

## Projekt vodozádržných opatrení na toku Trnávka (Štúdia)



Zodpovedný riešiteľ: prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD.

Spoluriešitelia: Ing. Jaroslav Hrudka, PhD.

Ing. Michaela Červeňanská

Ing. Daniel Buček

Ing. Richard Honti

Ing. Dušan Rusnák

Bc. Katarína Živčicová

Bc. Jakub Mydla

Bc. Marek Štutúš

Frederik Koval'

Peter Leško

**Bratislava, február 2018**

## Obsah

1. Úvod .....	3
2. Súčasný známy stav problematiky .....	3
3. Ciele práce .....	4
4. Metodika práce a metódy skúmania .....	5
4.1. Terénny prieskum .....	6
4.1.1. Prvá etapa .....	6
4.1.2. Druhá etapa .....	6
4.1.3. Merná kampaň na toku Trnávka .....	8
5. Popis skúmaného územia .....	11
5.1. Geomorfologické pomery .....	11
5.2. Geologické a hydrogeologické pomery .....	11
5.3. Hydrologické pomery .....	15
5.3.1. Prietoky .....	16
6. Dosiahnuté výsledky .....	16
6.1. Výpočet hladinového režimu odpovedajúci súčasnému stavu .....	16
6.1.1. Kalibrácia modelu .....	16
6.1.2. Výsledky výpočtu hladinového režimu .....	17
6.2. Návrh vodozádržných opatrení na toku .....	20
6.2.1. Porovnanie hĺbok vody v profiloch toku tesne za umiestnením hate .....	23
6.2.2. Porovnanie objemov pri prirodzenom a zavzduťom koryte .....	24
6.3. Posúdenie vplyvu vzdutej hladiny na funkčnosť odľahčovacích komôr .....	25
6.4. Posúdenie vplyvu navrhnutých objektov na prechod povodňového prietoku .....	25
6.5. Posúdenie vplyvu navrhnutých objektov na úroveň hladiny podzemnej vody .....	29
6.6. Návrh manipulačného poriadku na navrhnutých objektoch .....	29
6.7. Vizualizácia vodohospodárskeho riešenia .....	30
7. Záver .....	36
8. Použitá literatúra .....	38

## 1. Úvod

Štúdia „Projekt vodozádržných opatrení na toku Trnávka“ bola vypracovaná na základe zmluvy o dielo č. 1335/2017 medzi Mestom Trnava a Slovenskou technickou univerzitou v Bratislave zo dňa 18.12.2017. Zmluva o dielo bola uzatvorená v zmysle záväzkov vyplývajúcich zo zmluvy o spolupráci č. 1333/2017 medzi Mestom Trnava a Slovenskou technickou univerzitou v Bratislave, Stavebnou fakultou zo dňa 18.12.2017, ktorej predmetom je vzájomná spolupráca zmluvných strán pre obojstranne výhodné aktivity v oblasti stavebníctva, dopravného inžinierstva a vodného hospodárstva, ako aj pre skvalitnenie pedagogickej, vedeckovýskumnej a odbornej činnosti na jednej strane, a pre zlepšenie územnoplánovacích podkladov, rozhodovania a riadenia na strane druhej.

Štúdia je súčasťou Stratégie adaptácie mesta Trnava na dopady zmeny klímy – vlny horúčav, ktorú mestské zastupiteľstvo mesta Trnava prijalo ešte v roku 2015 (Hegyí a kol., 2015). Súčasťou tohto materiálu je aj dôležitá oblasť, a to zadržiavanie vody na území mesta Trnava. Na toku riečky Trnávka, ktorá preteká naprieč mestom, sa v minulosti nachádzali vodozádržné zariadenia (stavidlá), ktoré boli z dôvodu havarijného stavu odstránené. Samospráva uvažuje o osadení podobných prvkov tak, aby okrem zatraktívnenia verejných priestorov došlo k zadržaniu vody a ochladzovaniu vzduchu.

## 2. Súčasný známy stav problematiky

Stratégia adaptácie mesta Trnava na dopady zmeny klímy – vlny horúčav (Hegyí a kol., 2015) z januára 2015 bola pripravená v rámci projektu Mestá odolné na dopady zmeny klímy – trnavská inšpirácia, ktorý bol podporený prostredníctvom Programu švajčiarsko-slovenskej spolupráce v rámci rozšírenej Európskej únie.

K dôležitým faktorom ochladzovania územia počas horúčav patrí aj dobrá cirkulácia a výmena vzduchu medzi urbanizovaným prostredím mesta a jeho okolitým prírodným zázemím. Vďaka tomuto ochladzujúcemu faktoru sa zmierňuje dopad letných horúčav v prehriatych mestských štvrtiach a zlepšuje sa kvalita ovzdušia v sídle. Prevetrávanie mesta môže byť podporované pomocou trasovania budov, líniovej zelene, prípadne **vodných plôch** tak, aby sa maximálne využili ochladzujúce prúdy vetra prúdiaceho od riečnych tokov, z okolitých kopcov a podobne.

Stratégia adaptácie mesta Trnava je odpoveďou na zmenu klímy prejavujúcu sa na jej území, zameriavajúc sa na najzávažnejší dopad – zvyšovanie častosti a intenzity horúčav. Vyjadruje ako a prostredníctvom čoho chce mesto Trnava dosiahnuť v najbližších desiatich rokoch stanovené ciele v danej oblasti. Napĺňať sa bude prostredníctvom ôsmich programov, v rámci ktorých je ako druhý bod uvedený program ochladzovania verejných priestranstiev. Jedným z navrhovaných opatrení je zvýšenie počtu funkčných vodných prvkov.

Jedným z takýchto prvkov by mohli byť práve vodozádržné opatrenia na toku Trnávka. Toto riešenie vychádza z minulosti – na toku Trnávka existovalo stavidlo (obr. 1), ktoré bolo v roku 2013 z dôvodu havarijného stavu odstránené.



Obr. 1 Stavidlo na toku Trnávka, ktoré bolo v roku 2013 odstránené

### 3. Ciele práce

Mesto Trnava je vzhľadom na umiestnenie a charakter okolitej krajiny zraniteľné z hľadiska negatívnych dopadov zmeny klímy. Trnavou preteká zregulovaný tok Trnávky. Prietoky v ňom sú ovplyvnené nádržou Boleráz, ktorá je umiestnená vyššie po toku. Do Trnávky však ústia aj potrubia napojené na kanalizáciu, ktorá privádza do toku odľahčované splaškové vody pri každom väčšom prívalevom daždi. Tok je potom znečistený, zapácha, čo pri nízkych stavoch vody je predmetom početných sťažností občanov.

Cieľom projektu je navrhnúť vodozádržné opatrenia na toku Trnávka v intraviláne mesta Trnava – posúdiť možnosť znovuosadenia stavidiel na toku a navrhnúť ich vhodný manipulačný poriadok. Potrebne je podrobne zanalyzovať podklady o riešenom území vrátane okolia toku a navrhnúť opatrenia na zadržanie vody tak, aby neboli negatívne ovplyvnené iné funkcie toku (napr. vplyv vzdutej hladiny na funkčnosť odľahčovacích komôr stokovej siete v meste Trnava, na prechod povodňového prietoku  $Q_{100}$ , na úroveň hladiny podzemnej vody v príľahlom území toku Trnávka).

Štúdia má podľa zmluvy o dielo pozostávať z nasledovných častí:

1. Výpočet hladinového režimu toku Trnávka pre rôzne prietoky ( $Q_{\min}$  –  $Q_{100}$ ).
2. Návrh vodozádržných opatrení na toku.
3. Posúdenie vplyvu vzdutej hladiny na funkčnosť odľahčovacích komôr stokovej siete v meste Trnava.



4. Posúdenie vplyvu vodozádržných objektov na prechod povodňového prietoku  $Q_{100+}$  bezpečnosť.
5. Posúdenie vplyvu vodozádržných objektov na úroveň hladiny podzemnej vody v príľahlom území toku Trnávka.
6. Návrh manipulačného poriadku na navrhnutých objektoch v súčinnosti s SVP, š. p. OZ Piešťany, s **TAVOS, a. s.** a predstaviteľmi mesta Trnava.
7. Vizualizácia vodohospodárskeho riešenia pre potreby architektonického, resp. urbanistického riešenia.

#### 4. Metodika práce a metódy skúmania

Základná metóda použitá na dosiahnutie vyššie zadaných cieľov štúdie je metóda matematického modelovania. Problematika návrhu vodozádržných opatrení na toku Trnávka bola riešená numerickým modelom v programe HEC-RAS (Brunner, 2010), ktorý slúži na analýzu prúdenia vody v riekach (RAS – River Analysis System). Tento program je priebežne vyvíjaný spoločnosťou U.S. ArmyCorps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC).

Metodiku práce možno zhrnúť do nasledujúcich krokov (Květon, Orfánus, 2015; Baroková, 2006):

1. *Stanovenie cieľov modelu*, nakoľko účel modelu rozhoduje o použití vhodných matematických rovníc a tiež vhodného programu na riešenie danej úlohy. Cieľ modelu bol zadaný v zmluve o dielo tak, ako je uvedené v predchádzajúcej kapitole.
2. *Tvorba koncepčného modelu systému* pozostávajúca zo zhromažďovania a spracúvania všetkých dostupných materiálov za účelom získania potrebných pomerov prostredia. Okrem údajov, ktoré nám poskytol Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., Správa povodia dolného Váhu v Šali, boli vykonané merania priamo v teréne. Tieto sú bližšie popísané v kapitole 4.1.
3. *Zostavenie numerického modelu* pre konkrétnu modelovanú oblasť. V tomto kroku je koncepčný model upravený do podoby vhodnej na modelovanie.
4. *Kalibrácia modelu* pre už konkrétnu modelovanú oblasť na základe meraní v teréne.
5. *Verifikácia nakalibrovaného modelu* pre konkrétnu modelovanú oblasť na sade kontrolných meraní iných ako boli použité pri kalibrácii modelu.
6. *Prognóza*, ktorá predpovedá odozvu systému na budúce udalosti. Model počíta s nakalibrovanými hodnotami parametrov s výnimkou tých, pri ktorých očakávame, že sa v budúcnosti zmenia. Neistota v predpovedi vyplýva z neistoty pri kalibrácii modelu a neschopnosti odhadnúť presné hodnoty jednotlivých parametrov vstupujúcich do výpočtu.

Aj pri najlepšej snahe o napodobnenie skutočných pomerov a podmienok prúdenia si treba uvedomiť, že model predstavuje len akési zjednodušené znázornenie zložitého systému, v ktorom sú fyzikálne procesy opísané nepriamo prostredníctvom matematických rovníc. Aj pri správnom zostavení modelu môže dôjsť k odchýlkam od reality.

#### 4.1. Terénny prieskum

Prvou fázou riešenia projektu bola okrem zhromažďovania a spracúvania poskytnutých podkladových materiálov realizácia meraní priamo v teréne, tzn. v skúmanej oblasti. Účelom terénnych prieskumov bolo získať geodetické zameranie koryta (príp. blízkeho okolia koryta toku) a hydraulické parametre toku, na ktorom navrhujeme realizáciu vodozádržných opatrení. Získané podklady boli následne využité vo fáze zostavenia matematického, resp. numerického modelu. Prieskumy boli uskutočnené v dvoch etapách.

Okrem terénnych meraní, ktorých účelom bolo zistenie vyššie popísaných podkladov, bol na toku Trnávka realizovaný chemicko-fyzikálny výskum toku s cieľom zistiť, či je tok chemicky znečistený alebo nie. Odmeraním chemicko-fyzikálnych vlastností vody získame aktuálne hodnoty, ktoré môžeme porovnať s definovanými hraničnými hodnotami. Tak môžeme veľmi presne určiť stupeň odchýlky od prirodzených podmienok. Chemicko-fyzikálne rozboru však zaznamenávajú len momentálnu situáciu v toku. Neposkytujú takmer žiadne závery o predchádzajúcich udalostiach, preto nevyjadrujú dlhodobý stav toku. V rámci projektu sme sa zamerali na výskyt týchto ukazovateľov: pH, vodivosť, koncentrácia rozpustného kyslíka, koncentrácia  $\text{NH}_4^+$ , Cu,  $\text{SO}_4^{2-}$ .

##### 4.1.1. Prvá etapa

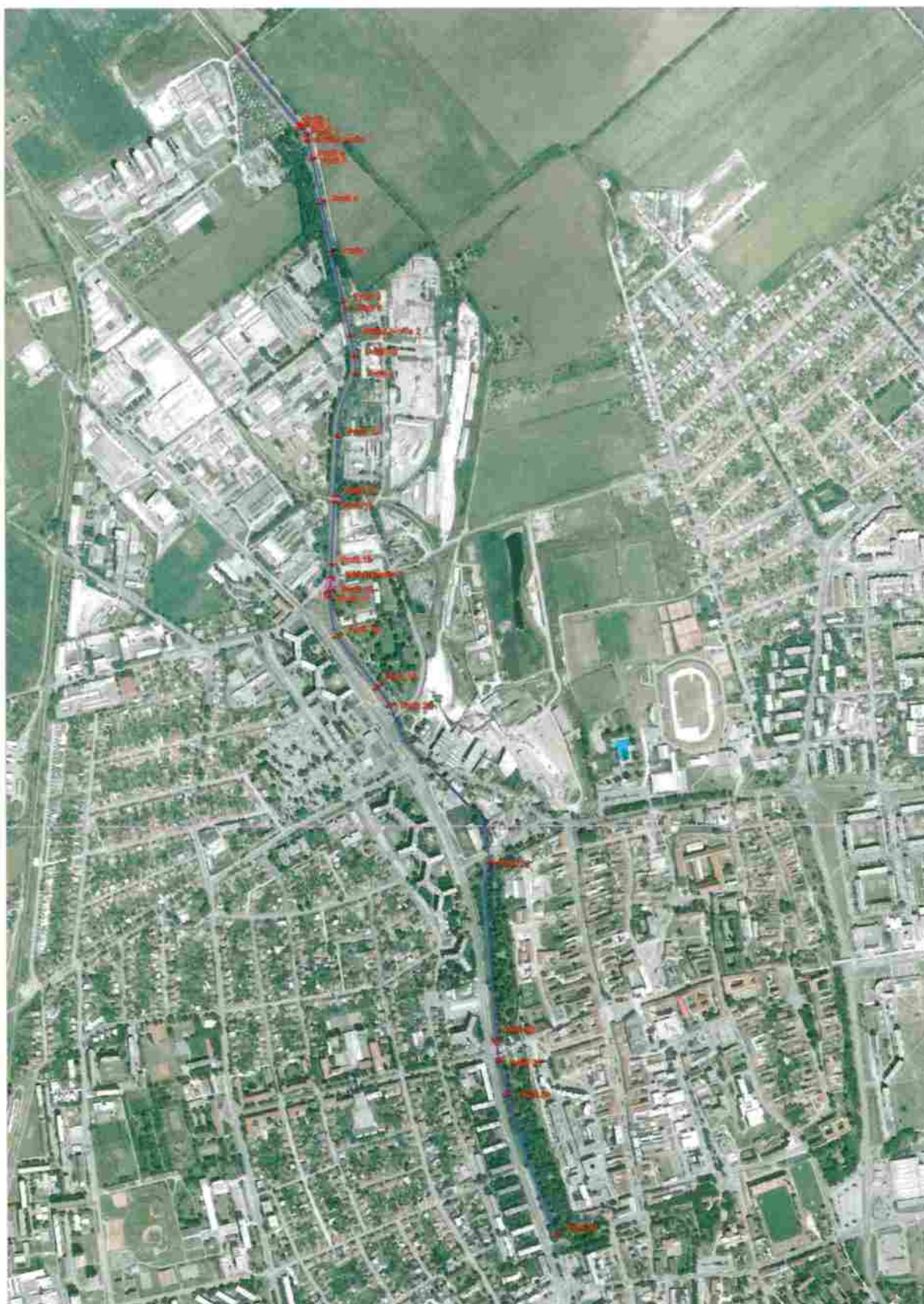
V rámci nej boli merané polohopisné a výškopisné údaje toku Trnávka (pričné profily, pozdĺžny profil), situovanie výustov odľahčovacích komôr stokovej siete, mostov a iných objektov nachádzajúcich sa v koryte alebo nad ním. Meranie bolo uskutočnené v dňoch 8. – 9.12.2017. Na meranie bolo použité GPS zariadenie a Univerzálna meracia stanica (UMS). Pomocou týchto prístrojov bolo nameraných 27 priečných profilov koryta, 5 profilov v miestach mostov a 29 výustov (obr. 2). Namerané geometrické údaje toku boli následne použité pre vytvorenie numerického modelu v prostredí programu HEC-RAS (Brunner, 2010).

V prvej etape terénneho prieskumu boli tiež realizované vsakovacie (infiltračné) pokusy za účelom zistenia vsakovacej (infiltračnej) schopnosti pôdy, resp. sedimentov nachádzajúcich sa priamo v koryte toku. Na meranie tejto schopnosti boli použité kocentrické (sústredné) valce. Celkovo boli vykonané tri vsakovacie pokusy, z ktorých len dva boli úspešné. Nameraná vsakovacia rýchlosť je rádovo  $10^{-4} - 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Jedná sa teda o zeminy priepustné, avšak treba podotknúť, že ide o vlastnosť zemín nachádzajúcich sa pod vrstvou náplavov, ktorých vsakovacia schopnosť je podstatne nižšia.

##### 4.1.2. Druhá etapa

Cieľom druhej etapy, realizovanej dňa 9.2.2018, bolo získanie pokladov ku kalibrácii matematického modelu a domeranie geodetických bodov pre doplnenie geometrie modelu. Pomocou GPS zariadenia boli domerané 2 priečne profily a výšky hladiny v toku. V prvom meranom priečnom profile (relat. stanič. 2,800 rkm) prebehlo tiež meranie prietoku. Na meranie bol použitý prístroj Flo-Mate (Marsh-McBirney Inc., 1990), ktorým boli merané bodové rýchlosti, z ktorých bol neskôr určený skutočný prietok  $Q = 0,33 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ . Na základe tohto merania sa následne v procese kalibrácie modelu upravili drsnosti (ako hlavný kalibračný parameter) na požadovanú hodnotu. Pre spoľahlivú kalibráciu numerického modelu sú potrebné vyššie vodné stavy, preto bol prietok meraný až v druhej etape, kedy sa vďaka zrážkam vyskytli vyššie prietoky ako v prvej etape.

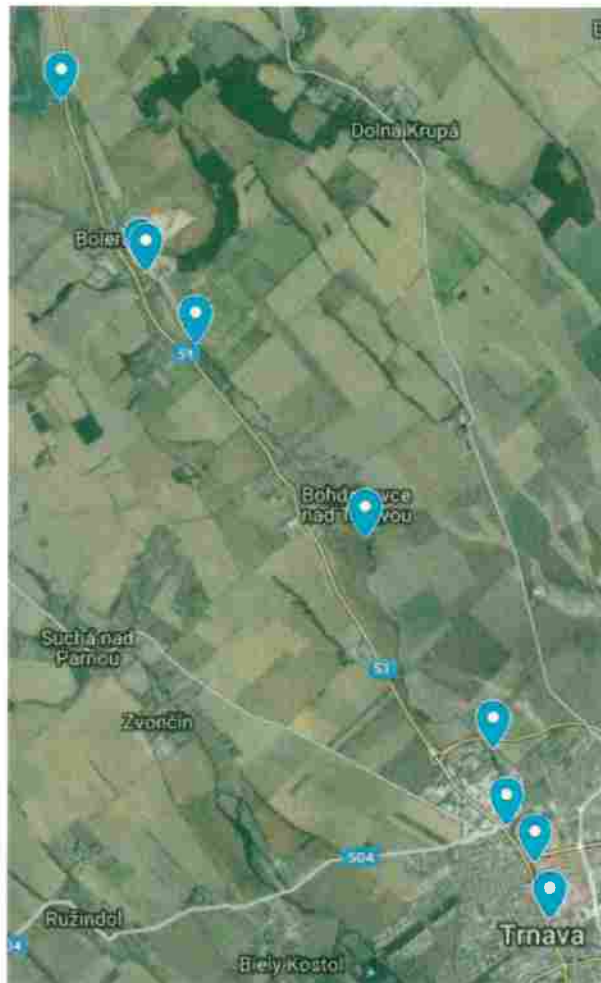




Obr. 2 Satelitná mapa s nameranými profilmi koryta toku Trnávka

#### 4.1.3. Merná kampaň na toku Trnávka

Merná kampaň, počas ktorej boli priamo z toku Trnávka odoberané vzorky vody do 0,4 ml nádob, prebehla dňa 6.2.2018. Vzorky vody boli odoberané vo vopred vyšpecifikovaných profiloch, ktorých umiestnenie boli zvolené s ohľadom na antropogénnu činnosť aj v urbanizovaných sídlach umiestnených v hornom toku rieky Trnávka. Vo všetkých profiloch boli odoberané vzorky vody a sedimentu. Umiestnenie jednotlivých merných profilov možno vidieť na obr. 3.



Obr. 3 Situačné rozmiestnenie odberných miest

Merné profily boli zadané ako: Výtok - Nádrž Boleráz, Boleráz 1, Boleráz 2, Klčovany, Bohdanovce, Trnava – vtok, Trnava 1, Trnava 2, Trnava 3. Merné profily boli vyšpecifikované na základe umiestnenia obcí, cez ktoré Trnávka preteká, alebo na základe umiestnenia odľahčovacích komôr jednotnej stokovej siete.

#### Výsledky meraní na toku Trnávka

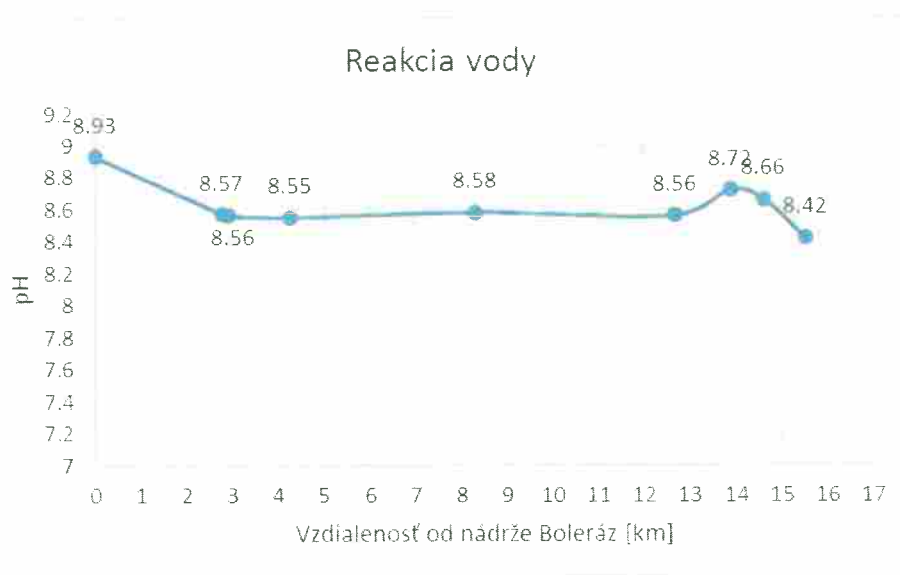
Výsledky meraní úrovne pH, konduktivity a koncentrácie rozpusteného kyslíka sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.



Tab. 1 Namerané hodnoty úrovne pH, konduktivity a koncentrácie rozpusteného kyslíka

Lokalita	pH	Vodivosť	
		$\sigma$	rozpustený kyslík
		$\mu\text{S}/\text{cm}$	$\text{O}_2$ mg/L
Výtok - Nádrž Boleráz	8,93	682	12,62
Boleráz 1	8,57	745	11,81
Boleráz 2	8,56	738	11,87
Klčovany	8,55	767	11,85
Bohdanovce	8,58	785	10,992
Trnava - vtok	8,56	793	11,46
Trnava 1	8,72	790	11,25
Trnava 2	8,84	780	11,1
Trnava 3	8,45	807	12,18

Ako je možné vidieť, úroveň pH neprekračuje úroveň toxicity a počas mernej kampane nebola zaznamenaná ani jedna vzorka (obr. 4) prekračujúca úroveň toxicity pre povrchové vody (v rozsahu 6-9).

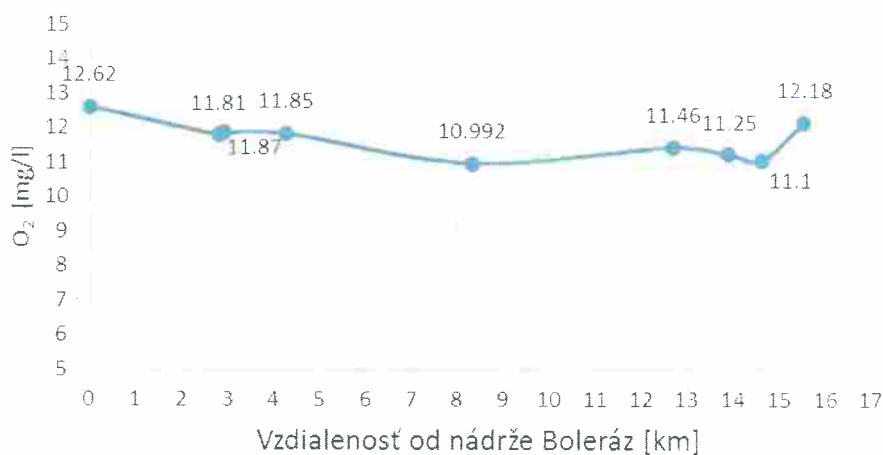


Obr. 4 Úroveň pH vody

Koncentrácia rozpusteného kyslíka klesá s ohľadom na nižšie prevzdušňovanie smerom po prúde od výtoku z nádrže Boleráz. Ani v jednej vzorke nebola dosiahnutá minimálna koncentrácia  $\text{O}_2$  (5 mg/l) (obr. 5).

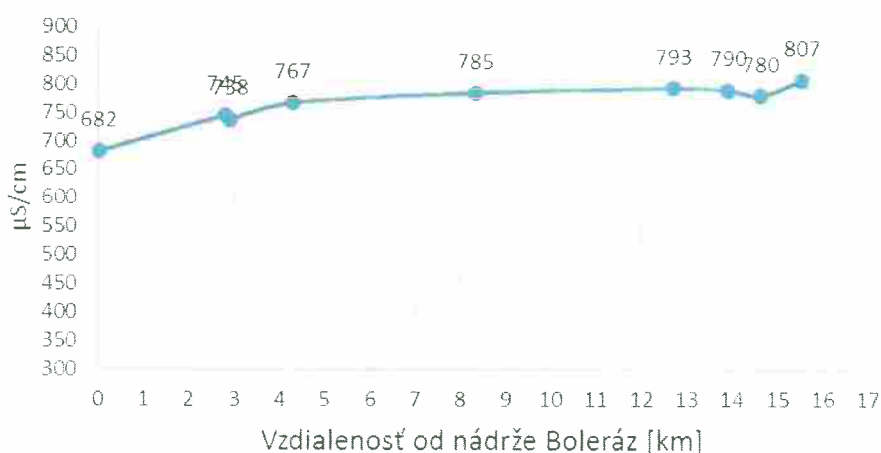
Zvyšujúca sa hodnota konduktivity (obr. 6) naznačuje zvyšujúce sa množstvo znečistenia v toku, na ktoré môže mať vplyv aj antropogénna činnosť. Avšak zo zvyšujúcej sa úrovne konduktivity nevieme priamo určiť zdroj znečistenia alebo jeho pôvod.

### Koncentrácia rozpusteného kyslíka



Obr. 5 Koncentrácia rozpusteného kyslíka

### Konduktivita



Obr. 6 Konduktivita

Koncentrácia  $\text{NH}_4^+$  nebola nameraná ani v jednej zo vzoriek vody a sedimentu, meranie prebehlo s presnosťou 10 mg/l.

Koncentrácia síranov  $\text{SO}_4^{2-}$  nebola nameraná ani v jednej zo vzoriek vody a sedimentu, meranie prebehlo s presnosťou 200 mg/l.

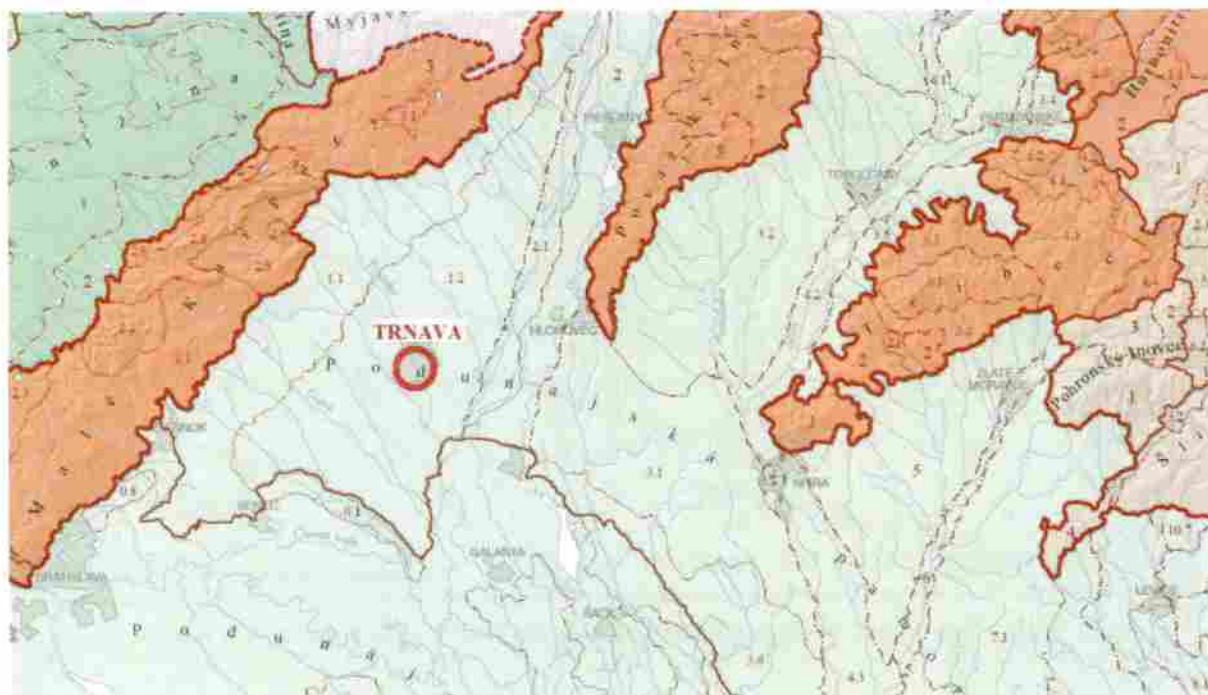
Koncentrácia  $\text{Cu}^{1+/2+}$  nebola nameraná ani v jednej zo vzoriek vody a sedimentu, meranie prebehlo s presnosťou 10 mg/l.

Z výsledkov analýzy jednotlivých vzoriek je zrejmé, že koncentráciu neprekročil ani jeden ukazovateľ v rámci laboratórnej presnosti. Avšak je potrebné brať ohľad aj na časový horizont mernej kampane, ktorá prebehla začiatkom mesiaca február pri zvýšenom prietoku. Pre presnejšiu analýzu toku je preto potrebný dlhodobý prieskum vplyvu antropogénnej činnosti na kvalitu vody, a to hlavne počas letných mesiacov pri nízkych prietokoch.

## 5. Popis skúmaného územia

### 5.1. Geomorfologické pomery

Na základe geomorfologického členenia Slovenska (Kočícký, Ivanič, 2011) patrí záujmové územie do sústavy Alpsko-himalájskej, podsústavy Panónska panva, provincie Západopanónska panva, subprovincie Malá Dunajská kotlina, oblasti Podunajská nížina, celku Podunajská pahorkatina, podcelku Trnavská pahorkatina a časti Trnavská tabuľa (obr. 7).



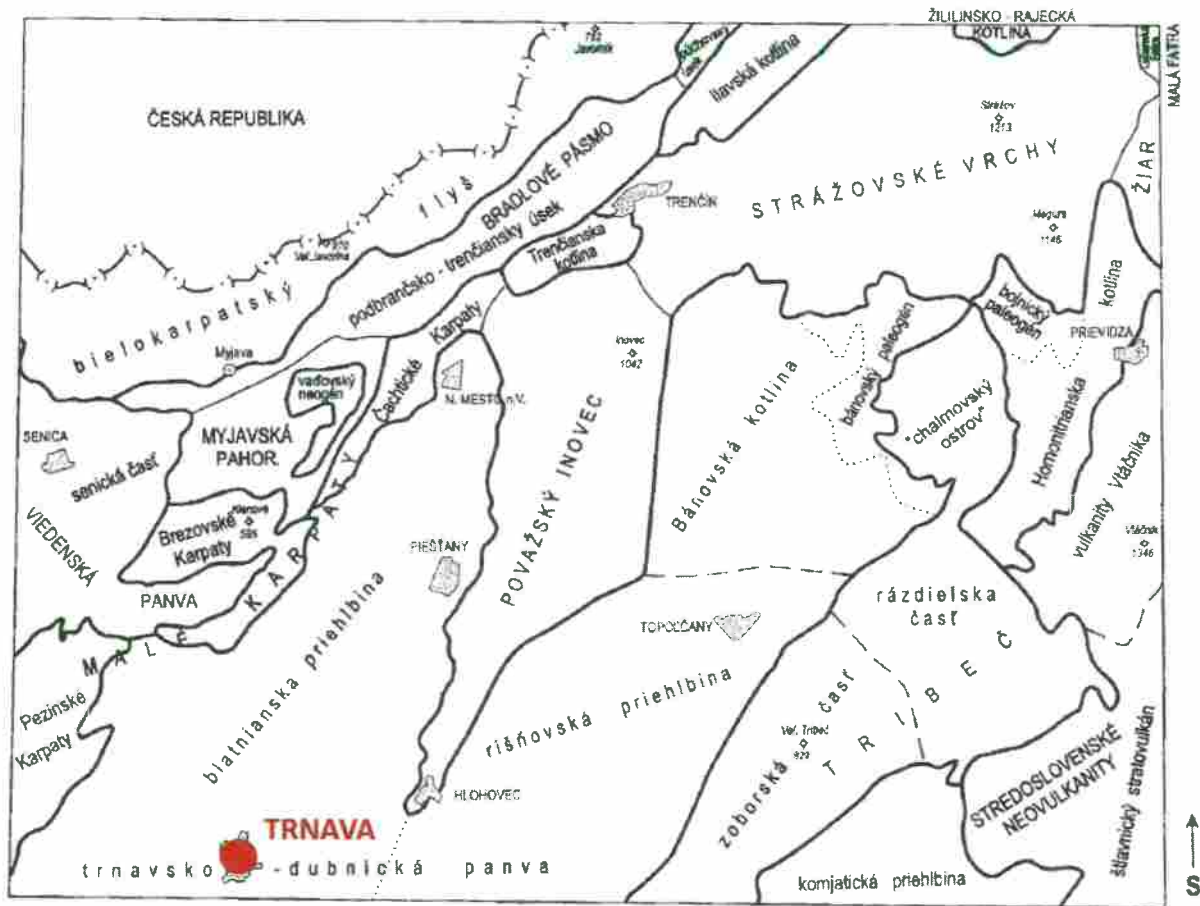
Obr. 7 Geomorfologické členenie s vyznačením záujmového územia (Kočícký, Ivanič, 2011)

### 5.2. Geologické a hydrogeologické pomery

Na základe regionálneho geologického členenia Západných Karpát sa skúmané územie nachádza v podunajskej panve – trnavsko-dubnickej panve a jej časti blatnianska priehlbina (obr. 8).

Na geologickej stavbe záujmového územia a jeho najbližšieho okolia sa podieľajú najmä deluviálne a fluviálne sedimenty (obr. 9). Tie sú v skúmanej oblasti zastúpené najmä hlinami (piesčitými a prachovitými), štrkami s prímiesami a pieskami. V menšej miere sú zastúpené aj eolické sedimenty reprezentované sprašami.





Obr. 8 Regionálne geologické členenie na liste 35 Trnava (Elečko a kol., 2006)



## KVARTÉR

### Holocén voelku

m0: fluvialne sedimenty: lokálne nadvýšené nívne hliny, alebo piesčité až štrkovité hliny dolinných nív a nív horských potokov

### Mladší pleistocén

m1: fluvialne sedimenty: štrky, piesčité štrky a piesky v nízkych terasách s pokryvom spraší a deluviálnych splachov

m2: fluvialne sedimenty: hliny, ílovité hliny a hlinité piesky v nízkych terasách a nívach

### Mladší pleistocén - holocén

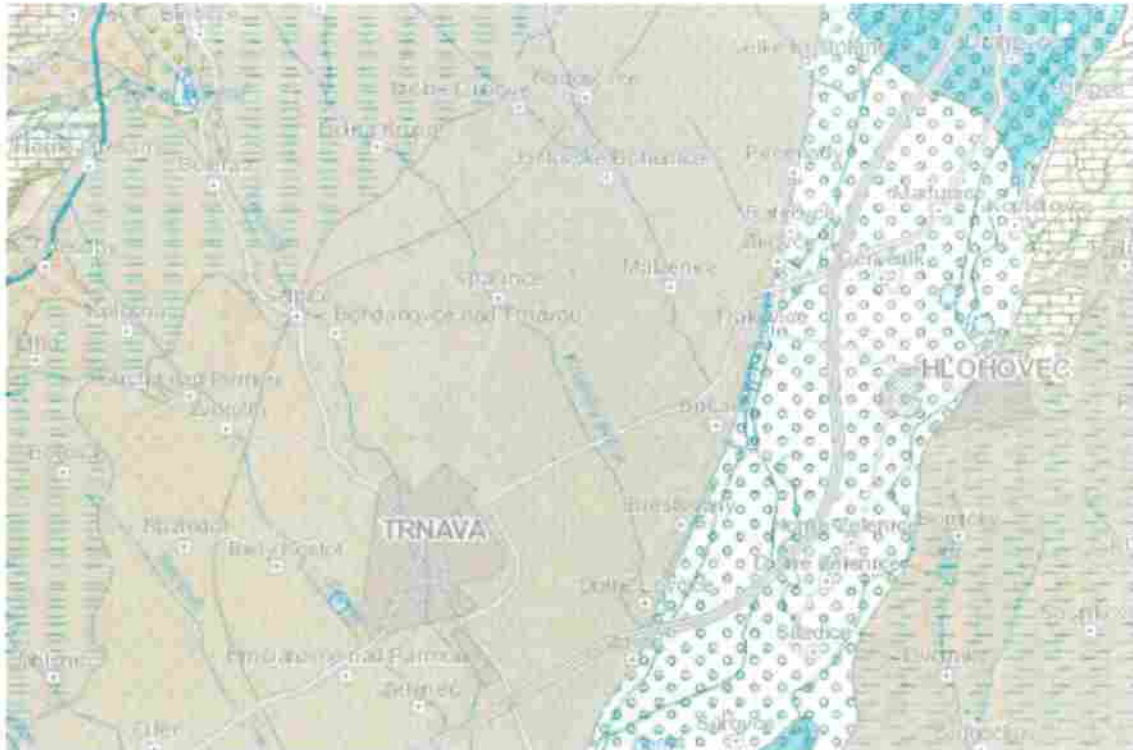
m3: deluviálno-fluvialne sedimenty: prevažne renové hliny, piesčité hliny s úlomkami, jemnozrnné piesky a splachy zo spraší

### Stredný pleistocén (mladšia časť)

m4: fluvialne sedimenty: piesčité štrky a štrky nižších stredných terás s pokryvom spraší a nerozbitých deluviálnych hlin a splachov

m5: fluvialne sedimenty: štrky a piesčité štrky vyšších stredných terás s pokryvom spraší, deluviálnych hlin a splachov

Obr. 9 Výrez z Geologickej mapy Slovenska M 1 : 50 000 s legendou



Obr. 10 Výrez s Hydrogeologickej mapy Slovenska M 1 : 200 000

Z hydrogeologického hľadiska (obr. 10) je skúmané územie tvorené 2 typmi zvodnenca:

- typ zvodnenca 1 – menšie zvodnenca s medzizrnovým alebo puklinovým typom priepustnosti alebo oblasti s takmer žiadnymi množstvami podzemnej vody,
- typ zvodnenca 2 – menšie zvodnenca s obmedzenými množstvami podzemných vôd miestneho významu.

Ide teda o komplexy jazerno-riečnych sedimentov tvorených pieskami a štrkami s pórovou priepustnosť, kde hladina podzemnej vody je prevažne voľná až mierne napätá.

V intraviláne a extraviláne mesta Trnava bolo v minulosti vykonaných množstvo geologických prieskumných prác rôzneho zamerania. Pre posúdenie vplyvu vodozádržných objektov na úroveň hladiny podzemnej vody v príľahlom území toku Trnávka boli z archívnych správ Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra prevzaté nasledovné sondy<sup>1</sup>:

#### **Vrt TM - 7 (Obert, 2003)**

Súradnice: Y: 536632,300  
X: 1 256 320,158  
Z: 146,50 m n. m.

0,0 – 0,5 m	humus
0,5 – 1,6 m	spraš
1,6 – 2,5 m	hlina piesčitá
2,5 – 4,7 m	štrk s prímiesou jemnozrnej zeminy
4,7 – 8,5 m	íl s vysokou plasticitou

<sup>1</sup> Jedná sa o sondy, ktoré sa nachádzajú v oblasti vzdutia od navrhovaných vodných stavieb.



8,5 – 9,2 m íl piesčitý  
9,2 – 10,0 m piesok ílovitý

Hladina podzemnej vody nenarazená (priesak v hĺbke 9,5 m).

**Vrt HGD-1 (Richter, 1984)**

Súradnice: Y: 536 421,00  
X: 1 257 494,00  
Z:

0,0 – 1,0 m navážka  
1,0 – 1,6 m hlina prachovitá  
1,6 – 2,8 m hlina prachovitá  
2,8 – 4,6 m hlina prachovitá s valúnmi štrku  
4,6 – 26,0 m štrk s prímiesou piesku  
26,0 – 30,0 m piesok hrubozrnný

Hladina podzemnej vody narazená v hĺbke 3,8 m p.t., ustálená v hĺbke 3,2 m p.t.

**Vrt TV-1 (Pokorný, 2004)**

Súradnice: Y:  
X:  
Z:

0,0 – 1,3 m nerovnorodé navážky – íly (hliny) rôznej plasticity  
1,3 – 1,7 m íl strednej plasticity  
1,7 – 3,8 m íl nízkej až strednej plasticity  
3,8 – 6,7 m íl strednej plasticity  
6,7 – 7,9 m íl vysokej plasticity  
7,9 – 8,5 m piesok s prímiesou jemnozrnnnej zeminy  
8,5 – 9,4 m íl vysokej plasticity  
9,4 – 10,0 m íl vysokej plasticity

Hladina podzemnej vody narazená v hĺbke 7,9 m p.t., ustálená v hĺbke 7,9 m p.t.

### 5.3. Hydrologické pomery

Mestom Trnava preteká tok Trnávka prameniaca v Malých Karpatoch. V okolí obce Bíňovce vteká do vodnej nádrže Boleráz. Pod vodnou stavbou Boleráz tečie obcou Boleráz, kde sprava priberá prítok Rakytu. Mestom Trnava preteká severojužným smerom. Na juhozápadnom okraji Starého Mesta vytvára ostrú dvojité zákrutu. Za mestskou časťou Modranka priberá svoj najvýznamnejší prítok – Parnú (pravostranný prítok). V blízkosti obce Majcichov sa Trnávka vlieva do Dolného Dudváhu.

### 5.3.1. Prietoky

Minimálny prietok pod hrádzou vodného diela Boleráz je podľa manipulačného poriadku:

- v priemernom roku:  $150 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ,
- v suchom roku:  $44 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Minimálny biologický prietok  $44 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  pod nádržou je zabezpečený zariadením na regulovanie stáleho odtoku.

Maximálny prietok pod hrádzou vodného diela Boleráz je podľa manipulačného poriadku stanovený na  $36 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  a odpovedá 100-ročnému prietoku.

## 6. Dosiahnuté výsledky

### 6.1. Výpočet hladinového režimu odpovedajúci súčasnému stavu

Výpočet hladinového režimu pre tok Trnávka bol realizovaný v rozsahu od minimálneho biologického prietoku  $Q_{\min, \text{bio}} = 0,044 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  po povodňový prietok  $Q_{100} = 36,0 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ .

Zostavený model toku Trnávka začína v mieste križovania cesty I/51 s tokom Trnávka smerom po prúde až k miestu, kde Trnávka vteká do časti vedenej pod zemou v Bernolákovom sade. Dĺžka modelovaného úseku je 3060 m. Pre potreby modelovania bol tok staničený relatívnym staničením (relat. km), t. j. staničením, ktoré neodpovedá staničeniu toku v riečnych kilometroch (rkm). Relatívny riečny kilometer 0,000 bol zvolený v mieste posledného meraného priečneho profilu v Bernolákovom sade nad vtokom Trnávky do podzemného vedenia.

Pred samotným výpočtom priebehu hladiny bolo však nutné model nakalibrovať, tzn. určiť hodnoty kalibračných parametrov (v tomto prípade drsnosť) tak, aby sme ich dosadením do modelu a následnou simuláciou dostali hodnoty hladiny odpovedajúce skutočnej hladine pri danom prietoku.

#### 6.1.1. Kalibrácia modelu

Kalibrácia matematického modelu bola realizovaná porovnaním modelovaných výsledkov s reálnymi hodnotami nameranými priamo v koryte toku. Najprv bol v numerickom modeli programu HEC-RAS (Brunner, 2010) uskutočnený výpočet výšok hladín tak, že použité drsnosti vo výpočte boli odhadnuté. Následne boli pomocou prístroja Flo-Mate (Marsh-McBirney Inc., 1990) namerané bodové rýchlosti, na základe ktorých bol určený prietok a tomu odpovedajúce nadmorské výšky hladiny pre jednotlivé profily koryta v danom čase. Nameraná reálna výška hladiny bola následne porovnaná s vypočítanou výškou hladiny v tom istom priečnom profile, pričom simulovaný prietok bol totožný s nameraným. Nakoniec bol model prepočítavaný s rôznymi drsnosťami koryta dovtedy, kým výška dosiahnutých hladín nebola totožná, resp. s určitou dovolenou odchýlkou.

Výsledné použité drsnosti v koryte boli nasledovné:

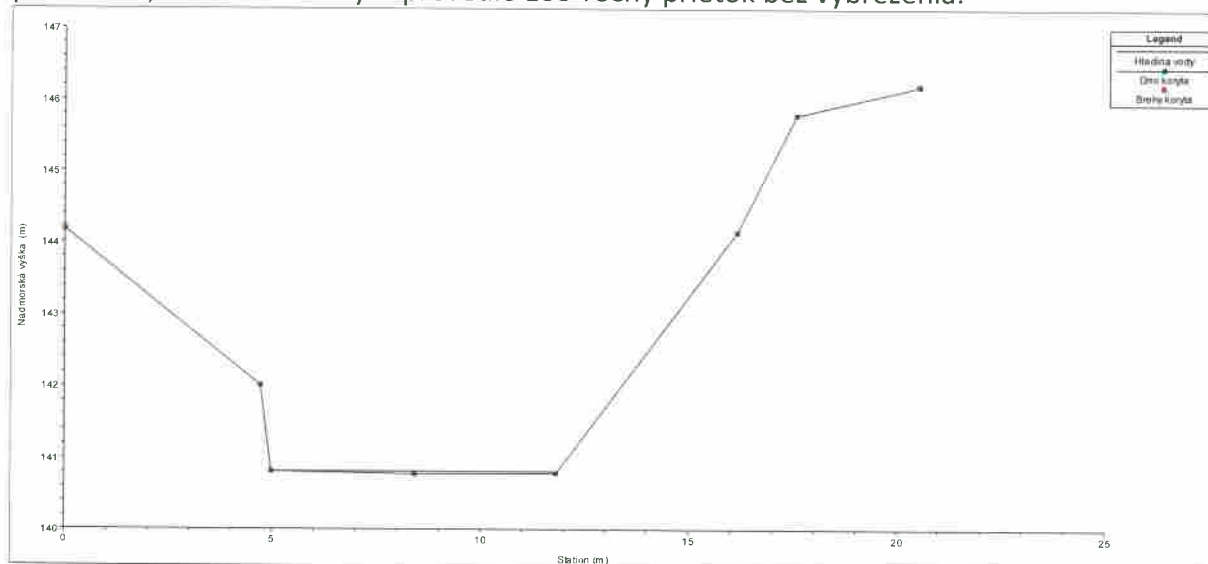
- v relat. staničení 0,000 - 1,379 – ako drsnosť dna koryta bola použitá hodnota 0,010 zodpovedajúca drsnosti pre betónové kocky; pre brehy bola použitá drsnosť 0,020, ktorá odpovedá kamennému opevneniu,

- v relat. staničení 1,379 - 3,062 – ako drsnosť dna koryta bola použitá hodnota 0,020 zodpovedajúca drsnosti pre betónové panely; pre svahy koryta bola použitá drsnosť 0,030, ktorá odpovedá drsnosti pre krátku trávku.

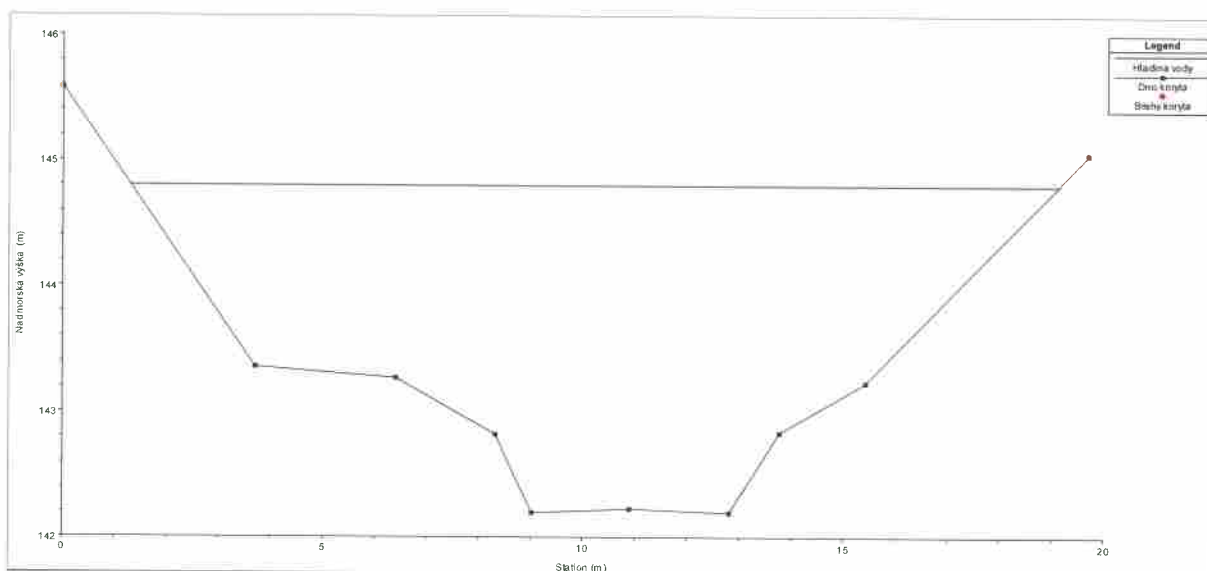
### 6.1.2. Výsledky výpočtu hladinového režimu

Priebeh hladiny pri minimálnom biologickom prietoku je možné vidieť na obr. 13. Z tohto obrázku je zrejmé, že menšie hĺbky vody boli dosiahnuté hlavne v nižšej časti koryta, kde je koryto širšie, upravené a má prizmatický charakter. Modelovaním bola vypočítaná najmenšia hĺbka 0,04 m (obr. 11).

Pri modelovaní 100-ročného prietoku (obr. 14) bola dosiahnutá najväčšia hĺbka 2,61 m (obr. 12). Najkritickejšie miesta na hodnotenom úseku toku sa vyskytli v hornej časti toku, kde je koryto neprizmatické. Výška hladiny však nepresahovala kótu okolitého terénu, čím bolo potvrdené, že súčasné koryto prevedie 100-ročný prietok bez vybreženia.

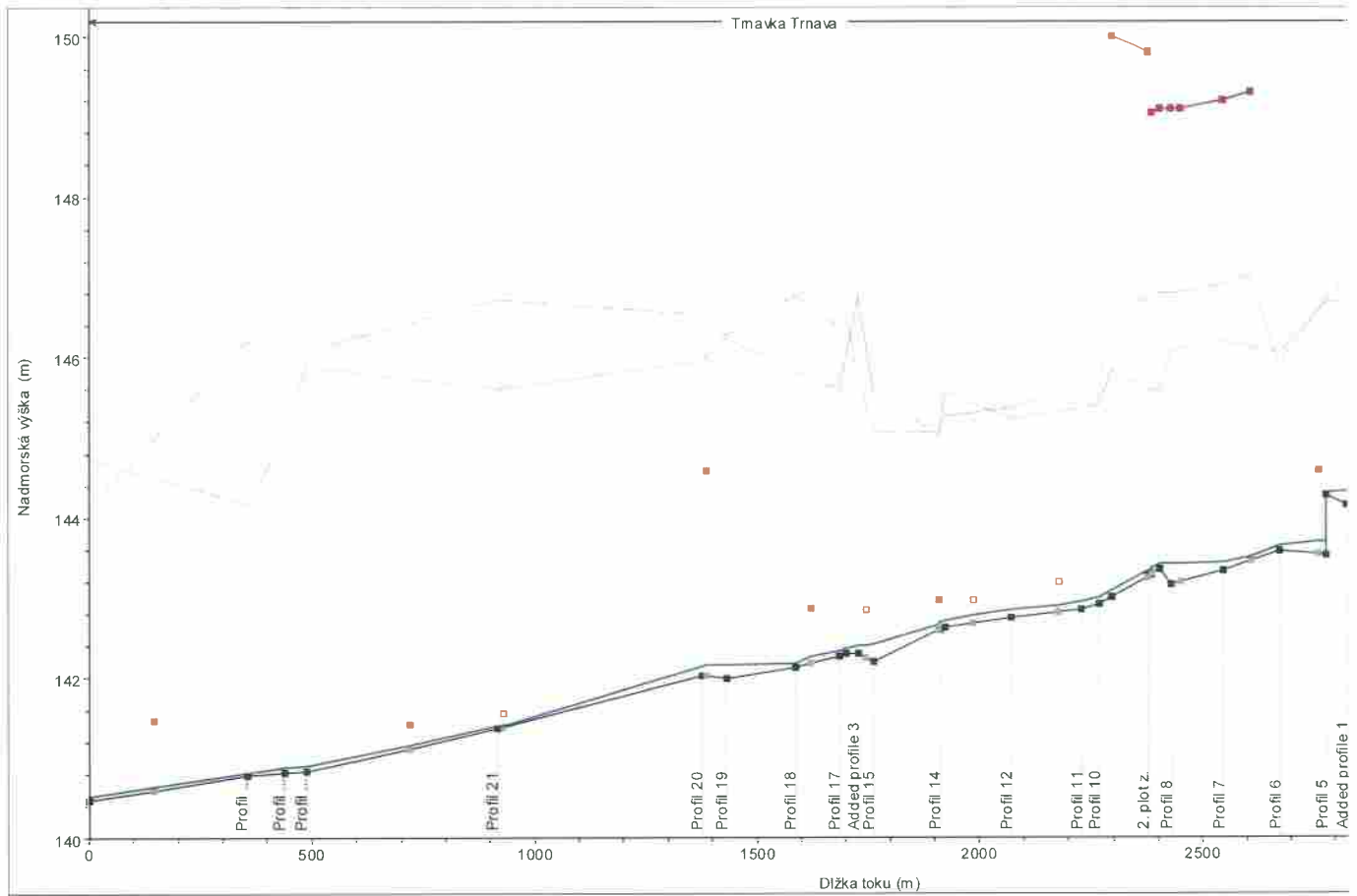


Obr. 11 Poloha hladiny pri minimálnom biologickom prietoku v relat. stanič. 0,356 km

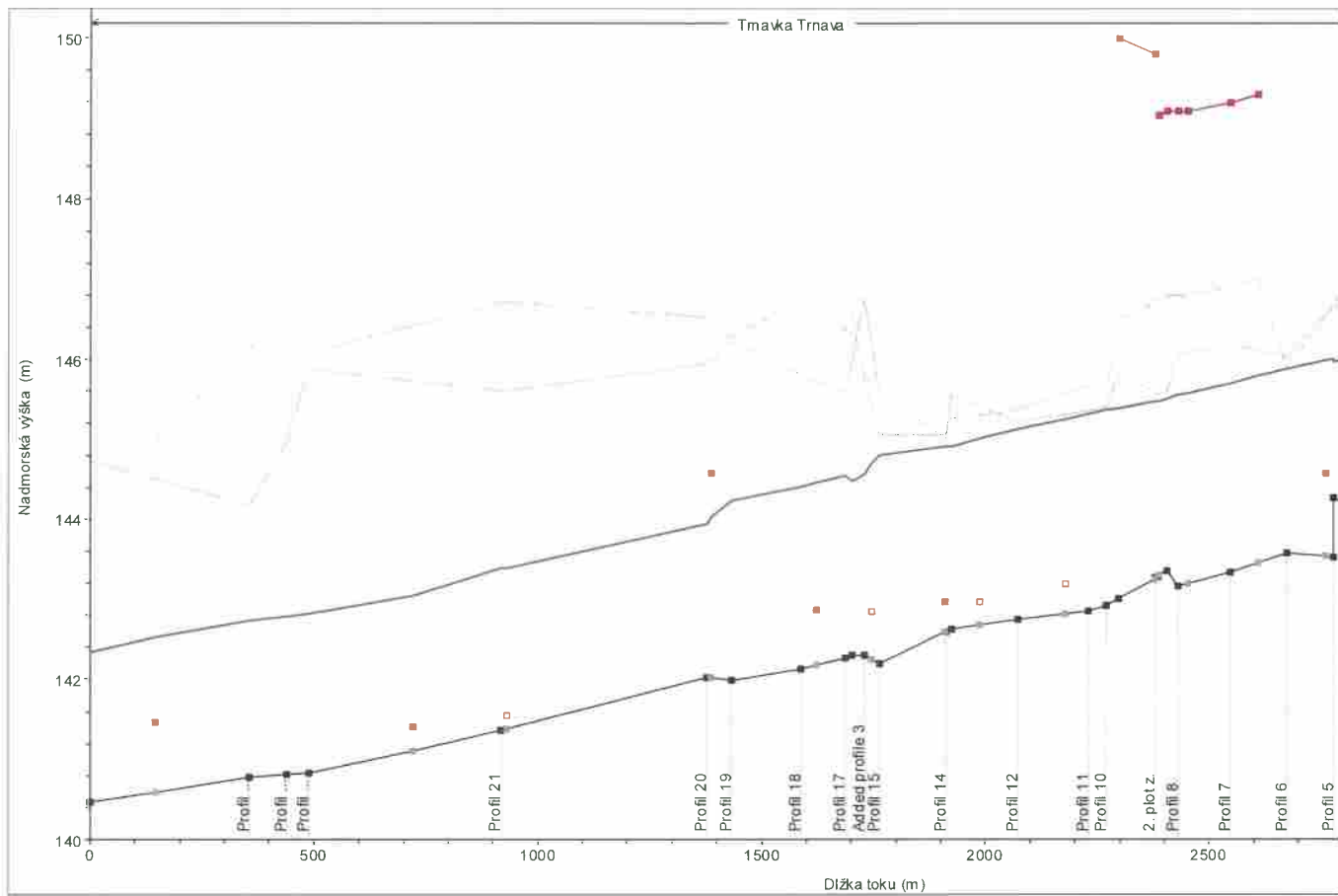


Obr. 12 Poloha hladiny pri maximálnom prietoku v relat. stanič. 1,763 km





Obr. 13 Priebeh hladiny v Trnávke pri minimálnom biologickom prietoku



Obr. 14 Priebeg hladiny v Trnávke pri maximálnom prietoku

## 6.2. Návrh vodozadržných opatrení na toku

Pre potreby zadržania vody v krajine boli na toku Trnávka v prvej etape štúdie navrhnuté dva vzdúvacie objekty vakových hatí, neskôr bola pridaná tretia vzdúvacia stavba. Pri vakových hatiach je hradiacia konštrukcia tvorená gumotextilovým vakom pripevneným na spodnú stavbu a piliere. Vaky sa môžu plniť vodou ale aj vzduchom. Množstvo vody prepadajúcej cez vakový uzáver je regulované výškou vaku. Výška vaku závisí od množstva vody, ktorá sa vo vaku nachádza (Možiešik a kol., 2012).

Ak je potrebné zvýšiť prietok cez hať, vypustí sa z vaku príslušná časť vody, príp. vzduchu, a vak splasne, čím sa zväčší prepádová výška. Pre zníženie prepúšťaného prietoku sa do vaku napustí viac vody, resp. vzduchu. Dôvodom návrhu práve vakovej hate je niekoľko jej výhod, z ktorých najväčšie sú:

- konštrukcia vakovej hate je jednoduchšia ako pri tradičných typoch haťových uzáverov,
- ďalšou výhodou je aj montáž, tiaž a cena.

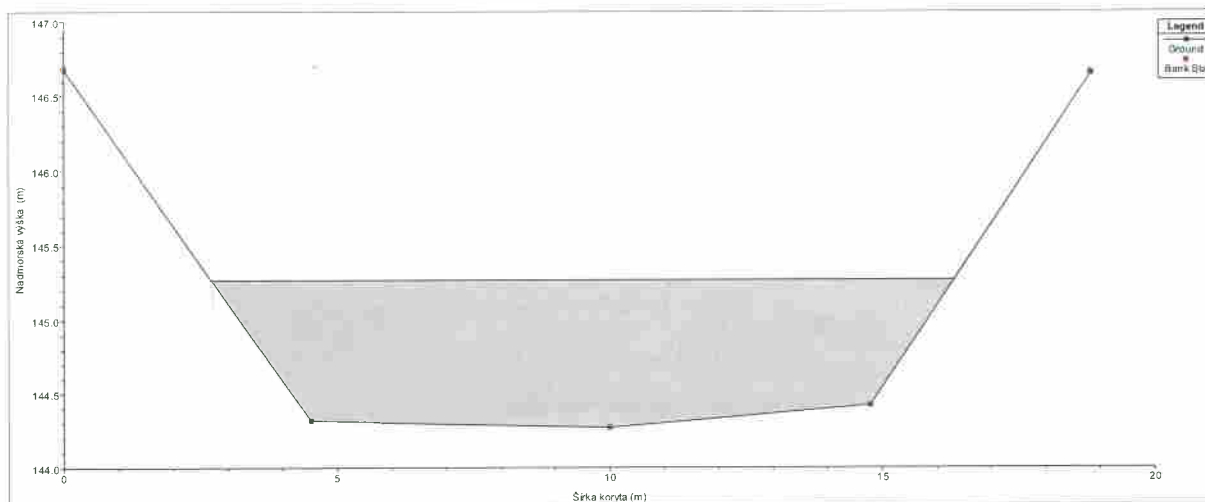
Pre vhodné umiestnenie profilov vakových hatí boli celkovo vytypované 3 oblasti:

- prvá vaková hať bude umiestnená v profile, kde v minulosti stálo stavidlo (obr. 15), a to v relat. staničení 2,754 km. Maximálna výška plne zahradenej hate je 1,00 m (obr. 16). V profile bývalého stavidla je možné využiť už existujúcu pevnú spodnú stavbu, ktorú je možné vidieť na obr. 15. Daný profil má aj dobrú prístupnosť pre následnú realizáciu stavby;



Obr. 15 Priečny profil umiestnenia prvej hate



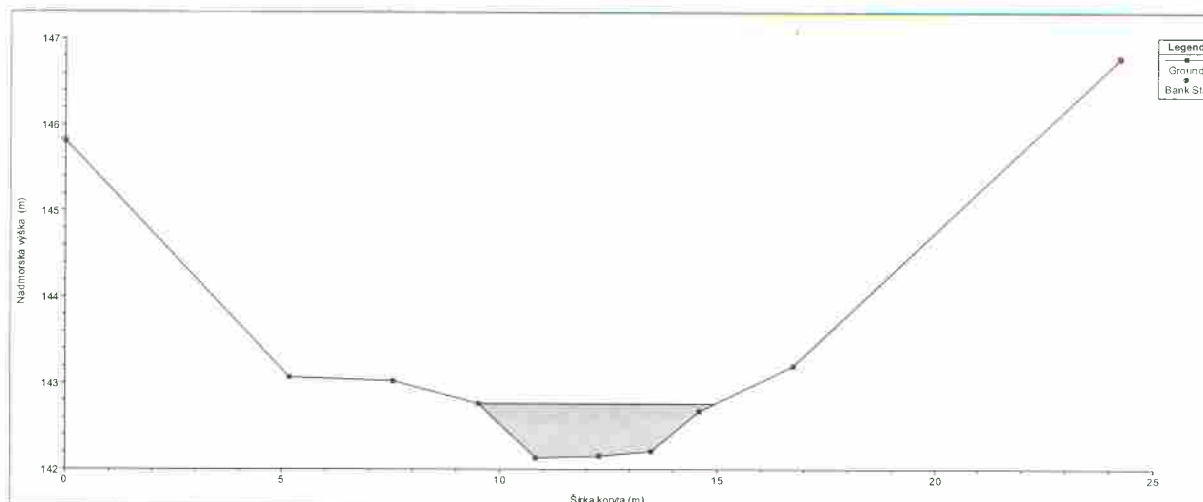


Obr. 16 Priečný profil prvej hate namodelovaný v softvéri HEC-RAS

- druhý vzdúvací objekt bol navrhnutý v prostredí Parku pri Kalvárii (obr. 17) v relat. staničení 1,433 km neďaleko kruhovej budovy hydraulického objektu. Výška vakovej hate bola navrhnutá na 0,6 m (obr. 18). Druhá, nižšie položená hať by mala vzduť hladinu priamo v meste a to v prostredí parku. V danom profile (obr. 17) schádza dole panelová prístupová cesta, ktorá by sa využila pri výstavbe hate, ale zároveň by sa ponechal jej pôvodný účel – prístupová cesta pre udržiavacie práce v koryte toku. Profil hate sa nachádza v dostatočnej vzdialenosti od výpustných objektov, takže pri bežných prietokoch (do  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) nie je ovplyvnená ich funkčnosť vzduťou hladinou.



Obr. 17 Priečný profil umiestnenia druhej hate

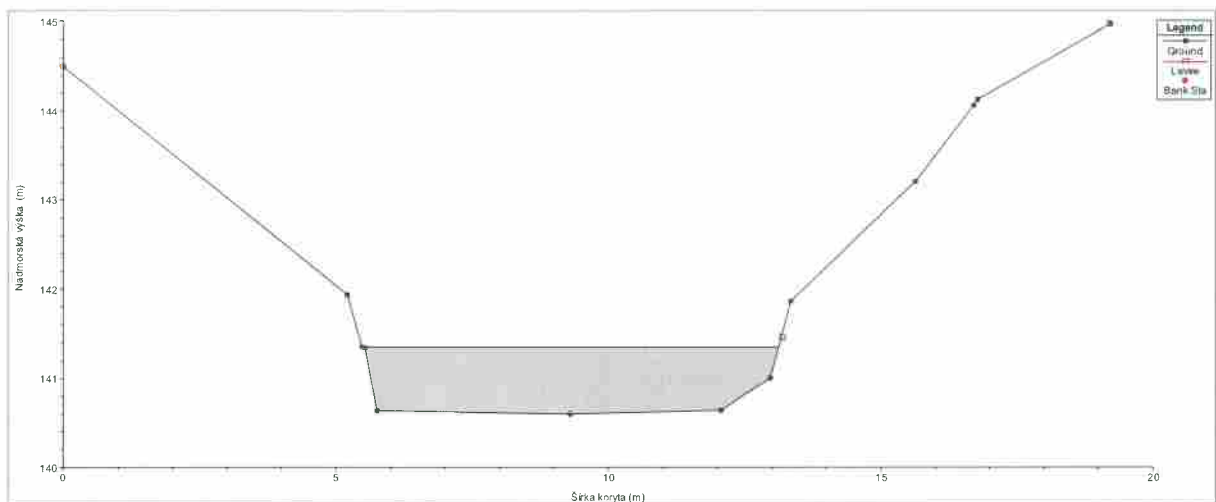


Obr. 18 Priečny profil druhej hate namodelovaný v softvéri HEC-RAS

- tretí vzdúvací objekt by mohol byť umiestnený blízko Pomníka obetiam 1.svetovej vojny (obr. 19) v relat. staničení 0,0005 km. Jeho výška bola navrhnutá na hodnotu 0,75 m (obr. 20). Výstavbou tohto stupňa by sa zatraktívnil priestor príľahlého parku a zároveň by bola vytvorená kaskáda vzdúvacích stavieb na toku Trnávka.



Obr. 19 Priečny profil, v ktorom bude umiestnená tretia vzdúvací stavba



Obr. 20 Pričný profil tretej hate namodelovaný v softvéri HEC-RAS

### 6.2.1. Porovnanie hĺbok vody v profiloch toku tesne za umiestnením hate<sup>2</sup>

- hať umiestnená v relat. staničení 2,754 km

Tab. 2 Porovnanie hĺbok vody v relat. staničení 2,800 km

Prietoky [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Hĺbka vody [m]	
	Prirodzené koryto	Zavzduté koryto
min.biologický	0.17	1.13
0.1	0.20	1.14
0.2	0.23	1.16
0.3	0.26	1.17
0.4	0.29	1.19
0.5	0.31	1.20
0.6	0.34	1.21
0.7	0.36	1.22
0.8	0.38	1.23
0.9	0.39	1.24
1	0.40	1.24
2	0.49	1.32

- hať umiestnená v relat. staničení 1,433 km

Tab. 3 Porovnanie hĺbok vody v relat. staničení 1,587 km

Prietoky [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Hĺbka vody [m]	
	Prirodzené koryto	Zavzduté koryto
Min. biologický	0.05	0.66
0.1	0.10	0.68

<sup>2</sup> Za predpokladu, že by nedošlo k vyhradeniu haťových objektov.

Pokračovanie tab. 3		
0.2	0.17	0.71
0.3	0.22	0.73
0.4	0.26	0.75
0.5	0.30	0.77
0.6	0.33	0.79
0.7	0.36	0.80
0.8	0.39	0.82
0.9	0.42	0.83
1	0.44	0.84
2	0.64	0.95

- hať umiestnená v relat. staničení 0,0005 km

Tab. 4 Porovnanie hĺbok vody v relat. staničení 0,0005 km

Prietoky [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Hĺbka vody [m]	
	Prirodzené koryto	Zavzduté koryto
min.biologický	0.05	0.78
0.1	0.07	0.79
0.2	0.09	0.82
0.3	0.11	0.84
0.4	0.13	0.86
0.5	0.15	0.87
0.6	0.16	0.89
0.7	0.18	0.90
0.8	0.19	0.92
0.9	0.20	0.93
1	0.21	0.94
2	0.31	1.05

### 6.2.2. Porovnanie objemov pri prirodzenom a zavzdutom koryte<sup>3</sup>

Tab. 5 Porovnanie objemov

Prietok [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Objem vody bez haťe [m <sup>3</sup> ]	Objem vody s haťou [m <sup>3</sup> ]	Rozdiel [m <sup>3</sup> ]
min.biologický	800	6 456	5 656
0.1	1 205	6 825	5 620
0.2	1 765	7 361	5 596
0.3	2 222	7 808	5 586

<sup>3</sup> Za predpokladu, že by nedošlo k vyhradeniu haťových objektov.



Pokračovanie tab. 5			
0.4	2 626	8 194	5 568
0.47	2 891	8 447	5 556
0.5	3 002	8 545	5 543
0.600	3 358	8 881	5 523
0.700	3 702	9 209	5 507

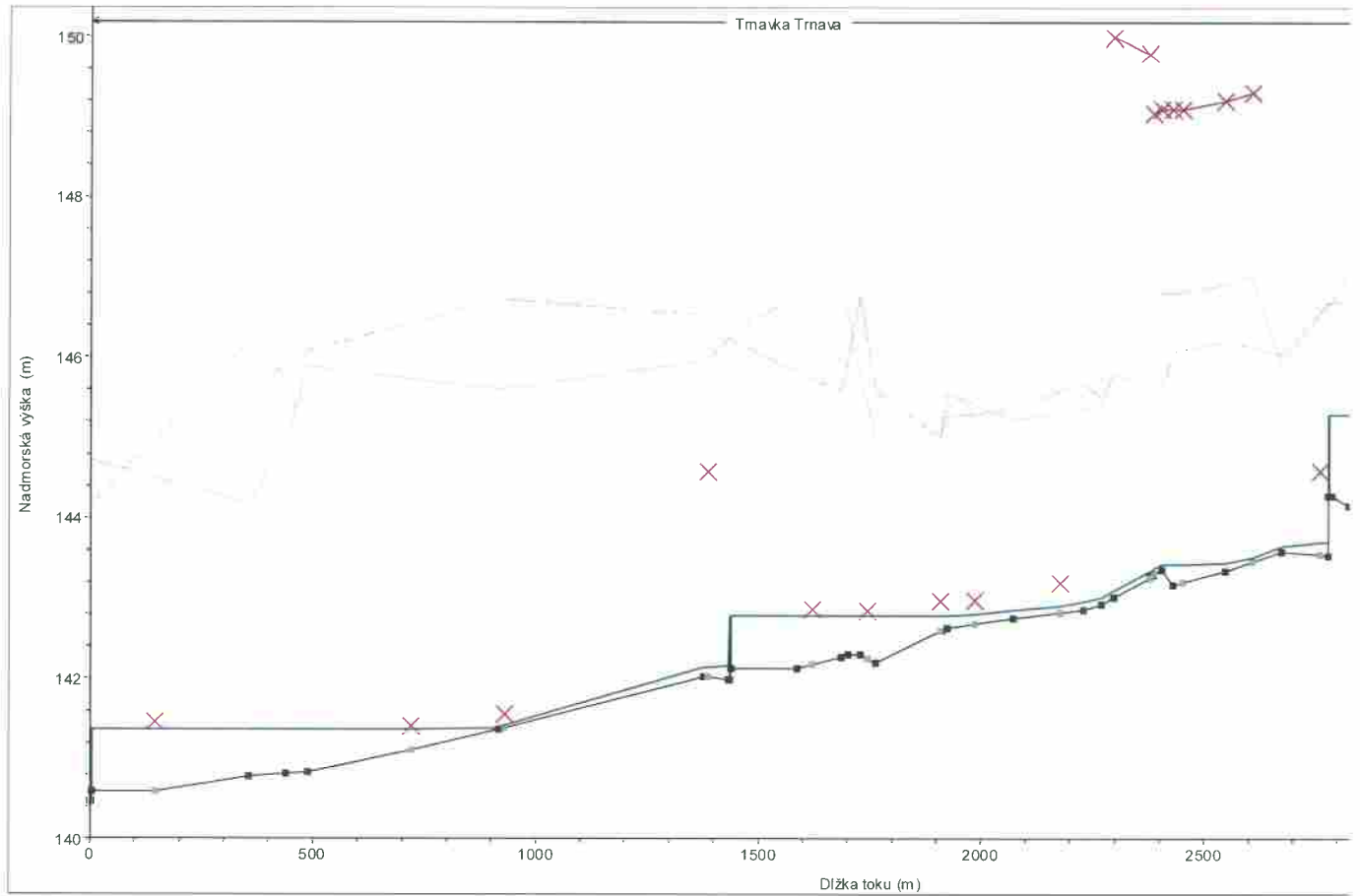
### 6.3. Posúdenie vplyvu vzdutej hladiny na funkčnosť odľahčovacích komôr

Po výstavbe vakových hatí tak, ako boli opísané v kap. 6.2, by pri minimálnom biologickom prietoku zatopenie väčšiny výpustných objektov a odľahčovacích komôr nemalo nastávať (obr. 21).

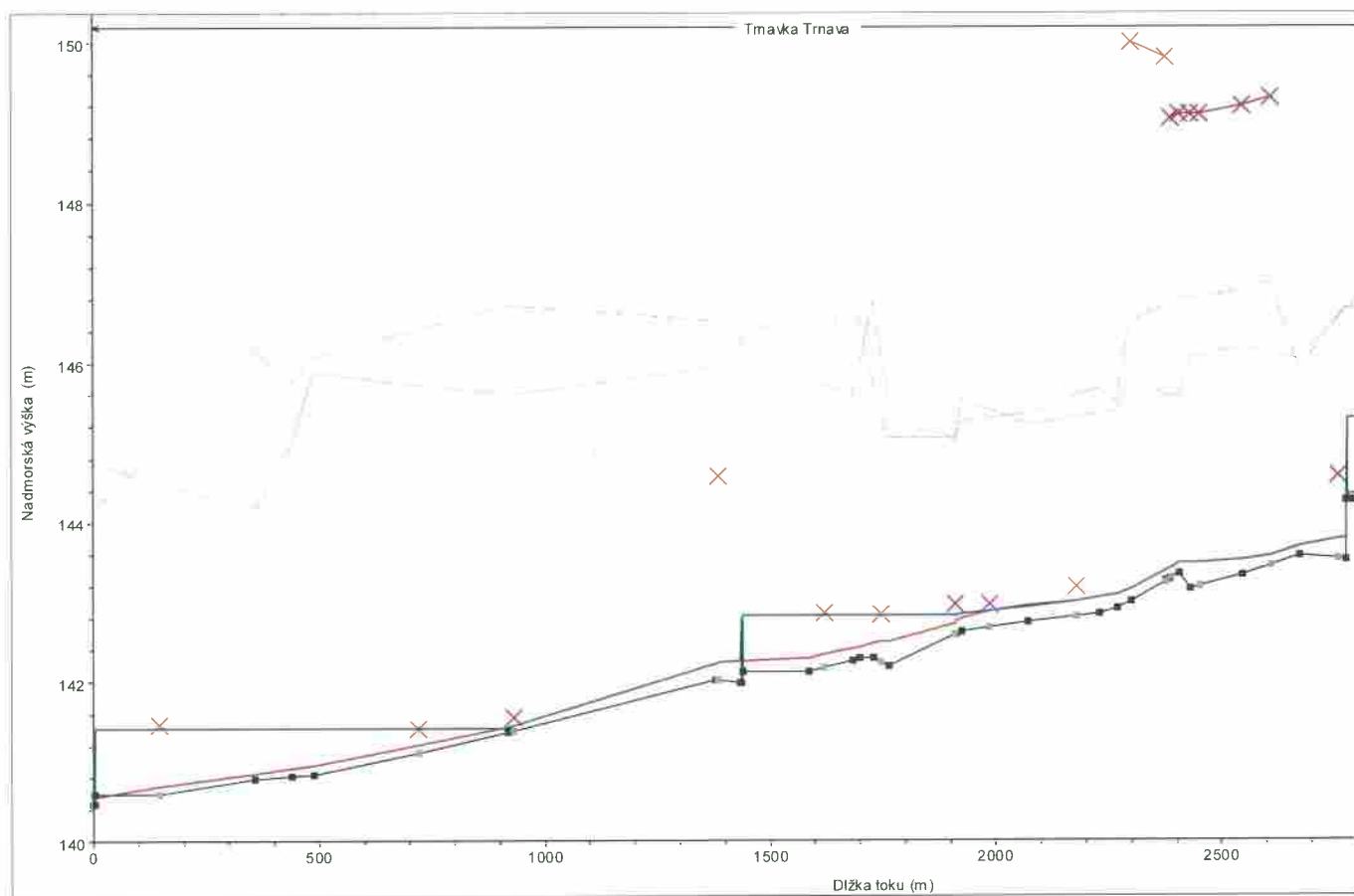
Výška vakových hatí bola dimenzovaná tak, aby pri minimálnom prietoku, ktorý tečie korytom počas roka, nedochádzalo k zatápaniu výustov kanalizačnej siete. Hodnota takéhoto prietoku bola stanovená na  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , čo predstavuje prietok vypúšťaný z vodnej nádrže Boleráz a pripočítanie prítokov. Po zavzduť toku pri prietoku  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je z obr. 22 vidieť, že pri tomto prietoku siaha hladina v toku po dolné okraje výpustných objektov odľahčovacích komôr. Na porovnanie, pri hladine, ktorá nie je vzdutá, by k zatopeniu dolnej hrany došlo približne až pri prietoku  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 6.4. Posúdenie vplyvu navrhnutých objektov na prechod povodňového prietoku

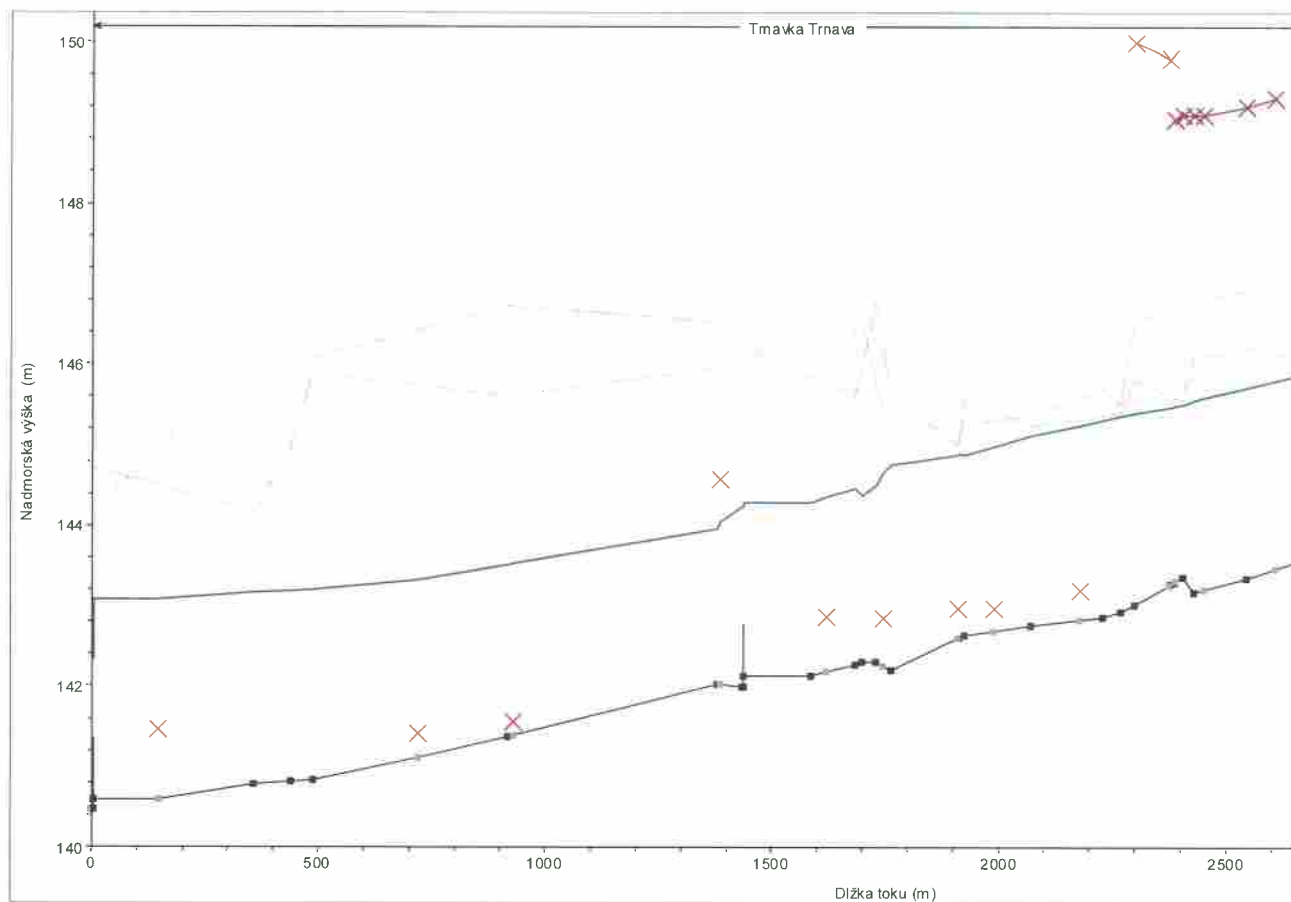
Ďalším nevyhnutným krokom bolo posúdenie vplyvu navrhnutých objektov, tzn. vakových hatí s výškami 1,0m, 0,6m a 0,75m, na prechod povodňového prietoku, ktorého veľkosť pre  $Q_{100}$  je  $36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Počas simulácie nastalo zatopenie všetkých výpustných objektov a odľahčovacích komôr s výnimkou výpustného objektu umiestneného v profile mosta na úrovni mostovky (obr. 23). Treba však poznamenať, že vybreženie z koryta toku nenastalo. Z hľadiska bezpečnosti však navrhujeme, aby sa vakové hate v čase zvýšených prietokov vyhradili a poloha hladiny by sa dostala na pôvodnú výšku, t. j. na výšku bez vzdúvacích objektov.



Obr. 21 Pozdĺžny profil Trnávky s polohou hladiny pri minimálnom prietoku vzhľadom na výpustné ob.



Obr. 22 Pozdĺžny profil Trnávky s polohou hladín pri prirodzenom a zavzdutom toku



Obr. 23 Pozdĺžny profil koryta Trnávky s polohou hladiny pri prechode povodňových



#### 6.5. Posúdenie vplyvu navrhnutých objektov na úroveň hladiny podzemnej vody

Realizáciou navrhnutých vodozádržných opatrení by nemalo dôjsť k výraznejšiemu ovplyvneniu hladiny podzemnej vody v príľahlej oblasti toku Trnávka. Ako už bolo spomínané v kap. 4.1, vsakovacia rýchlosť nameraná priamo v koryte toku je rádovo  $10^{-4} - 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ , čo síce odpovedá priepustným zeminám, no ide o vlastnosť zemín nachádzajúcich sa pod vrstvou náplavov, ktorých vsakovacia schopnosť je nižšia.

Prvý vzdúvací objekt bol navrhnutý v profile bývalého stavidla, jeho parametre navyše vychádzajú z parametrov tohto stavidla. Obnovením vzdúvacej stavby by sa mal režim podzemnej vody v tejto časti vrátiť do stavu, v ktorom sa nachádzal, keď bývalé stavidlo ešte stálo. Navyše sa jedná o okrajovú časť mesta Trnava, kde by aj prípadný výskyt vyššej hladiny podzemnej vody nemal ohroziť žiadne domy ani iné objekty.

V bezprostrednej blízkosti zvyšných dvoch vzdúvacích objektov doposiaľ neboli realizované prieskumné práce. V kap. 5.2. sú popísané vrty, ktoré sa síce nachádzajú v oblasti vzdutia od druhej a tretej hate, avšak ich vzdialenosť od koryta je väčšia. Vzhľadom na zeminy, ktoré sa v týchto vrtoch nachádzajú (a je teda aj predpoklad, že sa nachádzajú aj v blízkosti toku), možno konštatovať, že k výraznejšiemu ovplyvneniu hladiny a ani režimu podzemných vôd by vplyvom vzdutia nemalo dochádzať.

Navyše je možné počítať s kolmatáciou dna a brehov koryta toku, ktorá zabráni infiltrácii vody z toku do podzemnej vody.

#### 6.6. Návrh manipulačného poriadku na navrhnutých objektoch

Navrhované vakové hate budú plne automatické hradiace konštrukcie, tzn. že ovládanie vakových hatí bude automatické. V prípade povodňových stavov sa vaková konštrukcia hate samočinne vyprázdni. Vypustený vak kladie tečúcej vode minimálny odpor.

Manipulačné poriadky pre obe vakové hate budú vypracované ako súčasť projektovej dokumentácie hatí v súčinnosti s SVP, š. p. OZ Piešťany, s TAVOS, a. s. a predstaviteľmi mesta Trnava.

6.7. Vizualizácia vodohospodárskeho riešenia



Obr. 24 Vaková haň umiestnená v relat. staničení 2,754 km s prepadajúcim lúčom vody (pohľad proti prúdu)



Obr. 25 Vaková haň umiestnená v relat. staničení 2,754 km (pohľad proti prúdu)



Obr. 26 Začlenenie vakovej hate umiestnenej v relat. staničení 2,754 km do okolitého prostredia (pohľad po prúde)



Obr. 27 Začlenenie vakovej hate umiestnenej v relat. staničení 2,754 km do okolitého prostredia (pohľad po prúde)



Obr. 28 Vaková hať umiestnená v relat. staničení 1,433 km (pohľad proti prúdu)



Obr. 29 Vaková hať umiestnená v relat. staničení 1,433 km (pohľad po prúde)





Obr. 30 Začlenenia vakovej hate umiestnenej v relat. staničení 1,433 km do okolitého prostredia  
(pohľad proti prúdu)



Obr. 31 Začlenenia vakovej hate umiestnenej v relat. staničení 1,433 km do okolitého prostredia  
(pohľad proti prúdu)



Obr. 32 Detail vakovej hate umiestnenej v relat. staničení 1,433 km



Obr. 33 Vaková hať umiestnená v relat. staničení 1,433 km začlenená v prirodzenom prostredí (pohľad proti prúdu)



Obr. 34 Vaková haň umiestnená v relat. staničení 0,0005 km (pohľad proti prúdu)



Obr. 35 Vaková haň umiestnená v relat. staničení 0,0005 km (pohľad z mosta)



Obr. 36 Vaková hať umiestnená v relat. staničení 0,0005 km (pohľad po prúde)

## 7. Záver

Cieľom štúdie „Projekt vodozádržných opatrení na toku Trnávka“, ktorý je súčasťou Stratégie adaptácie mesta Trnava na dopady zmeny klímy – vlny horúčav, je návrh vodozádržných opatrení na toku Trnávka v intraviláne mesta Trnava. Okrem zatraktívnenia verejných priestorov by realizácia takýchto opatrení prispela k zadržaniu vody v intraviláne mesta Trnava a ochladzovaniu okolitého vzduchu.

Prvou úlohou bol zber a vyhodnotenie všetkých dostupných podkladov. V rámci tejto etapy boli uskutočnené dve terénne merania a merná kampaň za účelom zistenia možného chemického znečistenia toku, ktoré sa po vyhodnotení všetkých meraných parametrov (pH, vodivosť, koncentrácia rozpustného kyslíka, koncentrácia  $\text{NH}_4^+$ , Cu,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) v danom dni nepotvrdilo (viac v kap. 4.1.3). Účelom terénnych prieskumov bolo tiež získanie geodetického zamerania koryta (príp. blízkeho okolia koryta toku) a zistenie hydraulických parametrov toku, na ktorom navrhujeme realizáciu vodozádržných opatrení. Zároveň bola za účelom zistenia vsakovacej (infiltračnej) schopnosti pôdy, resp. sedimentov nachádzajúcich sa priamo v koryte toku meraná vsakovacia (infiltračná) rýchlosť. Výsledky vsakovacích pokusov boli použité za účelom zistenia vplyvu navrhovaných opatrení na hladinu podzemnej vody v príľahlom území.

Problematika návrhu vodozádržných opatrení na toku Trnávka bola riešená numerickým modelom v programe HEC-RAS slúžiacom na analýzu prúdenia vody v riekach. Model bol nakalibrovaný využitím údajov získaných z terénnych prieskumov a následne prebehol výpočet hladinového režimu pre prietoky v rozsahu od minimálneho biologického, ktorého hodnota je  $Q_{\text{min,bio}} = 0,044 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , po povodňový, tzn. 100-ročný prietok  $Q_{100} = 36,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Na zostavenom numerickom modeli bol následne simulovaný priebeh hladín, ktorý by sa vytvoril po vybudovaní vodozádržných opatrení. Tieto opatrenia navrhujeme realizovať formou vakových hatí, ktorých výber je popísaný v kap. 6.2. Optimalizáciou návrhu vakových hatí boli vybrané tri profily, v ktorých sú hate navrhnuté nasledovne:



- prvá vaková hať umiestnená v profile s relat. staničení 2,754 km, pričom maximálna výška plne zahradenej hate je 1,0 m. Ide o profil bývalého stavidla, ktoré bolo v roku 2013 z dôvodu havarijného stavu odstránené;
- druhý vzdúvací objekt bol navrhnutý v prostredí Parku pri Kalvárii v relat. staničení 1,433 km, pričom výška vakovej hate bola navrhnutá na 0,6 m. Hať by mala vzduť hladinu priamo v meste, v prostredí parku;
- profil tretej hate bol navrhnutý v relat. staničení 0,0005 m v blízkosti Pomníku obetiam 1.svetovej vojny. Jej výška bola navrhnutá na hodnotu 0,75 m. Výstavbou tohto stupňa by sa zatraktívnil priestor príľahlého parku a zároveň by bola vytvorená kaskáda vzdúvacích stavieb na toku Trnávka.

Z hľadiska vplyvu vzdutej hladiny na funkčnosť odľahčovacích komôr stokovej siete by po výstavbe vakových hatí nemalo dôjsť k zatopeniu väčšiny výpustných objektov a odľahčovacích komôr pri minimálnom biologickom prietoku. Avšak pri prietoku  $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , čo predstavuje minimálny prietok v koryte toku Trnávka počas roka, začína siahť hladina vody po dolný okraj výpustných objektov odľahčovacích komôr. Na porovnanie, pri hladine, ktorá nie je vzdutá, by k celkovému zatopeniu došlo približne až pri prietoku  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Ďalším krokom bolo posúdenie vplyvu navrhnutých objektov na prechod povodňového prietoku, ktorého veľkosť pre  $Q_{100}$  je  $36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Počas simulácie nastalo zatopenie všetkých výpustných objektov a odľahčovacích komôr s výnimkou výpustného objektu umiestneného v profile mosta na úrovni mostovky. V čase povodňového prietoku, ktorý by tiekol korytom s postavenými vakovými haťami, by nemalo dôjsť k vybreženiu vody z koryta toku. Z hľadiska bezpečnosti však navrhujeme, aby sa vakové hate v čase zvýšených prietokov vyhradili a poloha hladiny by sa dostala na pôvodnú výšku, t. j. na výšku bez vzdúvacích objektov.

Realizáciou navrhnutých vodozádržných opatrení by nemalo dôjsť ani k výraznejšiemu ovplyvneniu hladiny podzemnej vody v príľahlej oblasti toku Trnávka. Potvrdzujú to jednak vsakovacie pokusy realizované priamo v koryte a tiež fakt, že prvé vzdúvadlo je umiestnené v profile kedysi existujúceho stavidla a druhé a tretie je navrhnuté v oblasti so zeminami, pri ktorých je infiltrované množstvo vody zanedbateľné. Navyše je možné počítať s kolmatáciou dna a brehov koryta toku, ktorá zabráni infiltrácii vody z toku do podzemnej vody.

Po zvážení všetkých vyššie popísaných skutočností odporúčame navrhnuté vodozádržné opatrenia realizovať.



## 8. Použitá literatúra

*Geologická mapa Slovenska M 1:50 000* [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2013. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/gm50js>.

*Hydrogeologické mapy* [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2008. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/hydrogeol>.

Manipulačný poriadok vodnej stavby Boleráz (VN na toku Trnávka v rkm 27,350). Piešťany: SVP, š.p. OZ Piešťany, oddelenie TBD, 2006.

Baroková, D. *Určenie vplyvu vodnej stavby na hladinový režim podzemných vôd a možnosti jeho regulácie*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, Vydavateľstvo STU, 2006. 152 s. ISBN 80-227-2367-3.

Brunner, G. W., CEIWR-HEC. *HEC-RAS. River Analysis System User's Manual*. California: US Army Corps of Engineers, 2010.

Elečko, M. a kol. *Vysvetlivky ku geologickej mape 1 : 200 000 list 35 Trnava*. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava, 2006.

Hegyí, L., Miterková, I., Schvalb, M. Šteiner, A. *Stratégia adaptácie mesta Trnava na dopady zmeny klímy – vlny horúčav*. Trnava, 2015.

Kočický, D., Ivanič, B. *Geomorfologické členenie Slovenska M 1 : 500 000* (podľa Mazúr, E., Lukniš, M., 1986)

Květon, R., Orfánus, M. *Hydroinformatika 1. časť. Simulácia procesov prúdenia povrchovej vody v otvorených korytách a cez vodohospodárske objekty*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, Nakladateľstvo STU, 2015. 202 s. ISBN 978-80-227-4468-3.

Marsh-McBirney Inc. *FLO-MATE. Model 2000 Portable Flowmeter Instruction Manual*. Maryland: 1990.

Možiešik L., Dušička P., Šulek P. *Hydrotechnické stavby. Hate. Vnútrozemské vodné cesty a plavebné objekty. Vodné elektrárne a využitie vodnej energie*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2012. ISBN 978-80-227-3656-5.

Obert, L. *Záverečná inžinierskogeologická správa. Cesta I/51 Trnava - severný obchvat*. Bratislava: Geotech, 2003.

Pokorný, M. *Záverečná správa inžinierskogeologického prieskumu Trnava – polyfunkčný dom na Vajanského ulici*. Trnava: Stavby a sanácie, s.r.o., 2004.

Richter, P. *Závěrečná správa. ASO Trnava – hydrogeologický prieskum*. Bratislava: IGHP, n.p. Žilina, závod Bratislava, 1984.

