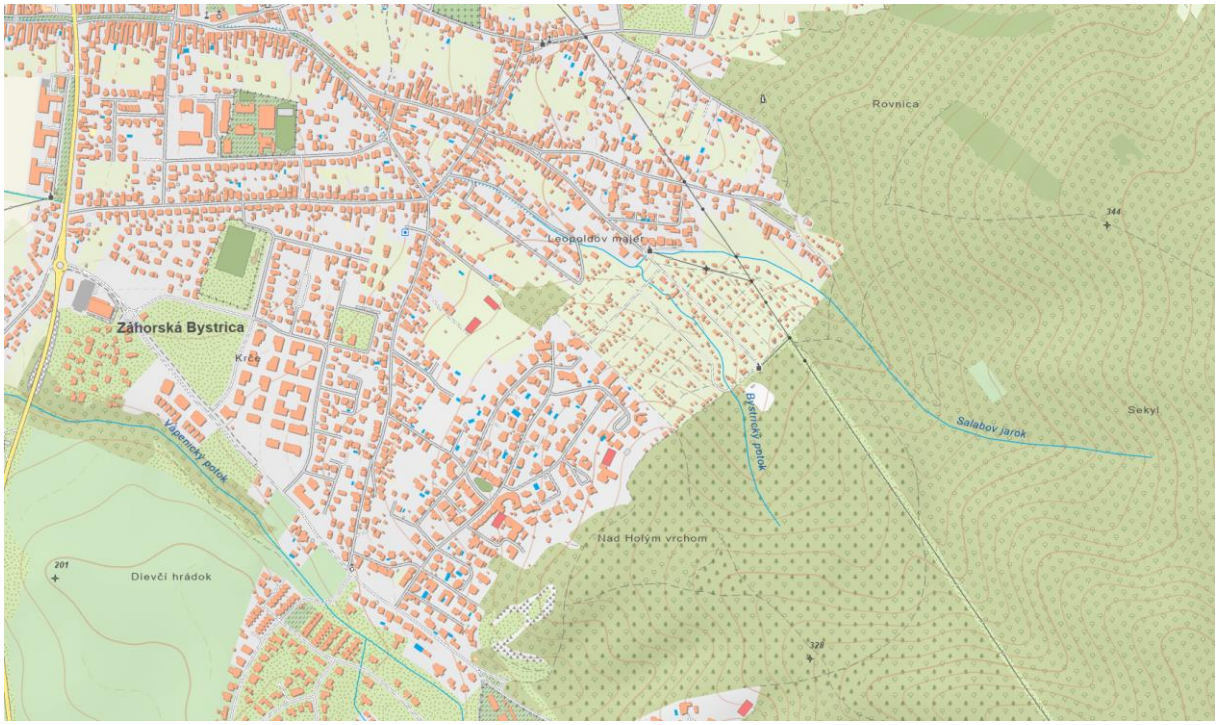
STU SvF
SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

KATEDRA HYDROTECHNIKY

MOŽNOSTI RIEŠENIA PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY INTRAVILÁNU ZÁHORSKEJ BYSTRICE

ZÁVEREČNÁ SPRÁVA



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

Spoluriešiteľ: **doc. Ing. Martin Orfánus, PhD.**

doc. Ing. Dana Baroková, PhD.

Bratislava, február 2026

Obsah

1 ÚVOD 3

2 PODKLADY 4

3 POPIS ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA 8

4 MATEMATICKÝ MODEL 10

Parametrizácia modelu 11

5 VÝSLEDKY 14

5.1 Analýza povodňovej vlny 14

5.1.1 Povodňová aktivita v povodí Bystrického potoka a v intraviláne obce ... 14

5.1.2 Povodňová aktivita v povodí bezmenného prítoku a v intraviláne obce .. 17

5.1.3 Súbeh povodňovej aktivity v povodí Bystrického potoka, jeho bezmenného prítoku a v intraviláne obce 19

5.2 Návrh opatrení v lesoparku nad obcou 23

5.3 Opatrenia v obci 32

6 ZÁVER 39

7 POUŽITÁ LITERATÚRA A ZDROJE 41

1 ÚVOD

Predmetom štúdie **„MOŽNOSTI RIEŠENIA PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY INTRAVILÁNU ZÁHORSKEJ BYSTRICE“** je posúdenie aktuálneho stavu protipovodňovej ochrany mestskej časti Záhorská Bystrica a jej priľahlého územia na povodňové prietoky s dobou opakovania Q_{100} s následným návrhom opatrení. Táto štúdia vznikla na základe objednávky starostu mestskej časti Bratislava – Záhorská Bystrica Ing. J. Krúpu po povodňovej situácii, ktorá nastala v septembri 2024 a ohrozila veľkú časť Záhoria – obec Záhorskú Bystricu nevynímajúc.

Predmetom riešenia sú najmä tieto úlohy:

- Analýza súčasného stavu povrchových tokov a s tým súvisiace posúdenie povodňového ohrozenia obce v súčasných podmienkach.
- Stanovenie priebehu povodňovej situácie v prípade prechodu povodňovej vlny Q_{100} obcou podľa podkladov SHMÚ v súčasnosti.
- Návrh vodozádržných opatrení (suchých poldrov) na tokoch v území nad obcou Záhorská Bystrica na zadržanie zrážkovej vody v lesoparku nad obcou a s tým spojená simulácia priebehu povodňovej vlny podľa SHMÚ. Konkrétne sa jedná o návrh poldrov na Bystrickom potoku (niekedy nazývaný aj Salabov potok) a na jeho bezmennom ľavostrannom prítoku (na niektorých mapách nazývaný Bystrický potok) vrátane stanovenia ich objemu (DMT z mapových podkladov ZBGIS).
- Prezentácia výsledkov simulácie prechodu povodňovej vlny a následného zaplavenia intravilánu obce pred a po realizácii vodozádržných opatrení v lesoparku nad obcou.
- Návrh a odporúčania menších technických (finančne menej náročných) opatrení v intraviláne obce, ktoré boli zistené počas podrobnej terénnej obhliadky riešiteľským kolektívom a ktoré by určite znížili riziko a intenzitu povodní.

K splneniu týchto úloh boli v rámci riešenia štúdie vypracované 2D simulácie prúdenia povrchovej vody pre zadefinovanú povodňovú vlnu Q_{100} podľa podkladu SHMÚ a výpočet jej transformácie, t. j. sploštenia jej maximálnej hodnoty

a časového oneskorenia. Práce boli podľa takto navrhnutej schémy rozdelené do na seba nadväzujúcich celkov a zahŕňali nasledujúce činnosti:

- analýzu a spracovanie dodaných hydrologických a získaných morfologických vstupných podkladov,
- spracovanie podkladov pre zostavenie 2D numerického modelu prúdenia povrchovej vody,
- vypracovanie matematického 2D modelu riešeného územia,
- numerickú simuláciu definovaných výpočtových scenárov,
- vyhodnotenie výsledkov simulácií a odporúčania (záver).

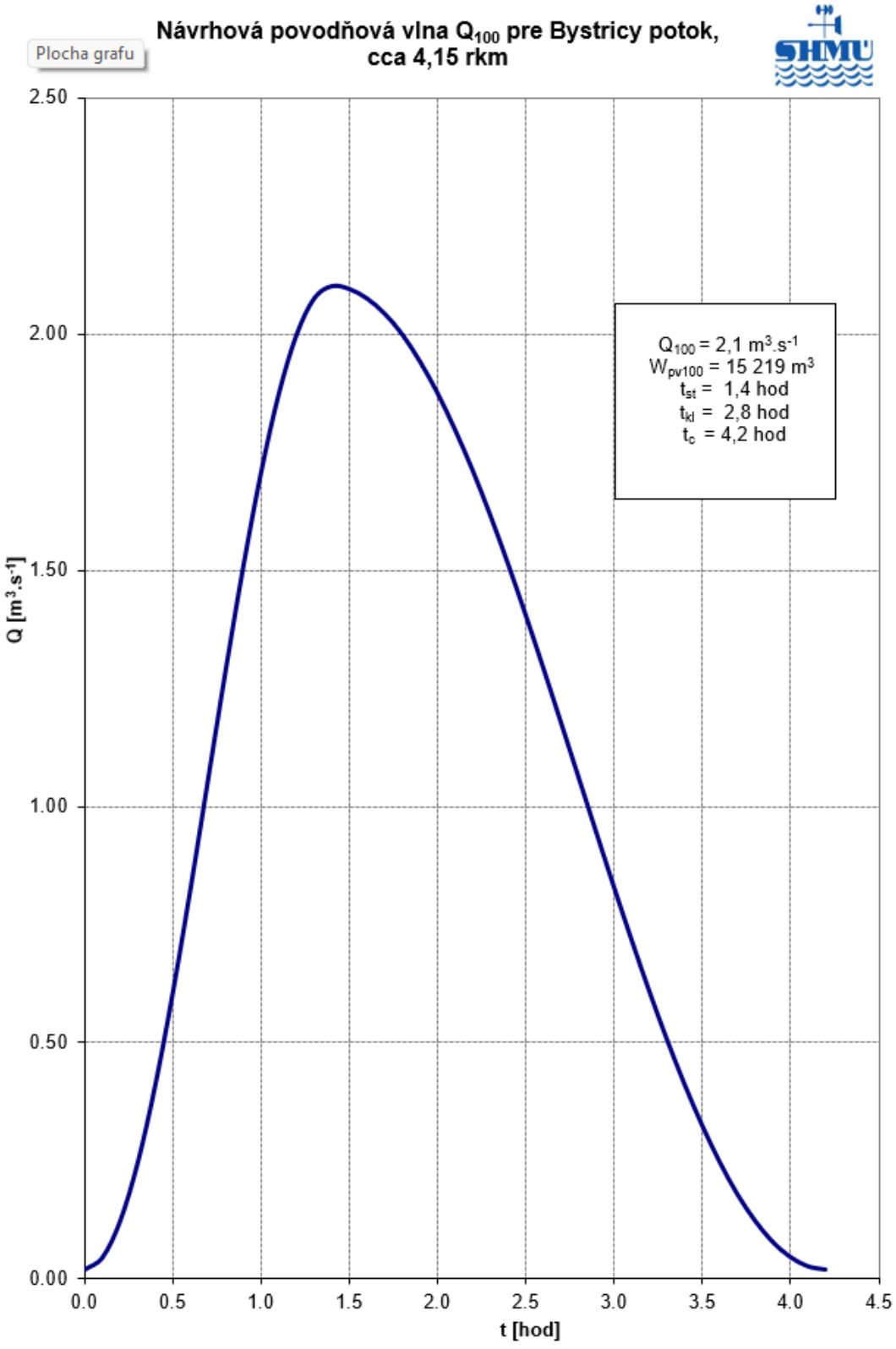
2 PODKLADY

Na spracovanie návrhu a vypracovanie 2D matematického modelu boli k dispozícii nasledovné podklady:

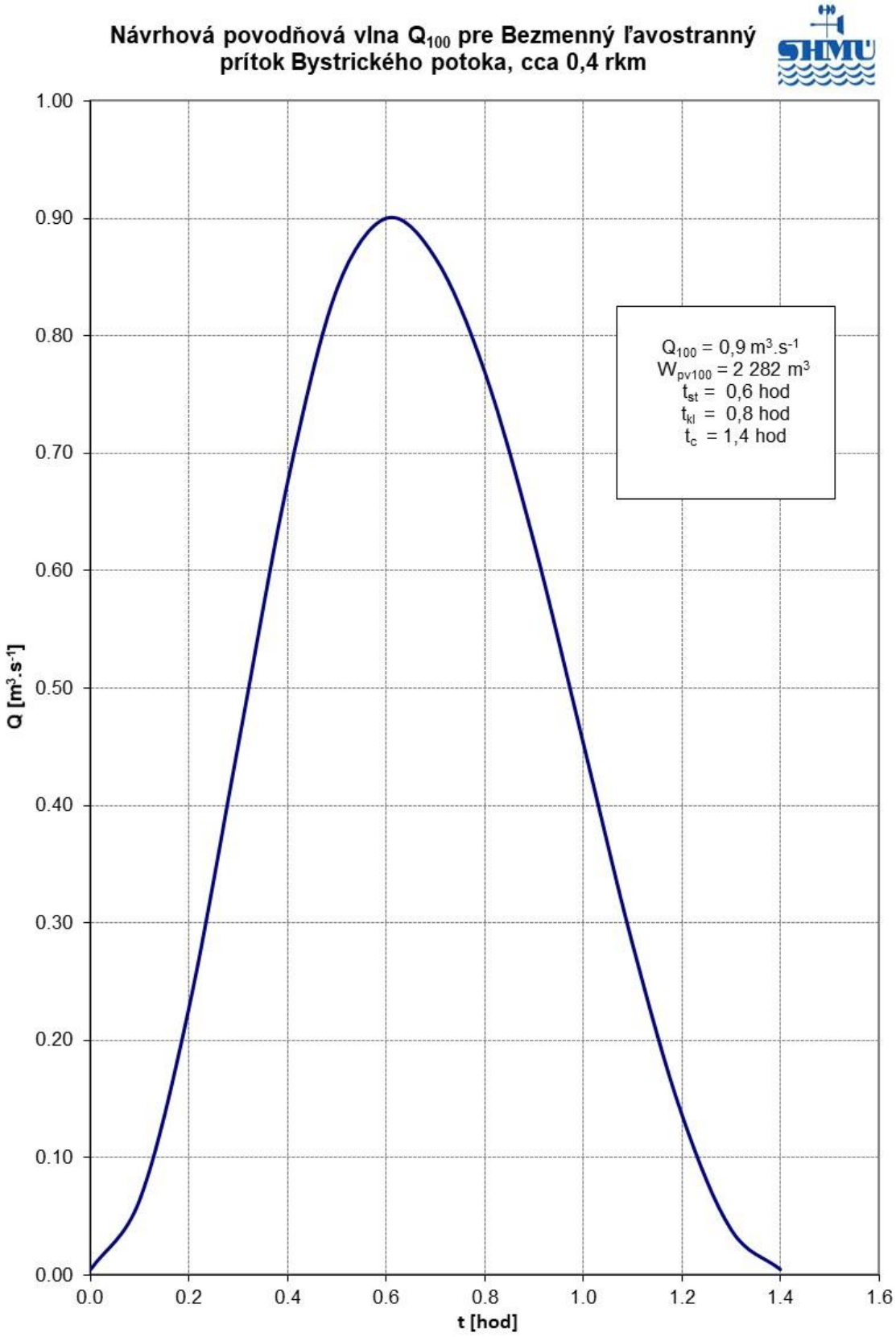
- Hydrologické údaje o priebehu povodňovej vlny Q_{100} v záujmovej oblasti, spracované a poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ), 2025 pre zodpovedným riešiteľom navrhnuté profily na Bystrickom a bezmennom ľavostrannom prítoku nad obcou Záhorská Bystrica (obr. 1, resp. obr. 2).
- Digitálny model terénu (DMT), resp. digitálny model reliéfu (DMR) – raster s rozlíšením 1×1 m pre dotknuté územie (Obr. 3) z portálu aplikácie ZBGIS.
- Dôkladná terénna obhliadka za účelom vytipovania kritických miest z hľadiska povodňového ohrozenia intravilánu obce a stanovenia kapacity existujúcich objektov na tokoch.

Najdôležitejším hydrologickým podkladom je priebeh návrhovej povodňovej vlny pre Q_{100} (storočnú vodu), na ktorú sa protipovodňové opatrenia v obciach najbežnejšie navrhujú. Tento podklad (obr. 1) konkrétne udáva, že návrhová povodňová vlna na Bystrickom potoku nadobudne v danom profile riečneho kilometra (rkm 4,15) za 1,4 hod svoju maximálnu hodnotu Q = 2,1 $m^3.s^{-1}$. Ďalší – veľmi dôležitý údaj – je objem vody, ktorý sa pri priebehu povodňovej vlny vytvorí je V = 15 219 m^3. Celkové trvanie návrhovej povodňovej vlny je 4,2 hod. Pre vysvetlenie, rkm znamená vzdialenosť uvedeného profilu od sútoku

Bystrického a Mariánskeho potoka. Podobné údaje sú uvedené na obr. 2. pre bezmenný ľavostranný prítok Bystrického potoku v rkm 0,4.

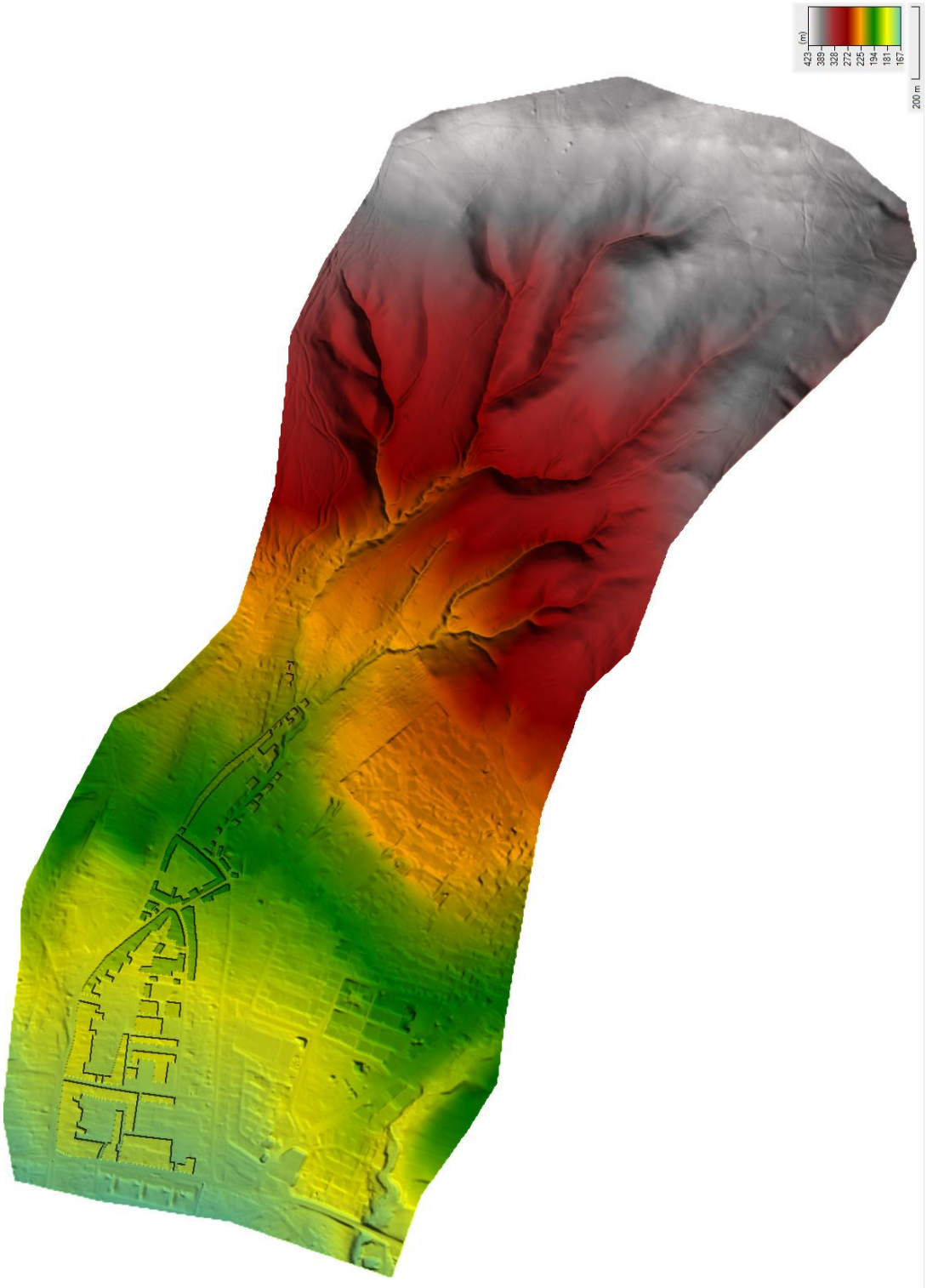


Obr. 1. Priebeh povodňovej vlny na Bystrickom potoku.



Obr. 2. Priebeh povodňovej vlny na bezmennom ľavostrannom prítoku.

Na obr. 3. je znázornená ukážka digitálneho model reliéfu (DMR) z podkladov aplikácie ZBGIS, ktorý bol použitý pri numerickej simulácie priebehu povodňovej vlny v záujmovom území obce (pozn.: pootočený).



Obr. 3. Digitálny model reliéfu (DMR) s rastrom 1×1 m záujmovej lokality.

3 POPIS ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA

Pri popise záujmového územia sa budem pridŕžať terminológie podľa vodohospodárskej mapy Slovenského vodohospodárskeho podniku, š. p. Podľa nej sa záujmové územie riešené v rámci tejto štúdie nachádza v povodí Bystrického potoku a jeho bezmenného ľavostranného prítoku.

Bystrický potok je tok 5. rádu nachádzajúci mestskej časti Záhorská Bystrica (okres Bratislava IV). Potok meria približne 5,5 km. Pramení pod hrebeňom neďaleko od Sekýla, preteká územím, ktoré patrí do geomorfologických celkov Malé Karpaty a Borská nížina. Preteká cez obec Záhorská Bystrica v prekrytom profile, za diaľnicou sa zlieva s Mariánskym potokom a cez tok Mláky samozrejme patrí do povodia rieky Morava. V rámci bratislavskej hydrografie sa radí k prítokom, ktoré odvodňujú juhovýchodnú časť Záhorskej nížiny a priľahlé svahy Karpát. Ide o menší vodný tok lokálneho významu, ktorý dotvára prírodný charakter okrajových častí Bratislavy smerom na Záhorie (obr. 4).



Obr. 4. Bystrický potok nad obcou v lesoparku Malých Karpát.

Bezmenný ľavostranný prítok Bystrického potoka je necelý 1 km dlhý, vteká pod mostom na Tešedíkovej ulici v zatrubnenom profile Ø500 mm do Bystrického

potoka (obr.5). Pramení cca 400 m naľavo nad pohostinstvom na Plácku, kde je zaústený popod cestu do potrubia, ktoré je plne zanesené a kapacitne nevyhovujúce (obr. 6).



Obr. 5. Zaústenie bezmenného prítoku do Bystrického potoka..



Obr. 6. Zaústenie bezmenného prítoku do potrubia pri pohostinstve na Plácku.

Mestská časť Bratislava – Záhorská Bystrica predstavuje z hľadiska katastrálneho usporiadania jednotný a ucelený územný celok. Na rozdiel od niektorých iných bratislavských častí, ktoré vznikali administratívnym spájaním viacerých obcí, si Záhorská Bystrica zachovala jedno primárne katastrálne územie s rovnomenným názvom a číselným kódom 802361.

Kataster Záhorskej Bystrice sa rozprestiera na úpätí Malých Karpát a v južnej časti Záhorskej nížiny. S rozlohou približne 32 km² patrí k dôležitým rozvojovým oblastiam hlavného mesta, pričom v rámci okresu Bratislava IV susedí s viacerými mestskými časťami aj samostatnými obcami.

Hoci je územie administratívne vedené pod jedným katastrom, v praxi sa člení na niekoľko charakteristických zón, ktoré definujú jeho tvár:

- Urbanizované jadro
    - Zahŕňa pôvodnú historickú zástavbu obce, ktorá sa postupne rozširovala o moderné rezidenčné štvrte ako sú Strmé vŕšky, Pod vŕškami či Krče.
- Poľnohospodárska krajina
    - Západná časť územia smerom k rieke Morave je charakteristická ornou pôdou a otvorenou krajinou.
- Lesný a rekreačný fond
    - Významnú časť katastra tvoria lesné porasty Malých Karpát, ktoré sú súčasťou Chránenej krajinnej oblasti a slúžia na rekreáciu a turistiku.

4 MATEMATICKÝ MODEL

Na určenie hladinového režimu uvedených potokov v záujmovej oblasti bol použitý dvojdimenzionálny matematický model HEC-RAS 2D v6.3.1 (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center's River Analysis System). Tento softvér bol vyvinutý primárne na plánovanie a analýzu povodňových rizík a škôd v riečnych systémoch. Umožňuje riešiť ustálené aj neustálené 1D a 2D prúdenie pomocou numerických metód konečných diferencií a na výber má schémy difúznej alebo dynamickej vlny.

V prípade tejto štúdie bola použitá dynamická vlna, známa ako Saint-Venantova rovnica, ktorá popisuje nestacionárne prúdenie v otvorených korytách. Model HEC-RAS 2D ju využíva v aproximovanej forme tzv. rovníc plytkej vody (Shallow Water Equations – SWE). V týchto rovniciach sa zanedbávajú vertikálne zložky rýchlosti a predpokladá sa nestlačiteľnosť kvapaliny s konštantnou hustotou.

Rovnica kontinuity pre nestacionárne prúdenie má nasledovný tvar:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} = q \qquad (1)$$

kde: t je čas,

u, v sú zložky rýchlosti v smere x a y,

q je plošný zdroj alebo prítok.

Riešenie týchto rovníc si vyžaduje vyššie výpočtové nároky, no umožňuje modelovať dynamické scenáre ako sú dynamické povodňové vlny, náhle rozšírenia alebo zúženia prúdu, zmiešaný režim prúdenia, šírenie vĺn a pod. Vzhľadom na nedostatok vhodných kalibračných údajov nebolo možné pristúpiť ku kalibrácii modelu, čo predstavuje zdroj neistoty pri interpretácii výsledkov simulácií.

Parametrizácia modelu

Na účely simulácie povodňových vĺn Q_{100} v záujmovej lokalite bol vytvorený dvojdimenzionálny matematický model. Z portálu ZBGIS bol použitý digitálny model reliéfu (DMR) záujmovej oblasti. V miestach identifikovaných hydrotechnických objektov boli do modelu implementované prvky podľa terénnej obhliadky. Pre názornosť uvádzame na obr.7 časť výpočtovej siete vypracovaného matematického modelu podľa DMR priamo v obci Záhorská Bystrica.



Obr. 7. Znázornenie výpočtovej siete matematického modelu.

Výpočtová sieť záujmového územia bola definovaná s rozmerom prvkov od ~0.8 m, v závislosti od požadovanej detailnosti výpočtu. Simulačné scenáre boli zostavené ako:

- **Analýza priebehu povodňovej vlny**

Na základe rekognoskácie mapových podkladov, analýzy morfológie záujmového územia, požiadaviek objednávateľa a výsledkov výpočtu priebehu povodne budú identifikované kritické miesta a miesta potenciálne ohrozené počas výskytu extrémnych povodňových prietokov

  - Povodňová aktivita v povodí Bystrického potoka a v intraviláne obce,
  - Povodňová aktivita v povodí bezmenného prítoku a v intraviláne obce,
  - Súbeh povodňovej aktivity v povodí Bystrického potoka, bezmenného prítoku a v intraviláne obce.

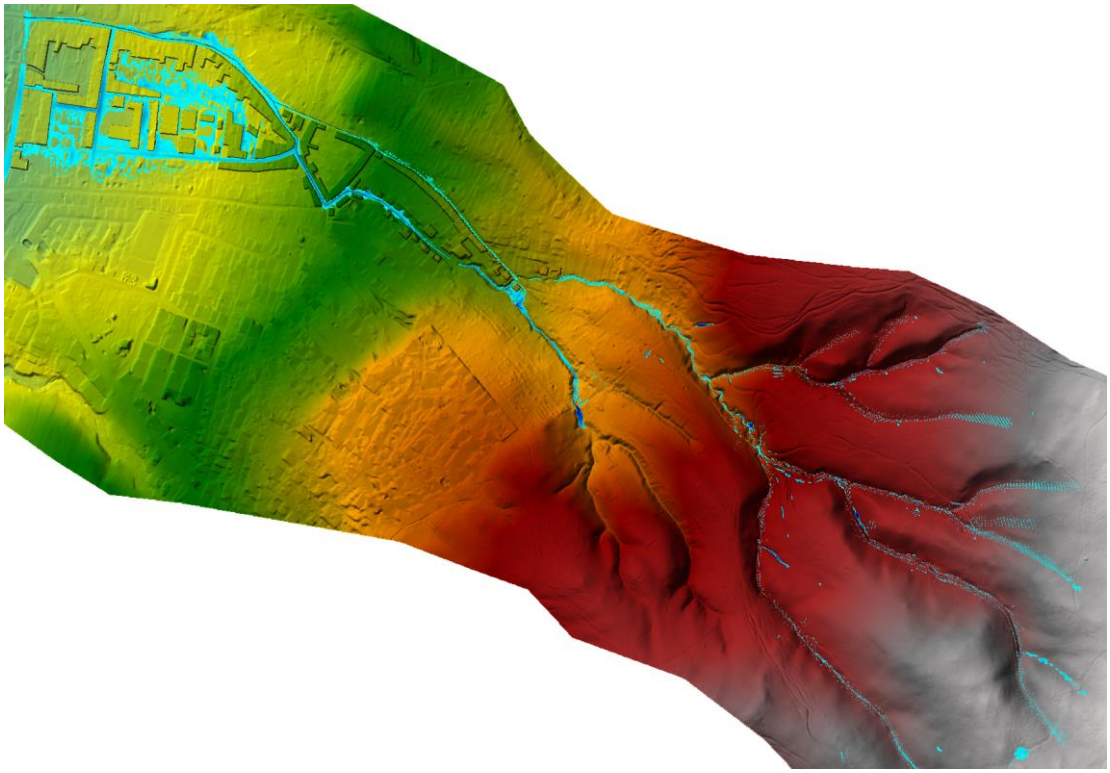
- **Návrh vodozádržných opatrení v krajine**

Najvhodnejším nástrojom na efektívnu protipovodňovú ochranu urbanizovaných území je zachytávanie povodňových prietokov nad takýmto územím. Budovanie detenčných nádrží „suchých poldrov“ je jedným zo základných nástrojov. Filozoficky vychádza z predpokladu zadržať v lesoparku nad obcou zrážkové vody, pokým nedôjde k odtoku zrážkovej vody z intravilánu obce. Dôležitým aspektom je vhodné umiestnenie poldrov vzhľadom na

- stavebnú (realizačnú) dostupnosť,
- retenčný potenciál (objem zadržanej vody),
- primerané pokrytie dielčích mikropovodí v riešenej oblasti.

5 VÝSLEDKY

Výsledkom vykonanej práce je vypracovanie koncepčného simulačného modelu priebehu povodne Q_{100} podľa navrhovaných výpočtových scenárov a zároveň návrh možností protipovodňových opatrení (v lesoparku nad obcou). Na obr.8 je znázornený priebeh tvorby povodňovej vlny na Bystrickom potoku nad obcou.



Obr. 8. Ilustratívna mapa záplavy zo zrážkovej činnosti nad obcou.

5.1 Analýza povodňovej vlny

Výsledkom analýzy prechodu povodňovej vlny obcou metódou matematického modelovania sú mapy záplavového územia, znázorňujúce rozsah zatopenia, hĺbky a rýchlosti prúdenia pre jednotlivé simulované prietoky Q_{100}. Tieto sme vypracovali pre nami navrhované výpočtové scenáre. Najprv uvedieme výsledky všetkých scenárov, ktorým sme sa venovali a potom popíšeme rozdiely medzi nimi.

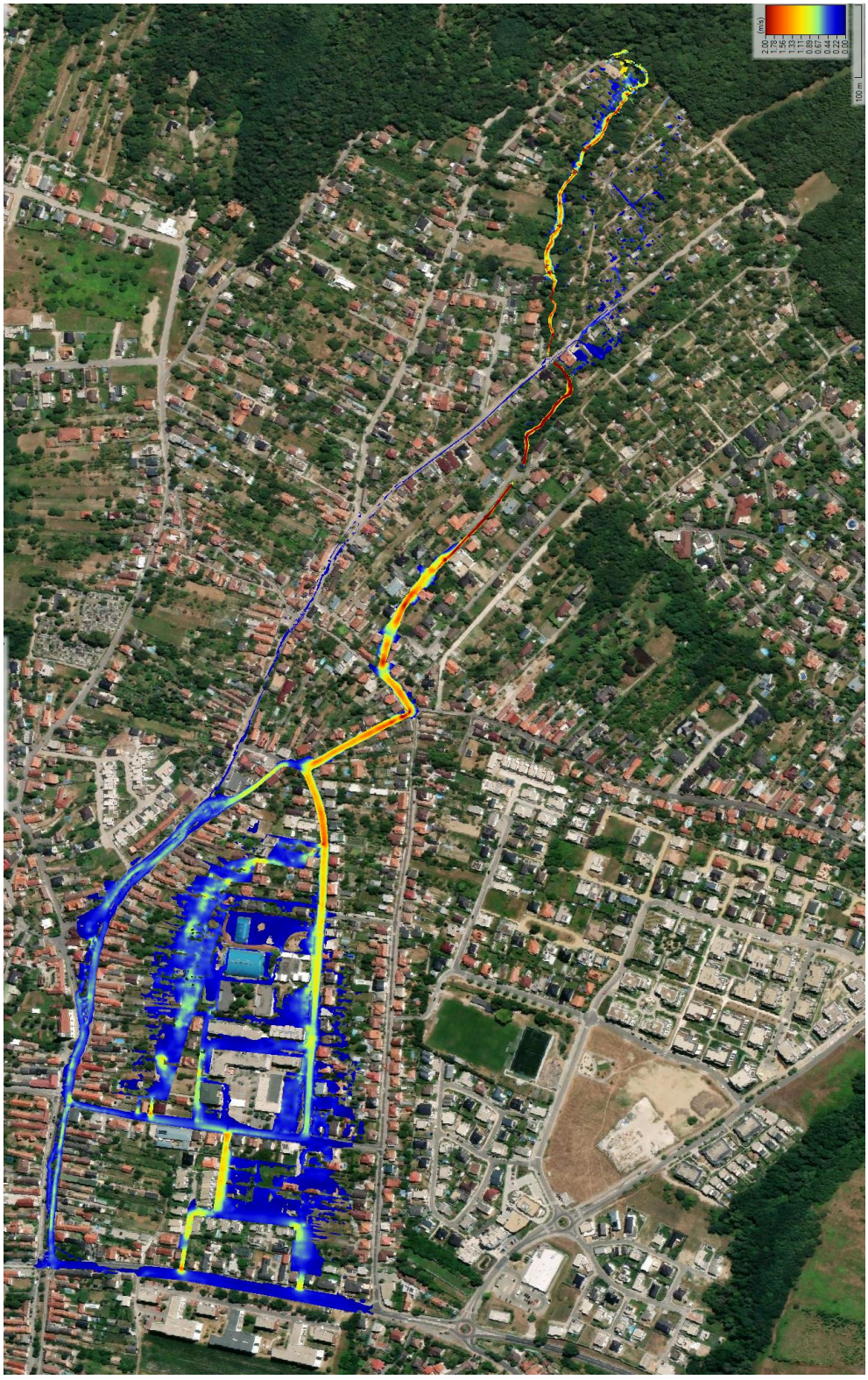
5.1.1 Povodňová aktivita v povodí Bystrického potoka a v intraviláne obce

V hornej časti povodia Bystrického potoka bola numericky generovaná zrážka, zodpovedajúca povodňovej vlne Q_{100} v definovanom profile podľa podkladov

SHMÚ. Takto zadaná podmienka umožnila analýzu formovania extrémneho odtoku, distribúciu odtoku v čase a priestore a tomu zodpovedajúci efektívny návrh opatrení (obr. 9 a 10).



Obr. 9. Povodňová aktivita v povodí Bystrického potoka. Mapa maximálnych hĺbok pre záplavu pri Q_{100}.



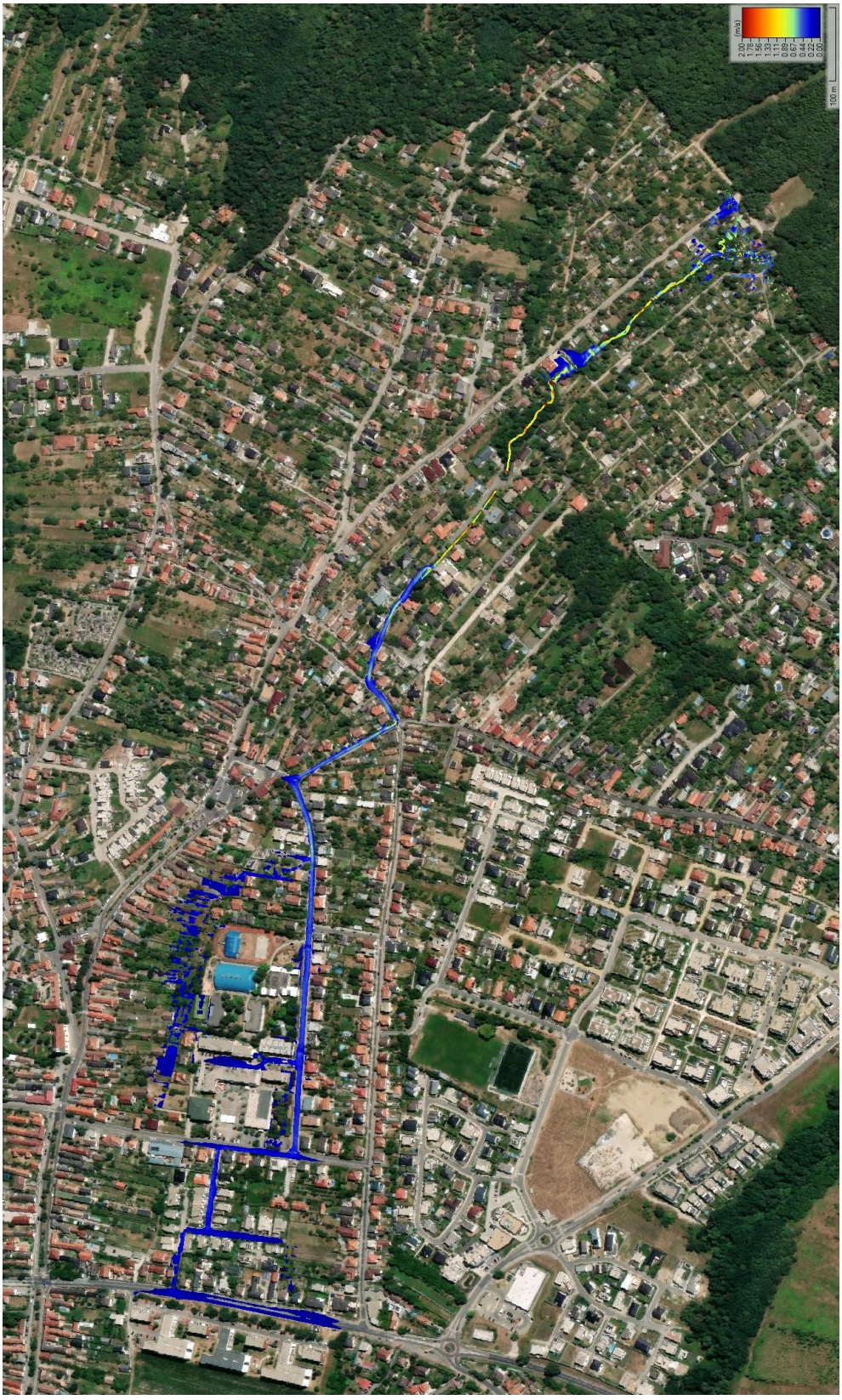
Obr. 10. Povodňová aktivita v povodí Bystrického potoka. Mapa maximálnych rýchlostí pre záplavu pri Q_{100}.

5.1.2 Povodňová aktivita v povodí bezmenného prítoku a v intraviláne obce

Podobne sme namodelovali priebeh povodňovej vlny pri Q_{100} v definovanom profile (SHMU), ktorá by nastala na bezmennom prítoku Bystrického potoka. Jej parametre sú znázornené na obr. 11 a 12.



Obr. 11. Povodňová aktivita v povodí bezmenného prítoku Bystrického potoka. Mapa maximálnych hĺbok pre záplavu pri Q_{100}.



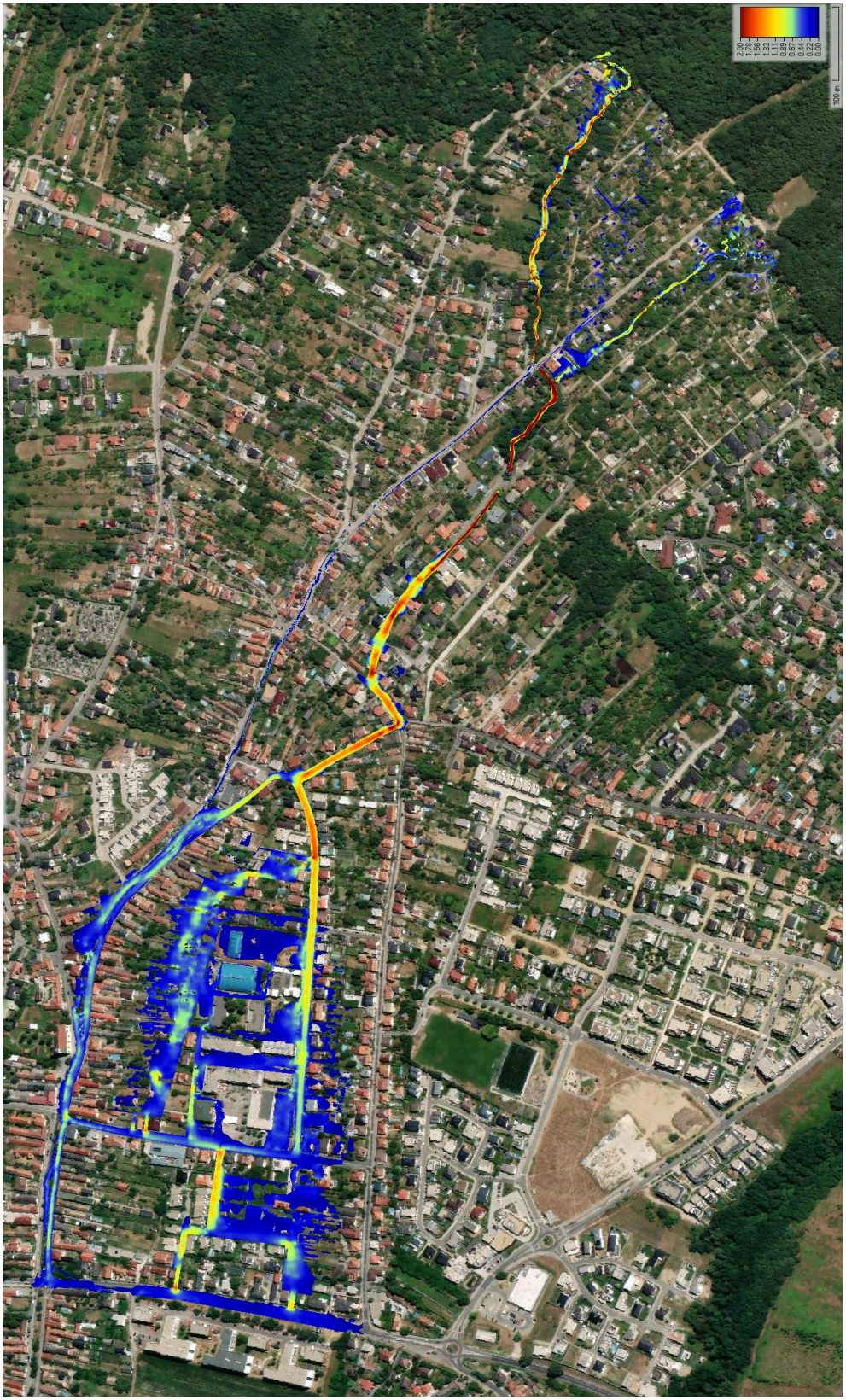
Obr. 12. Povodňová aktivita v povodí bezmenného prítoku Bystrického potoka. Mapa maximálnych rýchlostí pre záplavu pri Q_{100}.

5.1.3 Súbeh povodňovej aktivity v povodí Bystrického potoka, jeho bezmenného prítoku a v intraviláne obce

V tomto prípade sa jedná o kombináciu výpočtu extrémneho odtoku Q_{100} z oboch povodí tak, ako keby kulminovali približne v tom istom čase (obr. 13 a 14).

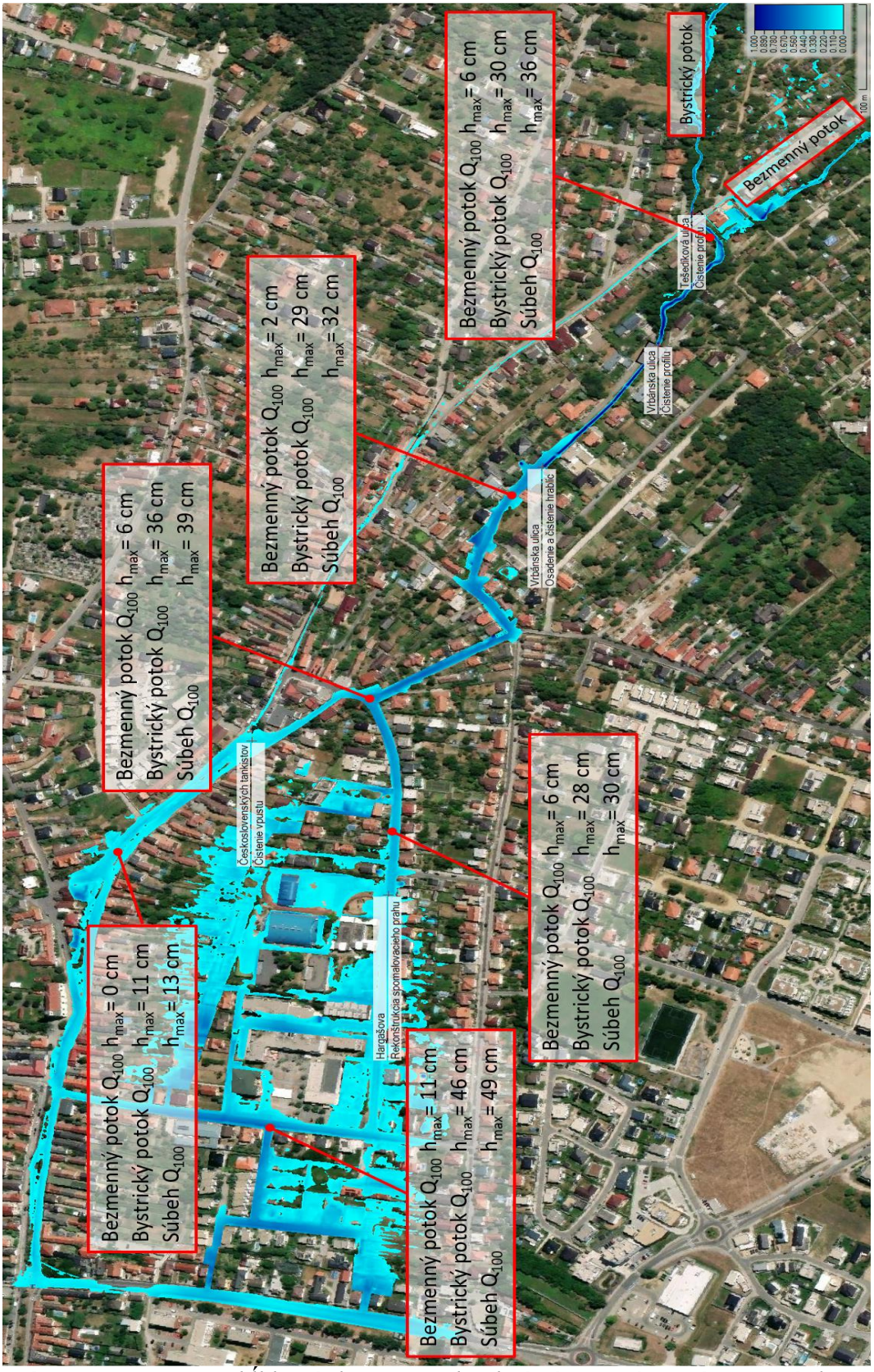


Obr. 13. Súbeh povodňovej aktivity v oboch povodiach. Mapa maximálnych hĺbok pre záplavu pri Q_{100}.



Obr. 14. Súbeh povodňovej aktivity v oboch povodiach. Mapa maximálnych rýchlostí pre záplavu pri Q_{100}.

Uviedli sme tieto obrázky, aby bolo jasné, akým podielom sa ktorý potok podieľa na tvorbe povodňovej situácie v obci. Z týchto obrázkov je zrejmé, že najmä výsledok scenára povodňovej situácie vznikajúci po intenzívnych zrážkach v povodí Bystrického potoka (obr. 9 a 10) a scenára súbehu povodňových vĺn na oboch uvažovaných tokoch (obr. 13 a 14) sú veľmi podobné. Vskutku je tomu tak, pretože povodňová situácia , ktorá by vznikla po zrážkovej činnosti v povodí na bezmenného prítoku Bystrického potoka (obr. 11 a 12) je relatívne malá, hĺbky záplavy sú nevýrazné. Svedčí o tom aj porovnanie hĺbok záplav pre jednotlivé scenáre, ktoré sme pre lepšiu názornosť vypracovali na obr. 15. Z tohto porovnania je v prvom rade zrejmé, že povodňová situácia súbehu povodňových vĺn na oboch potokoch neznamená, že výsledná hĺbka je automaticky súčtom hĺbok hladín pri záplave podľa jednotlivých scenárov. Niekde je to viac, niekde menej, závisí to od toho, ako sa tečúca voda po uliciach rozlieva (ak má tu možnosť), resp. ako sa koncentruje v danom profile. Tento poznatok bol dôležitý najmä z pohľadu naliehavosti a dôležitosti návrhu protipovodňových (vodozádržných) opatrení v povodiach jednotlivých tokov.



Obr. 15. Porovnanie hĺbky záplavy pre jednotlivé výpočtové scenáre pre záplavu pri Q_{100}.

5.2 Návrh opatrení v lesoparku nad obcou

Na základe uvedeného numerického modelovania priebehu povodňových vĺn pre jednotlivé nami navrhnuté scenáre a terénnej obhliadky riešenej oblasti bolo možné navrhnúť opatrenia, ktoré by mali riešiť, aby sa povodňové udalosti v obci Záhorská Bystrica už neopakovali, resp. aby povodňové vlny boli eliminované na maximálnu možnú mieru.

Postupne uvedieme opatrenia, ktoré bolo možné aj zahrnúť do našich výpočtových scenárov a pre ktoré budeme vedieť stanoviť efektivitu takýchto opatrení pri transformácii (sploštení) povodňovej vlny. Tieto opatrenia sú investične náročnejšie, ale určite sú najúčinnejšie. Uvedieme však aj také opatrenia, ktoré sú investičnej menej náročnejšie, ktoré je možné zrealizovať v relatívne krátkom časovom období.

Počas extrémneho odtoku v horných častiach povodí je výraznou súčasťou povodňovej aktivity pohyb plavenín a najmä splavenín, ktoré redukujú alebo úplne eliminujú kapacitu existujúcich objektov na tokoch, zapĺňajú retenčný priestor vodozádržných opatrení – poldrov a tým výrazne znižujú ich ochrannú funkciu. Dôležitým prvkom protipovodňovej ochrany sú teda aj opatrenia na zmiernenie pozdĺžneho sklonu, zachytávanie spláchnutého materiálu a celkovú stabilizáciu dielčích korýt a dolín potenciálne podieľajúcich sa na formovaní povodňového prietoku. Takýmito opatreniami, ktoré boli kedysi na lesných potokoch bežné boli prehrádzky v koryte bystrín. Tieto mali dve hlavné funkcie, podľa ktorých ich môžeme deliť na:

- prehrádzky konsolidačné - ustaľujú koryto bystriny, znižujú pozdĺžny sklon bystrín, čím zabraňujú vymieľacej činnosti vody, zachytávajú splaveniny, zaisťujú svahy úbočí a bočných sutinových kužeľov pred podomieľaním,
- prehrádzky retenčné - zachytávajú splaveniny v horných úsekoch toku, zabraňujú transportu splavenín do dolných úsekov, a tak aj zanášaniu toku, príp. okolitého územia, prípadne znižujú povodňovú vlnu.

Pre lepšiu ilustráciu funkcie takejto prehrádzky uvádzame na obr. 16 prehrádzku na hornom úseku Račianskeho potoka nad Krasňanmi. Táto prehrádzka plní v prvom rade úlohu znižovania pozdĺžneho sklonu potoku, pri bežných prietokoch preteká voda potoka cez dnové otvory a v prípade zvýšených, resp. povodňových prietokov

sa priestor za prehrádzkou plní a zvyšuje sa hladina v ňom. So zvyšujúcou hladinou sa zvyšuje výtok z prehrádzky, pokým hladina nedosiahne dno lichobežníkového bezpečnostného priepadu. V takom prípade je retenčná schopnosť prehrádzky ukončená a voda vyteká ako otvormi v prehrádzke, tak aj prepadá cez bezpečnostný priepad, ktorý je takisto dimenzovaný na Q_{100}.



Obr. 16. Ukážka klasickej prehrádzky na Račianskom potoku nad MČ Krasňany.

Podobné opatrenie s retenčnou funkciou navrhujeme aj v priestore lesoparku nad MČ Záhorská Bystrica. Plne si uvedomujeme, že čo najväčší objem povodňovej vlny, ktorý sa vytvorí po intenzívnych zrážkach (ako tomu bolo v septembri 2024), je potrebné zadržať nad obcou! Tomu sme podriadili aj návrh vodozádržných opatrení, v našom prípade suchých poldrov, ktorých lokalizáciu a parametre (výška, objem, resp. plocha) sú závislé od morfológie terénu, v ktorom by sa nachádzali.

Vychádzali sme pritom z návrhu podobných vodozádržných opatrení, ktoré boli navrhnuté, naprojektované a vybudované na dvoch tokoch nad MČ Rača – na Banskom a Pieskovom potoku. Oba tieto suché poldre boli navrhnuté na základe štúdie, ktorú vypracoval kolektív pracovníkov Stavebnej fakulty STU v roku 2008

v rámci projektu INTERREG SK-AT. K samotnej realizácii pristúpil Slovenský vodohospodársky podnik, š. p. v roku 2015 (obr. 17), kedy boli tieto poldre vybudované, skolaudované a odvtedy slúžia svojmu účelu (obr. 18).

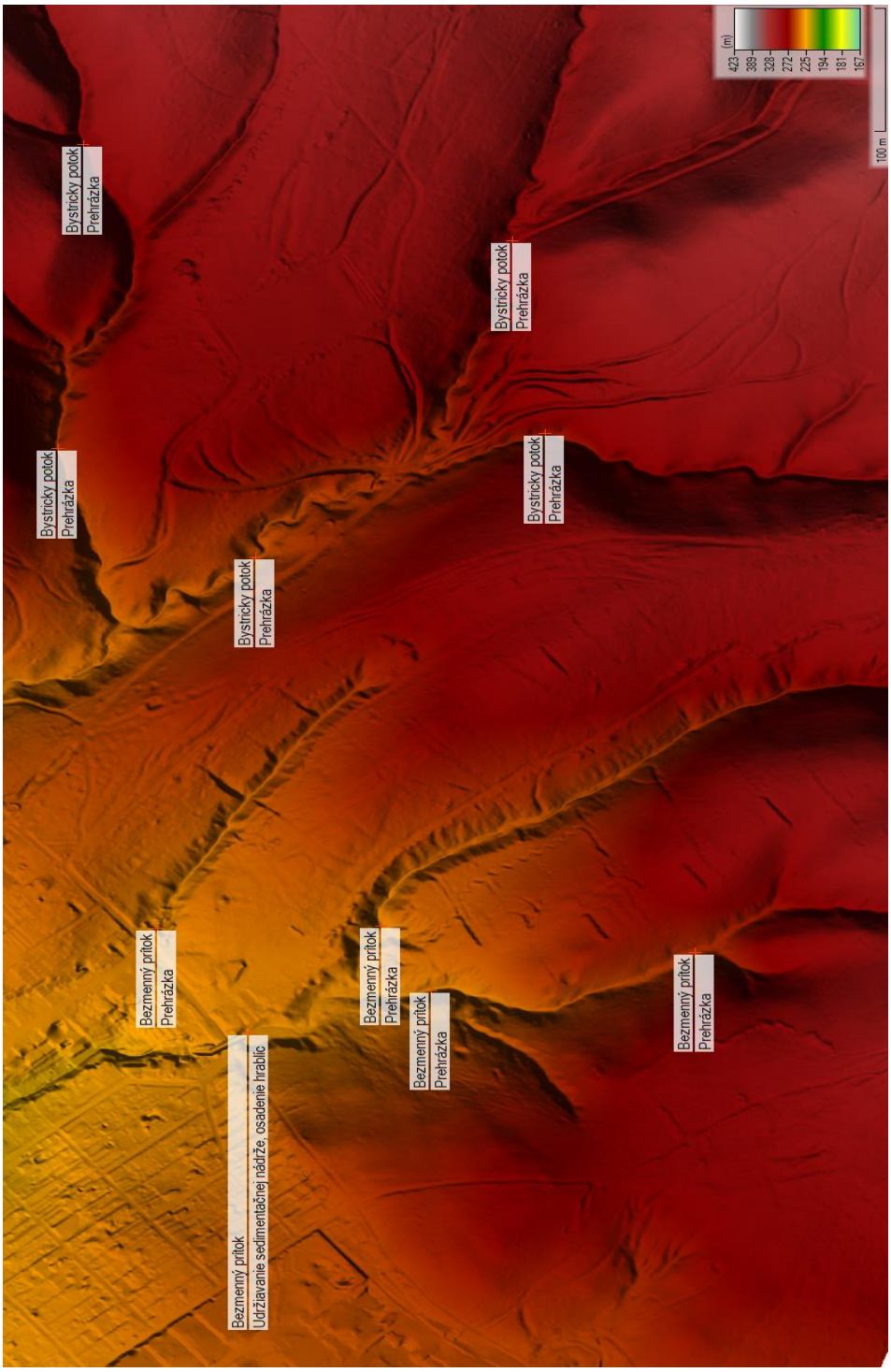


Obr. 17. Výstavba prehrádzky na Banskom potoku nad MČ Rača (rok 2015).



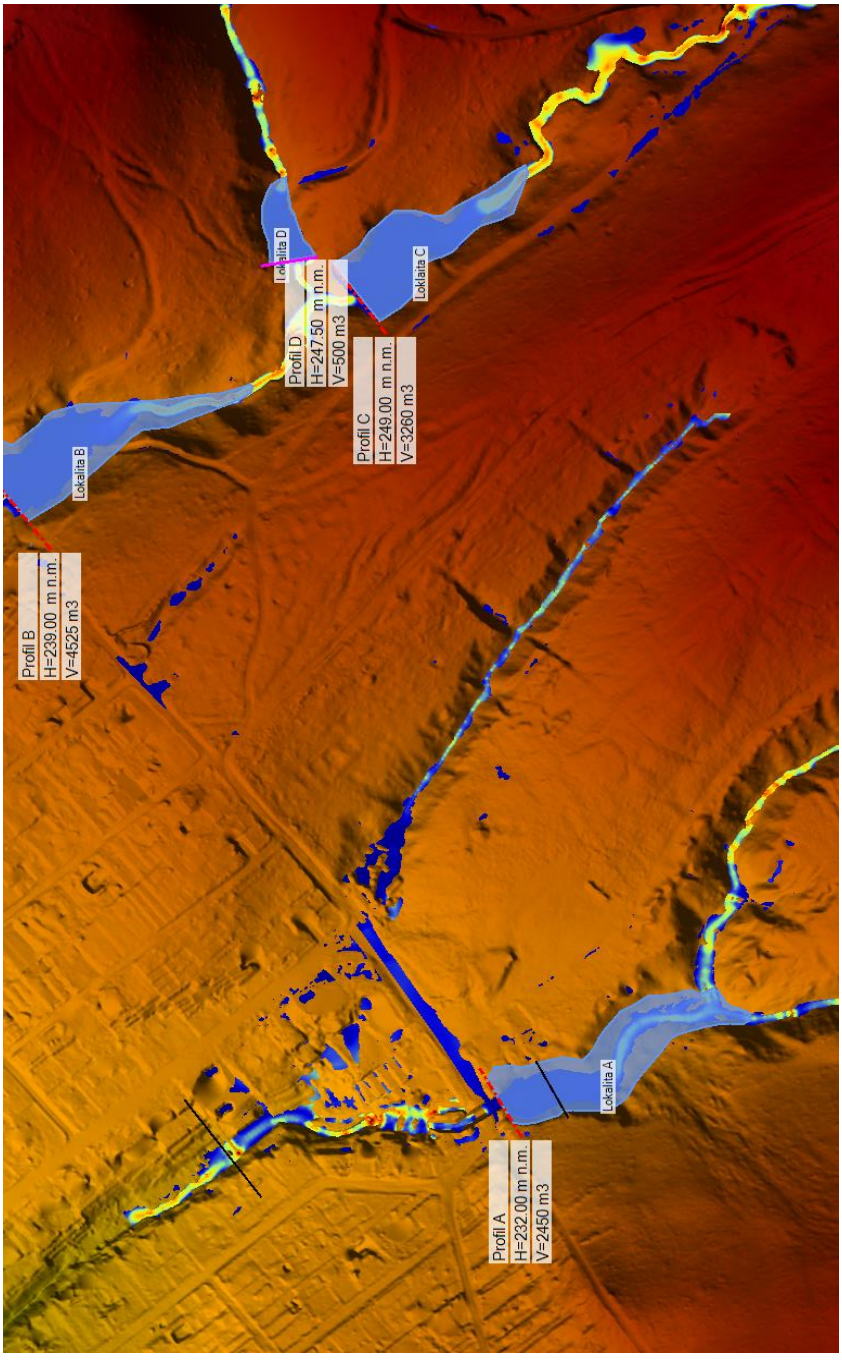
Obr. 18. Vybudovaná prehrádzka na Banskom potoku nad MČ Rača (pohľad po prúde, rok 2025).

Náš návrh možných vodozádržných opatrení bol vypracovaný podľa DTM aplikácie ZBGIS a vychádzal z morfológie lesoparku nad obcou. Na obr. 19 sú vytipované prehrádzky, ktoré by bolo možné na transformáciu povodňovej vlny využiť.



Obr. 19. Vytipované lokality na návrh vodozádržných opatrení.

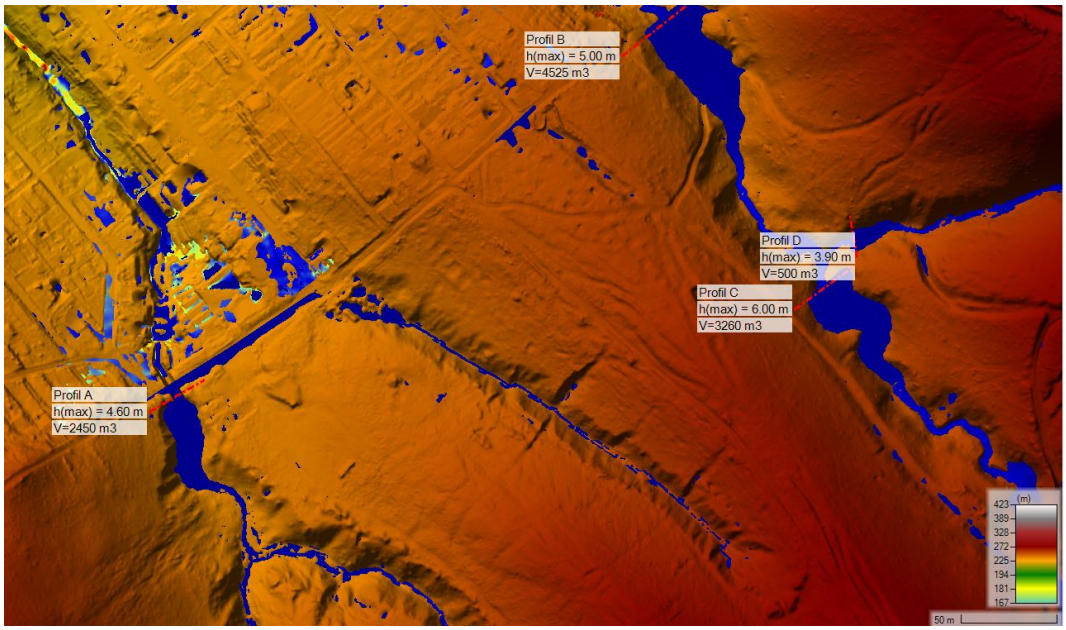
Na základe stanovenia možného povodňového ohrozenia obce Záhorská Bystrica matematickým modelovaním sme z vytipovaných lokalít pre možnú realizáciu vodozádržných opatrení vybrali štyri. Tri z nich sa nachádzajú v povodí Bystrického potoka a jedna v povodí bezmenného prítoku Bystrického potoka. Podrobnejšie sú znázornené na obr. 20, kde je zároveň znázornené aj ich označenie a parametre (objem zadržanej vody, kóta koruny prehrádzky na úrovni prahu bezpečnostného priepadu).



Obr. 20. Lokalizácia poldrov v povodí oboch tokov nad obcou.

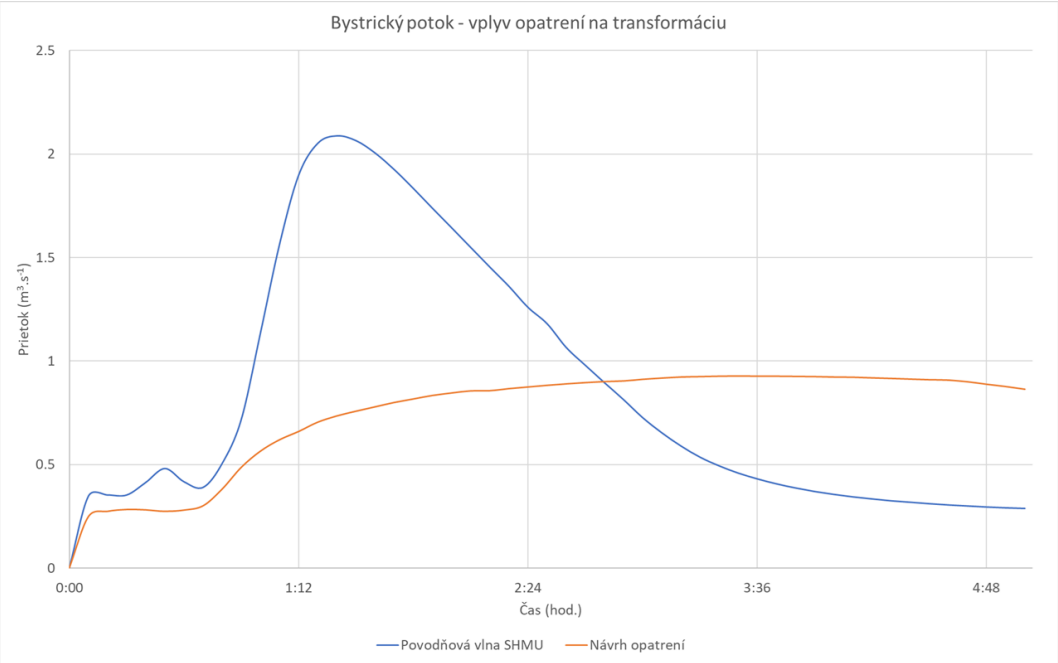
Na Bystrickom toku je hlavným vodozádržným opatrením – poldrom v profile B s kótou koruny na úrovni 239,00 m n. m. a z DTM stanoveného objemu zadržanej vody V = 4525 m^3. Tento polder má uvažovanú výšku 5,0 m. Ďalšie dva poldre sa nachádzajú v profile C a D vyššie v povodí. Polder v profile C má kótu koruny na úrovni 249,00 m n. m. s objemom V = 3260 m^3 pri výške poldra 6,0 m. Polder v profile D má kótu koruny na úrovni 247,50 m n. m. s objemom V = 500 m^3 s uvažovanou výškou 3,90 m.

Na bezmennom prítoku (naľavo od Plácku) je navrhovaný polder v profile A s kótou koruny na úrovni 232,00 m n.m. s objemom 2450 m^3 pri výške 4,6 m. Všetky navrhované poldre sú znázornené na obr. 21.

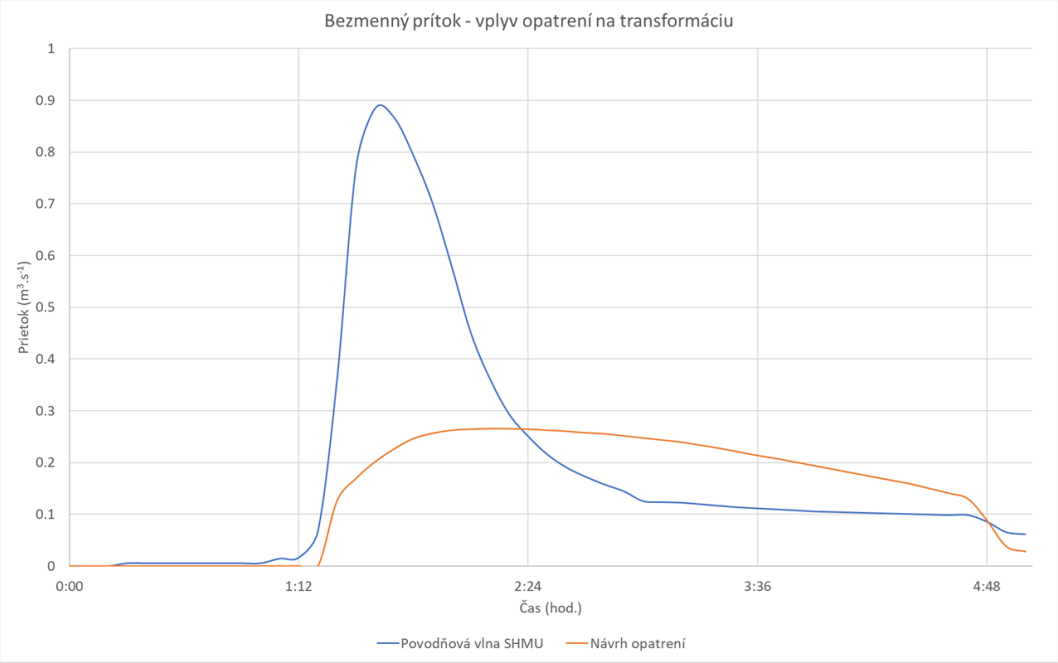


Obr. 21. Znázornenie poldrov v povodí oboch tokov nad obcou.

V prípade realizácie všetkých nami navrhovaných vodozádržných opatrení – poldrov by sme dokázali nasledovné transformácie návrhových povodňových vĺn podľa SHMÚ (obr.1 a 2). Na obr. 22 je znázornená transformácia (sploštenie) návrhovej povodňovej vlny na Bystrickom potoku z úrovne Q = 2,1 $m^3.s^{-1}$ na úroveň Q = 0,92 $m^3.s^{-1}$ pri uvažovaní realizácie poldrov v profiloch B, C, a D (obr. 21). Na obr. 23 je znázornená transformácia návrhovej povodňovej vlny pri uvažovaní realizácie poldra v profile A z úrovne Q = 0,9 $m^3.s^{-1}$ na úroveň Q = 0,27 $m^3.s^{-1}$.



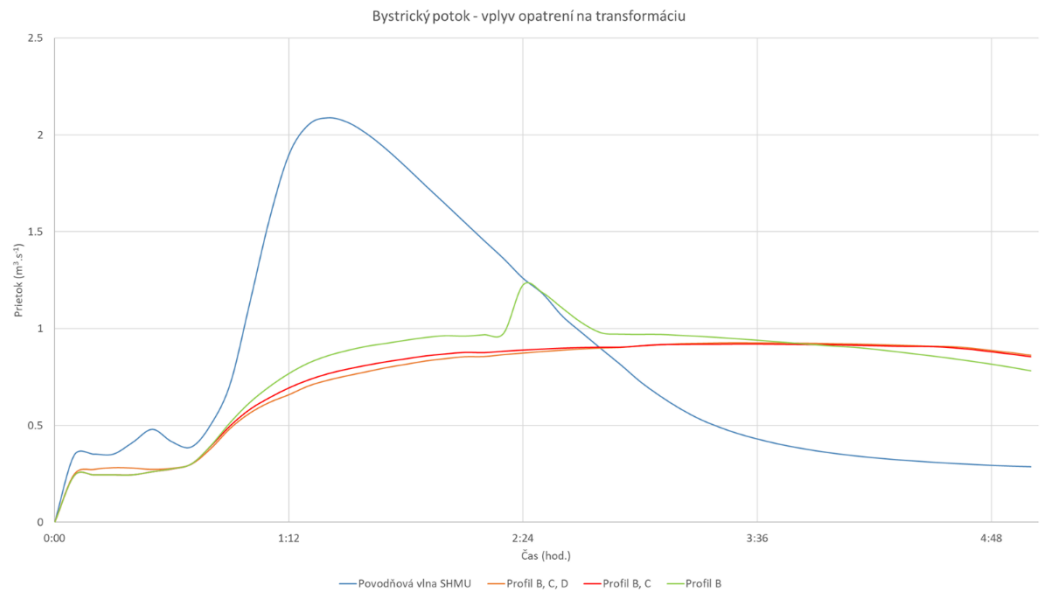
Obr. 22. Transformácia (sploštenie) návrhovej povodňovej vlny (podľa SHMÚ) na Bystrickom potoku v profile B.



Obr. 23. Transformácia (sploštenie) návrhovej povodňovej vlny (podľa SHMÚ) na bezmennom prítoku v profile A.

Sme si vedomí investičnej náročnosti takýchto opatrení a preto sme sa snažili vypracovať ešte ďalšie návrhy, ktoré by boli určite investične menej náročné. V prípade Bystrického potoka sme postupne „odopli“ účinky jednotlivých

sekundárnych vodozádržných opatrení v profile B, C a D. To znamená, že na obr. 24 sú znázornené transformácie návrhovej povodňovej vlny podľa SHMÚ (modrá čiara) pri uvažovaní len poldra v profile B (zelená čiara), poldrov B a C (červená čiara) a všetkých poldrov B, C a D (oranžová čiara).



Obr. 24. Transformácia (sploštenie) návrhovej povodňovej vlny (podľa SHMÚ) na Bystrickom potoku – varianty opatrení.

Z tejto analýzy vyplývajú nasledovné závery. Medzi druhým a tretím variantom nie je skoro žiaden rozdiel pri transformácii povodňovej vlny, čiže v tomto prípade je účinok poldra v profile D zanedbateľný (transformácia povodňovej vlny je v oboch prípadoch takmer totožná). Keď analyzujeme priebeh transformácie návrhovej povodňovej vlny realizáciou len poldra v profile B, na krátky čas od 2:20 – 2:45 dochádza k preliatiu dna bezpečnostného priepadu (skok zelenej čiary), čiže sa polder naplnil a v tomto čase vyteká voda aj cez bezpečnostný priepad. Množstvo vody, ktoré preteká cez bezpečnostný priepad pritom kulminuje v čase 2:25 pri hodnote cca Q = 0,3 $m^3.s^{-1}$. Z toho vyplýva, že maximálny výtok z poldra v profile B je v takomto prípade Q = 1,25 $m^3.s^{-1}$.

Doteraz uvedené protipovodňové opatrenia pozostávajú z tých investične náročnejších opatrení. Faktom je, že na Bystrickom potoku bude zabezpečenie protipovodňovej ochrany bez výstavby poldra veľmi problematické. Na obr. 25

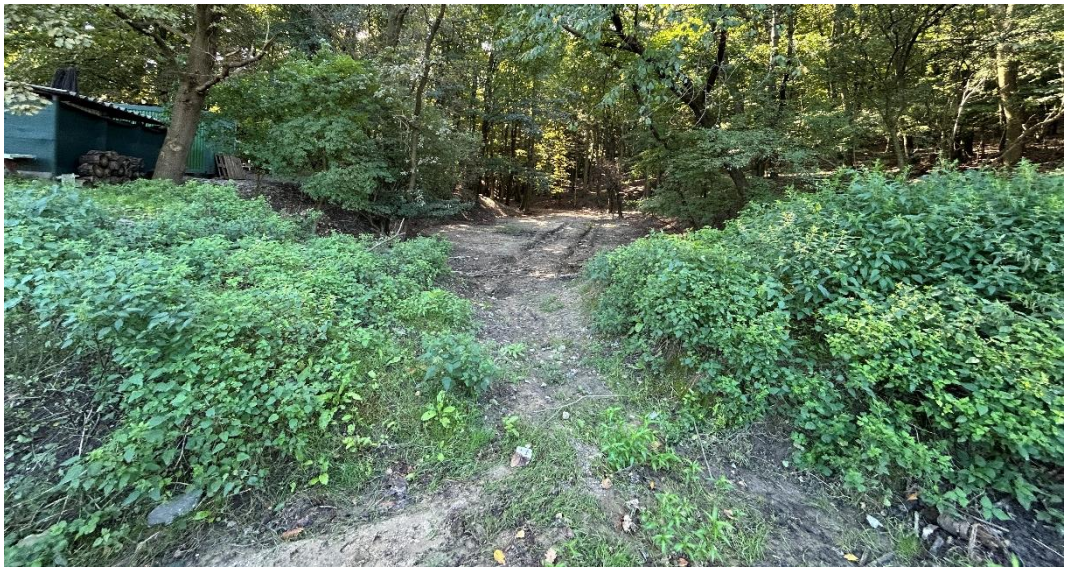
uvádzame reálny profil, kde by sa mohla samotná konštrukcia poldra na Bystrickom potoku (profil B) nachádzať.



Obr. 25. Navrhovaný polder na Bystrickom potoku v profile B.

Radi by sme však uviedli aj také opatrenia, ktoré by neboli investične tak náročné a určite by napomohli k bezpečnému odvedeniu prebytočnej vody. Prvým takým riešením (ak pôjdeme od lesoparku obcou smerom nadol) je samotné koryto bezmenného prítoku, ktoré je v katastrofálnom stave a v podstate neexistuje. Jeho vtok do zatrubnenej časti je znázornený na obr. 6. Celý je zanesený sedimentami, ktoré sem doplavuje voda pri intenzívnejších zrážkach. Spôsobuje to, že voda sa nedostane do potrubia, ale atakuje cestu pri Plácku, ako aj oporný múr na druhej strane cesty. Riešením by bolo prehĺbenie (vybagrovanie) a prečistenie samotného priestoru (obr. 26) pred zatrubnením, spevnenie svahov údolia, resp. stabilizácia kamennou navážkou hrubšej frakcie. Zároveň s prehĺbením je tu možnosť zastabilizovať a zatvoriť otvor v cestnom telese, ktorý si vytvorila tečúca voda a navýšiť tak hrádzu cestného telesa o viac ako 1 meter, čím sa vytvorí v priestore znázornenom na obr. 26 priestor o objeme viac ako 1000 m^3 (podľa ZBGIS). Toto opatrenie by určite nebolo finančne náročné a pri dobrej starostlivosti by vytvorený priestor dostatočne akumuloval zrážkové vody v povodí bezmenného prítoku.

V takom prípade by sme odporúčali len vybudovanie prehrádzok na zachytenie tečúcich sedimentov, resp. bahna. Ich výška by bola do 1 metra naprieč korytom bezmenného prítoku. Určite by som takéto riešenie navrhoval realizovať v spolupráci a súčinnosti so Slovenským vodohospodárskym podnikom, š. p.



Obr. 26. Navrhované opatrenie na bezmennom prítoku.

Samotný bezmenný prítok potom preteká cez záhrady, nedokážeme povedať, či je na celom úseku po sútok s Bystrickým potokom zatrubnený. Podľa rúry, z ktorej vyteká do Bystrického potoka pod mostom na Tešedíkovej ulici, sa jedná o rúru priemeru 50 cm. Podľa našich výpočtov je jeho kapacita (ak nie je niekde upchaný) cca 0,5 $m^3.s^{-1}$.

5.3 Opatrenia v obci

Bystrický potok pokračuje po sútoku s bezmenným prítokom cez zarastený lesík a vyteká popod most na Vrbánsku ulicu (obr. 27). V čase, keď sme vykonali našu prvú terénnu prehliadku bol horný úsek silne zarastený a neudržiavaný (obr. 28). Keď som tam bol na opätovnej prehliadke so zástupcom SVP, š. p. Ing. Vlčkom, bol tento úsek vzorovo vyčistený (obr. 29). Takto vyčistené koryto Bystrického potoka je kapacitne pripravené aj na prietoky Q_{100}.



Obr. 27. Výtok Bystrického potoka na Vrbánsku ulicu.



Obr. 28. Zarastený horný úsek Bystrického potoka na Vrbánskej ulici.



Obr. 29. Ten istý vyčistený horný úsek Bystrického potoka na Vrbánskej ulici.

Problém nastáva v dolnej časti Vrbánskej ulice, kedy potok vteká do potrubia popod cestu. V septembri 2024 sa tečúca voda vybrežila a tiekla neovládateľne dole Rošického ulicou (nedostala sa cez vyvýšenú Tatranskú ulicu) po Hargašovej ulici k dolnej časti obce, kde sa hromadila (obr. 13).

Na tomto úseku by sme navrhovali na zníženie povodňového rizika nasledovné investične nenáročné opatrenia:

- odstrániť, resp. posunúť vyššie novovybudované retardéry na Kollárovej ulici pod križovaním s Vrbánskou ulicou – bránia odtoku, resp. trieštia odtekajúcu vodu, ktorá môže atakovať domy v ich blízkosti,
- na Kollárovej ulici pred križovaním s Rošického a Donskou ulicou v mieste vpustu do zatrubneného potoka vyfrézovať do cestného telesa a osadiť betónový žľab s roštom s možnosťou odvádzania vody do potoka pod cestou (obr. 30),
- za účelom vrátenia vody do zatrubneného potoka vybudovať na Rošického ulici, ktorá tvorí so svojimi obrubníkmi obdĺžnikové koryto (obr. 31) minimálne na troch miestach (napojiť na vpuste po pravej strane cesty)

betónové žľaby s roštom do cestného telesa. Potrubie potoka o priemere 1000 mm (merané na námestí pred reštauráciou Kohútik) má dostatočnú kapacitu túto vodu prijať a bezpečne odviesť. Silne by sa tým odľahčilo povodňové ohrozenie smerom k dolnej časti obce Záhorská Bystrica.



Obr. 30. Možné umiestnenie priečneho zberného žľabu na strete Kollárovej, Donskej a Rošického ulice.



Obr. 31. Možné umiestnenie priečnych zberných žľabov na Rošického ulici.

Na základe terénnej obhliadky navrhujeme ešte ďalšie opatrenia, ktoré by určite pomohli znížiť povodňové riziko v obci:

- preveriť prietočnosť zakrytých úsekov Bystrického potoka po celej jeho dĺžke, v prípade zanesenia ho vyčistiť (obr. 32),
- odstrániť kusy betónu z koryta Bystrického potoku – pri vtoku bezmenného prítoku pod mostom na Tešedíkovej ulici (obr. 33), resp. pri družstevnom dvore (obr. 34),
- osadiť hrablice pred vpuste na otvorenom dažďovom žľabe na Prídavkovej ulici, neriešiť to umelohmotnými prepravkami (obr. 35),
- odstrániť „betónovú šachtu“ na bezmennom prítoku na záhradnom pozemku pri ulici križujúcej Tešedíkovu ulicu (obr. 36).



Obr. 32. Príklad vegetačného zarastenia koryta Bystrického potoka.



Obr. 33. Zostatky betónových potrubí v koryte Bystrického potoka pod mostom na Tešedíkovej ulici.



Obr. 34. Betónové teleso v koryte Bystrického potoka pri družstevnom dvore



Obr. 35. Nevhodné riešenie hrablíc v otvorenom žľabe na Prídavkovej ulici.



Obr. 36. Betónová šachta na bezmennom prítoku pred vtokom do Bystrického potoka.

6 ZÁVER

Štúdia sa zamerala na priebeh povodne Q_{100} na Bystrickom potoku a jeho bezmennom prítoku, ktoré ohrozujú centrálnu časť obce Záhorská Bystrica. Na základe dostupných hydrologických podkladov, morfologickej analýzy a požiadaviek objednávateľa boli identifikované kritické miesta, ktoré sú ohrozené pri povodňových prietokoch Q_{100} a bol vypracovaný návrh riešenia na protipovodňovú ochranu mestskej časti. Významnú úlohu zohráva zostavený numerický model prúdenia v hornej časti povodí a intraviláne obce.

Bystrinné toky sa vyznačujú extrémnou dynamikou povodňových vĺn s výraznou amplitúdou medzi základným odtokom a kulmináciou Q_{100}. Vzhľadom na narastajúce nároky na bezpečnosť urbanizovaných území je nevyhnutné uplatňovať integrovaný manažment povodňových rizík, ktorý kombinuje technické aj prírode blízke opatrenia.

Na analýzu povodňovej situácie, ktorej sme sa v štúdii venovali, bol použitý 2-D matematický model HEC-RAS, ktorý simuloval tri výpočtové scenáre povodňovej aktivity pri prechode povodňovej vlny pre Q_{100}.

Povodeň na Bystrickom potoku je objemom aj kulmináciou väčšia. Kapacita upraveného koryta križujúca ulicu Tešedíkova je takmer dostatočná a iba malá časť prietoku vybrežuje a tečie po ulici Tešedíkova (konkrétne hodnoty hĺbky a rýchlosti sú v limitoch numerickej chyby modelu). Kapacita upraveného koryta na ulici Vrbánska je dostatočná avšak rýchlosti v koryte lokálne prekračujú hodnotu až 2,5 $m.s^{-1}$, čo kladie značný nárok na opevnenie koryta. Kapacita vpustu potoka na Vrbánskej ulici pri možnom zatarasení (upchaní) nie je dostatočná a výrazná časť prietoku začne v tomto mieste vybrežovať na ulicu. Morfológia územia spôsobuje, že vybrežená voda prúdi v smere Vrbánska - Kollárova – Rošického – Hargašova - Gbelská – Plk. Pivoniča - Bratislavská ulica. Rýchlosti vybreženej vody na tomto úseku sú do 2,0 $m.s^{-1}$ s hĺbkami ~ 0,5 m. Na ulici Hargašova začne výraznejšie voda prenikať a zaplavovať susediace pozemky. Na križovatke Rošického – Hargašova sa časť prietoku tiež odkláňa na ulicu Československých tankistov – Bratislavská ulica. Rýchlosti vybreženej vody na tomto úseku sú do 1,0 $m.s^{-1}$ s hĺbkami ~ 0,2 m. Povodeň na bezmennom prítoku je objemom aj kulmináciou podstatne menšia s prudkým nárastom aj poklesom. Aj tu platí, že kapacita upraveného koryta na

Vrbánskej ulici je dostatočná. Morfológia územia spôsobuje, že vybrežená voda prúdi v smere Vrbánska – Kollárova – Rošického – Hargašova – Gbelská – Plk. Pivoniča - Bratislavská ulica. Rýchlosti vybreženej vody na tomto úseku sú do 0,6 $m.s^{-1}$ s hĺbkami ~ 0,15 m.

Tretí analyzovaný scenár bol súbeh povodňových aktivít v oboch uvažovaných povodiach. Vzhľadom na spôsob stanovenia návrhovej povodňovej vlny pre Q_{100} je kumulácia takýchto vĺn pre rôzne povodia v rovnakom čase málo pravdepodobná a v literatúre uvádzaná ako metodicky nesprávna. Vykonali sme to najmä preto, lebo uvažované povodia na seba bezprostredne nadväzujú a tým pádom sa aj navzájom ovplyvňujú. Výsledky ukazujú nárast parametrov prúdenia o ~10% (rýchlosť, hĺbka) v porovnaní s priebehom povodne počas povodňovej aktivity v povodí Bystrického potoku.

V štúdii sme navrhli na základe analýzy priebehu povodňovej vlny pre Q_{100}, technické opatrenia, ktoré by zabezpečili dostatočnú protipovodňovú ochranu intravilánu obce. Sú určite investične náročné a preto sme uviedli v štúdii aj menej náročné a časovo prijateľnejšie riešenia, ktoré tiež znížia povodňové ohrozenie obce Záhorská Bystrica.

Simulácia scenárov poskytla koncepčný obraz o rozsahu záplav, hĺbkach, rýchlostiach vody a efektívnosti navrhnutých opatrení.

Plne si uvedomujeme, že kalibrácia vytvoreného matematického modelu nebola možná kvôli nedostatku meraných údajov, výstupy z modelu poskytujú obraz o hydraulike povodne a komparatívnym spôsobom analyzujú priebeh povodne s aktuálnym stavom. V ďalšom stupni prípravy odporúčame vykonať previerku zakrytých úsekoch Bystrického potoka a existujúcich objektov na ňom, zvážiť naše návrhy neinvestičného charakteru v intraviláne obce, resp. stavebnú úpravu možného akumulačného priestoru pri pohostinstve na Plácku.

7 POUŽITÁ LITERATÚRA A ZDROJE

1. HEC-RAS Documentation: HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, dostupné: https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/theoretical-basis-for-one-dimensional-and-two-dimensional-hydrodynamic-calculations/2d-unsteady-flow-hydrodynamics/hydraulic-equations (04/2025).
2. Rumann, J. a kol: Výskum hydraulických parametrov ovplyvňujúcich návrh protipovodňových opatrení v povodí toku Vývrat. STU v Bratislave, 2025.
3. Říha, J. a kol. : Návrh a realizace suchých nádrží z pohledu technickobezpečnostního dohledu, MŽP ČR, Akademické nakladatelství CERM®, Brno 2014.
4. SHMU. Stanovenie hydrogramu povodne Q_{100} – tok Bystrický potok, bezmenný prítok, 2025.
5. Šoltész, A. a kol.: Štúdia na ochranu intravilánu Mestskej časti Bratislava - Rača pred záplavami. Bratislava : STU v Bratislave SvF, 2008. 102 s.
6. Šoltész, A. a kol.: Tvorba a vývoj environmentálnych technológií pri protipovodňovej ochrane sídiel Malokarpatskej oblasti , 2012, 85 s.
7. Šoltész, A. a kol.: Prírodné a technické opatrenia zamerané na retenciu vody v podhorských povodiach Slovenska, projekt APVV-19-0383, 2024, 115 s.
8. Vokurka, A. a kol.: Technická doporučení pro hrazení bystřin strží, Česká společnost krajinních inženýrů ČSSI, z.s. , Ministerstvo zemědělství, Praha 202, ISBN 978-80-7434-557-9