

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Ing. Michaela Červeňanská

Autoreferát dizertačnej práce

Výskum prúdenia podzemnej vody v povodňových situáciách

na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

v doktorandskom študijnom programe: D-VHI4 vodohospodárske inžinierstvo

v študijnom odbore: Stavebníctvo

Forma štúdia: denná

Miesto a dátum: Bratislava, 31.máj 2020

Dizertačná práca bola vypracovaná na Katedre hydrotechniky Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave

Predkladateľ: **Ing. Michaela Červeňanská**
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Katedra hydrotechniky
Radlinského 11
810 05 Bratislava

Školiteľ: **doc. Ing. Dana Baroková, PhD.**
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Katedra hydrotechniky
Radlinského 11
810 05 Bratislava

Oponenti: **Ing. Yveta Velísková, PhD.**
Ústav hydrológie SAV
Dúbravská cesta 9
841 04 Bratislava

Prof. Ing. Milan Čistý, PhD.
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Radlinského 11
810 05 Bratislava

RNDr. Andrea Vranovská, PhD.
Výskumný ústav vodného hospodárstva
Nábr. arm. gen. L. Svobodu 5
812 49 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný: 29. júla 2020

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa 27. augusta 2020 o 10.00 h. v zasadacej miestnosti Katedry hydrotechniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave, Radlinského 11, Bratislava.

.....
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
dekan Stavebnej fakulty

OBSAH

1. Úvod	4
2. Súčasný stav riešenej problematiky.....	4
2.1. Definície niektorých pojmov	4
2.2. Hodnotenie a manažment povodňových rizík	5
2.3. Súčasný stav riešenej problematiky na Slovensku, v Českej republike a vo svete	6
3. Ciele záverečnej práce	8
4. Metodika práce a metódy skúmania	8
5. Výsledky práce a diskusia	9
5.1. Predbežné hodnotenie povodňového rizika v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd	9
5.1.1. Predbežné hodnotenie povodňového rizika v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd na dolnom Žitnom ostrove.....	9
5.2. Tvorba numerického modelu neustáleného stavu	12
5.2.1. Popis skúmaného územia.....	12
5.2.2. Povodeň z roku 2010	13
5.2.3. Výsledky numerického modelu neustáleného stavu – mapy povodňového ohrozenia	15
5.3. Prognóza za predpokladu realizácie podzemných tesniacich stien v úseku Kolárovo - Aszód.....	16
6. Záver.....	20
7. Vymedzenie prínosu práce	20
8. Vybraný zoznam použitej literatúry	20
9. Zoznam publikácií vo vzťahu k skúmanej problematike	22

1. ÚVOD

Povodne sú prírodný fenomén, ktorému sa nedá zabrániť. Niektoré ľudské činnosti a klimatická zmena však prispievajú k zvyšovaniu pravdepodobnosti výskytu povodní a ich nepriaznivých účinkov. Povodne môžu spôsobiť straty na ľudských životoch, vysídlenie obyvateľstva, škody na životnom prostredí a výrazným spôsobom oslabiť hospodársku činnosť a obmedziť hospodársky rast [23].

Hodnotenie rizika povodní spôsobených zvýšením hladiny vodného toku (a tiež informovanosť verejnosti o tejto téme) je v posledných rokoch stredobodom pozornosti, zatiaľ čo mapovaniu povodňového rizika vznikajúceho v dôsledku stúpnutia hladiny podzemnej vody sa venovala veľmi malá pozornosť [1]. Hoci povodňové riziko spojené z vysokými hladinami podzemnej vody je vo všeobecnosti v Európe menej časté, v niektorých oblastiach môže predstavovať významné miestne alebo dokonca regionálne nebezpečenstvo. Našťastie v Európe dochádza v ostatných rokoch k lepšiemu chápaniu tohto rizika a tiež jeho zapracovaniu do národných legislatív [11].

Povodne vznikajúce v dôsledku stúpnutia hladiny podzemnej vody môžu spôsobiť zaplavenie pivníc a prízemných podlaží budov, záplavy inžinierskych sietí nachádzajúcich sa pod úrovňou terénu (a následné vyliatie splaškovej vody z kanalizácií z dôvodu prenikania podzemnej vody do nich), záplavy ciest, zaplavenie alebo podmáčanie poľnohospodárskej pôdy atď. V porovnaní s riečnymi povodňami, pri ktorých sa povodňová voda rozptýli za niekoľko hodín alebo najavš za pár dní, k zaplaveniu podzemnou vodou môže dôjsť po dobu až mnohých mesiacov. Najdlhšie trvajúce zaplavenie v Anglicku trvalo šesť mesiacov (Orpington) a vo Francúzsku tri roky (Abbeville) [11].

Súčasná veda a technika majú efektívne nástroje na modelovanie vzniku a priebehu povodní, vrátane simulácií možných následkov záplav, ktorými dokážu pre konkrétne oblasti preskúmať účinnosť rôznych opatrení a navrhnuť optimálny spôsob ochrany. V ochrane pred povodňami totiž neexistujú „univerzálne recepty“, ktoré by sa dali bez rozdielu aplikovať vždy a všade, na to je príroda príliš rozmanitá. Preventívne opatrenia, ktoré sú účinné v jednej lokalite, môžu v iných podmienkach pôsobiť opačne a zvýšiť povodňové riziko.

Predkladaná dizertačná práca sa zaoberá problematikou hodnotenia a manažmentu povodňových rizík tak, ako si to vyžaduje Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES o hodnotení a manažmente povodňových rizík [23] z pohľadu povodňového rizika vznikajúceho v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd. Hlavným dôvodom je to, že táto téma je na Slovensku zatiaľ v úzadí.

2. SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

2.1. DEFINÍCIE NIEKTORÝCH POJMOV

Podľa Smernice Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES z 23. októbra 2007 o hodnotení a manažmente povodňových rizík (ďalej povodňová smernica) je „**povodeň**“¹ dočasné zaplavenie územia, ktoré zvyčajne nie je zaliate vodou. Patria sem povodne spôsobené riekami, horskými bystrinami, občasnými vodnými tokmi v oblasti Stredozemného mora a záplavy

¹ Definícia pojmu povodeň podľa povodňovej smernice nezahŕňa povodne vznikajúce v dôsledku stúpnutia hladiny podzemnej vody. V kapitole III Mapy povodňového ohrozenia a mapy povodňového rizika, v článku 6, odstavci 7 však termín zaplavenie podzemnou vodou spomenutý je: „Členské štáty môžu rozhodnúť, že pre oblasti, v ktorých dochádza k zaplavovaniu územia podzemnou vodou, obmedzia prípravu máp povodňového ohrozenia na scenár uvedený v odseku 3 písm. a).“

pobrežných oblastí z mora, a nemusia sem patriť povodne spôsobené kanalizačnými systémami [23]. Povodňová smernica obsahuje definíciu pojmu povodeň, ktorá je výsledkom určitého kompromisu členských štátov Európskej únie na základe skutočnosti, že naprieč Európou sú značne rozdielne prírodné podmienky, príčiny vzniku povodní, ich priebeh a následky [4].

Na Slovensku je podľa zákona č. 7/2010 Z. z. o ochrane pred povodňami v znení neskorších predpisov „**povodeň**“ definovaná ako prírodný jav, pri ktorom voda dočasne zaplaví územie, ktoré zvyčajne nie je zaliate vodou. Povodeň vzniká v dôsledku [27]:

- a) zväčšenia prietoku vody vo vodnom toku,
- b) vzniku prekážky alebo tvorby prekážky vo vodnom toku, na brehu vodného toku alebo na stavbe, objekte alebo na zariadení križujúcom vodný tok, ktorá spôsobila vzdutie vody a jej vyliatie na priľahlé územie,
- c) dlhotrvajúcich zrážok alebo intenzívnych zrážok, topenia sa snehu alebo súčasného výskytu týchto javov,
- d) prítoku vody zo zrážok alebo prítoku vody z topiaceho sa snehu po povrchu z priľahlej oblasti,
- e) stúpnutím hladiny podzemnej vody nad povrch následkom dlhotrvajúceho vysokého vodného stavu v priľahlom vodnom toku alebo následkom dlhotrvajúcich zrážok.

2.2. HODNOTENIE A MANAŽMENT POVODŇOVÝCH RIZÍK

Povodňová smernica ukladá členským štátom Európskej únie vykonávanie činností, ktoré sa budú permanentne prehodnocovať a podľa objektívnych potrieb následne aktualizovať [23]:

1. Na území každého štátu vykonať najneskôr do 22. 12. 2011 **predbežné hodnotenie povodňového rizika** pre každé správne územie povodia alebo správnu jednotku, alebo časť medzinárodného správneho územia povodia, ktorá sa nachádza na ich území, s cieľom určiť oblasti, v ktorých existujú potenciálne významné povodňové riziká alebo možno predpokladať ich pravdepodobný výskyt. Predbežné hodnotenie povodňového rizika sa prehodnotí a v prípade potreby aktualizuje do 22.12.2018 a potom každých 6 rokov.
2. Pre oblasti, v ktorých bola identifikovaná existencia významných povodňových rizík a oblasti, v ktorých možno predpokladať ich pravdepodobný výskyt, najneskôr do 22. 12. 2013 vyhotoviť (a potom do 22.12.2019 a každých 6 rokov ich prehodnotiť a v prípade potreby aktualizovať):
 - a) **mapy povodňového ohrozenia**, ktoré zobrazia rozsah záplav územia povodňami s rôznymi dobami opakovania,
 - b) **mapy povodňového rizika**, ktoré znázornia pravdepodobné následky povodní zobrazených na mapách povodňového ohrozenia na obyvateľstvo, hospodárske aktivity, kultúrne dedičstvo a životné prostredie.
3. Pre oblasti, v ktorých boli identifikované existujúce alebo potenciálne povodňové riziká, na základe vyhodnotenia informácií získaných z predbežného hodnotenia povodňového rizika, máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika stanoviť vhodné ciele manažmentu povodňových rizík a najneskôr do 22. 12. 2015 vypracovať **plány manažmentu povodňových rizík**, ktoré budú obsahovať konkrétne opatrenia na zníženie nepriaznivých dôsledkov povodní zoradené podľa poradia naliehavosti ich realizácie. Plány manažmentu povodňových rizík budú v podstate strategické plány štátov v oblasti ochrany pred povodňami na obdobie nasledujúcich 6 rokov (aktualizácia do 22.12.2021 a potom každých 6 rokov).

Aktualizované predbežné hodnotenie povodňového rizika z roku 2018 identifikovalo:

- a) 178 geografických oblastí, v ktorých sa nachádzajú vodné toky/úseky vodných tokov, v ktorých **existuje** potenciálne významné povodňové riziko, z toho v 34 geografických oblastiach sa nachádzajú aj vodné toky/úseky vodných tokov, v ktorých možno predpokladať, že je pravdepodobný výskyt významného povodňového rizika a
- b) 17 geografických oblastí, v ktorých sa nachádzajú vodné toky/úseky vodných tokov, v ktorých **možno predpokladať**, že je pravdepodobný výskyt významného povodňového rizika.

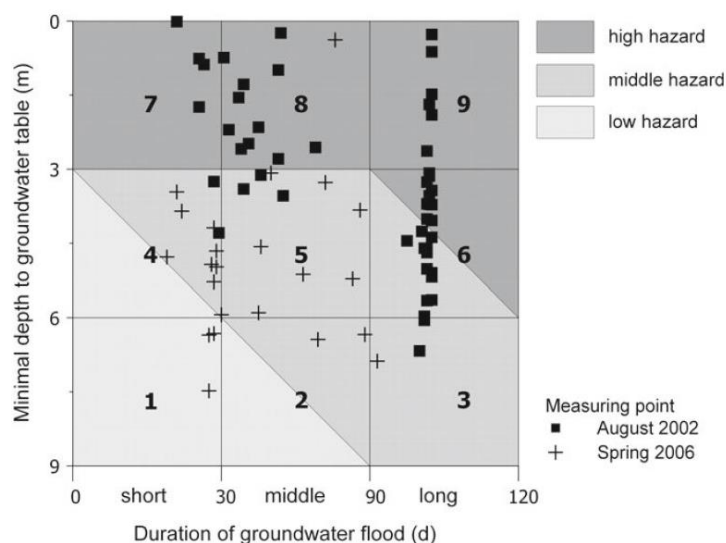
Mapy povodňového ohrozenia a mapy povodňového rizika sú uverejnené na stránke: <http://mpompr.svp.sk/>. Mapy pre konkrétne územie je možné vyhľadať podľa kraja, následne podľa príslušného okresu a podľa kladu na mape.

2.3. SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY NA SLOVENSKU, V ČESKEJ REPUBLIKE A VO SVETE

Príkladom práce zaoberajúcej sa problematikou povodní vznikajúcich v dôsledku stúpnutia hladiny podzemnej vody na Slovensku je práca Kullmana et al. [13]. Práca zhodnocuje územie Žitného ostrova v období povodňovej vlny v roku 2013. Hydraulický súvis povrchových a podzemných vôd v danom území vytváral oprávnené predpoklady možného zatopenia rozsiahlych území v dôsledku výrazného stúpnutia hladín podzemných vôd na alebo až nad úroveň terénu. Spomenuté predpoklady však nakoniec neboli potvrdené.

V Českej republike sa Julínek et al. [12] zaoberali mapovaním nebezpečenstva dvíhania pokryvných vrstiev, ktoré je dôsledkom stúpajúcej hladiny podzemnej vody počas povodní. Prínosom tejto práce je nový pohľad na problematiku negatívnych dopadov záplav podzemnou vodou spočívajúcou v interdisciplinárnom prístupe, ktorý v sebe spája techniky analýzy pomocou geografických informačných systémov (GIS), numerického modelovania prúdenia podzemnej vody (so zohľadnením vzťahu medzi povrchovou a podzemnou vodou) a aplikáciou mechaniky zemín (medzné stavy).

V rokoch 2002 – 2004, ako odpoveď na povodne z roku 2002, bol Nemeckým spolkovým ministerstvom školstva a výskumu financovaný projekt „Vplyv augustových povodňových udalostí v roku 2002 na útvary podzemných vôd v Drážďanoch – riešenia a odporúčania pre ďalšie opatrenia“. Jedným z cieľov projektu bol vývoj modelu prúdenia podzemných vôd v oblasti mesta Drážďany, ktorý by bol schopný mapovať dynamiku podzemnej vody počas povodní. Tento numerický model bol tvorený až 9 zvodnenými vrstvami [20]. Predmetný projekt sa stal základom pre ďalšie dva projekty financované v rokoch 2005 – 2010, ktorých cieľom bolo, okrem iného, vytvoriť tzv. „Schadensmodell“ (model škôd), ktorý je možné využiť na výpočet povodňových škôd v podzemí miest [18], [19]. Druhý projekt chcel lepšie porozumieť tomu, ako spolu interagujú povrchové a podzemné vody a stoky [17], [18]. Z výskumov vyplynulo, že najdôležitejšími parametrami pre posudzovanie záplav podzemnými vodami sú **minimálna hĺbka hladiny podzemnej vody pod terénom a dĺžku trvania zvýšenej hladiny podzemnej vody** nad preddefinovanou úrovňou (napr. nad priemernou hladinou podzemnej vody alebo inou vhodne zvolenou hodnotou hĺbky pod terénom) [19]. Využitím týchto dvoch parametrov je možné zostrojiť maticu potenciálneho povodňového nebezpečenstva vznikajúceho v dôsledku stúpnutia hladiny podzemnej vody (obr. 2.1) [19].



Obr. 2.1 Matica potenciálneho nebezpečenstva (x-ová os predstavuje dĺžku trvania povodne podzemnou vodou, y-ová os minimálnu hĺbku hladiny podzemnej vody) [19]

Britský geologický ústav (British Geological Survey, BGS) ako prvý identifikoval potrebu súboru údajov s názvom „náchylnosť na záplavy podzemnými vodami“ pokrývajúceho Anglicko, Wales a Škótsko. Súbor údajov, ktorý BGS vyvinulo, môže byť použitý na identifikáciu oblastí, v ktorých geologické a hydrogeologické podmienky umožňujú vznik záplav podzemnými vodami a kde podzemná voda môže vystúpiť k povrchu terénu. V roku 2010 bol tento súbor základom máp, ktoré mali pomôcť pri príprave predbežných hodnotení povodňových rizík vznikajúcich v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd. Súbor má tri triedy náchylnosti na záplavy podzemnými vodami [21], [22]:

- obmedzený potenciál pre záplavy podzemnými vodami,
- potenciál záplav podzemnou vodou nehnuteľností nachádzajúcich sa pod úrovňou terénu,
- potenciál záplav podzemnými vodami na povrchu terénu.

Vďaka lepšiemu porozumeniu danej problematiky boli schopný vyvinúť systém včasného varovania v oblasti Brightonu v južnom Anglicku, ktoré je náchylné na záplavy podzemnými vodami [1].

V Anglicku bol 29.júla 2004 predstavený vládny program „Making space for water“ (v preklade vytváranie priestoru pre vodu), ktorým bola stanovená nová stratégia riešenia povodňového rizika a pobrežnej erózie pre nasledujúcich 20 rokov v Anglicku. Tento prístup zohľadňuje všetky typy povodní, vrátane povodní vznikajúcich v dôsledku stúpnutia hladiny podzemnej vody [7]. Rok pred spomínanou vládnu stratégiou poverilo Ministerstvo životného prostredia, výživy a záležitostí vidieka v Anglicku spoločnosť Jacobs vykonaním monitorovacej štúdie, ktorá určí rozsah súčasných poznatkov v oblasti chápania rizika spojeného s povodňami vznikajúcimi v dôsledku vystúpenia hladiny podzemnej vody [11].

V rámci monitorovacej štúdie boli zhotovené na úrovni regiónov dve sady máp – prvá zobrazuje zaznamenané záplavy podzemnými vodami; v druhej sade sú identifikované oblasti ohrozené takýmto typom záplav. Druhá sada máp – mapy oblastí ohrozených výskytom záplav podzemnými vodami – teda identifikuje tie časti Anglicka, kde by sa vo výnimočne vlhkých zimách dalo očakávať, že hladina podzemnej vody bude na alebo blízko terénu [11].

3. CIELE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Najdôležitejšie ciele dizertačnej práce sú:

1. vypracovanie predbežného hodnotenia povodňového rizika v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd **pre celé územie Slovenska** vytvorením mapy, z ktorej bude zrejmá poloha hladiny podzemnej vody vzhľadom k terénu v jednotlivých pozorovacích objektoch hladín podzemných vôd Štátnej hydrologickej siete monitorovania kvantity podzemných vôd Slovenského hydrometeorologického ústavu;
2. predbežné hodnotenie povodňového rizika v dôsledku stúpnutia hladiny podzemnej vody **v konkrétnom útvare podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch**;
3. vytvorenie máp povodňového ohrozenia, ktoré zobrazia rozsah záplav a hĺbku hladiny podzemnej vody pod terénom pre útvary podzemných vôd v kvartérnych sedimentoch, ktorý bol v predchádzajúcom kroku predmetom predbežného hodnotenia povodňového rizika;
4. preskúmanie navrhovaných opatrení, ktorých cieľom je zmierniť nepriaznivé dôsledky povodní.

4. METODIKA PRÁCE A METÓDY SKÚMANIA

Problematika výskumu prúdenia podzemnej vody v povodňových situáciách je riešená numerickým modelom vypracovaným v programe Groundwater Modeling System (GMS) [3], ktorý je založený na MODFLOWe [10]. Tento program bol zakúpený Katedrou hydrotechniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave len nedávno, takže táto dizertačná práca je jednou z prvých, ktorá tento program využíva.

Postup modelovania, popísaný v [2], zahŕňa výber a overenie algoritmu riešenia, samotný návrh modelu, kalibráciu, citlivosťnú analýzu a nakoniec predpoveď. Každý z týchto krokov vytvára a podporuje predpoklad toho, že daný model (vytvorený pre špecifické miesto) je schopný dosiahnuť zmysluplné výsledky, t. j. že je reálny.

MODFLOW numericky rieši trojrozmernú rovnicu prúdenia podzemnej vody v pórovitom prostredí metódou konečných rozdielov. Parciálna diferenciálna rovnica prúdenia podzemnej vody použitá v MODFLOWe má tvar (4.1) [10]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4.1)$$

kde k_{xx} , k_{yy} a k_{zz} sú hodnoty koeficientu filtrácie v smere osí x , y a z [$L \cdot t^{-1}$]

h je piezometrická výška [L]

W je jednotkový objemový tok reprezentujúci zdroje [t^{-1}], [$L^3 \cdot t^{-1} / L^3$]

S_s je špecifická zásobnosť zvodnenej vrstvy [L^{-1}]

t je čas [t]

Rovnica (4.1) v kombinácii s okrajovými a počiatočnými podmienkami opisuje neustálené trojrozmerné prúdenie podzemnej vody v heterogénnom anizotropnom prostredí za predpokladu, že osi anizotropie sú rovnobežné so súradnicovými osami [10]. Odvodenie tejto rovnice vychádza z Darcyho rovnice a z rovnice kontinuity.

5. VÝSLEDKY PRÁCE A DISKUSIA

5.1. PREDBEŽNÉ HODNOTENIE POVODŇOVÉHO RIZIKA V DÔSLEDKU STÚPNUTIA HLADÍN PODZEMNÝCH VÔD

Výsledky predbežného hodnotenia povodňového rizika v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd pre celé územie Slovenska sú uvedené v tab. 5.1 a na obr. 5.1.

Tab. 5.1 Počet území sond² podľa polohy hladiny podzemnej vody vzhľadom k terénu

Hladina podzemnej vody:	Početnosť
• nad terénom	223
• v hĺbke do 0,8 m p.t. ³	341
• v hĺbke do 2,0 m p.t.	256
• v hĺbke do 3,0 m p.t.	109
• vo väčšej hĺbke ako 3,0 m p.t.	194

Z uvedeného hodnotenia vyplýva, že:

- v 223 sondách a v ich priľahlom okolí **existuje** potenciálne významné povodňové riziko spojené so záplavami podzemnými vodami,
- v 341 miestach **možno predpokladať** negatívne javy spôsobené stúpnutím hladiny podzemnej vody. Jedná sa o priľahlé okolie sond, v ktorom môže dôjsť k vystúpeniu hladiny podzemnej vody do takej výšky, že je možné predpokladať podmáčanie daného územia a tiež negatívny vplyv podzemnej vody na základy stavieb. Toto číslo môže byť vyššie, ak zoberieme do úvahy aj väčšie hĺbky v prípadoch zakladania podpivničených objektov alebo objektov s podzemnými podlažiami (napr. 2,0 a 3,0 m a pod.).

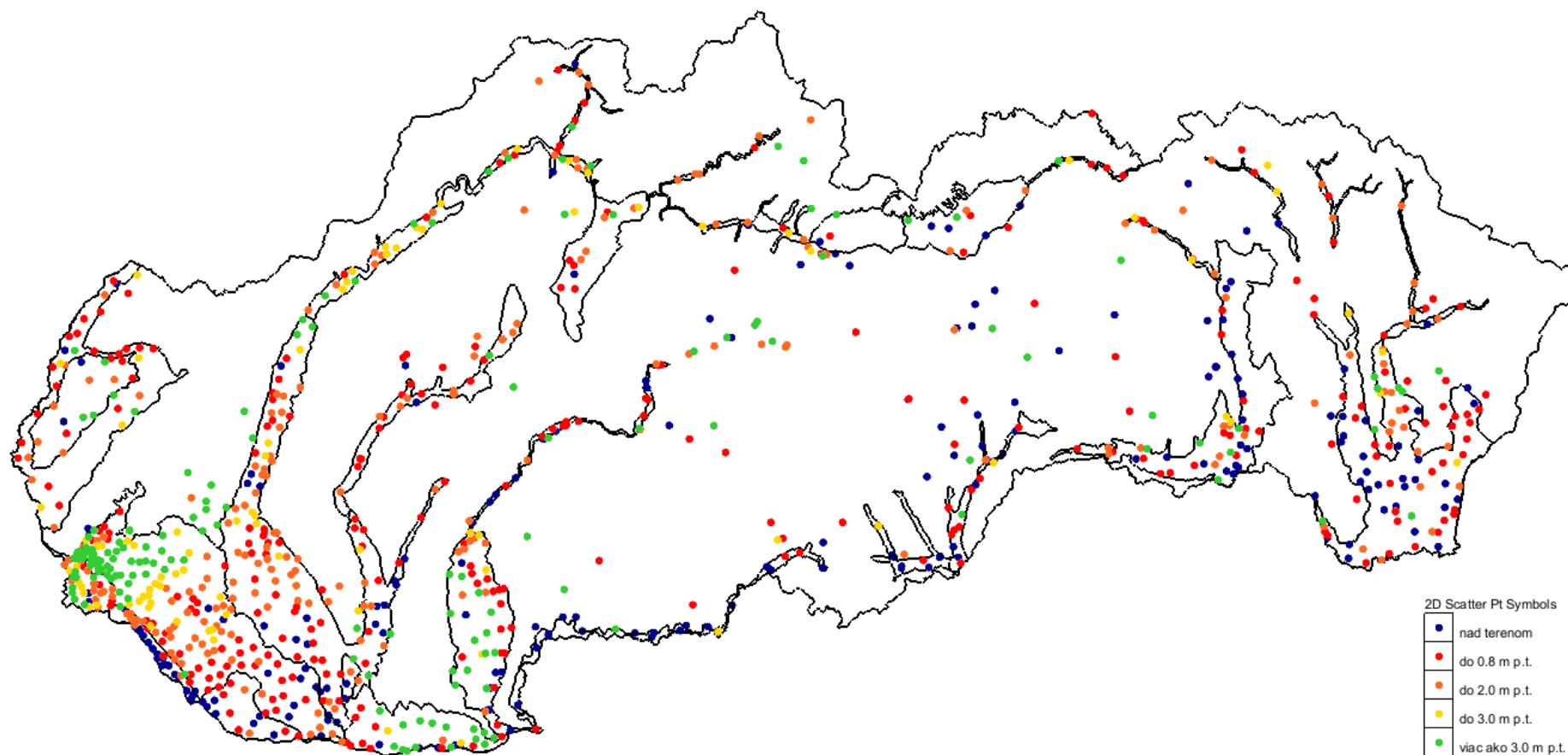
5.1.1. PREDBEŽNÉ HODNOTENIE POVODŇOVÉHO RIZIKA V DÔSLEDKU STÚPNUTIA HLADÍN PODZEMNÝCH VÔD NA DOLNOM ŽITNOM OSTROVE

Nasledujúca časť práce sa zaoberá územím dolného Žitného ostrova, pre ktoré okrem hodnotenia povodňového rizika boli zostrojené mapy povodňového ohrozenia a preskúmaný bol vplyv navrhovaných opatrení, ktorých cieľom je zmierniť nepriaznivé dôsledky povodní vznikajúcich stúpnutím hladiny podzemnej vody alebo negatívnych javov spojených s vystúpeniami hladinami podzemných vôd.

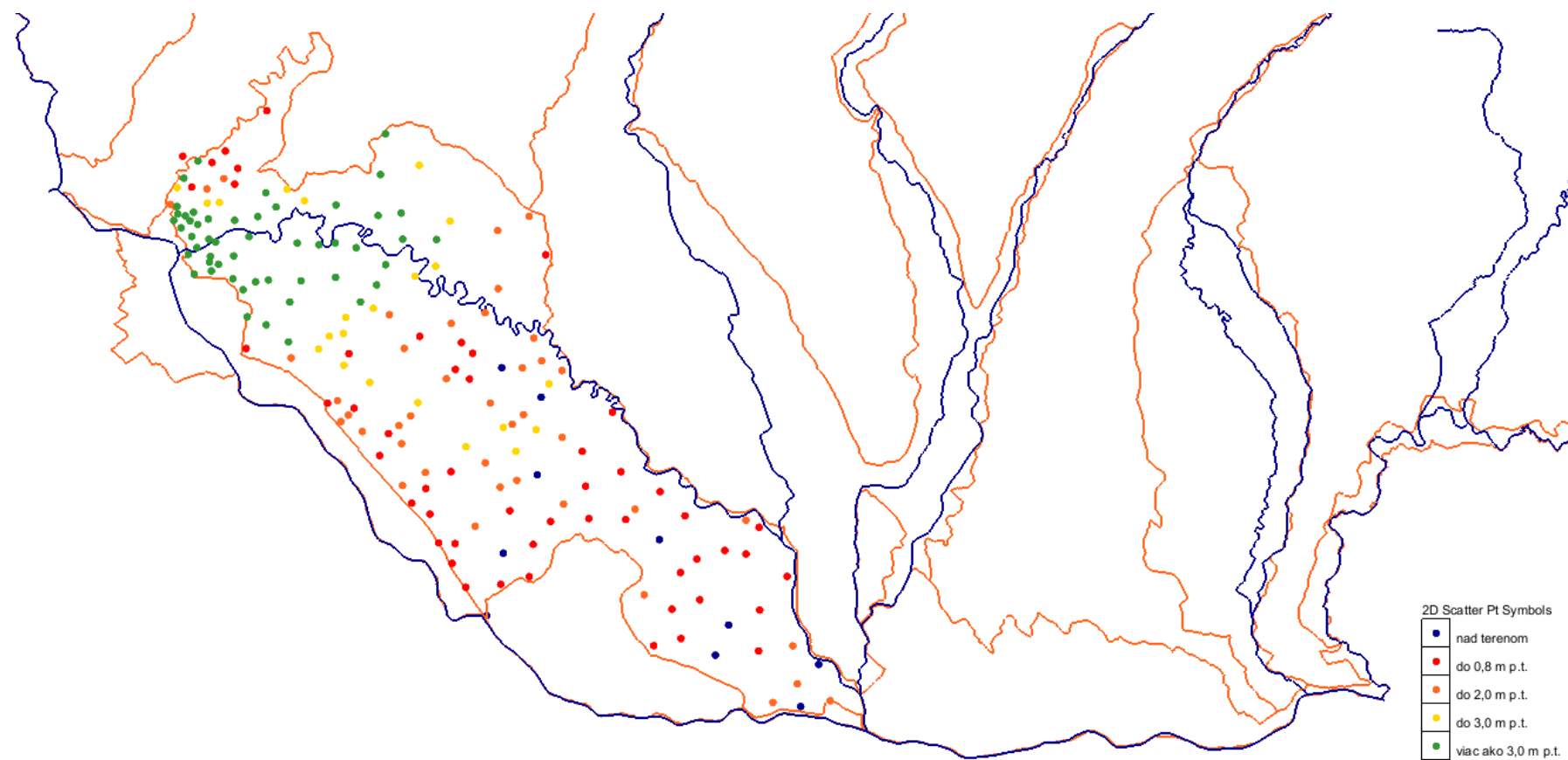
Výsledky hodnotenia sú uvedené na obr. 5.2. Z analýzy údajov navyše vyplynulo, že najväčšie zastúpenie, čo sa týka maximálnych hladín podzemných vôd, mal rok 2010. Preto sa numerické modelovanie zameralo práve na tento rok ako na jeden z možných nepriaznivých scenárov.

² pozorovacích objektov hladín podzemných vôd Štátnej hydrologickej siete monitorovania kvantity podzemných vôd Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ)

³ Hodnota 0,8 m p.t. predstavuje priemernú hĺbku premrzania na území Slovenska [25]. Ide teda o hĺbku, v ktorej sa nachádzajú základy nepodpivničených stavieb.



Obr. 5.1 Mapa rozmiestnenia sond SHMÚ s vyznačením polohy hladiny podzemnej vody vzhľadom k terénu – mapa oblastí, v ktorých existuje potenciálne významné povodňové riziko alebo možno predpokladať pravdepodobný výskyt významného povodňového rizika



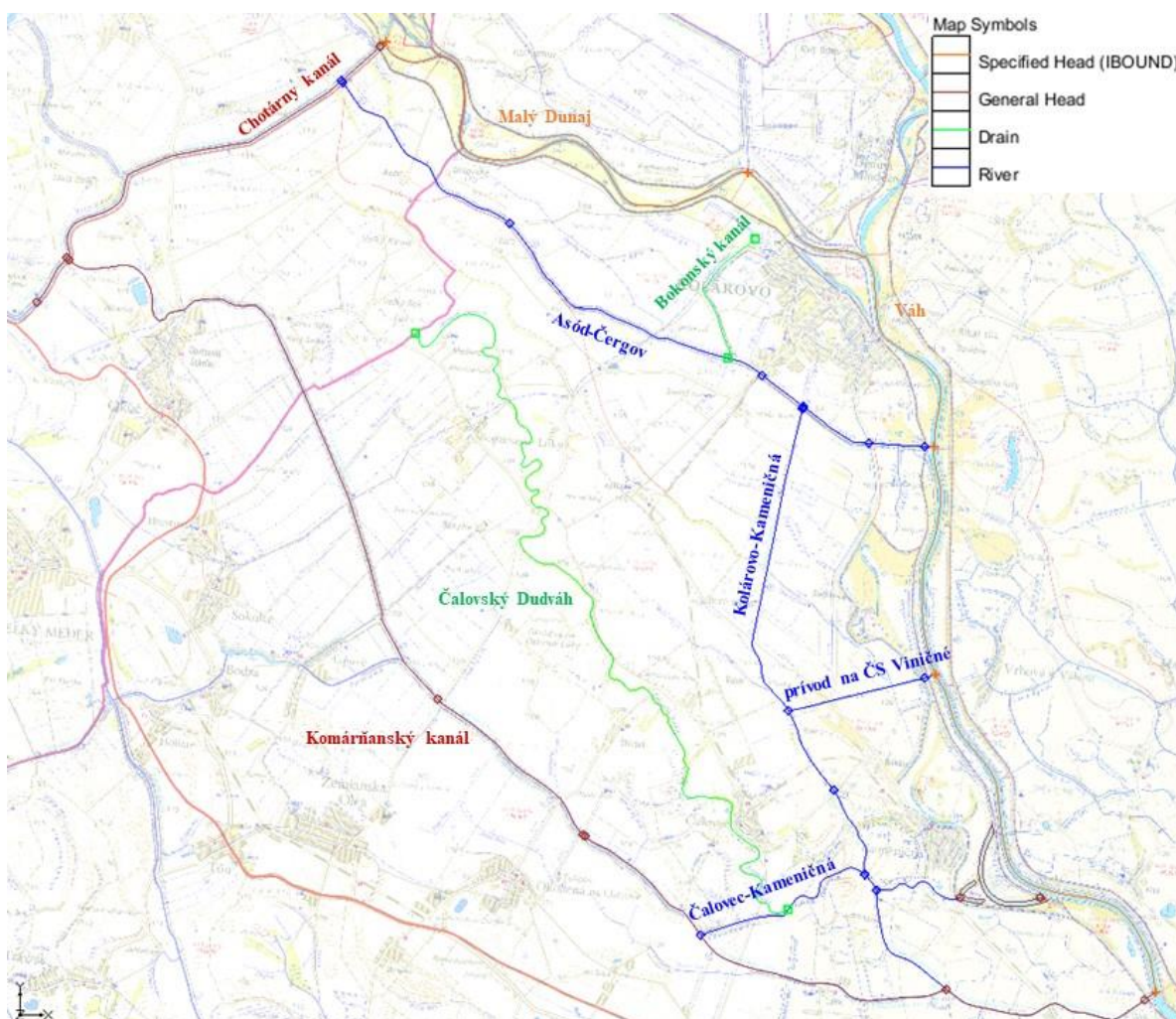
Obr. 5.2 Maximálne namerané hladiny podzemnej vody v útvare medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Podunajskej panvy oblasti povodia Váh (SK1000300P) do roku 2018 a ich poloha vzhľadom k terénu

5.2. TVORBA NUMERICKÉHO MODELU NEUSTÁLENÉHO STAVU

Model neustáleného stavu simulujúci povodňe z roku 2010 vychádza z relatívne ustáleného stavu v období od 11. novembra 2009 do 31. marca 2010. Tento (relatívne) ustálený stav tvoril začiatočnú podmienku pre tvorbu numerického modelu neustáleného stavu. Neustálený model simuluje obdobie od 1. apríla 2010 do 30. júna 2010 s denným krokom a od 1. júla 2010 do 2. februára 2011 s týždňovým krokom, kde výška hladiny v konkrétnom týždni bola určená ako stredná hodnota denných meraní hladín v danom týždni.

5.2.1. POPIS SKÚMANÉHO ÚZEMIA

Skúmaná oblasť je časťou dolného Žitného ostrova, ohraničená zo severu Chotárňaným kanálom, zo západu a juhozápadu Komárňanským kanálom, z východu Váhom a zo severovýchodu Malým Dunajom (obr. 5.3). Nachádza sa v nízinej oblasti, ktorá je chránená hrádzami proti priamym záplavám, s pomerne malými hĺbkami hladiny podzemnej vody pod terénom. Z dôvodu periodického prebytku vlhky bola v danom území vybudovaná sieť kanálov na úpravu režimu vnútorných a podzemných vôd. Ide o územie veľmi priaznivé pre vysokoproduktívnu poľnohospodársku výrobu [8].



Obr. 5.3 Rieky a najvýznamnejšie kanály v skúmanej lokalite

Skúmané územie je časťou Útvoru medzizrnových podzemných vôd kvartérnych náplavov Podunajskej panvy oblasti povodia Váh (SK1000300P) s medzizrnovou priepustnosťou (00P) [24]. Z dôvodu obmedzenia rozsahu poskytnutých dát Slovenským hydrometeorologickým ústavom nemohol byť skúmaný celý útvar.

Študované územie patrí do povodia Váhu a Malého Dunaja. Najvýznamnejším tokom ohraničujúcim záujmovú oblasť je rieka Váh. Územie dolného Žitného ostrova je na severe v dĺžke približne 15,0 km ohraničené Malým Dunajom. Prietoky v Malom Dunaji sú ovládané vtokovým objektom. Malý Dunaj pôvodne ústil do Váhu pri Kolárove v rkm 24,700. V súvislosti s výstavbou sústavy vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros bola vybudovaná preložka jeho výustnej trate v úseku po cestný most Kolárovo – Komoča. Malý Dunaj je v záujmovej lokalite na celej dĺžke obojstranne ohrádzovaný [26].

V minulosti Malý Dunaj nestačil odvádzať všetky podzemné vody a tak vytekali na povrch terénu a v juhovýchodnej časti Žitného ostrova vytvárali rozsiahle plochy s prebytkom vody. Preto tu bol vybudovaný systém odvodňovacích kanálov a prečerpávacích staníc, ktorých úlohou je odvádzať prebytočné podzemné vody do Váhu a Malého Dunaja [14].

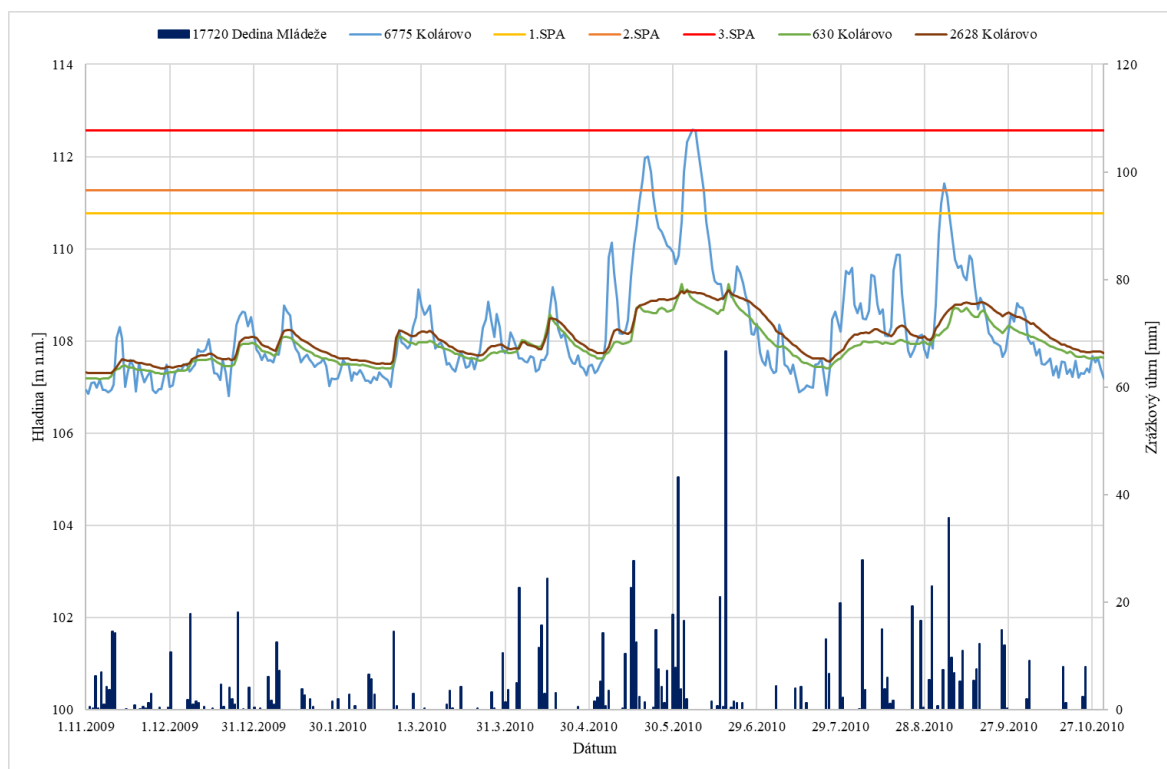
Skúmané územie je popretkávané zavlažovacími, odvodňovacími a zbernými kanálmi, ktorými sa reguluje vodný režim v tejto oblasti. Hydrologický režim kanálov je určený manipuláciou na nich. Z množstva kanálov sú najvýznamnejšie: Chotárny kanál, kanál Asód-Čergov (skratka AČ), Komárňanský kanál a kanál Kolárovo-Kameničná (starý názov Kolárovo-Kameničná-Tomášov dvor, skratka KKT). V záujmovej lokalite sa nachádzajú štyri čerpacie stanice (ČS): ČS Aszód, ČS Čergov, ČS Viničné a ČS Nová Osada. Základným pravidlom manipulácie na týchto čerpacích staniciach je: *Keď sa u vyššie ležiacej čerpaciej stanice dosiahne hladina, pri ktorej sa má uzavrieť voľný výtok, musí sa voda manipuláciou so stavidlom usmerniť na nižšie ležiacu čerpaciu stanicu, ktorá voľný výtok ešte má.*

5.2.2. POVODŇ Z ROKU 2010

Hydrologická situácia na dolnom Váhu bola výrazne ovplyvnená manipuláciami na vodných dielach Vážskej kaskády. V druhej polovici mája (obr. 5.4) boli zaznamenané výrazné vzostupy hladín z dotekania zo stredného a horného úseku Váhu, pričom hladina v Kolárove dosiahla úroveň 2. stupňa povodňovej aktivity (SPA) (tab. 5.2). Ďalšia povodňová epizóda na dolnom Váhu bola od 2. do 7. júna (obr. 5.4), počas ktorej sa dolný úsek od Kolárova výraznejšie odlišoval od úseku nad ním, a to vzhľadom na vysoký prítok z rieky Nitry a z Malého Dunaja. Kulminácia v Kolárove prebiehala v noci zo 6. na 7. júna na úrovni zodpovedajúcej 3. SPA (tab. 5.2). Navyše boli hladiny ovplyvnené vysokým stavom v Dunaji. V Komárne boli dosiahnuté až takmer 50-ročné prietoky, čo prispelo k zvýšeniu hladín v dolnej časti Váhu. Váh v Kolárove a Dunaj v Komárne kulminovali približne v rovnakom čase (tab. 5.2) [5].

Tab. 5.2 Kulminácie hladiny vo Váhu vo vodomernej stanici Kolárovo a v Dunaji vo vodomernej stanici Komárno [5]

Dátum	Hodina	H _{kulm} [cm]	Q _{kulm} [m ³ .s ⁻¹]	N-ročný Q	SPA
Stanica – tok: Kolárovo – Váh					
21.5.2010	0:00 – 4:45	720	-		2.
6.-7.6.2010	19:00 – 3:00	779	-		3.
Stanica – tok: Komárno – Dunaj					
7.6.2010	6:00	808	8368	20 – 50	3.



Obr. 5.4 Priebeh hladín vo vodomernej stanici 6775 Kolárovo (s vyznačením SPA) a priebeh hladiny podzemnej vody v sondách č. 630 a 2628 v Kolárove; denný úhrn zrážok v zrážkomernej stanici 17720 Dedina Mládeže – hydrologický rok 2010 [16]

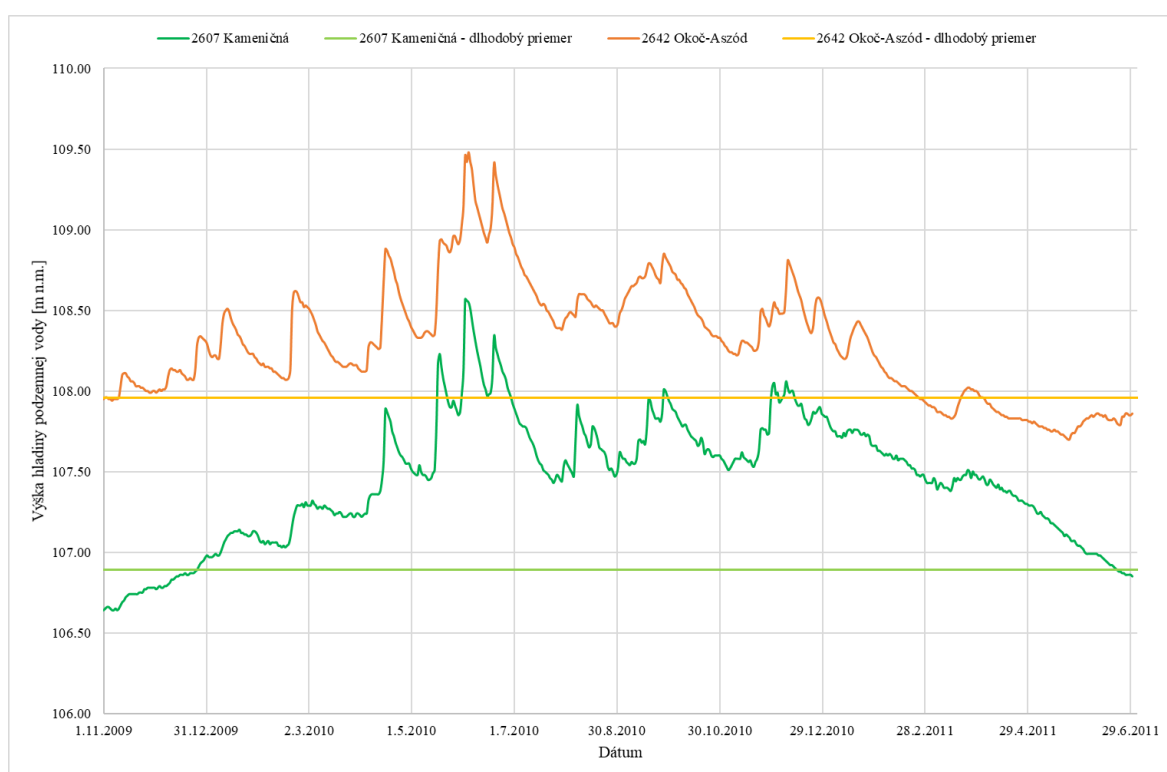
V oblasti dolného Žitného ostrova bol od začiatku hydrologického roka 2010 zaznamenaný postupný vzostup hladiny podzemnej vody s maximálnym stavom začiatkom júna (obr. 5.4). Od konca júna nasleduje pokles hladiny, s kolísavými nárastmi v auguste a v septembri [15]. Dôvodom boli jednak mimoriadne vysoké zrážkové úhrny zaznamenané v máji a v júni, a tiež vysoké prítoky z Nitry a Malého Dunaja a vysoké vodné stavy na Dunaji (obr. 5.4). Z tab. 5.3. je vidieť, že v niektorých sondách došlo v roku 2010 k prekročeniu maximálnych nameraných hladín, zatiaľ čo v ostatných sa namerané výšky hladiny približovali maximálnym hladinám nameraným za celé obdobie merania.

Tab. 5.3 Maximálne hladiny podzemnej vody namerané do roku 2010 a v roku 2010 (červenou sú zvýraznené tie extrémnejšie hodnoty)

Katalóg. číslo	Lokalita	H _{max} do r. 2010 [m n.m.]	Dátum	H _{max} v r. 2010 [m n.m.]	Dátum
606	HADOVCE	108.80	26.5.1965	108.60	6.6.2010
610	OKOLICNA N.O.-STUROVA	108.68	9.6.1965	108.54	2.6.2010
615	KOLAROVO-BODZ.SAMOTY	108.70	4.4.1996	108.54	19.6.2010
616	BODZA-LUKY	109.12	11.8.1965	109.04	2.6.2010
617	ZEMIANSKA OLCA	108.63	23.6.1965	108.60	2.6.2010
623	OKOC-GOLYAS	110.78	30.6.1965	109.19	2.6.2010
624	OKOC-DROPOVE	110.75	7.7.1965	110.15	2.6.2010
630	KOLAROVO	109.76	30.6.1965	109.23	2.6.2010
2607	KAMENICNA	108.89	11.7.1999	108.57	2.6.2010
2611	KOLAROVO	108.09	11.7.1999	108.07	2.6.2010

Pokračovanie tab. 5.3.

2614	KOLAROVO-KRALKA	108.46	28.2.2009	108.79	4.6.2010
2627	OKOC-PUTNICA	110.24	12.7.1999	110.17	4.6.2010
2628	KOLAROVO	108.90	5.4.2006	109.10	19.6.2010
2637	SOKOLCE-MADERETSKY MAJER	108.67	3.1.2006	108.78	2.6.2010
2638	KOLAROVO-CASTA	107.97	1.3.2009	108.76	2.6.2010
2639	CALOVEC	108.09	3.1.2006	108.36	2.6.2010
2642	OKOC-ASZOD	109.02	11.7.1999	109.48	4.6.2010
7370	KOLAROVO-SLADKY MAJER	108.80	2.6.1965	108.67	2.6.2010
7377	KOLAROVO-CERGOV	108.84	23.6.1965	108.80	5.6.2010



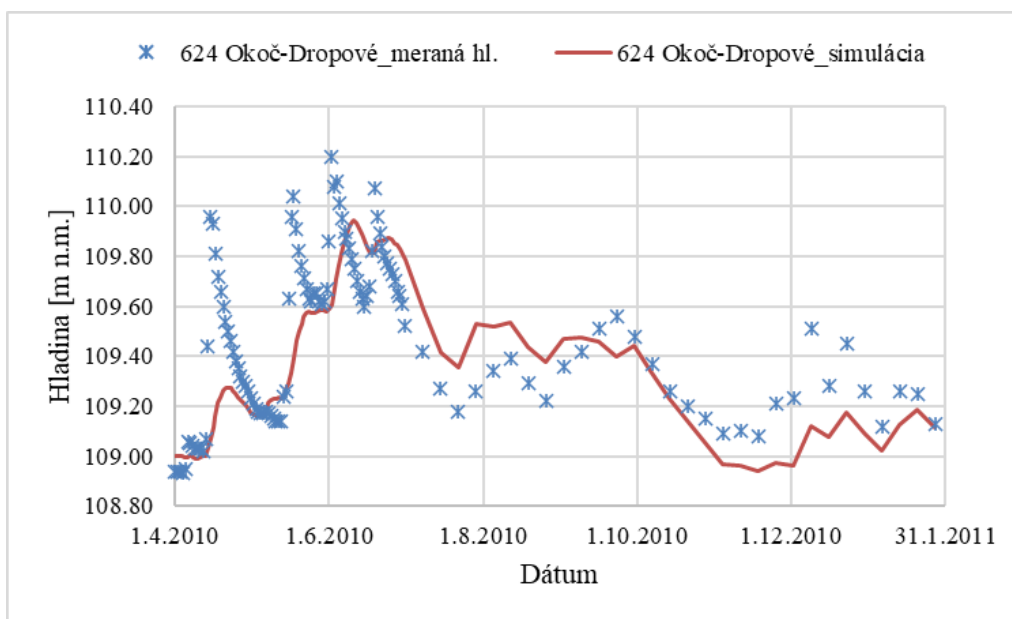
Obr. 5.5. Priebeh zvýšenej hladiny podzemnej vody oproti dlhodobému priemeru v sondách v 2607 Kameničná a 2642 Okeč-Aszód [16]

5.2.3. VÝSLEDKY NUMERICKÉHO MODELU NEUSTÁLENÉHO STAVU – MAPY POVODŇOVÉHO OHROZENIA

Pre oblasti, v ktorých je potenciálna možnosť zaplavenia územia podzemnou vodou, sa mapa povodňového ohrozenia vyhotovuje len pre povodeň s nízkou pravdepodobnosťou výskytu. Pre účely vypracovania dizertačnej práce bola za takúto povodeň zvolená povodeň z roku 2010, ktorá bola popísaná v predchádzajúcej kapitole.

Vizualizácia výsledkov neustáleného numerického modelu v priestore a čase bez použitia animačných prostriedkov je značne náročná a z hľadiska rozsahu práce nemožná. Na prezentáciu výsledkov boli vybraté dva spôsoby zobrazenia výsledkov.

Prvým spôsobom je **prezentácia výsledkov v čase**, a to vo forme priebehov nameraných a vypočítaných hladín podzemnej vody v kontrolných bodoch, čiže sondách (príklad je na obr. 5.6). Druhým spôsobom je **prezentácia výsledkov v priestore** pre vybrané dni, konkrétne pre 7. jún 2010, kedy došlo ku kulminácii druhej povodňovej vlny na Váhu v Kolárove a zároveň aj ku kulminácii Dunaja v Komárne (tab. 5.2) Obr. 5.7 zachytáva priebeh vypočítaných piezometrických výšok a obr. 5.8 znázorňuje hĺbky vypočítanej hladiny podzemnej vody pod terénom.



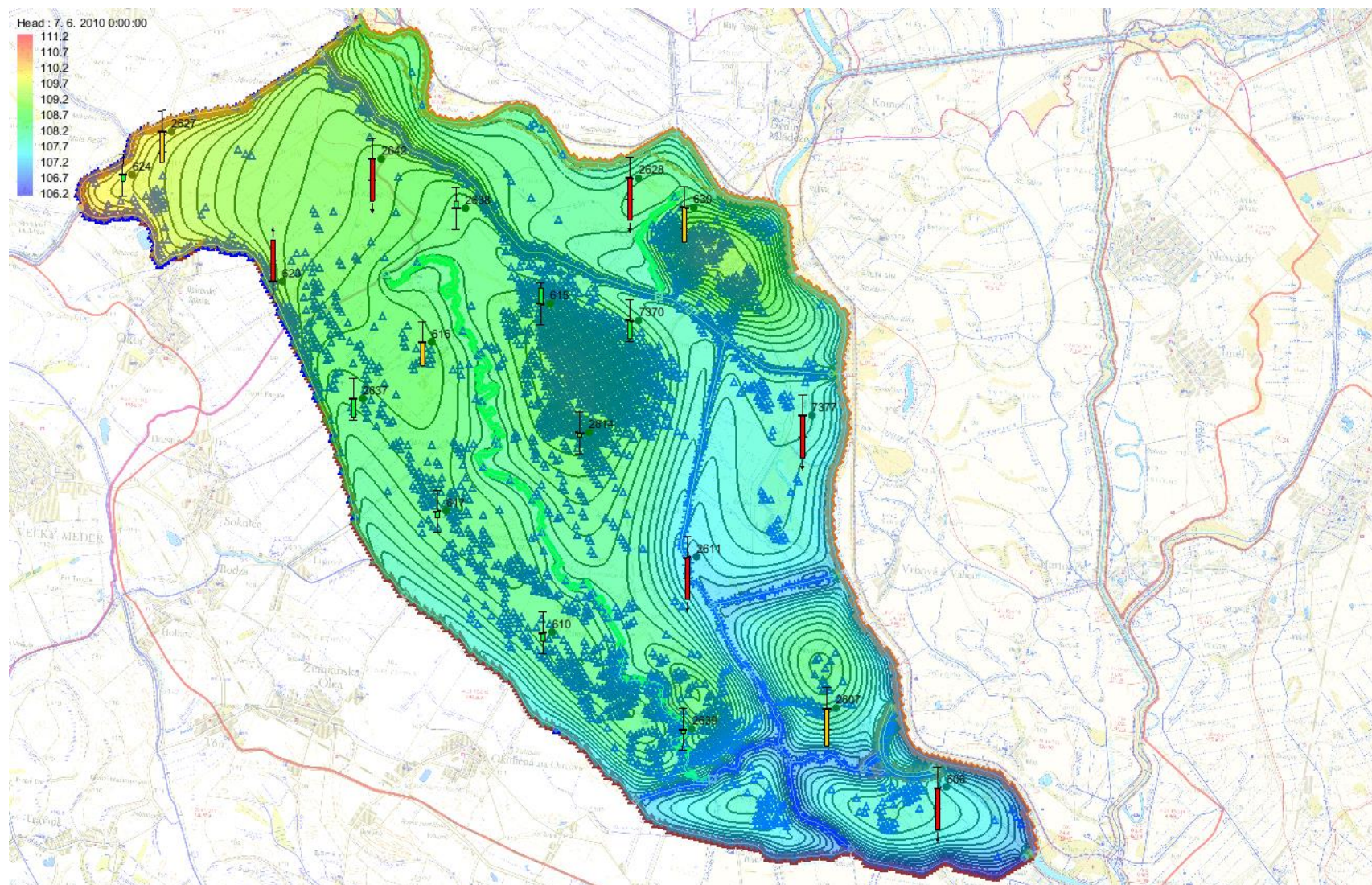
Obr. 5.6 Priebeh nameraných a vypočítaných hladín v sonde 624 Očko-Dropové

5.3. PROGNOZA ZA PREDPOKLADU REALIZÁCIE PODZEMNÝCH TESNIACICH STIEN V ÚSEKU KOLÁROVO - ASZÓD

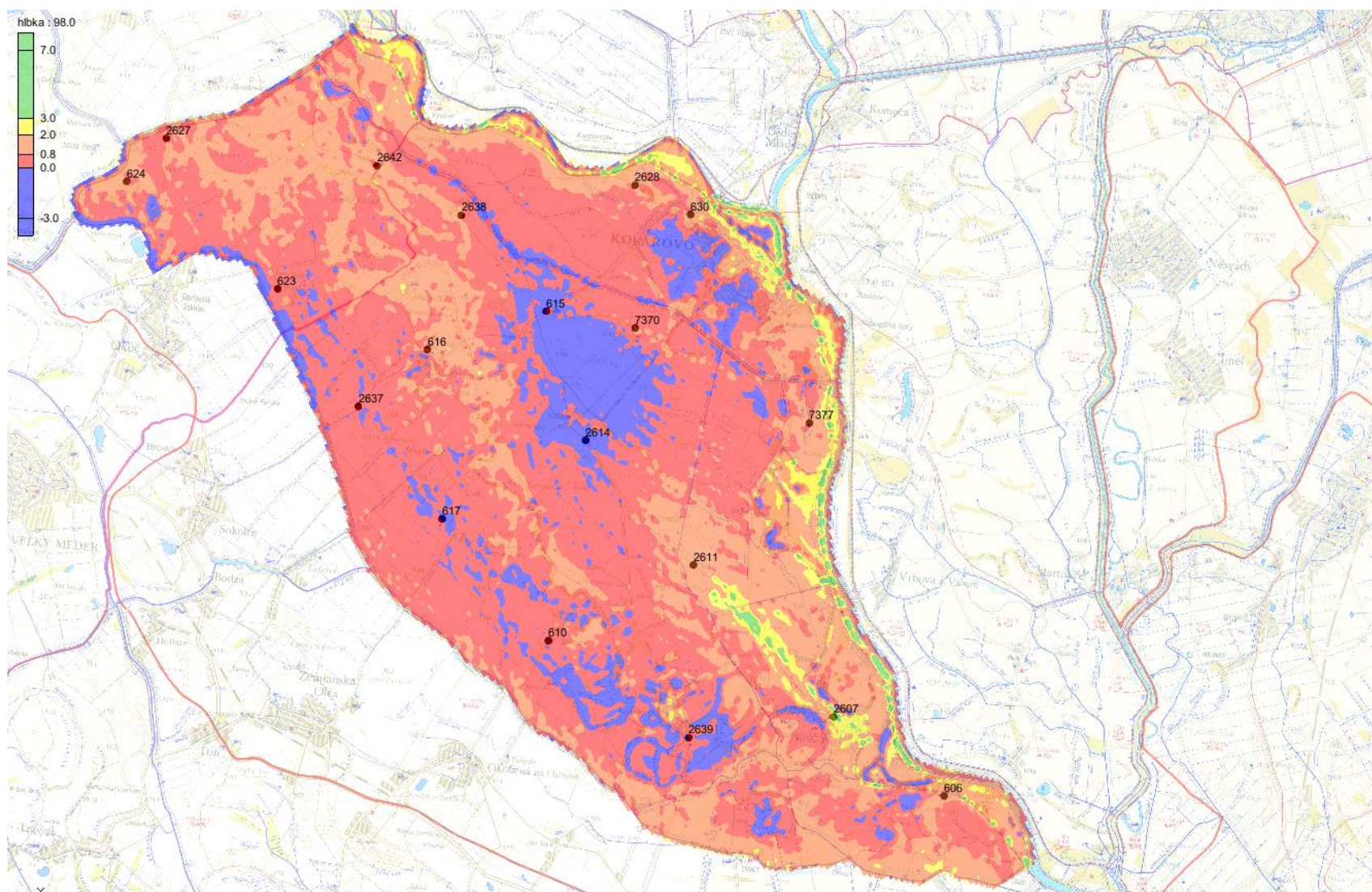
V rámci prognózy bol skúmaný vplyv zavesenej podzemnej tesniacej steny (PTS) na prúdenie a režim podzemných vôd. Podzemné tesniacie steny boli navrhnuté ako optimálne riešenie eliminácie priesakov v telese hrádze a zabezpečenia filtračnej stability podložia existujúcej ochrannej hrádze Malého Dunaja v rámci projektu „Zvýšenie bezpečnosti územia proti spätnému vzdutiu Malého Dunaja a Klátovského ramena z Váhu, úsek Kolárovo – Aszód“. Podzemná tesniaca stena má siahať do hĺbky 15,0 m od koruny hrádzí a má byť vyhotovená technológiou prúdovej (tryskovej) injektáže [6], [9].

Posledný modelovaný scenár teda predstavuje situáciu, kedy po vybudovaní zavesených podzemných tesniacich stien v úseku Kolárovo – Aszód by sa zopakovala hydrologická a meteorologická situácia z roku 2010, ktorá je z hľadiska vplyvu na hladiny podzemnej vody v posledných desaťročiach jednou z tých najextrémnejších.

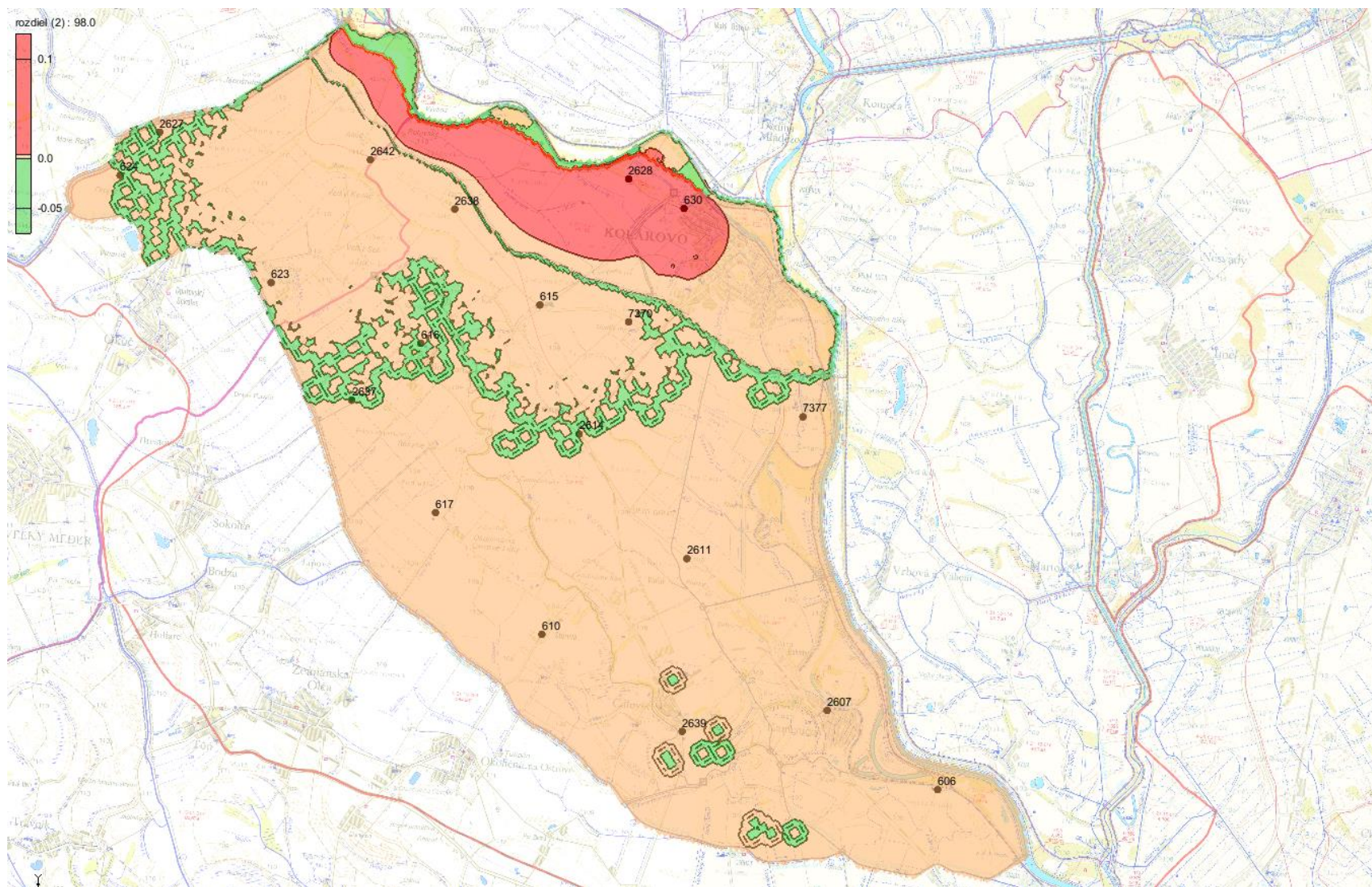
Výsledky simulácie ukázali, že vybudovaním podzemnej tesniacej steny v úseku Kolárovo – Aszód nedôjde k výraznejším zmenám z hľadiska smeru prúdenia a ani z hľadiska režimu podzemných vôd. Podzemná tesniaca stena má jednoznačne slúžiť len na zabezpečenie filtračnej stability podložia ochranných hrádzí. Navrhované úpravy môžu mierne zdvihnúť hladinu podzemnej vody v čase povodne tak, ako je to znázornené na obr. 5.9. Ide však o zanedbateľné rozdiely max. do 0,1 m v okolí tejto steny. V ostatnom území by mala hladina podzemnej vody zostať na svojej predchádzajúcej úrovni.



Obr. 5.7 Mapa vypočítaných piezometrických výšok podzemnej vody pre 7. jún 2010 [m n.m.] (Δ – zaplavené územie)



Obr. 5.8 Mapa zobrazujúca hĺbku hladiny podzemnej vody pod terénom [m p. t.] – situácia zo dňa 7.6.2010



Obr. 5.9 Rozdiel vypočítaných hladín podzemnej vody po vybudovaní PTS oproti situácii bez nich – stav zo dňa 7.6.2010

6. ZÁVER

Dizertačná práca sa zaoberala prúdením podzemnej vody v extrémnych hydrologických situáciách, konkrétne počas povodňových situácií. Nakoľko zadanie záverečnej práce bolo obsiahle, práca sa zamerala najmä na hodnotenie a manažment povodňových rizík tak, ako si to vyžaduje Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES o hodnotení a manažmente povodňových rizík [23] z pohľadu povodňového rizika vznikajúceho v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd.

V rámci predbežného hodnotenia povodňového rizika vznikajúceho dôsledkom stúpnutia hladín podzemných vôd bola pre celé územie Slovenska vytvorená mapa oblastí, v ktorých existuje potenciálne významné povodňové riziko alebo možno predpokladať pravdepodobný výskyt významného povodňového rizika (obr. 5.1). Z tejto mapy je zrejmá hĺbka hladiny podzemnej vody pod terénom v jednotlivých sondách. Z hodnotenia tiež vyplynulo, že v 223 pozorovacích objektoch (sondách) hladín podzemných vôd Štátnej hydrologickej siete monitorovania kvantity podzemných vôd Slovenského hydrometeorologického ústavu a v ich príslahlom okolí **existuje** potenciálne významné povodňové riziko spojené so záplavami podzemnými vodami. Najmenej v 341 sondách a ich príslahlom okolí **možno predpokladať** negatívne javy spôsobené stúpnutím hladiny podzemnej vody (hladina podzemnej vody sa nachádza v hĺbke menšej ako 0,8 m).

Na základe predbežného hodnotenia povodňového rizika v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd na Žitnom ostrove (obr. 5.2) bola vybratá časť dolného Žitného ostrova medzi Komárňanským kanálom, Malým Dunajom a Váhom, pre ktorú bola metódou numerického modelovania (t. j. numerickým modelom neustáleného stavu prúdenia podzemných vôd) vytvorená mapa povodňového ohrozenia zachytávajúca rozsah záplav (obr. 5.7) a hĺbku hladiny podzemnej vody pod terénom (obr. 5.8).

7. VYMEDZENIE PRÍNOSU PRÁCE

Problematika povodní vznikajúcich v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd a s tým spojeným povodňovým rizikom je na Slovensku zatiaľ v úzadí a doposiaľ nebola komplexne riešená. Dizertačná práca, ktorú som vypracovala, je teda prvou prácou na Slovensku, ktorá sa zaoberá hodnotením a manažmentom povodňových rizík z pohľadu povodňového rizika vznikajúceho v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd.

Dizertačná práca zároveň potvrdila, že simulácia prúdenia podzemnej vody je vhodným nástrojom pre tvorbu máp povodňového ohrozenia a následnú tvorbu máp povodňového rizika vznikajúceho v dôsledku stúpnutia hladín podzemných vôd.

Predkladaná práca je jednou z prvých na Katedre hydrotechniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave, ktoré na simuláciu procesov prúdenia podzemných vôd využívajú novo-zakúpený program Groudwater Modeling System (GMS) [3].

8. VYBRANÝ ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

[1] ADAMS, B. - BLOOMFIELD, J.P. - GALLAGHER, A.J. - JACKSON, C.R. - RUTTER, H.K. - WILLIAMS, A.T. An early warning system for groundwater flooding in the Chalk. In *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* . 2010. Vol. 43, no. 2, s. 185–193. .

[2] ANDERSON, M. - WOESSNER, W. *Applied Groundwater Modelling. Simulation of Flow and Advective Transport* . California: Academic press, 1992. 381 s.

- [3] AQUAVEO, L. GMS - Groundwater Modeling System. In [online]. 2019. [cit. 2019-11-12]. Dostupné na internete: <<https://www.aquaveo.com/software/gms-groundwater-modeling-system-introduction>>.
- [4] BAČÍK, M. - RYŠAVÁ, Z. Ochrana pred povodňami z pohľadu legislatívy. In *Manažment povodí a povodňových rizík 2011*. Bratislava, 2011. .
- [5] BLAHOVÁ, A. - MATOKOVÁ, K. - SMRTNÍK, P. - HAZLINGER, M. - MASÁR, T. - BÍROVÁ, M. - PARDITKA, P. - PECHO, J. - LEŠKOVÁ, D. - POÓROVÁ, J. - JAROŠOVÁ, M. - KOZUB, J. - ŠKODA, P. - MRAČKA, P. - WENDLOVÁ, V. *Povodňová situácia na tokoch západného Slovenska v máji a júni 2010*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav. Centrum predpovedí a výstrah. Odbor Hydrologické predpovede a výstrahy, 2010. 96 s.
- [6] BLUSKA, P. *Protokol o vykonaní štátnej expertízy č. 4/2017 na stavebný zámer verejnej práce. Zvýšenie bezpečnosti územia proti spätnému vzdutiu Malého Dunaja a Klátovského ramena z Váhu, úsek Kolárovo - Aszód*. Bratislava: Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky, 2017. 10 s.
- [7] DEFRA *Making space for water. Taking forward a new Government strategy for flood and coastal erosion risk management in England. First Government response to the autumn 2004. Making space for water consultation exercise*. London, 2005. 45 s.
- [8] DUBA, D. *Hydrológia podzemných vôd*. Prvé.vyd. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied v Bratislave, 1968. 352 s.
- [9] GARAJOVÁ, L. *Stanovisko k novému infraštruktúrnemu projektu "Zvýšenie bezpečnosti územia proti spätnému vzdutiu Malého Dunaja a Klátovského ramena z Váhu, úsek Kolárovo – Aszód"*. Bratislava: Výskumný ústav vodného hospodárstva, 2018. 7 s.
- [10] HARBAUGH, A.W. - BANTA, E.R. - HILL, M.C. - G., M.M. *MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model - User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2000. 130 s.
- [11] JACOBS *Strategy for Flood and Coastal Erosion Risk Management: Groundwater Flooding Scoping Study (LDS 23). Final Report*. 2004. 145 s.
- [12] JULÍNEK, T. - DUCHAN, D. - ŘÍHA, J. Mapping of uplift hazard due to rising groundwater level during floods. In *Journal of Flood Risk Management*. 2020. no. special issue, s. 1–13. .
- [13] KULLMAN, E. - GAVURNÍK, J. - BODÁČZ, B. - PALUŠOVÁ, Z. Historická povodeň v roku 2013 na Dunaji a jej dôsledok na hladiny podzemných vôd. In *Manažment povodí a povodňových rizík 2013. 11.-13. december 2013*. Bratislava: Výskumný ústav vodného hospodárstva, 2013. .
- [14] PORUBSKÝ, A. *Smerný vodohospodársky plán Slovenskej socialistickej republiky. VII. Povodie Dunaja. Mapa č. 5. Vodohospodársko-hydrogeologická mapa 1 : 200 000. Textové vysvetlivky*. Bratislava: Geografický ústav SAV, 1976. 150 s.
- [15] SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV Hodnotenie hydrologického roka 2010. In [online]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Monitoring_PV_PzV/Monitoring_kvantita_PzV/KnPzV_2010/KnPzV_2010_hodnotenie.pdf>.
- [16] SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV *Údaje poskytnuté od SHMÚ za účelom vypracovania záverečnej práce*. .
- [17] SOMMER, T. *Entwicklung eines 3-Zonen-Modells für das Grundwasser- und Infrastrukturmanagement nach extremen Hochwasserereignissen in urbanen Räumen („3ZM-GRIMEX“). Abschlussbericht*. Dresden, Germany: Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., 2008. 191 s.

- [18] SOMMER, T. *Entwicklung multisequenzieller Vorsorgestrategien für grundhochwassergefährdete urbane Lebensräume („MULTISURE“). Abschlussbericht.* . Dresden, Germany: Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., 2010. 185 s.
- [19] SOMMER, T. Groundwater - The Subterranean Part of Flood Risk. In SCHUMANN, A.H.Ed. *Flood Risk Assessment and Management. How to Specify Hydrological Loads, Their Consequences and Uncertainties* . Dresden, Germany: Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2011. s. 279. ISBN 978-90-481-9916-7.
- [20] ULLRICH, K. - SOMMER, T. *Auswirkungen des Hochwassers 2002 auf das Grundwasser. Forschungsbericht.* . Dresden: Landeshauptstadt Dresden, 2005. 74 s. ISBN 3-00-016631-9.
- [21] WARD, R. Groundwater data, information and services. In [online]. [cit. 2019-11-26]. Dostupné na internete: <<https://www.bgs.ac.uk/research/groundwater/datainfo/home.html>>.
- [22] BGS Data Products. *Susceptibility to groundwater flooding.* . Nottingham.
- [23] Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES z 23. októbra 2007 o hodnotení a manažmente povodňových rizík. In *Úradný vestník Európskej únie* . 2007. s. L 288/27-L288/34. .
- [24] *Správa Slovenskej republiky o stave implementácie Rámcovej smernice o vode spracovaná pre Európsku komisiu v súlade s článkom 5, prílohy II a prílohy III a článkom 6, prílohy IV RSV.* . Bratislava, 2005. 207 s.
- [25] STN 73 1001 Geotechnické konštrukcie. Zakladanie stavieb. In . .
- [26] *Vodohospodársky plán dolného Žitného ostrova. Kapitola D - Regionálne vodohospodárske koncepcie.* . Bratislava: Povodie Dunaja, 1995. .
- [27] Zákon č.7/2010 o ochrane pred povodňami. In *Zbierka zákonov* . 2010. s. 26–56. .

9. ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ VO VZŤAHU K SKÚMANEJ PROBLEMATIKE

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - BAROKOVÁ, Dana - ŠOLTĚSZ, Andrej. Predbežné posúdenie rizika povodní spôsobených vystúpením hladiny podzemnej vody. In *Acta hydrologica Slovaca*. Roč. 17, č. 1 (2016), s. 37-42. ISSN 1335-6291.

ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - JANÍK, Adam - ŠOLTĚSZ, Andrej - BAROKOVÁ, Dana - GRAMBLÍČKA, Miroslav. Stanovenie vstupných parametrov pre využitie odvodňovacích kanálových sústav na vylepšenie vodného režimu mokradňových systémov. In *Acta hydrologica Slovaca*. Roč. 17, č. 2 (2016), s. 133-139. ISSN 1335-6291.

Ohlasy:

GOMBOŠ, Milan - HLAVATÁ, Helena. Analysis of rainless periods on Eastern Slovakian Lowland. In *Acta hydrologica Slovaca*. Roč. 18, č. 1 (2017), s. 86-90. ISSN 1335-6291.

ADM Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - JANÍK, Adam - BAROKOVÁ, Dana. Infiltration experiments: Realization and evaluation. In *Pollack Periodica*. Vol. 13, No. 1

(2018), s. 137-144. ISSN 1788-1994 (2018: 0.219 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85044573505 ; DOI: 10.1556/606.2018.13.1.12.

AED Vedecké práce v domácich recenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách

ČERVENĀNSKĀ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - BAROKOVĀ, Dana - ŠOLTĚSZ, Andrej. Identifikácia území potenciálne ohrozených povodňami spôsobenými vystúpením hladiny podzemnej vody. In *AQUA 2016 [elektronický zdroj] : zborník prác*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, 2016, CD-ROM, s. 57-61. ISBN 978-80-227-4612-0.

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

ČERVENĀNSKĀ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - BAROKOVĀ, Dana - ŠOLTĚSZ, Andrej - JANÍK, Adam. Preliminary assessment of flood risk due to increased groundwater levels in Slovakia. In *SGEM 2016. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Book 1. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining : conference proceedings. Albena, Bulgaria, 30 June - 6 July 2016*. 1. vyd. Sofia : STEF 92 Technology, 2016, S. 223-228. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7105-57-5. V databáze: WOS: 000395499800028.

ČERVENĀNSKĀ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - BAROKOVĀ, Dana - ŠOLTĚSZ, Andrej. Groundwater flood risk mapping in Slovakia. In *Colloquium on Landscape Management 2016 : conference proceeding. Brno, 9th December 2016*. 1. vyd. Brno : Mendel University in Brno, 2016, S. 585-591. ISBN 978-80-7509-458-2.

ŠOLTĚSZ, Andrej - BAROKOVĀ, Dana - ČERVENĀNSKĀ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - JANÍK, Adam. Hydrodynamic analysis of interaction between river flow and ground water. In *SGEM 2016. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Book 1. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining : conference proceedings. Albena, Bulgaria, 30 June - 6 July 2016*. 1. vyd. Sofia : STEF 92 Technology, 2016, S. 823-829. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7105-55-1. V databáze: WOS: 000393240700104 ; SCOPUS ; DOI: 10.5593/SGEM2016/B11/S02.104.

ŠOLTĚSZ, Andrej - BAROKOVĀ, Dana - ČERVENĀNSKĀ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - JANÍK, Adam. Water level regime changes in Danube lowland region. In *Colloquium on Landscape Management 2016 : conference proceeding. Brno, 9th December 2016*. 1. vyd. Brno : Mendel University in Brno, 2016, S. 103-110. ISBN 978-80-7509-458-2.

Ohlasy:

JURÍK, Ľuboš - HALÁSZOVĀ, K. - POKRÝVKOVĀ, J. - REHÁK. Irrigation of arable land in Slovakia: History and perspective. In *Handbook of Environmental Chemistry, 2019, Vol. 69, pp. 81-96*. ISSN 1867-979X., Registrované v: SCOPUS

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,]. Predbežné hodnotenie povodňového rizika - povodne z podzemnej vody. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 26th Annual PhD Student Conference on Architecture and Construction Engineering, Building Materials, Structural Engineering, Water and Environmental Engineering, Transportation Engineering, Surveying, Geodesy, and Applied Mathematics*. 26. October 2016, Bratislava. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, CD-ROM, s. 619-623. ISBN 978-80-227-4645-8.

ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,]. Posúdenie vplyvu sanačných opatrení ochranných hrádzí Váhu, Malého Dunaja a preložky rieky Nitry na hladinu podzemnej vody. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 27th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Geodesy and Cartography, Landscaping, Building Technology, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Theory and Environmental Technology of Buildings, Water Resources Engineering*. 25. October 2017, Bratislava, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2017, CD-ROM, s. 524-529. ISBN 978-80-227-4751-6.

ŠOLTÉSZ, Andrej - BAROKOVÁ, Dana - ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,]. Hydraulické posúdenie vplyvu výstavby zátvorného objektu na Klátovskom ramene na podzemné vody v príľahlom území. In *Manažment povodí a extrémne hydrologické javy 2019 [elektronický zdroj] : zborník s príspevkami. Vyhne, SR, 8. - 9. 10. 2019*. 1. vyd. Bratislava : Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku, 2019, USB kľúč, [8] s. ISBN 978-80-570-1236.

AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií

BAROKOVÁ, Dana - ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - ŠOLTÉSZ, Andrej. Assessment of the impact of proposed cut-off walls on groundwater level regime during extreme hydrological conditions. In *WMHE 2017 [elektronický zdroj] : book of abstracts of the 15th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, September 6th - 8th, 2017, Primošten, Croatia*. 1. vyd. Zagreb : Faculty of Civil Engineering Zagreb, Croatia, University of Zagreb, 2017, USB kľúč, s. 15. ISBN 978-953-8168-16-1.

ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - JANÍK, Adam - BAROKOVÁ, Dana. Infiltration experiments - realization and evaluation. In *Architectural, Engineering and Information Sciences : abstract book. 12th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium. November 3-4, 2016, Pécs, Hungary*. Pécs : Pollack Press, 2016, S. 26. ISBN 978-963-429-094-0.

JANÍK, Adam - ČERVENĀNSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela,] - ŠOLTÉSZ, Andrej. Flood and drought prevention - adaptation strategy. In *Architectural, Engineering and Information Sciences : abstract book. 12th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium. November 3-4, 2016, Pécs, Hungary*. Pécs : Pollack Press, 2016, S. 65. ISBN 978-963-429-094-0.