.sk