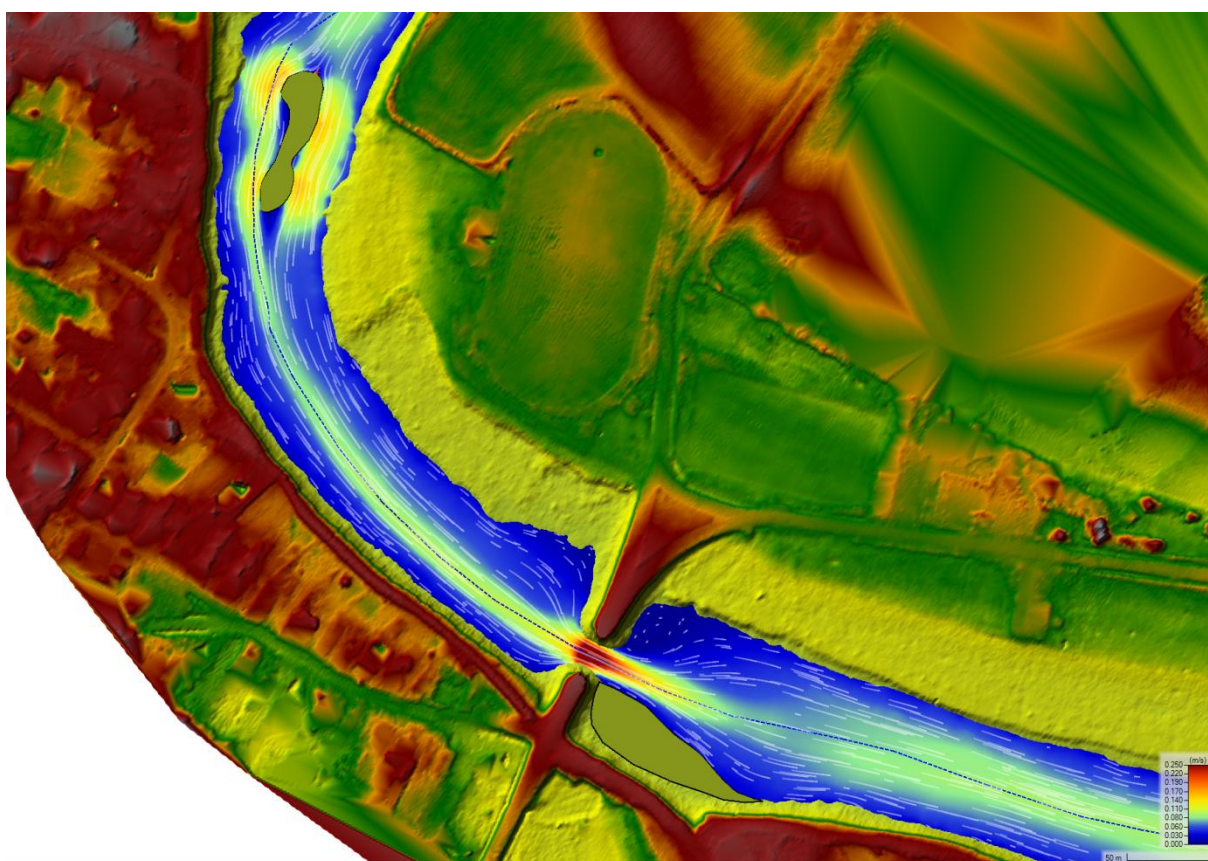


Zlepšenie stavu mokrade NPR Klátovské rameno na území SKUEV0075

Vodohospodársko – environmentálna štúdia



Zodpovedný riešiteľ:
Spoluriešitelia:

prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD.
doc. Ing. Martin Orfánus, PhD.
doc. Ing. Dana Baroková, PhD.
Ing. Jakub Mydla

Bratislava, marec 2024

OBSAH

Obsah.....	2
Úvod.....	3
Historický vývoj Klátovského ramena	4
Prírodné pomery záujmového územia.....	5
Morfológia, digitálny model terénu, batymetria a splaveninový režim	9
Ideový návrh napúšťania Klátovského ramena infiltráciou vody z Malého Dunaja – vsakovacie pokusy + vsakovací veľkopokus	15
Zostavenie matematického modelu prúdenia povrchovej vody v Klátovskom ramene + výpočtové scenáre	30
Merania in situ (prietoky a hladiny) + kalibrácia.....	33
Výsledky matematického modelovania – návrh možných opatrení na zlepšenie rýchlostného a hladinového režimu	46
Hladinový režim podzemných vôd, analýza a prognóza.....	75
Variant 0.....	75
Variant 1	80
Variant 2.....	81
Variant 3.....	82
Záver.....	88
Použitá literatúra a podklady.....	90

ÚVOD

V rámci riešenia projektu **Zlepšenie stavu mokrade NPR Klátovské rameno na území SKUEV0075** (Kód projektu ACC04P05) mala – Stavebná fakulta STU v Bratislave ako spoluriešiteľské pracovisko za úlohu vypracovať **Vodohospodársko – environmentálnu štúdiu**, ktorej cieľom je zlepšenie prietokového a hladinového režimu vody v Klátovskom ramene a jeho okolí za účelom celkového zlepšenia stavu mokradných biotopov stojatých vôd, mokradí a lužných lesov v Národnej prírodnej rezervácii (NPR) Klátovské rameno.

Podkladom pre samotné riešenie bola analýza hydrologických, hydrogeologických, morfológických a biologických charakteristík územia v NPR Klátovské rameno, ktoré boli doplnené o vlastné merania hydraulických parametrov v samotnom toku Klátovského ramena a jeho prítokoch. Vzhľadom na navrhované technické riešenie dotácie Klátovského ramena z Malého Dunaja filtráciou cez „vsakovacie nádrže“ v hornom úseku Klátovského ramena, boli tieto podklady doplnené o infiltračné pokusy merania intenzity vsakovania povrchovej vody do podložia koryta Klátovského ramena, na základe ktorých bol navrhnutý samotný systém procesu vsakovania (vsakovacie nádrže, vsakovací veľkopokus) malodunajskej vody do Klátovského ramena.

Ďalším dôležitým podkladom bol digitálny model terénu prevzatý zo Základnej bázy údajov pre geografický informačný systém (ZBGIS), ktorý bol v rámci riešenia projektu doplnený o údaje z podrobného digitálneho zamerania koryta Klátovského ramena a s tým súvisiacou batymetriou (meraniami hĺbok vody v Klátovskom ramene).

Uvedené podkladové materiály slúžili ako vstupné údaje pre analýzu a prognózu prietokového a hladinového režimu ako povrchovej vody v Klátovskom ramene, tak aj podzemnej vody v bezprostrednom okolí Klátovského ramena.

Na základe kalibrácie matematického modelu hladinového a prietokového režimu vody v Klátovskom ramene bolo možné vytvoriť viaceré scenáre dotácie vody do Klátovského ramena a s tým súvisiace možné morfológické úpravy koryta za účelom zlepšenia rýchlostného režimu toku s cieľom uvedenia dnových sedimentov v toku do pohybu. Navrhované riešenia sú v súlade so závermi štúdie (AQREMON, 2024), ktorá na základe analýzy štruktúry populácií a spoločenstiev akvatickej fauny a flóry v NPR Klátovské rameno potvrdila, že revitalizačné opatrenia majú vysoký potenciál pre zlepšenie ekologického stavu a obnovenie dynamiky vodného režimu v dotknutom území. Ich realizácia by znamenala aspoň priblíženie sa environmentálnym podmienkam, aké v Klátovskom ramene existovali pred jeho odrezaním od Malého Dunaja v r. 1925.

HISTORICKÝ VÝVOJ KLÁTOVSKÉHO RAMENA

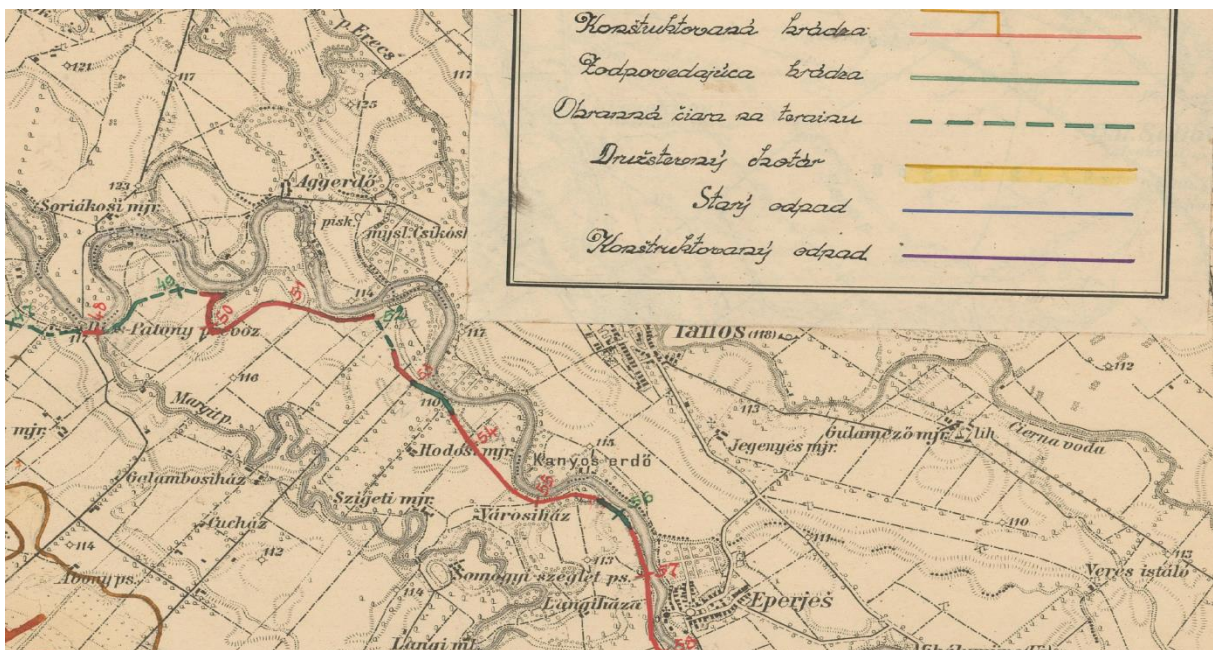
Klátovské rameno je pravostranný prítok Malého Dunaja. Často sa uvádza, že nemá prameň a ani sa neodčleňuje od iného toku, vyviera z podzemných vôd za obcou Orechová Potôň – Lúky, vďaka čomu sa vyznačuje vysokým stupňom čistoty vody. Toto tvrdenie je len sčasti pravdivé. Pôvodné Klátovské rameno (po maď. kedysi Tökési Kis Duna, neskôr Tökési ág) bolo priamo prepojené a napájané z Malého Dunaja. O samotnom odrezaní Klátovského ramena od Malého Dunaja bolo rozhodnuté po katastrofálnej povodni na Dunaji v roku 1899 a neskôr po povodni z roku 1903. Vtedy bolo územie „Tökésskeho ostrova“ ohrozené výstavbou hrádzí pozdĺž Váhu, následkom čoho vzdutá voda „Váhodunaja“ (označenie úseku Váhu medzi Kolárovom a Komárnom) zapríčinila spätné vzdutie Malého Dunaja, preliala sa cez nedostatočné hrádze Klátovského ramena a zaplavila dolnú časť územia „Tökésskeho ostrova“. Realizácia uzavretia Klátovského ramena síce bola vykonaná ešte pred I. svetovou vojnou, ale nie v uspokojivej miere. Počas vojny bola činnosť na protipovodňovej ochrane príľahlého územia úplne zastavená a k pokračovaniu došlo až po roku 1918.

Výsledkom následných prác bolo zvýšenie a zosilnenie ochrannej hrádzky na dolnom úseku Klátovského ramena a vybudovanie novej ochrannej hrádzky na pravom brehu Klátovského ramena. Kolaudačný protokol spísaný v roku 1925 v Šamoríne (Varga, SVP) uvádza materiál použitý na výstavbu ochranných hrádzí, potvrdzuje ich dostatočnú vodotesnosť a stabilitu (návodný svah v pomere 1:3, vzdušný 1:2). Súčasťou protokolu bolo aj preverenie stavebných prác geodetickým zameraním a vyhlásenie o zhode s projektovou dokumentáciou.

Na obr.1 je uvedená mapa hornej časti Klátovského ramena od Orechovej Potône – Lúky po Jahodnú z roku 1931, kde je znázornená vybudovaná ochranná hrádza Malého Dunaja, ktorej bol venovaný kolaudačný protokol z roku 1925 a ktorej súčasťou bolo uzavretie Klátovského ramena v km 48 (obr.1, Varga, 2022).

Od tohto obdobia sa zdrojom vody do Klátovského ramena v jeho hornej časti stal priesak z podzemnej vody, resp. zrážky. Počas 20.storočia sa dotácia priesakom znižovala kvôli postupnému zakolmatovaniu koryta Malého Dunaja, do ktorého dlhodobo nie sú prepúšťané niekdajšie korytotvorné prietoky, len regulovaný stabilný prietok (okolo $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Po výstavbe vodného diela Gabčíkovo a jeho uvedení do prevádzky v roku 1992 sa táto dotácia postupne znižovala najmä dôsledkom zakolmatovania Hrušovskej zdrže. Samotné napájanie Klátovského ramena povrchovou vodou je realizované pravostranným prítokom Klátovského kanála, ktorý je dotovaný vodami Malého Dunaja, sčasti zbiera priesakové vody zo severovýchodného územia horného Žitného ostrova (je vyhlbený približne v trase bývalého

ramena Margit patak) a ústi do Klátovského ramena v Dunajskom Klátove pod mlynom (rkm 14,020). Najvýznamnejším prítokom do dolnej časti Klátovského ramena je pravostranný prítok primárneho odvodňovacieho kanála odvodňovacej sústavy SVII (podľa Gyalokaya, 1960, 1972) Gabčíkovo – Topol'níky (podľa vodohospodárskej mapy, SVP). Zároveň ho možno označiť aj za najspoľahlivejší, pretože je stále dotovaný vodou z prírodného kanála VD Gabčíkovo a zároveň do neho ústia sekundárne odvodňovacie kanály AVII, BVII a CVII, ktoré sú dotované z ľavostranného priesakového kanála VD Gabčíkovo.

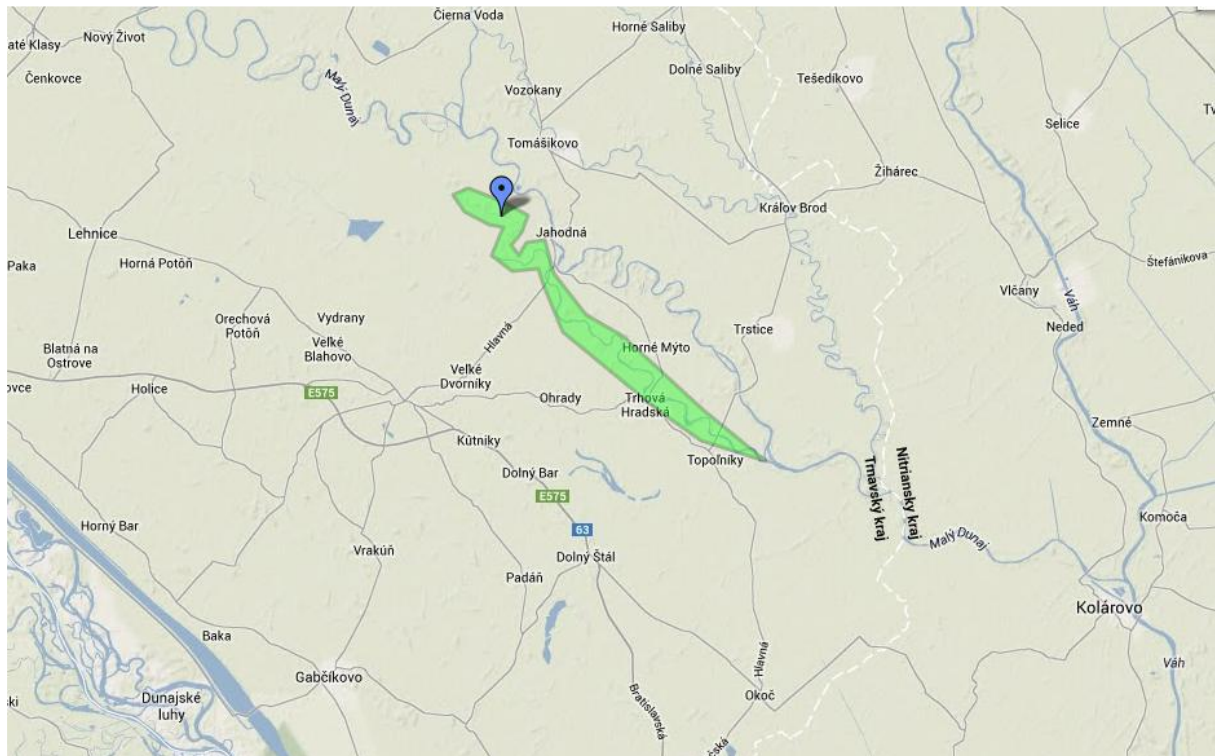


Obr.1. Mapa Klátovského ramena po kolaudácii stavebných prác na ochranných hrádzach z roku 1931 (zdroj Varga, 2022).

PRÍRODNÉ POMERY ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA

Územie Klátovského ramena sa nachádza v hornej časti Žitného ostrova. Patrí do Národnej prírodnej rezervácie Klátovské rameno, ktorá bola vyhlásená v roku 1993 a rozprestiera sa na ploche vyše 300 ha (obr.2). Ako potvrdzujú naše terénne obhliadky a ako uvádzajú viaceré literárne pramene, na hornom úseku (od rkm 24,000 po rkm 30,000) nemá rameno súvislú hladinu, je viackrát prehradené a tým vytvára sústavu stojatých vôd, resp. mokradí (AQREMON, 2024). Územie Žitného ostrova podľa regionálneho geomorfologického členenia ČSSR (Mazúr – Lukniš, 1986) patrí do severného výbežku Panónskej panvy, subprovincie Malá Dunajská kotlina. Z geomorfologického hľadiska je oblasť Žitného ostrova súčasťou negatívnej morfoštruktúry Panónskej panvy, ktorá bola

formovaná riekou Dunaj. Ide o mladú poklesávajúcu morfoštruktúru s agradáciou, ktorá vytvorila reliéf rovín a nív (Atlas krajiny SR, 2002).



Obr.2. Vymedzenie NPR Klátovského ramena (<https://maps.google.com/maps>).

Klimatické pomery Žitného ostrova sú určované predovšetkým geografickými činiteľmi, t. j. zemepisnou šírkou a dĺžkou a nadmorskou výškou. Územie patrí do oblasti teplej, veľmi suchej, s miernou zimou a dlhým slnečným svitom (T1, obr.3). Územie patrí k najteplejším oblastiam Slovenska s priemernou ročnou teplotou 9 °C – 11 °C (obr.3), kde priemerná ročná teplota v januári je vyššia ako -2 °C a priemerná ročná teplota v júli je vyššia ako 20 °C. V tomto území je počet dní so snehovou pokrývkou menej ako 40 dní (Atlas krajiny SR, 2002).

V dlhodobom pozorovaní (obdobie rokov 1961-1990) sa priemerný ročný úhrn zrážok pohybuje v rozmedzí 500 – 550 mm. V júli v dlhodobom priemere (1961-1990) padne 50-60 mm a v januári 30-40 mm zrážok (Faško, P., Šťastný, P., Atlas krajiny SR 2002).

Dlhodobý trend radov priemerných ročných hodnôt teploty vzduchu i priemerných hodnôt teploty vzduchu za teplý i chladný polrok má stúpajúcu tendenciu. Lineárna zmena priemerných ročných hodnôt za posudzované obdobie je približne +0,8 °C. V poslednom období boli zrážkové úhrny na celom území nižšie, najmä v teplom polroku. Priemerné zrážkové úhrny v teplom polroku sú podstatne vyššie ako v chladnom polroku. Celkový ročný potenciálny výpar sa pohybuje v hraniciach 700 až 800 mm ročne (Benková et al., 2005).



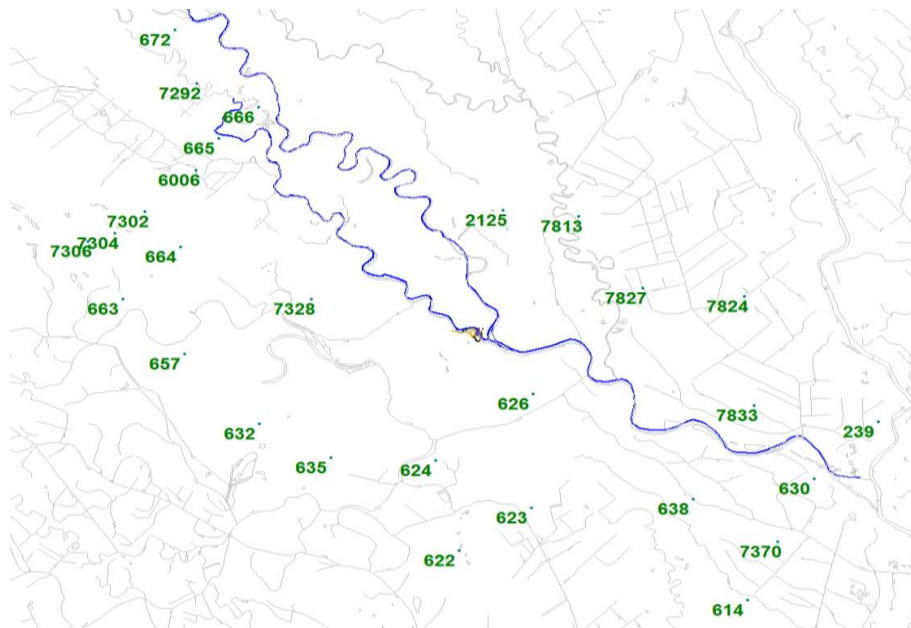
Obr.3. Klimatické oblasti záujmového územia (T1), (Atlas krajiny SR, 2002).

Územie Žitného ostrova patrí do povodia Dunaja a povodia Váhu. Územie medzi Dunajom a Malým Dunajom je popretkávané zbernými, zavlažovacími a odvodňovacími kanálmi. Pôvodne bola v časti priľahlej k Dunaju vyvinutá bohatá sieť ramien, ktorá zanikala v dôsledku výstavby VD Gabčíkovo. Priemerný ročný špecifický odtok v podstatnej časti územia je menej ako $1,0 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ (Lešková et al., Atlas krajiny SR 2002). Na základe dlhodobého pozorovania (obdobie rokov 1931-1980) sa v hodnotenom území vyskytujú maximálne prietoky v mesiaci marec a minimálne v mesiaci september. Vysoká vodnatosť v území je viazaná na obdobie február až apríl (Šimo, E., Zaťko, M., Atlas krajiny SR 2002).

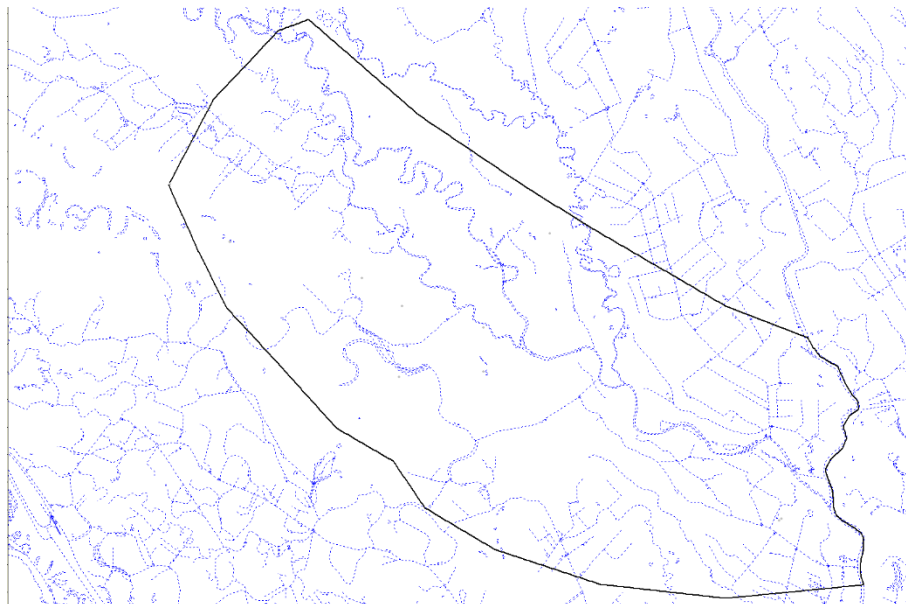
Priemerný ročný prietok Dunaja v Bratislave v období od 1931 do 2000 bol $2\,044 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Malý Dunaj je najdlhším (posledným) ľavostranným ramenom Dunaja, ktorý má dĺžku toku 128 km. Jeho priemerný ročný prietok sa za posledné roky pohyboval na stanici Nová Dedinka $32,60 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ a na stanici Trstice $35,10 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Malý Dunaj odvádza okrem dunajských aj vody z juhovýchodných svahov Malých Karpát. Jeho najväčším prítokom je Čierna Voda. Do povodia Malého Dunaja parí aj Klátovské rameno, ktoré do neho ústi pri Topoľníkoch (Benková et al., 2005).

Ďalšími hydrologickými podkladovými údajmi boli úrovne hladiny podzemnej vody v objektoch štátnej pozorovacej siete podzemných vôd (Kullman a kol., 2017) (ďalej len v sondách SHMÚ). Lokalizácia sond SHMÚ je zrejماً z obr. 4. Tieto hodnoty priemernej hladiny podzemnej vody slúžili na kalibráciu matematického modelu prúdenia podzemných

vôd a niektoré z nich boli použité aj ako okrajové podmienky na simulačné výpočty hladinového režimu podzemných vôd v užšom záujmovom území Klátovského ramena. Okraj simulovanej oblasti filtrácie, znázornený na obr. 5 tenkou čiernou čiarou, bol zvolený tak, aby vplyv konštantnej okrajovej podmienky pri numerickom riešení režimu podzemnej vody v záujmovej oblasti vymizol.



Obr. 4. Znáznornenie polohy niektorých sond SHMÚ v záujmovom území.



Obr. 5. Situácia modelovanej oblasti prúdenia podzemnej vody a znázornenie jej okraja.

V záujmovom území odvádza vnútorné vody zo zbernej oblasti približne 14 900 ha Starý a Nový Klátovský kanál do Klátovského ramena a gravitačne do Malého Dunaja. Nový

Klátovský kanál má dĺžku 19,955 km a Starý Klátovský kanál 17,200 km. Do starého Klátovského kanála ústi aj zavlažovací kanál Tomášov – Lehnice, ktorého zdrojom vody je Malý Dunaj. Medzi tokmi Malého Dunaja a Klátovského ramena sa rozprestiera „ostrov“ o rozlohe 3400 ha dlhý cca 20 km a široký 0,2 – 3 km. Vnútorne vody z tohto územia sú gravitačne odvádzané spomínanými okrajovými tokmi.

Záujmové územie z hľadiska regionálneho geologického členenia Západných Karpát (Vass et al., 1988) patrí do pásma Vnútrohorských panví a kotlín, zóny Podunajskej panvy. Geologický vývoj územia v kvartéri bol na jednej strane podmienený zložitými neotektonickými pohybmi čiastkových morfotektonických štruktúr Podunajskej panvy a Západných Karpát, s tým súvisiacim formovaním a distribúciou akumulácií Dunaja a jeho prítokov, Čiernej vody, Dudváhu a Váhu, čo na strane druhej vo vzájomnej interakcii s periodickými klimatickými zmenami v kvartéri podmienilo litologickú a faciálnu pestrosť sedimentov a ich stratigrafiu. Na území sú tieto prejavy veľmi výrazné najmä z distribúcie a depozície fluviálnych, resp. okrajovo i proluviálnych sedimentov (Benková et al., 2005).

Na horniny predterciérneho podložia sa počas neogénu usadili morské, brakické a sladkovodné sedimenty, tvoriace hlavnú výplň Podunajskej panvy. Územie je tvorené prevažne kvartérnymi sedimentmi, ktoré sú zastúpené najmä fluviálnymi sedimentmi rôzneho druhu (jemnozrnné a strednozrnné piesky, piesčité štrky) (<http://mapserver.geology.sk/gm50js/>).

Holocénne hliny tvoria súvislú pokrývku územia a ich hrúbka sa pohybuje v rozmedzí 0,6 – 4,9 m. Maximálna hrúbka kvartérnych náplavov je viac ako 500 m pod terénom, hladina podzemnej vody je v hĺbke 2 až 4 m pod terénom. Územie je miestami aj zamokrené, koeficient filtrácie štrkov je 10^{-4} až 10^{-3} m.s⁻¹. Na celom území sa vyskytujú organogénne sedimenty, a to slatiny, rašeliny a slatinné rašeliny (Atlas krajiny SR, 2002).

MORFOLÓGIA, DIGITÁLNY MODEL TERÉNU, BATYMETRIA A SPLAVENINOVÝ REŽIM

Základným podkladom pre spracovanie numerických modelov prúdenia vody je okrem hydrologických, hydrogeologických a ekologických podkladov morfológia modelovaného územia. Z princípu získavania dát a dostupnej technológie je potrebné rozdeliť zameranie na

- Inundácie, resp. blízkeho okolia toku – zameranie povrchu nad hladinou vody technológiou LIDAR,
- batymetrické merania – zameranie povrchu pod hladinou vody technológiou single- alebo multi-beam.

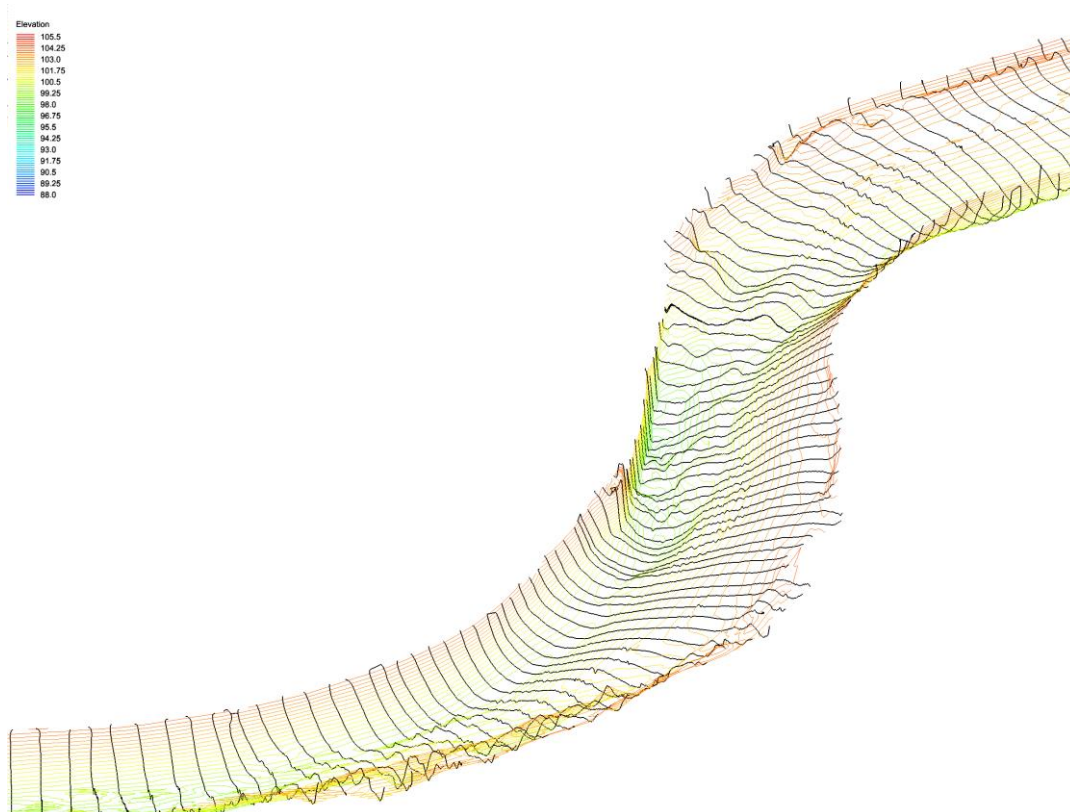
Laserové skenovanie (LIDAR) je prostriedkom používaným v oblasti geodetickej činnosti a mapovania. Ide o modernú metódu, ktorá umožňuje presné a detailné 3D zobrazenie prostredia. Laserové skenovanie je proces, ktorý za pomoci laserového žiarenia sníma okolie a zabezpečuje tým vytvorenie uceleného obrazu. Tento proces prebieha za pomoci laserového skenera, ktorý vysiela laserové lúče na povrch vybraného prostredia a následne zachytáva ich odrazy. Odrazy, ktoré skener zachytí, sa ďalej podrobne spracúvajú. Vytvárajú tzv. mračná bodov s veľkým množstvom presných polohových informácií, na základe ktorých je potom možné vytvoriť presné a detailné zobrazenie. Výhodou laserového skenovania je jeho schopnosť získať veľké množstvo presných údajov (obr.6). Skenovanie je rýchle a efektívne, umožňuje vytvárať podrobné mapy a digitálne modely terénu vrátane ortofotomáp (GEOMAD, 2024).



Obr. 6. Zameranie morfológie metódou LIDAR (bez možnosti mapovania dna). Oblasť sútoku Klátovské rameno - kanál Gabčíkovo-Topoľníky, ZBGIS 2024.

Zameranie priebehu reliéfu dna koryta umožňuje okrem fyzického zamerania aj zameranie sonarovou technológiou. Pri meraní s využitím sonaru sa používajú tri základné konštrukčné typy sonarov:

- jednolúčový (single-beam) sonar,
- viaclúčový (multi-beam) sonar,
- sub-bottom profiler sonar - sonar snímajúci priebeh, resp. vrstvy sedimentov, nielen hĺbku.



Obr.7. Single-beam meranie: priečne profily koryta Klátovského ramena.

Pri meraní single-beam sonarom (obr.7) sa pre stanovenie polohy a výšky plavidla využíva systém GNSS, resp. totálna stanica. Pre určenie hĺbky sa používa jednolúčový sonar, ktorý meria vzdialenosť medzi sonarovou sondou, umiestnenou na plavidle a dnom koryta pod sondou.

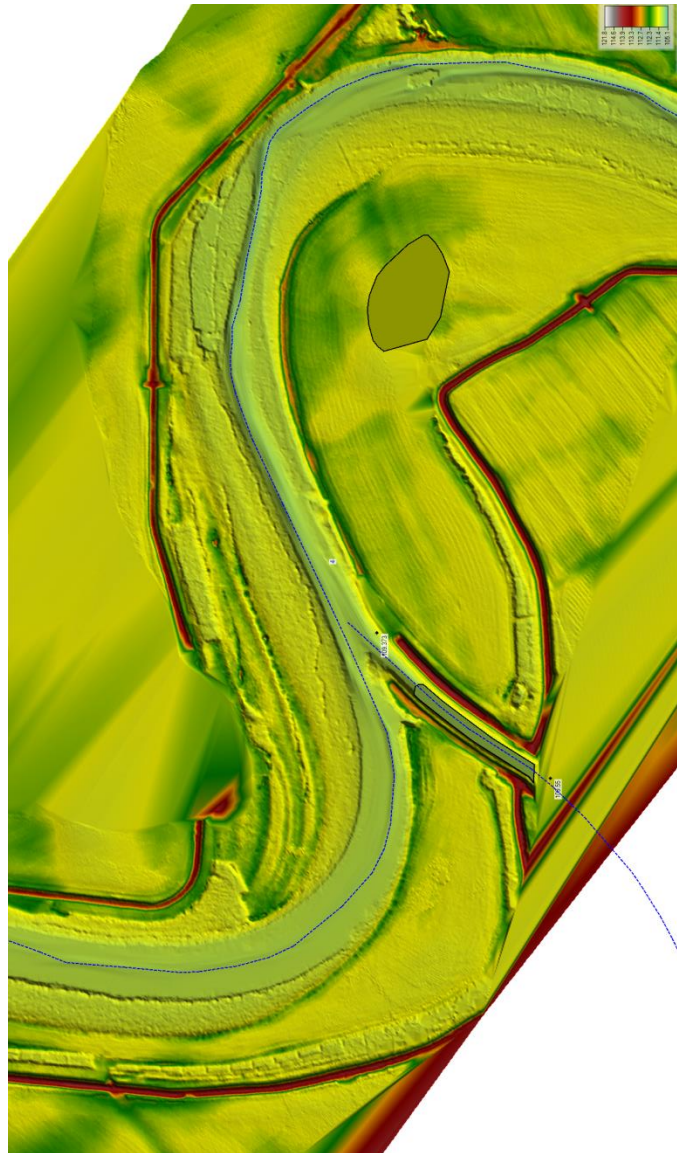
Pri multi-beam systéme sonar (obr.8) využíva meranie viacerými lúčmi súčasne, pričom zaznamenáva vzdialenosti nie jedného bodu, ale viacerých bodov, čím vzniká pás, na ktorom sú zamerané výšky jednotlivých bodov na dne. Pri sub-bottom profiler sonare sa využíva Dopplerov jav a skutočnosť, že sediment, resp. podložie rôzneho zloženia či štruktúry (napr. jemný organický sediment, štrkové nánosy, piesčité podložie, pevné skalnaté podložie a pod.) pohlcujú časť signálu, resp. ho odrážajú deformovaný (SPU Nitra, 2023).



Obr. 8. Multi-beam meranie: oblasť sútoku Klátovské rameno - kanál Gabčíkovo-Topoľníky.

Vypracovanie morfológického modelu pre potreby numerických simulácií bolo výsledkom zamerania objektov na Klátovskom ramene a dodaných podkladov (LIDAR, batymetria). Morfológický model pozostáva z jedného homogénneho celku v podobe rastra z rozlíšením 1m x 1m upraveným pre potreby simulácií. Systém výškového usporiadania geometrických podkladov je Balt po vyrovaní (Bpv). Pri výškovom meraní určujeme výškové rozdiely (relatívne výšky) medzi dvojicami bodov na zemskom povrchu, z ktorých odvodzujeme absolútne (nadmorské) výšky bodov. V numerickom modeli hladinového režimu a všetkých vzťahnutých modeloch projektu bolo uvažované s absolútnymi nadmorskými výškami. V rámci vývoja simulačného modelu hladinového režimu je polohový systém osadený do formátu S-JTSK. S-JTSK je súradnicový systém používaný v civilnom

sektore SR a jeho parametre boli stanovené s ohľadom na presné pozemné geodetické práce najmä v oblasti evidencie nehnuteľností. V tomto systéme je vytvorené civilné mapové dielo, t.j. základné mapy mierkových úrovni 1:10 000, 1:50 000, 1:100 000 a 1:200 000 a niektoré tematické mapové diela, napr. vodohospodárske mapy alebo mapy druhovej skladby lesných porastov. Polohová presnosť priradenia tohto súradnicového systému je daná tzv. Jednotnou trigonometrickou sieťou katastrálnou (JTSK), ktorá má 268 trigonometrických bodov.



Obr.9. Kombinácia LIDAR a multi-beam meraní: oblasť sútoku Klátovské rameno - kanál Gabčíkovo-Topoľníky.

Modelovanie transportu sedimentov je náročné. Údaje o sedimentoch sú neisté, teória transportu je empirická a vysoko citlivá na širokú škálu fyzikálnych premenných a parametrov modelu, ktoré sa ťažko merajú a odhadujú. Model pohybu sedimentu je možné

použiť na predpovedanie regionálnych, dlhodobých trendov, ktoré môžu poskytnúť informácie o plánovacích rozhodnutiach a zhodnotiť alternatívy projektu.

Pre výpočtové scenáre na Klátovskom ramene zahŕňajúce pohyblivé dno ako integrovanú zložku numerického modelu prúdenia vody v prostredí HEC-RAS bol použitý neustálený dvojrozmerný horizontálny model transportu sedimentu.

Transport sedimentu sa počíta nerovnovážnou formuláciou celkového zaťaženia dnového materiálu. Rovnica transportu celkového zaťaženia je riešená implicitnými metódami konečných objemov na rovnakej neštruktúrovanej polygonálnej sieti ako prúdenie vody. Transport sedimentu je spojený s modelom prúdenia na úrovni časového kroku Δt .

Model transportu sedimentov je navrhnutý tak, aby pracoval v rámci sub-siete modelu prúdenia, vypočítava rýchlosť erózie a depozitu materiálu sub-siete, nadmorské výšky dna, gradácie a vrstvenie dna. Výhoda výpočtu pohyblivého dna pomocou 2-D modelu v porovnaní s 1-D modelom je, že do 2-D modelu bolo pridaných niekoľko funkcií, ktoré zatiaľ nie sú dostupné v 1-D modeloch. Niektoré z funkcií sedimentov zahŕňajú triedenie a model vrstvenia lôžka s premenlivou hustotou, flokuláciu, konsolidáciu, skrývanie a odkrývanie vrstiev sedimentov a ďalšie funkcie transportného potenciálu.

V rámci terénnych prác a rekognoskácie oblasti bol hlavným partnerom projektu SPU Nitra pod vedením prof. Juríka vykonaný rozbor sedimentov vo vybraných lokalitách Klátovského ramena. Výsledky analýz zrnitosti sedimentov z Klátovského ramena v oblasti km 19,000 – rkm 24,000 zaraďujú sedimenty do skupiny hlinito-piesočnaté až piesočnato-hlinité (tab.1, SPU Nitra, 2023).

Tab.1. Parametre sedimentu odobraného v lokalitách Klátovského ramena (SPU Nitra, 2023).

Particle Density [kg/L]	2,6		Particle-size class	Min [μm]	Max [μm]	Value [%]	cum. Value [-]	Weight [-]
Mass of Particles [g]	5	—	Coarse Sand	500	2000	6,2	0,9	1
Mass of Dispersant [g]	30	—	Middle Sand	250	500	24,0	0,7	1
Dry mass in effluent [g]	0	—	Fine Sand	50	250	47,9	0,2	1

Particle Density [kg/L]	2,6		Particle-size class	Min [μm]	Max [μm]	Value [%]	cum. Value [-]	Weight [-]
Mass of Particles [g]	5	—	Coarse Sand	500	2000	11,5	0,9	1
Mass of Dispersant [g]	30,01	—	Middle Sand	250	500	31,9	0,6	1
Dry mass in effluent [g]	0	—	Fine Sand	50	250	40,7	0,2	1

Particle Density [kg/L]	2,2		Particle-size class	Min [μm]	Max [μm]	Value [%]	cum. Value [-]	Weight [-]
Mass of Particles [g]	5		Coarse Sand	500	2000	3,1	1,0	1
Mass of Dispersant [g]	30		Middle Sand	250	500	15,4	0,8	1
Dry mass in effluent [g]	0		Fine Sand	50	250	48,8	0,3	1
	0							

Tieto charakteristiky boli následne zaradené ako vstupné údaje do hydrodynamických modelov s pohyblivým dnom pre vybrané scenáre.

IDEOVÝ NÁVRH NAPÚŠŤANIA KLÁTOVSKÉHO RAMENA INFILTRÁCIU VODY Z MALÉHO DUNAJA – VSAKOVACIE POKUSY + VSAKOVACÍ VEĽKOPOKUS

Čerpanie vody z Malého Dunaja a jej vypúšťanie v najvrchnejšej časti Klátovského ramena bolo pracovne nazvané - **Vsakovací veľkopokus**. Takýmto pokusom by sa mala preveriť možnosť napúšťania Klátovského ramena nepriamym spôsobom (dotovaním podzemných vôd s následným vyvieraním v Klátovskom ramene). Úlohou vsakovacieho veľkopokusu, by nebolo iba doplnenie a overenie vykonaných „malých (bodových)“ vsakovacích pokusov, ktoré nám prinášajú informáciu o infiltračnej schopnosti skúmaného územia, ale aj určenie presného smeru prúdenia podzemných vôd v relatívne malej oblasti a taktiež kvantifikácie výverových množstiev.

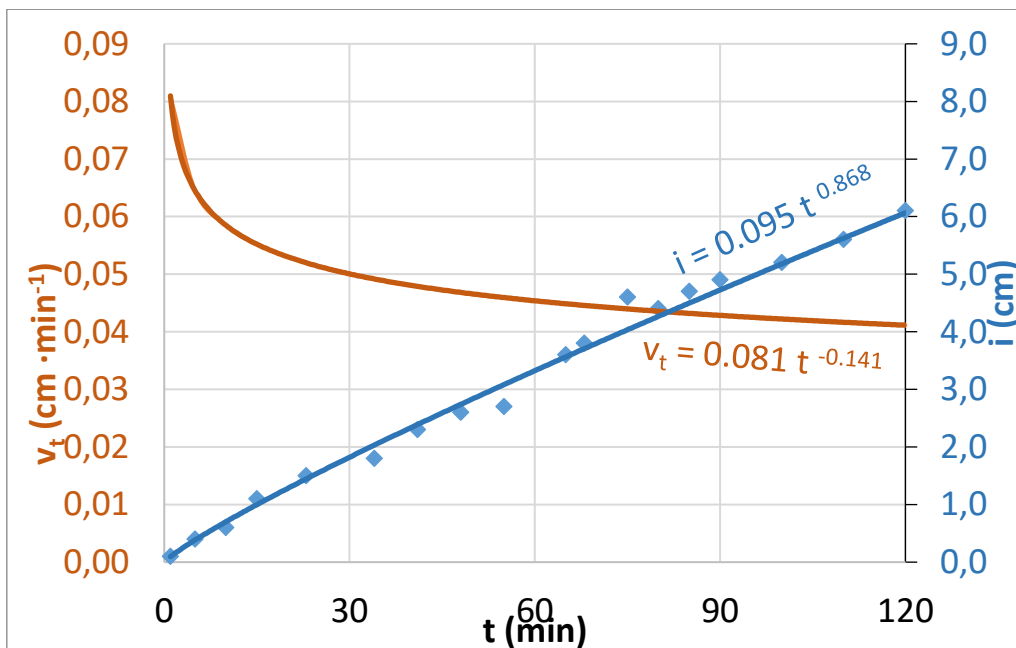
Lokálne experimentálne stanovenie infiltračnej schopnosti pôdy je realizované zvyčajne pomocou tzv. infiltračného pokusu. Výsledkom pokusu je priebeh infiltračnej krivky a na základe tohto priebehu je možné určiť aj hodnotu nasýtenej hydraulickej vodivosti.

Pod pojmom infiltrácia (vsak) rozumieme vnikanie vody do pôdy a postupné vyplňovanie pórov vsakujúcou vodou z povrchu do pôdy pri nulovom, resp. minimálnom tlaku vody. Množstvo vody vsiaknuté do pôdy za určitý čas t od začiatku vsakovania nazývame infiltračnou (vsakovacou) schopnosťou i_t . Táto nie je konštantnou, ale s časom spojitou sa meniacou hodnotou, $i_t = f(t)$. Závisí predovšetkým od fyzikálnych vlastností a momentálnej vlhkosti pôdy. Vplyv druhotných faktorov, ako napr. stav povrchu pôdy, druh porastu, sklon terénu a pod. vylučujeme, uvažujúc infiltračnú schopnosť urovnaného, vodorovného povrchu pôdy, zbaveného vegetačného krytu. Pre potreby stanovenia infiltračnej schopnosti zemín v záujmovom území sme vykonali niekoľko vsakovacích pokusov v suchom riečišti Klátovského ramena za účelom stanovenia priestorovej variability hydraulickej vodivosti

v danom území. Na numericko-grafické vyhodnotenie vsakovacích pokusov sa používa celý rad empirických vzťahov podľa rôznych autorov (Kost'akov, Mezencev, Horton, Phillip), najčastejšie sa v našich zemepisných šírkach používa prvý menovaný. Pre znázornenie uvádzam príklad vsakovacieho pokusu na obr. 10. s vyhodnotením na obr. 11.

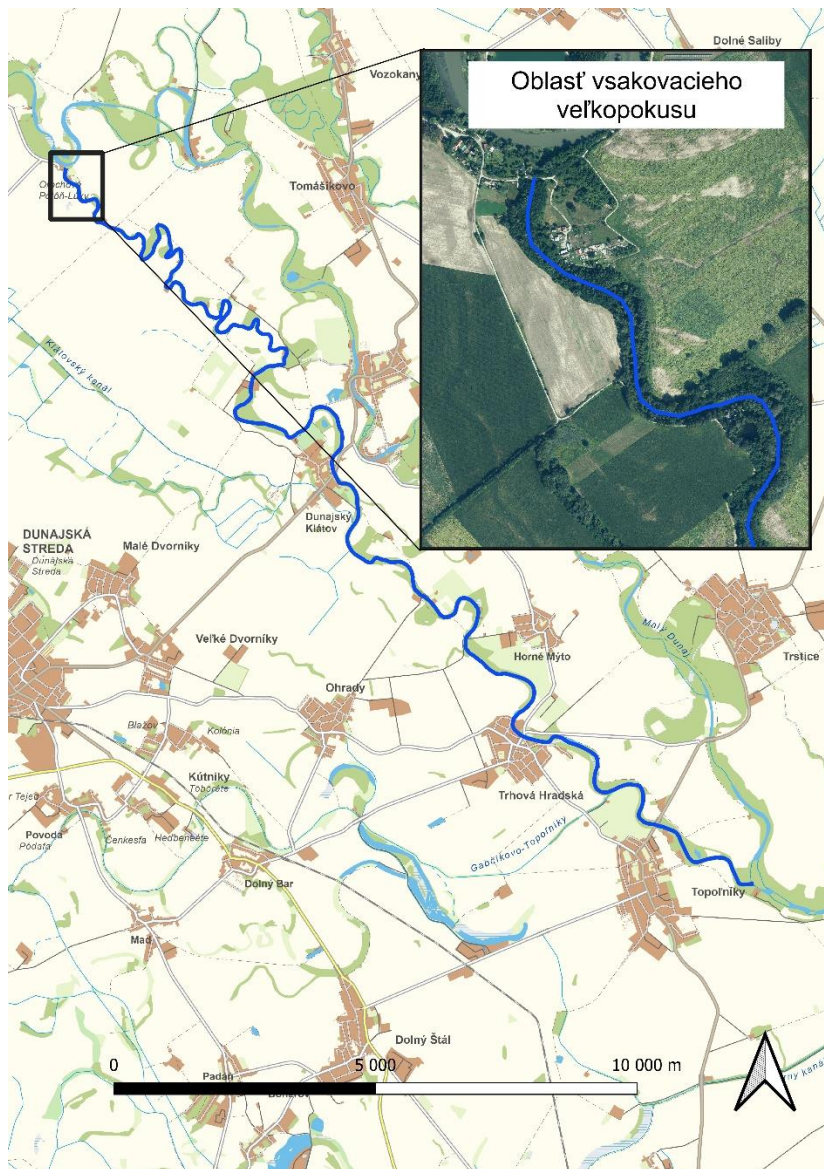


Obr.10. Nalievanie vody do vsakovacích valcov za účelom stanovenia rýchlosti vsakovania vody do pôdy (foto doc. Baroková).



Obr.11. Vyhodnotenie vsakovacej schopnosti na jednej z lokalít vyschnutej časti Klátovského ramena.

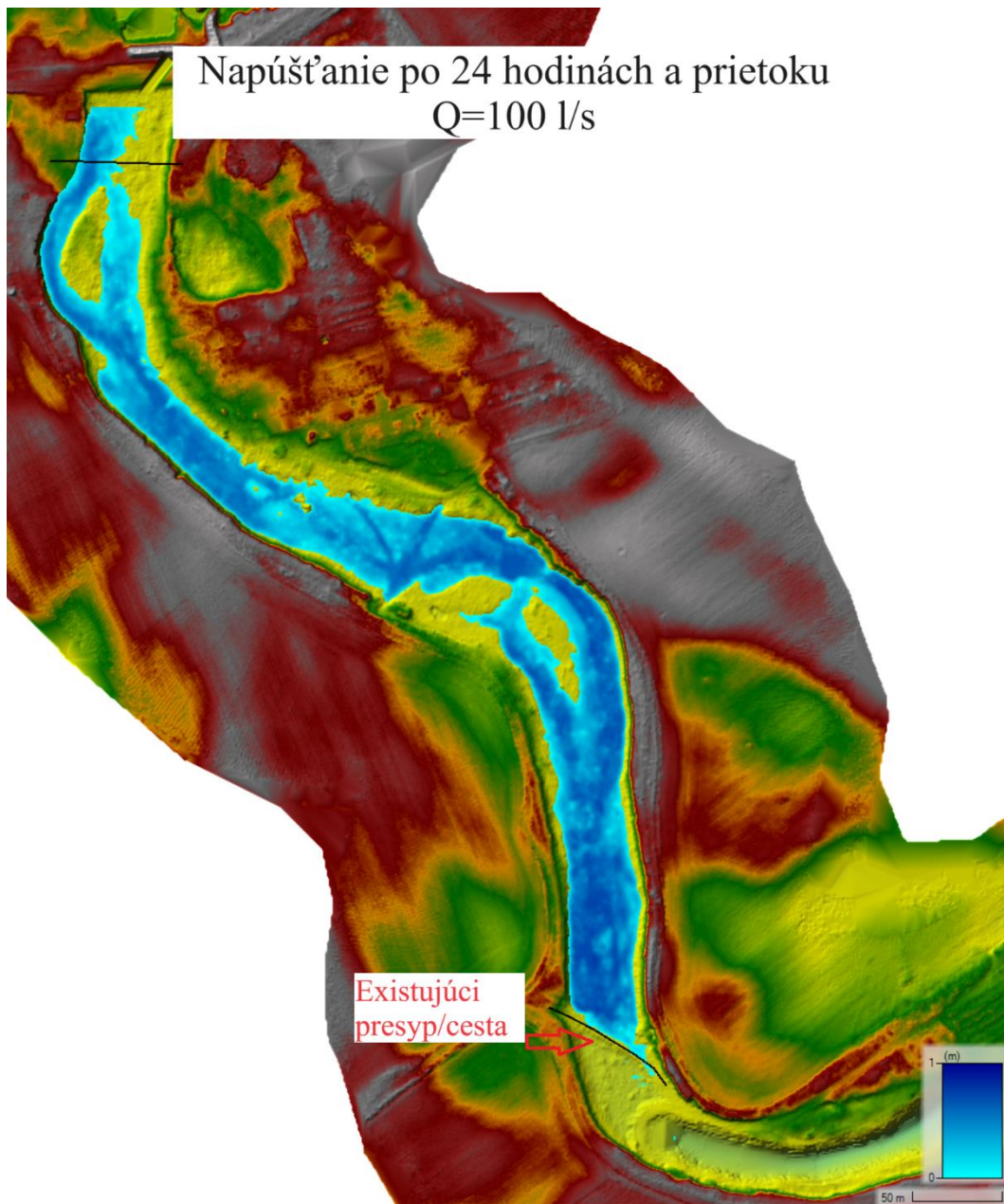
Uvedené „bodové“ vsakovacie pokusy poukázali na možnosť rozliatia sa vsakujúcej vody do podložia v nežiadúcom smere (nie v smere ku Klátovskému ramenu). Z toho dôvodu vidíme vyššiu výpovednú hodnotu vsaku vody do podložných vrstiev realizáciou spomínaného vsakovacieho veľkopokusu. Prehľadná situácia vsakovacieho veľkopokusu je na obr. 12.



Obr. 12. Prehľadná situácia umiestnenia vsakovacieho veľkopokusu.

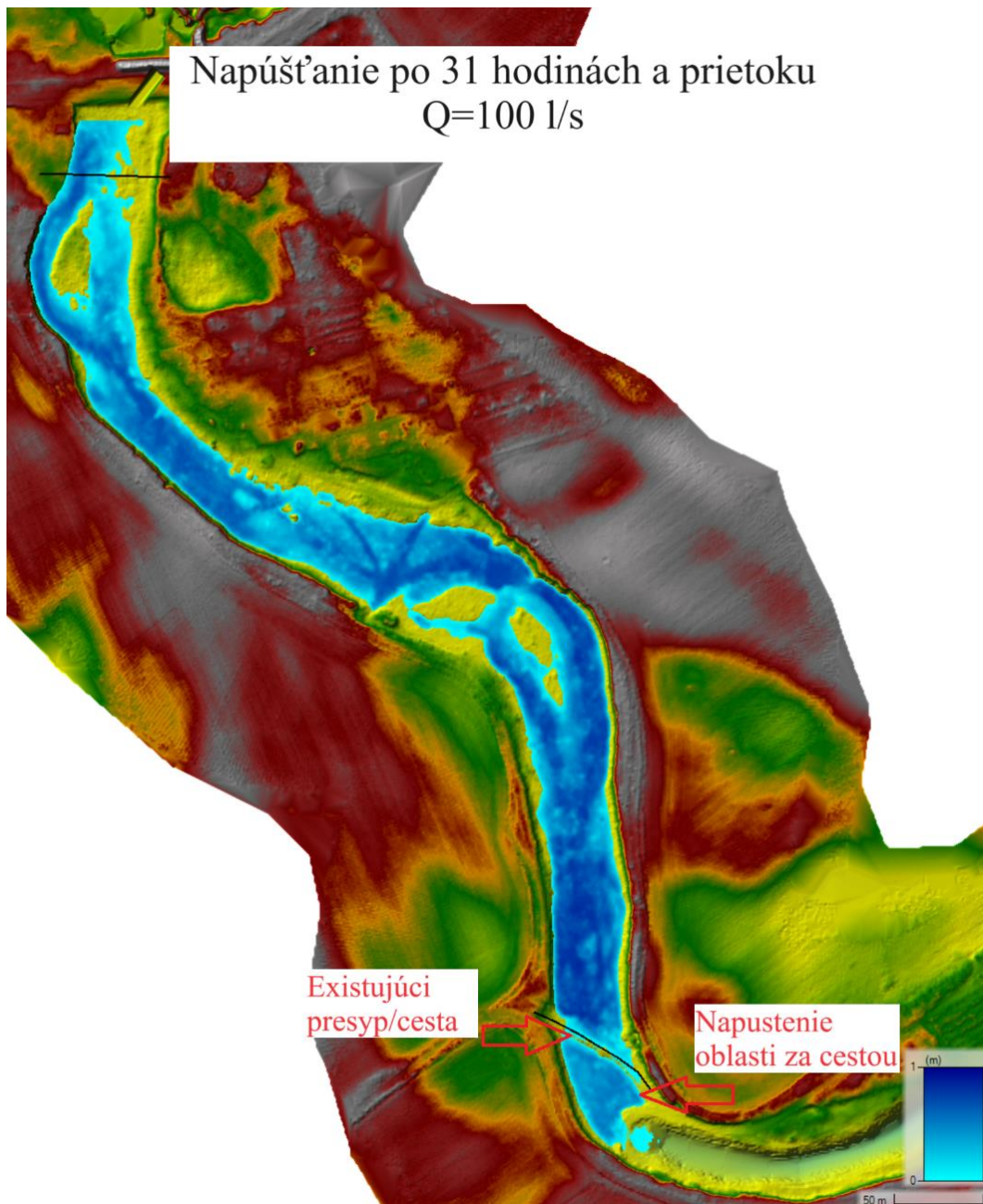
Pri vsakovacom veľkopokuse, by bola voda prečerpávaná veľkokapacitným čerpadlom z Malého Dunaja s vyústením na začiatku Klátovského ramena. Pre takéto napúšťanie bol vytvorený lokálny matematický model prúdenia povrchových vôd, ktorý určuje veľkosť záplavy a akumulovaný objem pri súčasnom stave terénu. Model počítal s prítokom $Q=100 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, ale bez vsakovania. V takomto prípade by napúšťanie hornej časti (od cesty

vedúcej popri hrádzi Malého Dunaja po existujúci presyp/cestu cez Klátovské rameno (vid'. Obr. 13) trvalo 24 hodín a napustený objem by teda bol cca 8 640 m³.



Obr. 13. Model vsakovacieho veľkopokusu po 24 hodinách.

Napustenie oblasti za presypom/cestou s následným začiatkom pretekania vody do existujúceho jazera by podľa našich výpočtov trvalo ďalších 7 hodín, čiže celkovo 31 hodín a objem by bol cca 11 160 m³ (obr. 14).



Obr.14. Model vsakovacieho veľkopokusu po 31 hodinách.

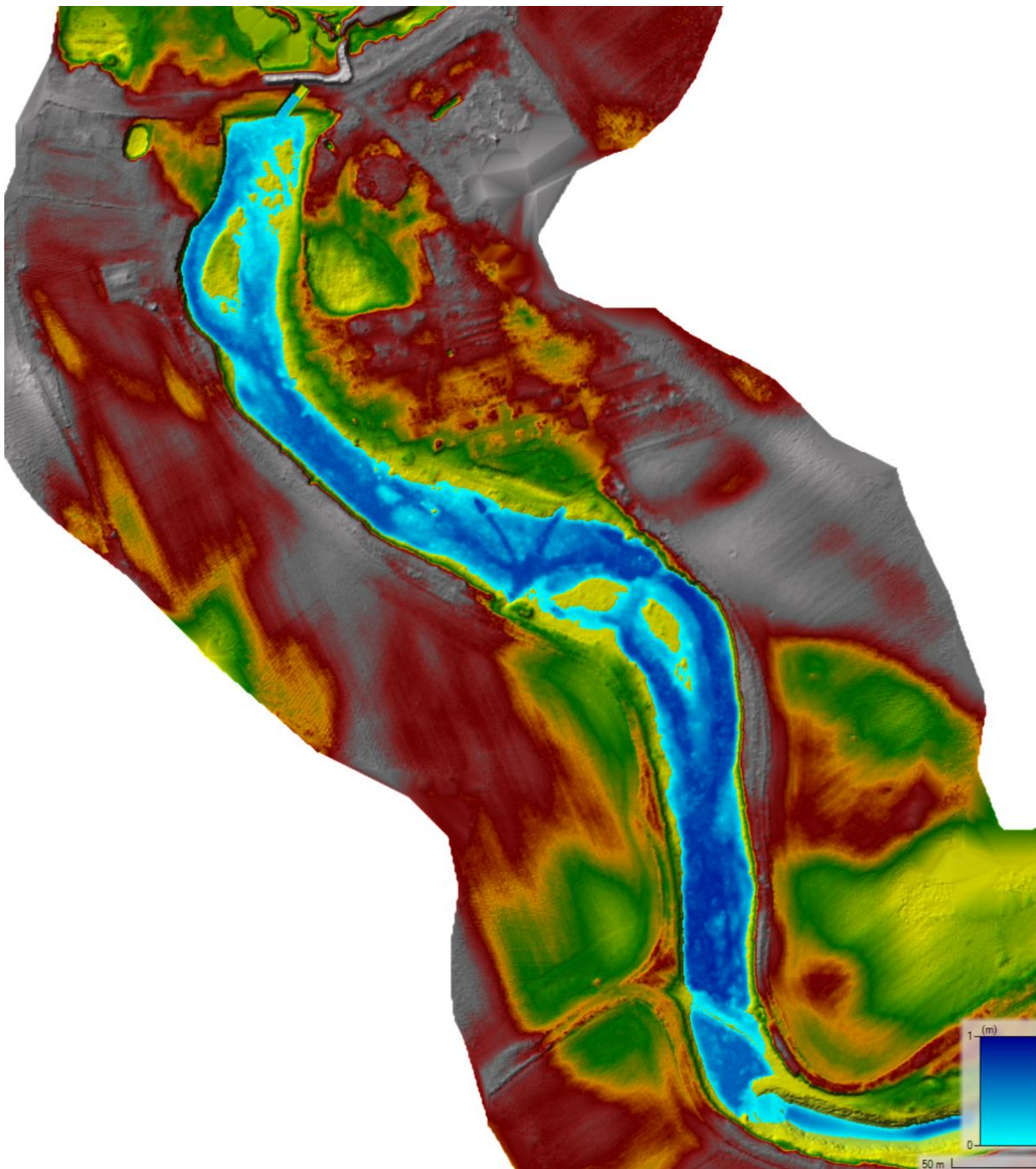
Nakoľko model neuvažuje s infiltráciou, ktorá nebude zanedbateľná, bude potrebné napúšťanie trvať podstatne dlhšie, ako je uvádzané vyššie (rádovo 1-2 týždne). Doba napúšťania samozrejme závisí aj od kapacity použitého čerpadla. Infiltrované množstvo bude uvedené neskôr pri vyhodnotení vplyvu na hladinový režim podzemných vôd.

Počas vykonávania pokusu je potrebné mať v zaplavenej časti osadené vodočtetné laty, ktoré umožnia sledovať vývoj hladín povrchových vôd. Potrebné bude aj vybudovanie pozorovacích sond na zabezpečenie sledovania podzemných vôd.

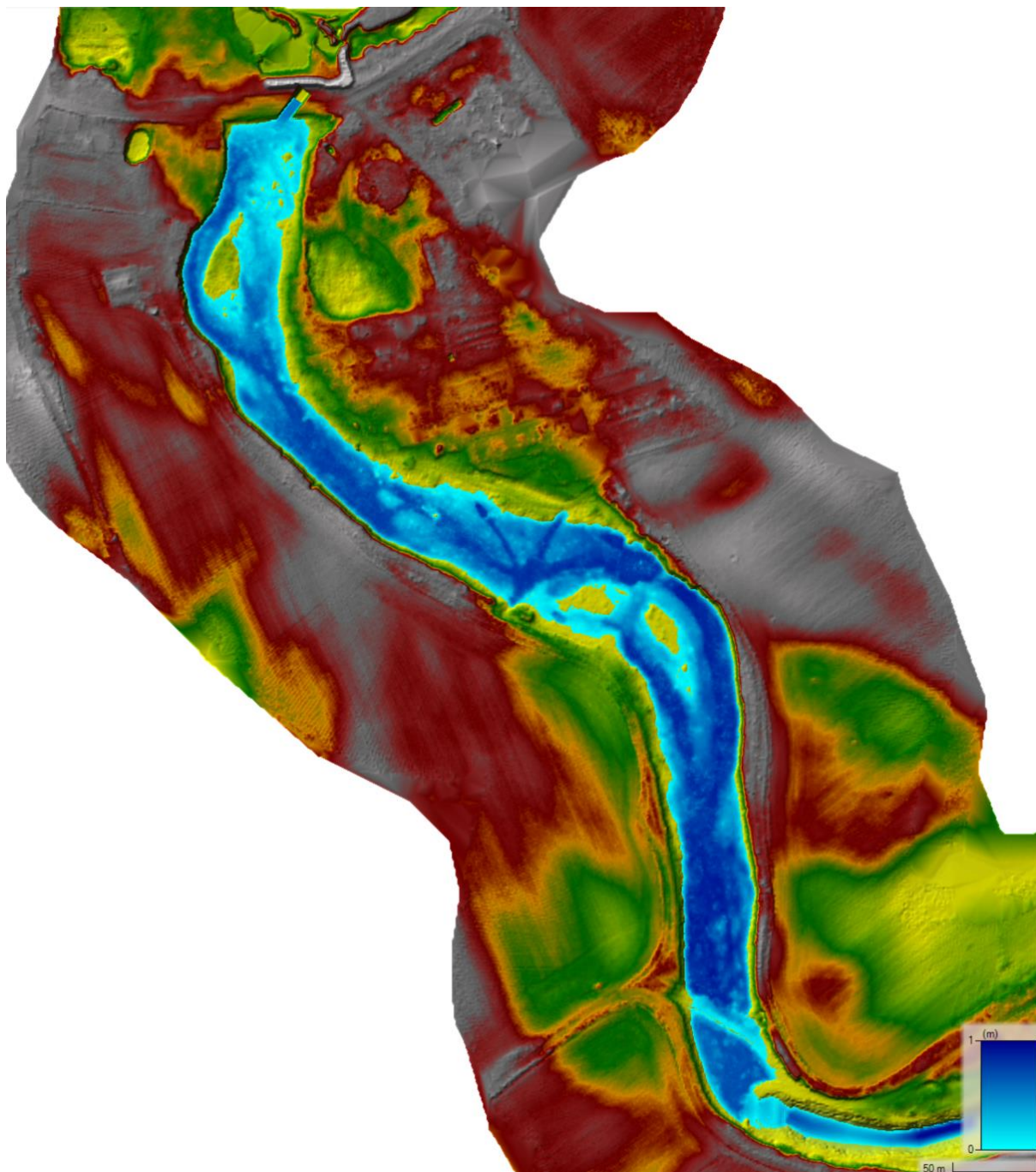
Vsakovací veľkopokus nebol v rámci projektu zrealizovaný nakoľko pozemky, ktorých sa zaplavenie bezprostredne dotýka, sú rozdrobené a patria veľkému množstvu súkromných

vlastníkov. Proti takému napúšťaniu bolo aj miestne obyvateľstvo v zastúpení starostu, ktoré bolo vyjadrené na rokovaní v Orechovej Potôni dňa 21.04.2023.

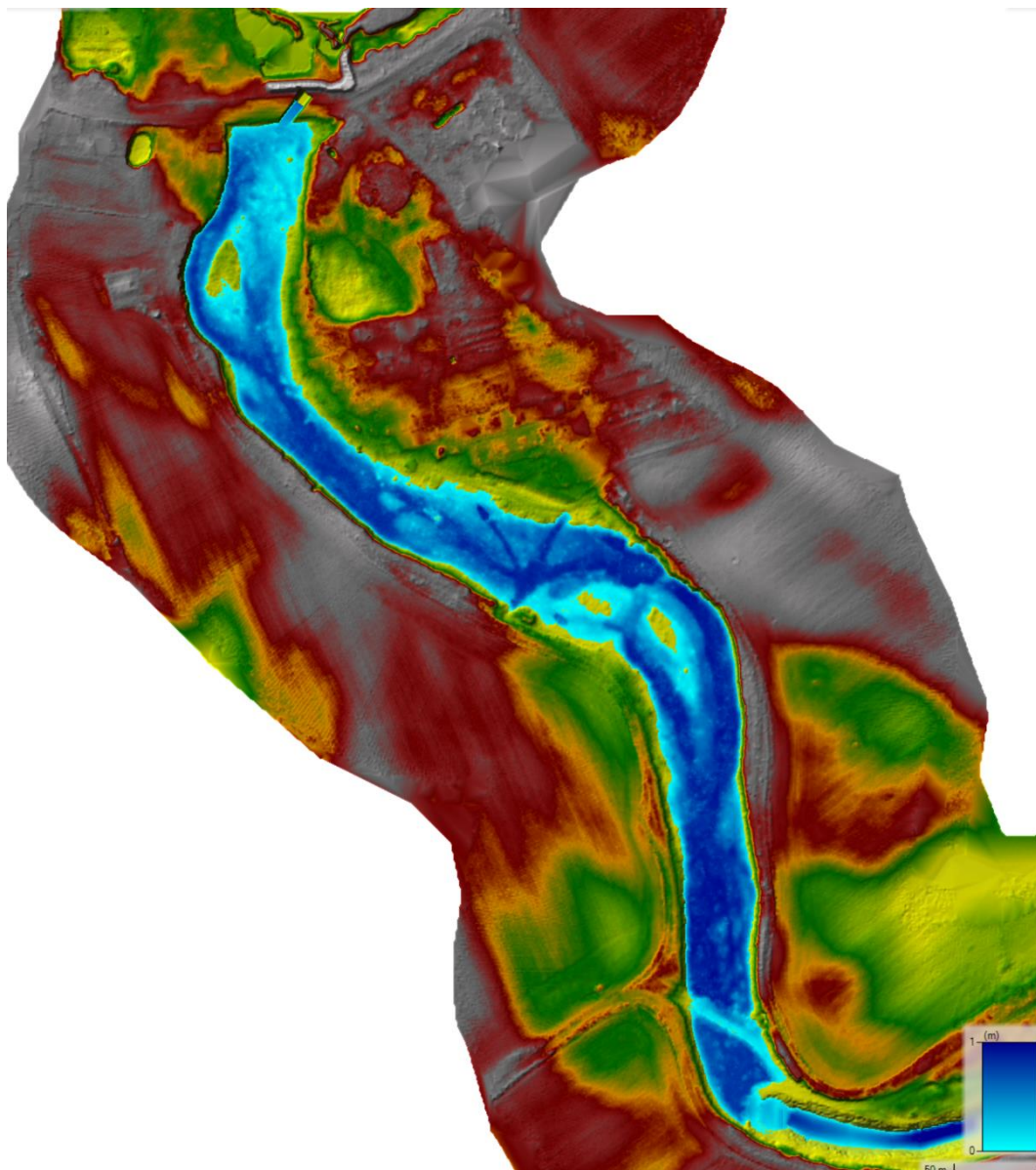
Pre lepšiu preskúmateľnosť najvrchnejšej časti Klátovského ramena bol vytvorený lokálny matematický model prúdenia povrchových vôd zameraný iba na túto oblasť. Na modeli boli skúmané riziká spojené s napájaním Klátovského ramena vodou z Malého Dunaja. Na obr. 15 až obr. 17 sú zobrazené mapy hĺbok pri rôznych prietokoch ($Q = 1, 2$ a $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Z máp hĺbok je zrejmé, že rozdiely v hĺbkach nie sú pri rôznych prietokoch veľmi výrazné, čo je spôsobené aj vytvorením vzdutia existujúcou cestou/presypom.



Obr. 2. Mapa hĺbok pri prietoku $Q=1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, aktuálny terén.

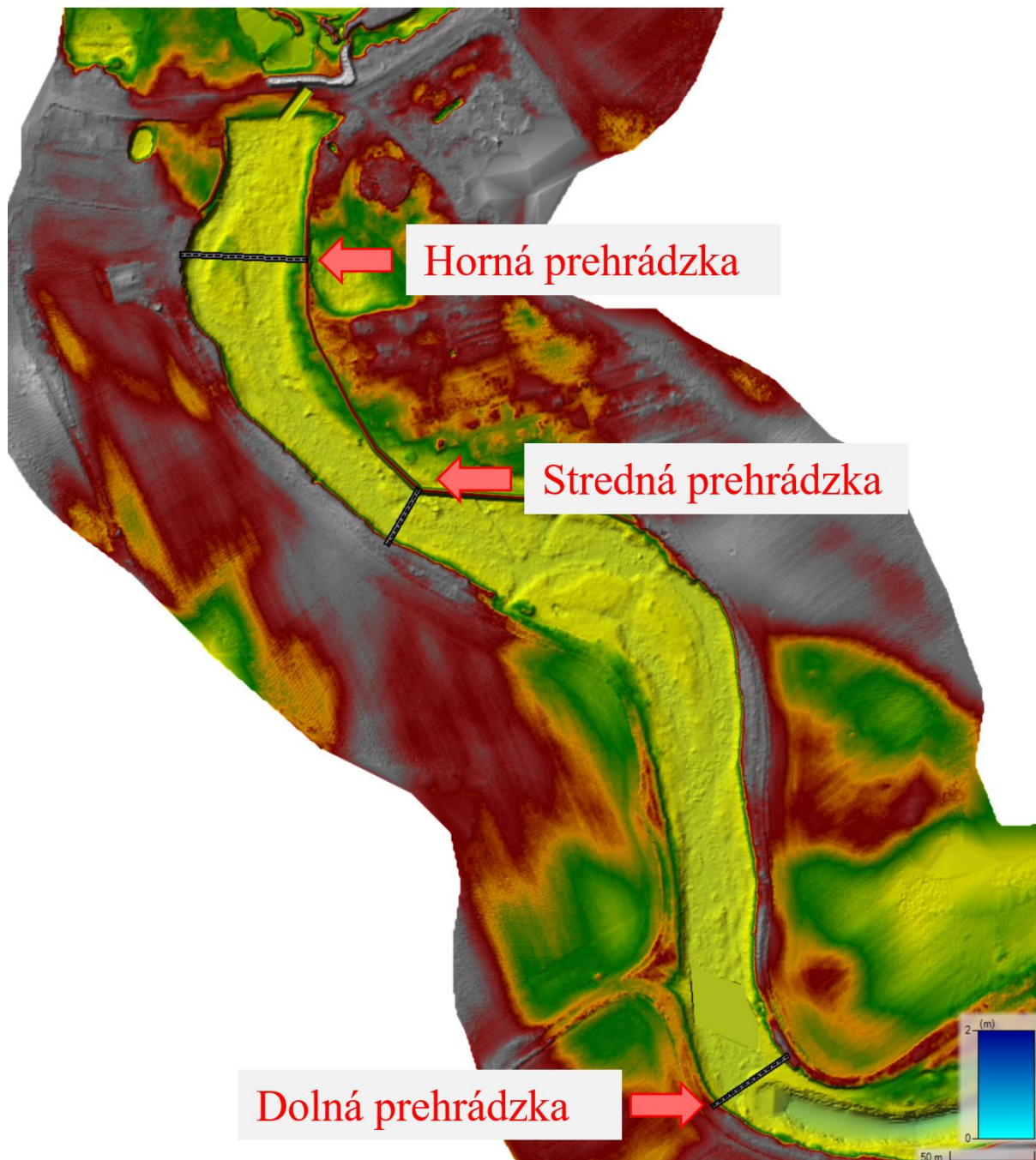


Obr. 3 Mapa hĺbok pri prietoku $Q=2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, aktuálny terén.

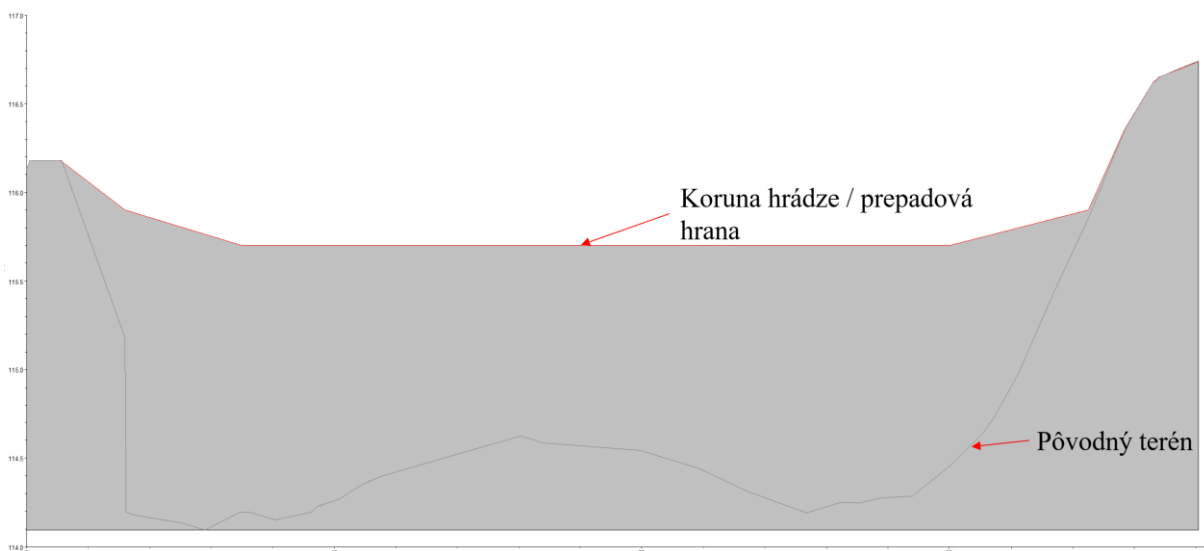


Obr. 17. Mapa hĺbok pri prietoku $Q=3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, aktuálny terén.

Pre podporu infiltrácie povrchových vôd a zníženie rýchlosti prúdenia, čo zasa prinesie podporu sedimentačných procesov nevyhnutných na čo najväčšie prečistenie/odsedimentovanie malodunajskej vody, boli koncepčne navrhnuté 3 prehrádzky v najvrchnejšej časti Klátovského ramena. Pri zavzdutí hladiny, by boli potrebné aj ďalšie úpravy (mierne ohradenie toku), ktoré zabránia ohrozeniu príľahlého obyvateľstva. Obr. 18 zobrazuje koncepčné rozloženie prehrádzok, ktoré bolo použité v modeli. Prehrádzky boli v modeli navrhované, ako nízke hrádze s pretekaním cez korunu, tak aby sa prúd výrazne nesústredil a nevytváral tak oblasti so zvýšenými rýchlosťami. Jednotlivé prehrádzky sa od seba odlišujú kótou korún a ich dĺžkami. Ukážka pozdĺžneho rezu prehrádzky je na obr. 19.



Obr. 18. Konceptné rozloženie prehrádzok vo vyschnutom koryte Klátovského ramena.

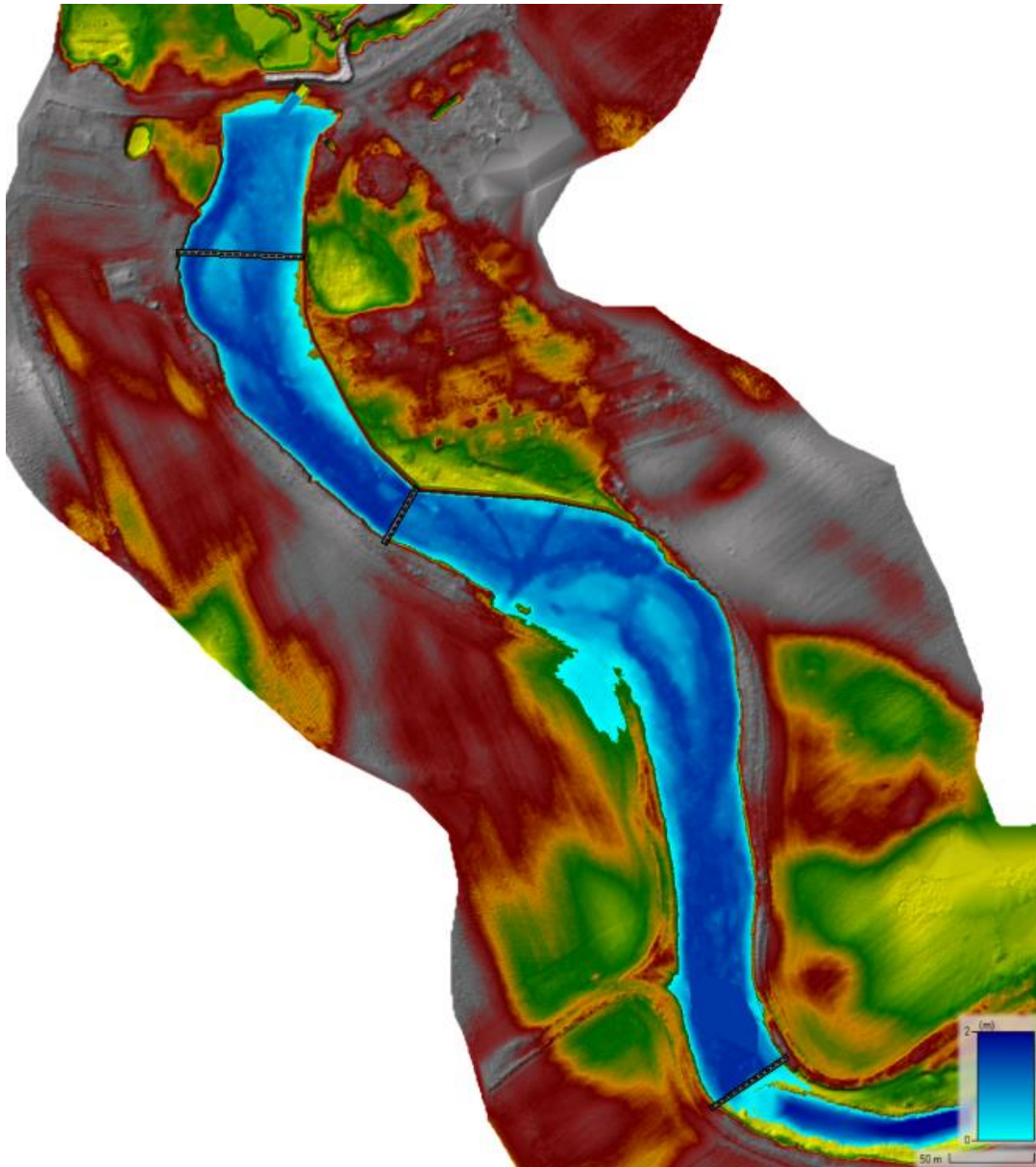


Obr. 19. Konceptný návrh pozdĺžneho rezu prehrádzky vo vyschnutom koryte Klátovského ramena.

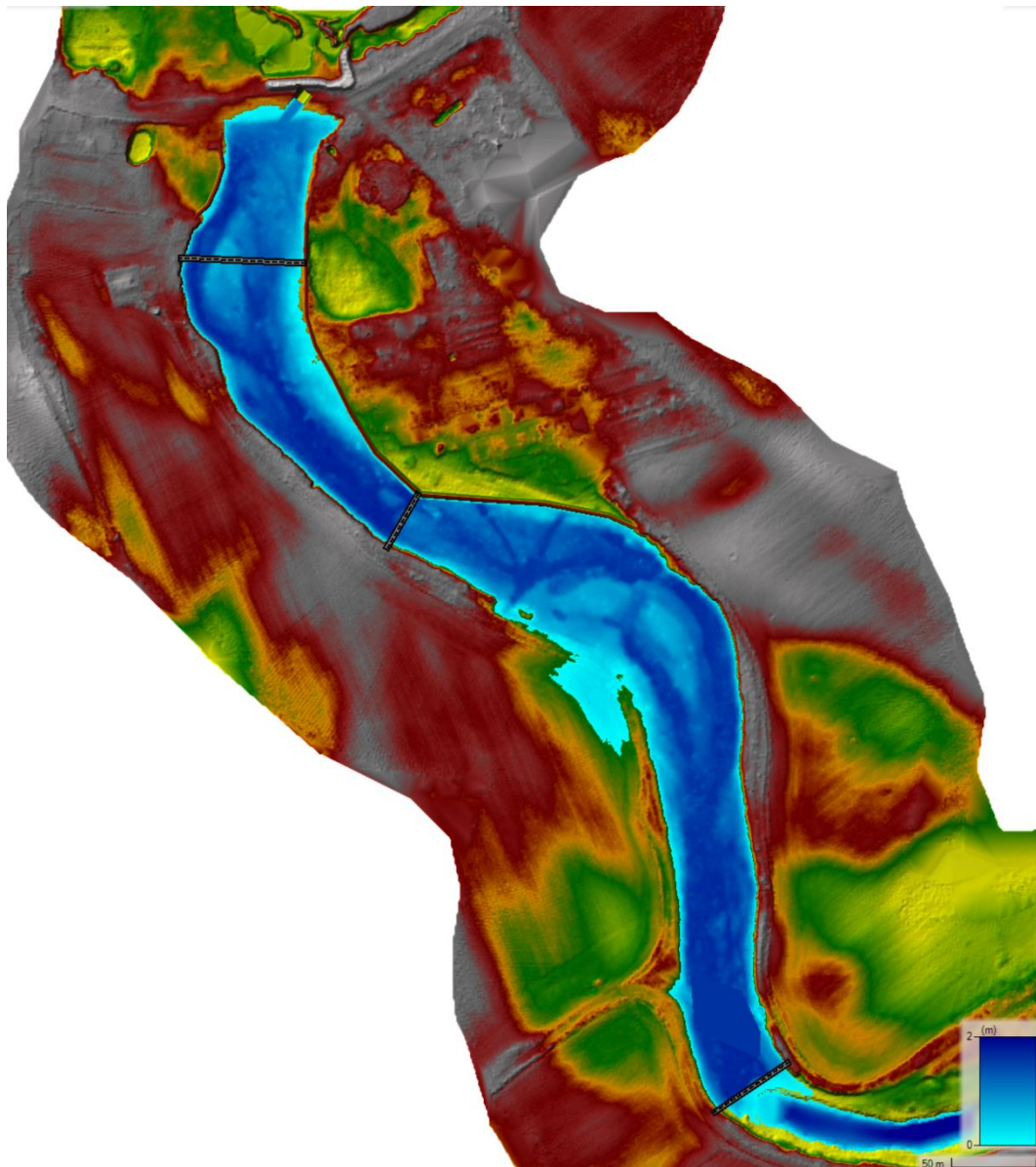
Pri takejto konštrukcii prehrádzok by sa prepadová výška, v rozmedzí prietokov 1,0 až 3,0 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, hýbala na úrovniach 5,0 až 17,0 cm (samozrejme v závislosti od dĺžky jednotlivej prehrádzky a prietoku). Akumulovaný objem by sa rádovo zvýšil z takmer 14 000 m^3 na približne 43 000 m^3 . Mapy hĺbok pre jednotlivé prietoky sú na obr. 20 až 22.

Výrazná zmena sa však prejaví hlavne v rýchlosti prúdenia v toku (mapy rýchlostí sú na obr. 23 a 24). Takáto zmena rýchlosti by mala prispieť k lepším sedimentačným procesom. Rýchlosť prúdenia sa zmení:

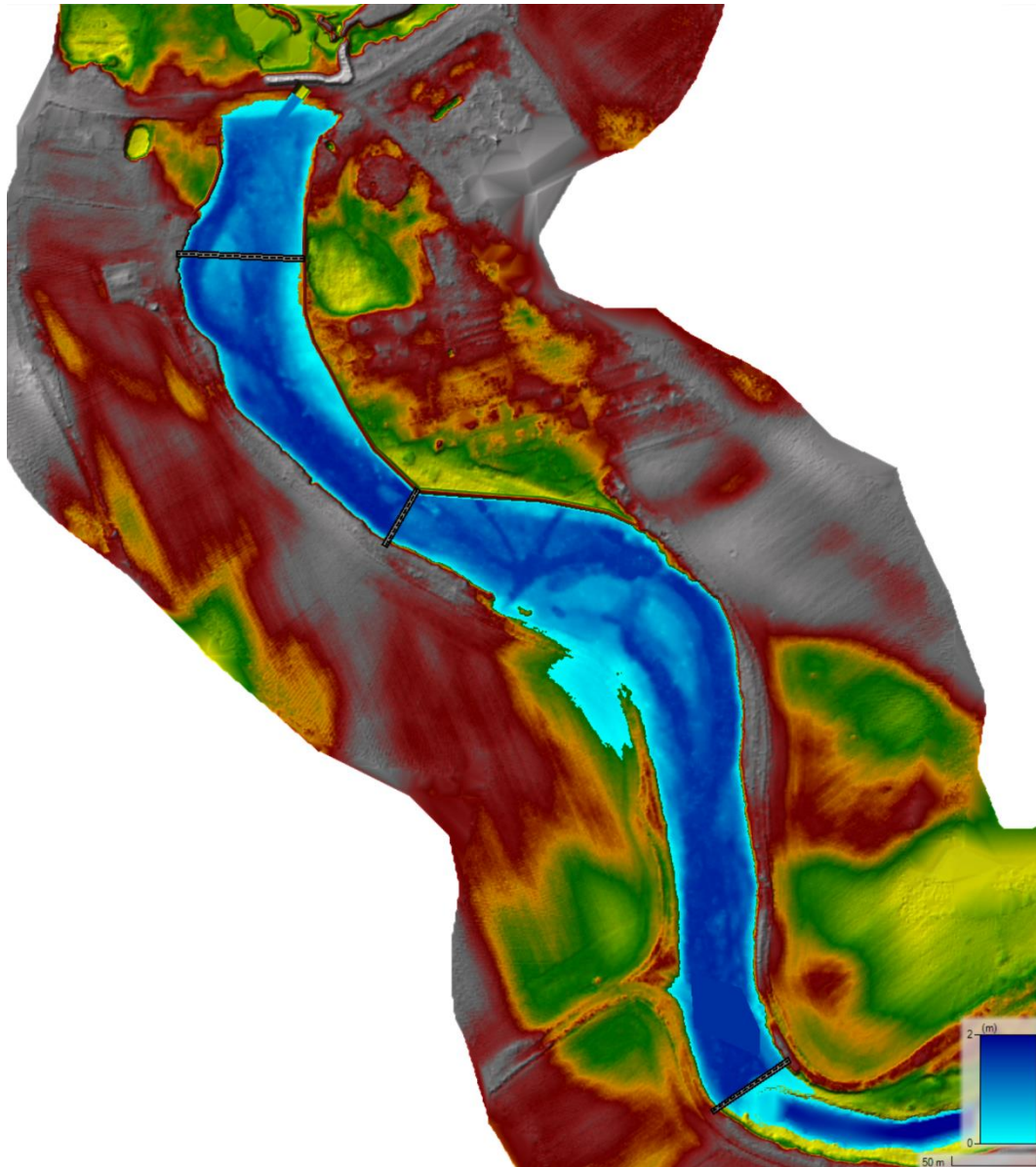
- v bode 1 – z 0,23 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ na 0,02 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
- v bode 2 – z 0,07 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ na 0,03 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.



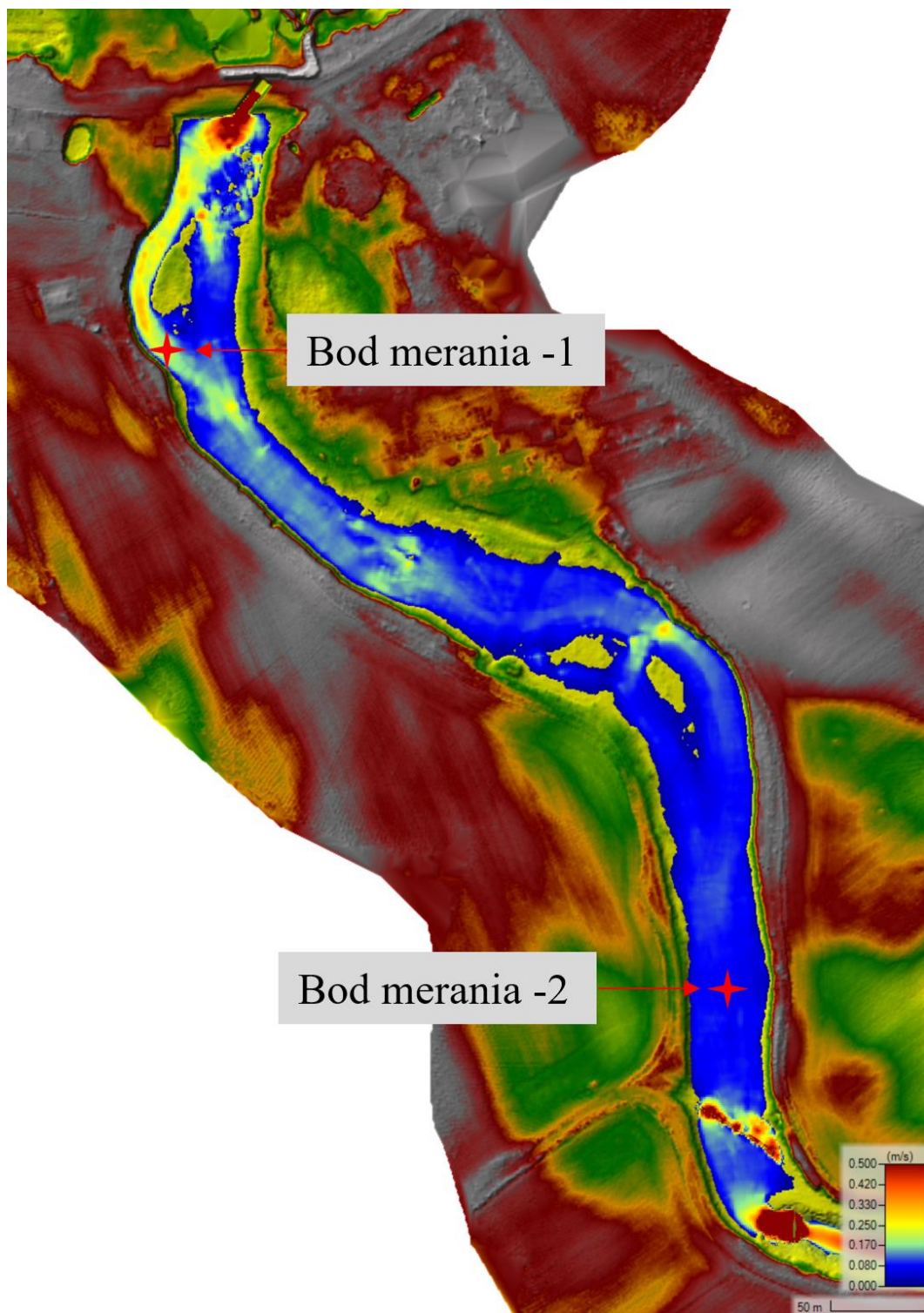
Obr. 20. Mapa hĺbok pri prietoku $Q=1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 3 prehrádzky.



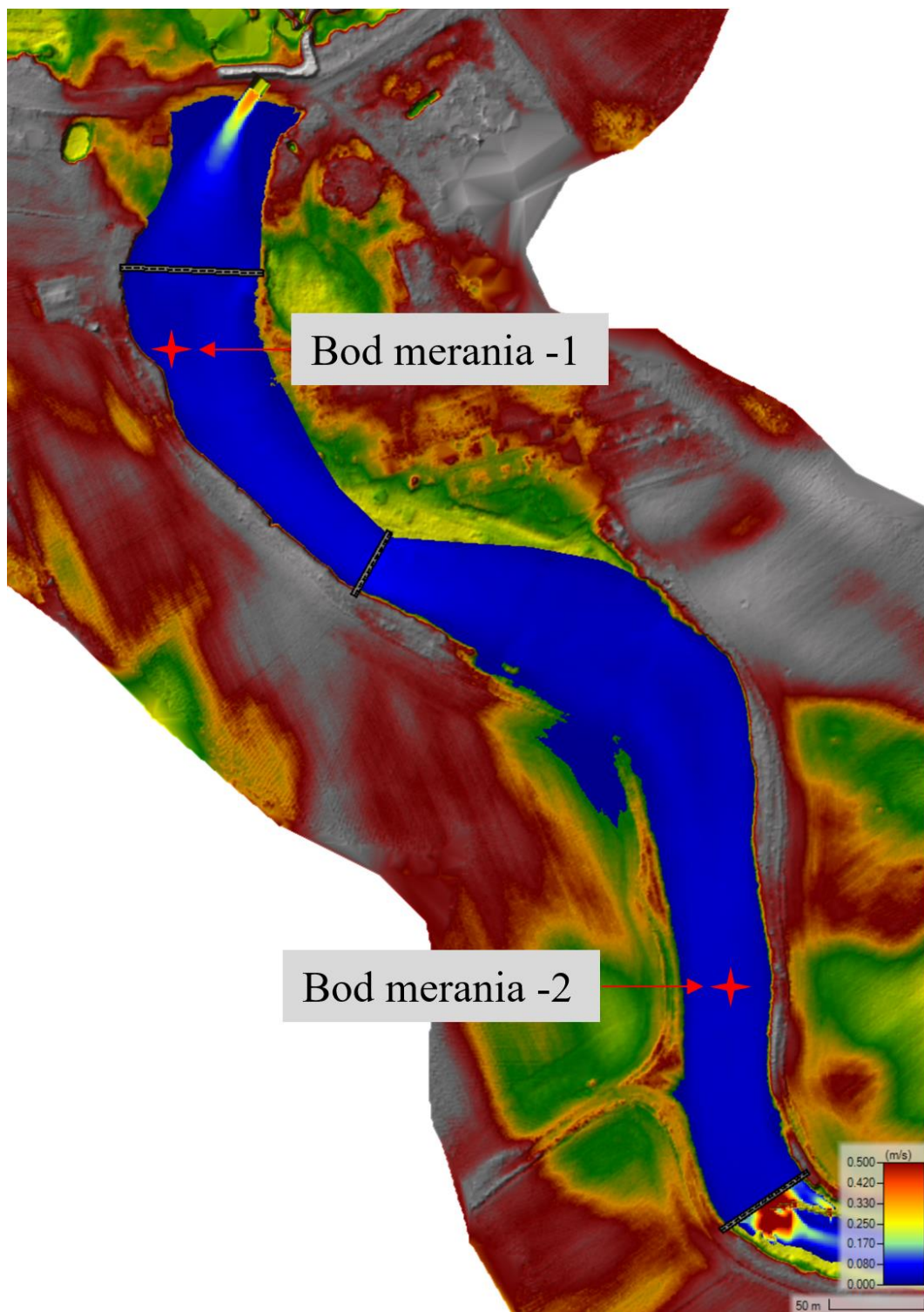
Obr. 4. Mapa hĺbok pri prietoku $Q=2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 3 prehrádzky.



Obr. 5. Mapa hĺbok pri prietoku $Q=3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 3 prehrádzky.



Obr. 63. Mapa rýchlostí pri prietoku $Q=2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ — stav bez prehrádzok.



Obr. 74. Mapa rýchlostí pri prietoku $Q=2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – 3 prehrádzky.

ZOSTAVENIE MATEMATICKÉHO MODELU PRÚDENIA POVRCHOVEJ VODY V KLÁTOVSKOM RAMENE + VÝPOČTOVÉ SCENÁRE

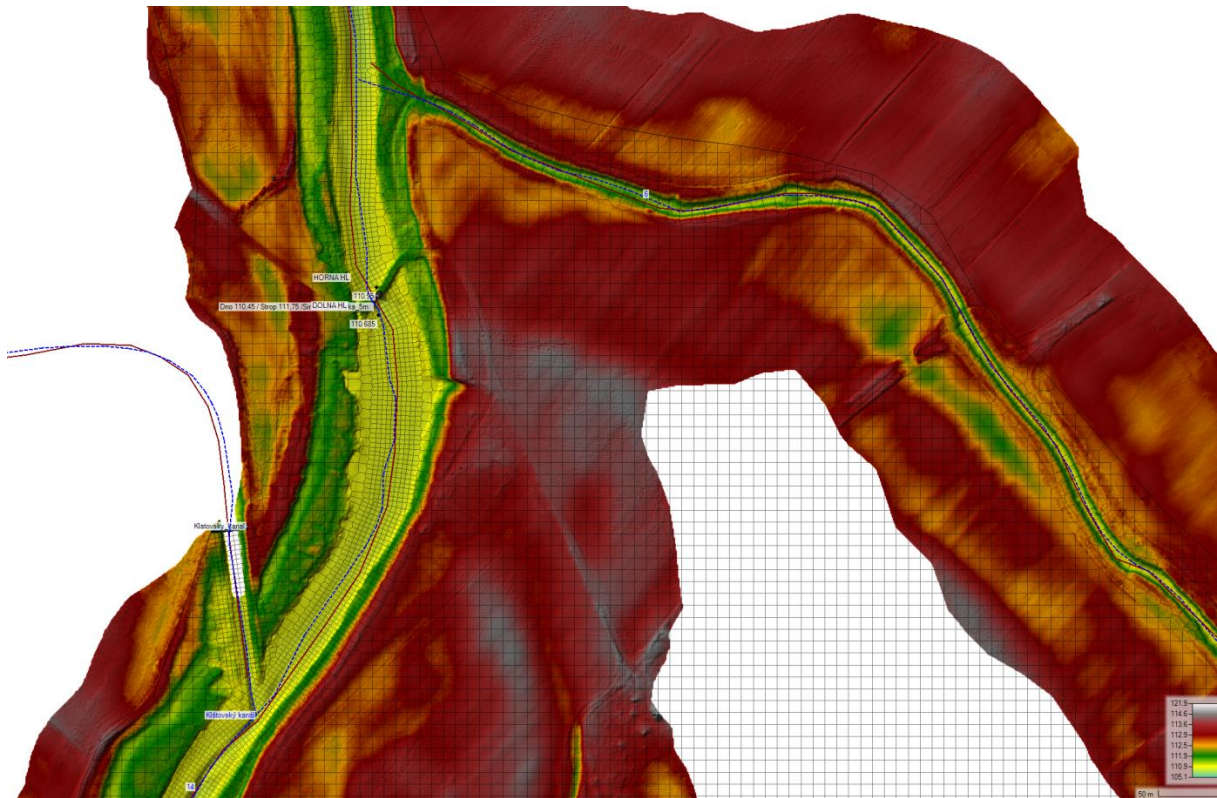
Na určenie hladinového režimu záujmového úseku Klátovského ramena bol použitý dvojdimenzionálny matematický model HEC-RAS 2-D v.6.3 (U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), ktorý bol vyvinutý hlavne za účelom využitia ako základný technologický nástroj pre plánovanie a analýzu v oblasti povodňových škôd riečnych systémov. Softvér dokáže pracovať s ustáleným i neustáleným 1-D a 2-D prúdením, ktoré HEC-RAS rieši pomocou difúznej alebo dynamickej vlny metódou numerickej metódy konečných diferencií.

Pohybová rovnica, tzv. difúzna vlna sa využíva pri väčších modeloch, ktoré nevyžadujú detailné riešenie obtekania určitých prekážok. Svoje uplatnenie tak nachádza napr. u modelov v otvorených korytách, pri návrhu protipovodňových opatrení. Difúzna vlna je prakticky zjednodušená dynamická vlna, kde aproximácia spočíva v zanedbaní nelineárneho člena zotrvačnej sily, pretože predpokladá malú zmenu prietoku s pribúdajúcim časom.

Dynamická vlna je známa tiež ako Saint-Venantova rovnica, ktorá sa využíva pre popis nestacionárneho prúdenia v otvorených korytách. Základom pre odvodenie Saint-Venantových rovníc bola sústava Navier-Stokesových rovníc. Model HEC-RAS 2-D ju využíva v aproximovanom tvare, ako tzv. Shallow Water Equations (SWE) (rovnice plytkej vody), pretože sa pri 2-D prúdení predpokladajú zanedbateľné vertikálne zložky rýchlosti a tiež, že je prúdiaca kvapalina nestlačiteľná a má konštantnú hustotu.

Riešenie týchto rovníc vyžaduje vyššie nároky na výpočtovú techniku a dlhšie časy simulácií. Výhodou je možnosť riešenia veľkého množstva scenárov, vrátane dynamických povodňových vln, náhleho rozšírenia alebo zúženia prúdu, zmiešaného režimu prúdenia, šírenia vln a pod.

Z hľadiska riešenia záujmovej lokality bol zostavený 2-D matematický model súčasného stavu na morfológických a hydrologických podkladoch popísaných vyššie. V miestach identifikovaných objektov boli zadefinované v modeli priepusty podľa zamerania. Výpočtová sieť záujmovej oblasti bola zadaná s rozmerom približne 4 m v závislosti od potreby detailnosti výpočtu, pri súčiniteli drsnosti podľa Manninga. Pre takto zadefinované územie boli urobené simulačné výpočty pre neustálené prúdenie. Kalibrácia modelu bola možná len čiastočne, pretože neboli k dispozícii dostatočné dáta na jej uskutočnenie. Kalibrácia modelu bola založená na meraniach in situ pre hladinový a prietokový režim v Klátovskom ramene a jeho prítokoch vykonaných kolektívom katedry hydrotechniky SvF STU počas riešenia projektu.



Obr. 25. Výpočtová sieť numerického modelu prúdenia povrchových vôd v oblasti vodného mlyna v Dunajskom Klátove.

Okrajové podmienky modelu neustáleného prúdenia sú pre celkové simulované obdobie T_{sim} reprezentované časovými priebehmi závislých premenných, t.j. prietoku a polohy hladiny v okrajových profiloch modelovaného úseku Klátovského ramena a Malého Dunaja a taktiež časové priebehy laterálnych prítokov Klátovského kanála a kanála Gabčíkovo-Topoľníky a množstva drobných výverov a neidentifikovaných prítokov nad zaústením Klátovského kanála do Klátovského ramena. Hornou okrajovou podmienkou je prietok a dolnou okrajovou podmienkou úseku je hladina na zaústení do Malého Dunaja.

Skúmané scenáre zrýchlenia toku Klátovského ramena pomocou vody z Malého Dunaja

- **Analýza súčasného stavu**

- V rámci meraní in situ bol vykonaný STU súbor meraní prietokov a hladín. Výsledky boli po konzultácii s partnermi definované ako súčasný stav. Merania a výpočty súčasného stav boli tiež použité ako kalibračné prvky modelu prúdenia.

- Klátovské rameno 700 m pod prameňom $Q = 0.18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Klátovské rameno súbor výverov a prítokov v rkm $\sim 20.000 - 30.000$, $Q = 0,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Klátovský kanál, $Q = 1,83 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

- Gabčíkovo-Topoľníky, $Q = 2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Zaústenie Klátovské rameno – Malý Dunaj, na Zátvornom objekte
H=108.60 m n.m.

- **Preplach Klátovského ramena**

- Koncept vychádza z možnosti zahradenia Klátovského ramena pri bežných stavoch na Zátvornom objekte a naplnením ramena po prevádzkovú hladinu H=111.30 m n.m. Po dosiahnutí prevádzkovej hladiny scenár zahŕňa vyhradenie oboch polí s výtokom do Malého Dunaja pri hladine na zaústení H=109.80 m n.m. Tento scenár bol parametrizovaný aj na modelovanie pohyblivého dna.

- **Nadlepšenie prietoku o $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja na prameni Klátovského ramena**

- Kopíruje parametrické nastavenie scenáru „Analýza súčasného stavu“, ale sleduje zmeny hladinového režimu a rýchlostného poľa pri nadlepšovaní prietoku na prameni Klátovského ramena o $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

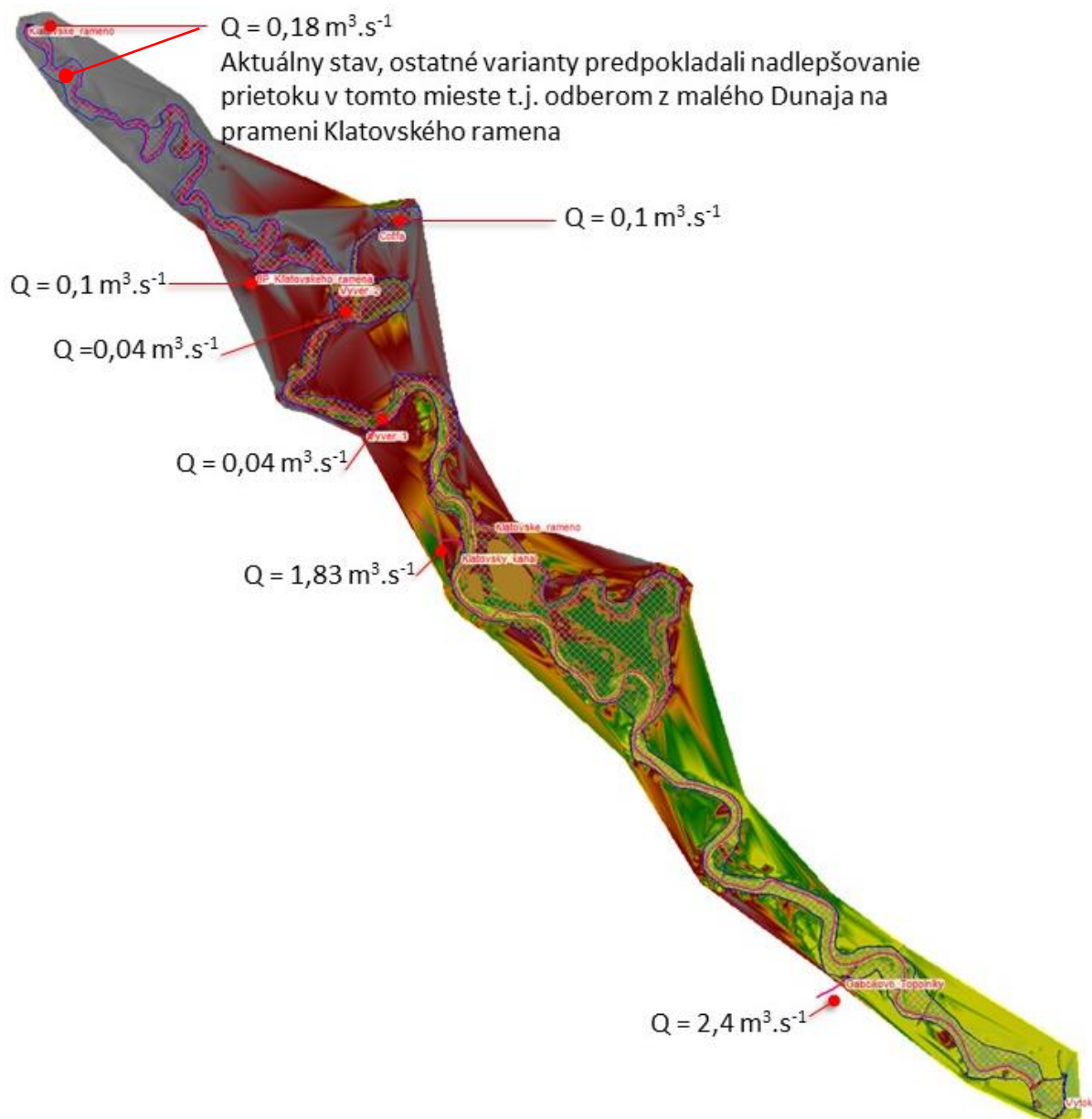
- **Nadlepšenie prietoku o $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja na prameni Klátovského ramena**

- Kopíruje parametrické nastavenie scenáru „Analýza súčasného stavu“, ale sleduje zmeny hladinového režimu a rýchlostného poľa pri nadlepšovaní prietoku na prameni Klátovského ramena o $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

- **Nadlepšenie prietoku o $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja na prameni Klátovského ramena**

- Kopíruje parametrické nastavenie scenáru „Analýza súčasného stavu“, ale sleduje zmeny hladinového režimu a rýchlostného poľa pri nadlepšovaní prietoku na prameni Klátovského ramena o $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Na obr. 26 je znázornené predpokladané nadlepšovanie prietoku z možných výverov podzemnej vody v daných profiloch, resp. z prítokov povrchovej vody (Klátovský kanál, kanál Gabčíkovo – Topoľníky).



Obr.26. Schéma okrajových podmienok numerického modelu prúdenia povrchových vôd v Klátovskom ramene.

MERANIA IN SITU (PRIETOKY A HLADINY) + KALIBRÁCIA

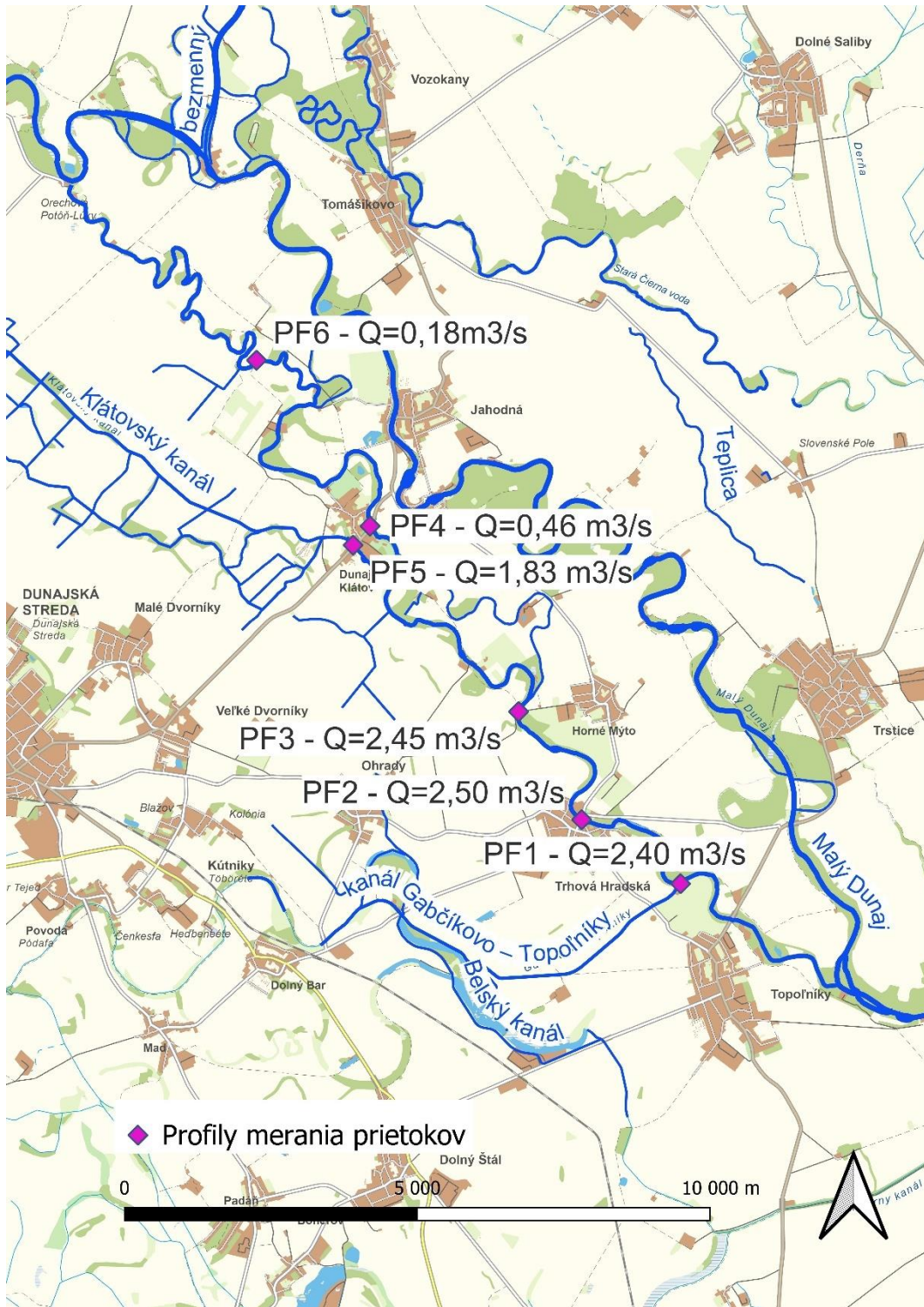
Základom dobre zostaveného matematického modelu sú okrem digitálneho modelu terénu a batymetrie (merania hĺbok koryta pod hladinou povrchovej vody) terénne merania prietokov a hladiny povrchovej vody v Klátovskom ramene a na jeho prítokoch. Na Obr. 29 až Obr. 3 sú znázornené ukážky takýchto meraní, ktoré boli použité na kalibráciu a verifikáciu matematického modelu. Až po procese kalibrácie bolo možné pristúpiť k návrhu variantných situácií, ktoré je možné analyzovať v hydrodynamickom modeli HEC-RAS v dvojrozmerných podmienkach.

Meranie prietokových množstiev bolo vykonané v júni 2023 v celkovo 6 profiloch, z čoho 4 boli situované priamo v Klátovskom ramene. Výsledky merania sú v zobrazené v Tab. 2., resp. na obr. 27. Na meranie prietokov slúžil akustický Doplerov rýchloimeter – FlowTracker od firmy SonTek.

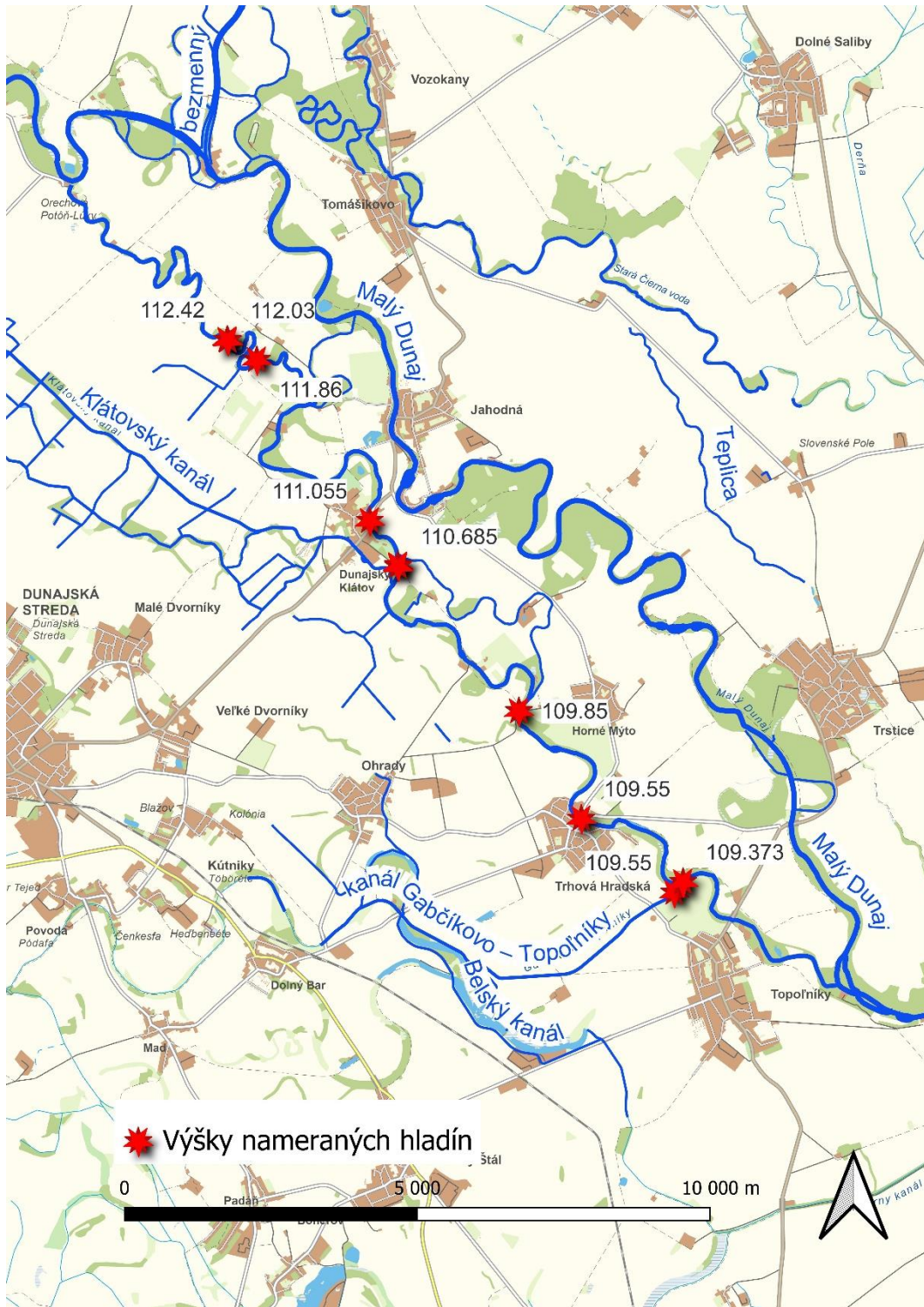
Pre korektnú kalibráciu modelu museli k meraniam prietokom prislúchať aj zamerania hladín a to nie len v profiloch hydrometrovania. Na zameranie polohy hladín bolo využívané GNSS (globálne navigačné družicové systémy) (obr. 28) meranie a v profiloch, kde takéto meranie nebolo možné, kvôli absencii signálu (miesta s vysokou vegetáciou) boli tieto merania doplnené nivelačným meraním (Obr. 3).

Tab. 2. Výsledky merania prietokov

Profil	Tok	rkm	Q [m³.s⁻¹]
PF-1	Gabčíkovo-Topoľníky	0.10	2.40
PF-2	Klátovské rameno	6.65	2.50
PF-3	Klátovské rameno	9.57	2.45
PF-4	Klátovský kanál	1.10	1.83
PF-5	Klátovské rameno	15.35	0.46
PF-6	Klátovské rameno	22.42	0.18



Obr. 27. Znáznornenie lokalít merania prietokov pre kalibráciu modelu.



Obr. 28. Znáznornenie lokalít na meranie výšok hladín.



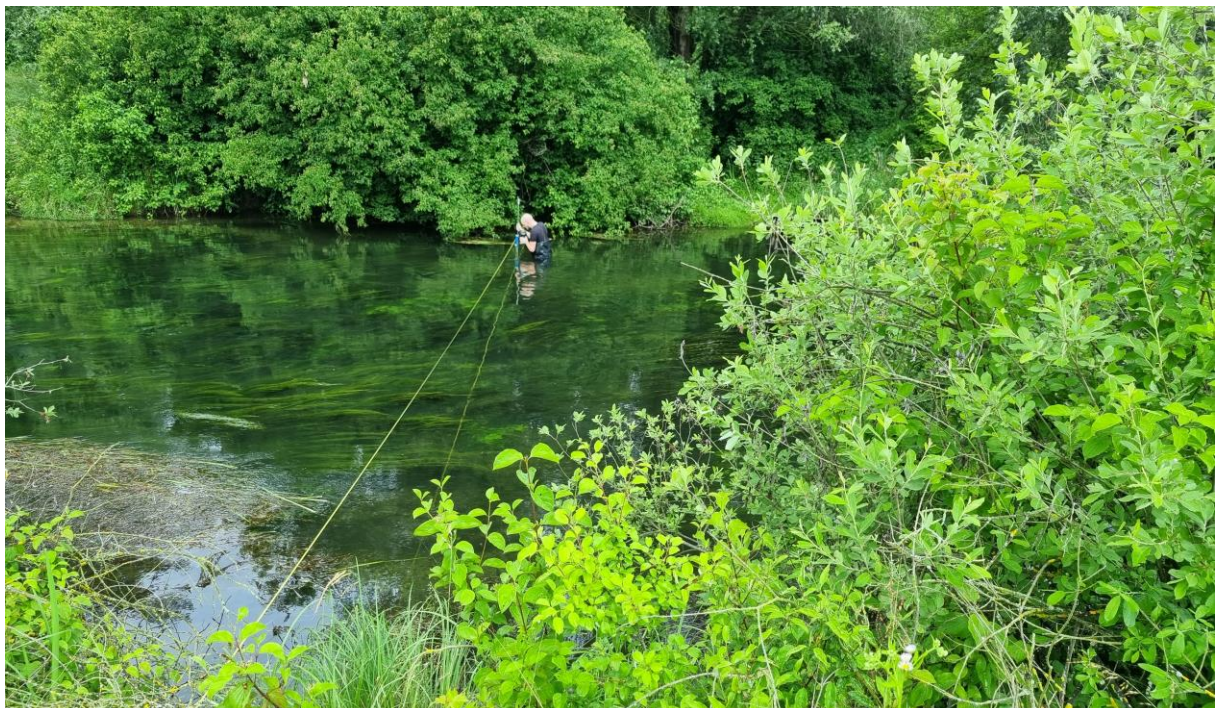
Obr. 29. Meranie prietoku a hladiny v Klátovskom ramene pod mostom v Dunajskom Klátove (cca rkm 15,450).



Obr. 30. Meranie prietoku a hladiny v Klátovskom ramene pod mostom v Trhovej Hradskej (cca rkm 6,450).



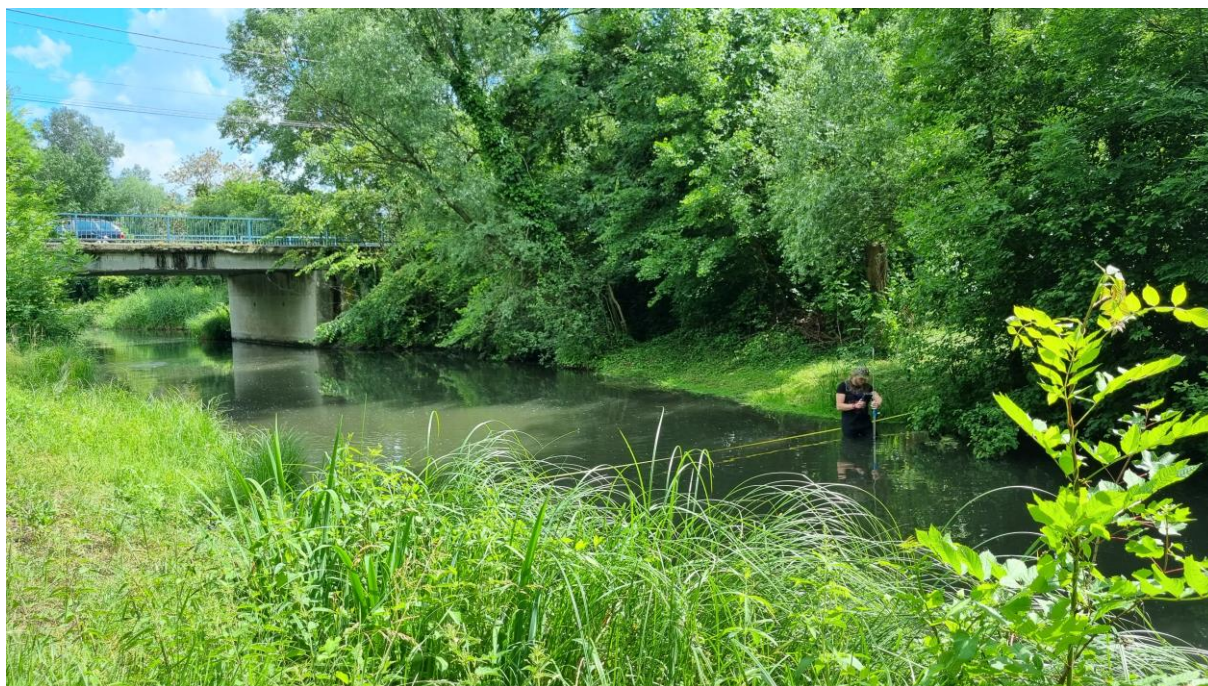
Obr. 31. Meranie prietoku a hladiny v Klátovskom ramene pod mostom pri Hornom Mýte (cca rkm 9,750).



Obr. 32. Meranie prietoku a hladiny v kanále SVII (Gabčíkovo – Topoľníky) v profile pred zaústením do Klátovského ramena v Topoľníkoch.



Obr. 33. Meranie hladiny v kanále SVII (Gabčíkovo – Topoľníky) v mernom profile SHMÚ pred zaústením do Klátovského ramena v Topoľníkoch.

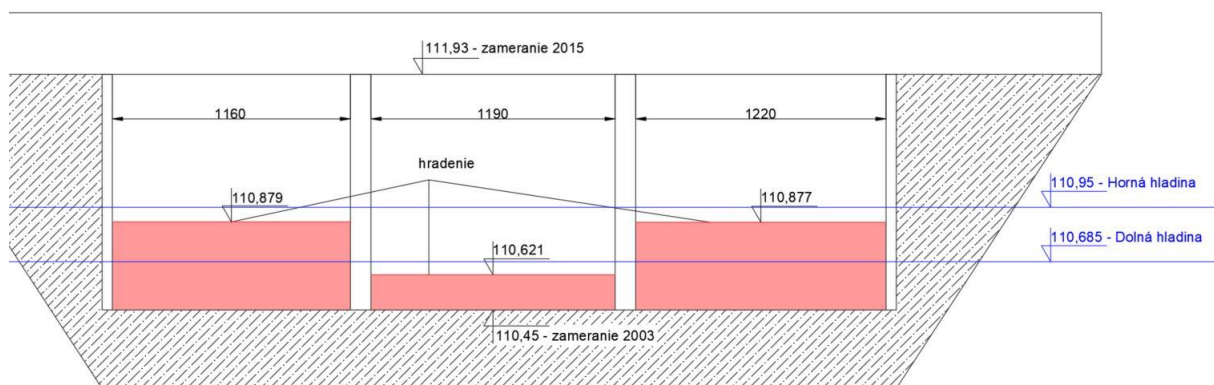


Obr. 34. Meranie prietoku a hladiny v Klátovskom kanále pred zaústením do Klátovského ramena v Dunajskom Klátove.



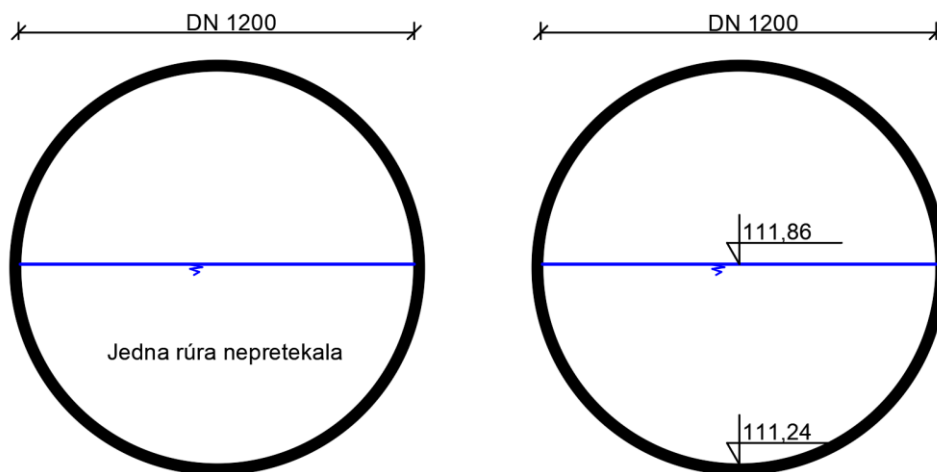
Obr. 35. Meranie hladiny v Klátovskom ramene v Dunajskom Klátove pri mlyne.

Okrem merania hladín a prietokov boli zamerané aj objekty predovšetkým mostov a priepustov na Klátovskom ramene. Obr. 8 zobrazuje rez haťou v Dunajskom Klátove, Obr. 9 a Obr. 10 zobrazujú priepust v rkm 22,400.



Obr. 8. Rez hate na Klátovskom ramene v Dunajskom Klátove.

Pohľad protiprúdu - pohľad merania

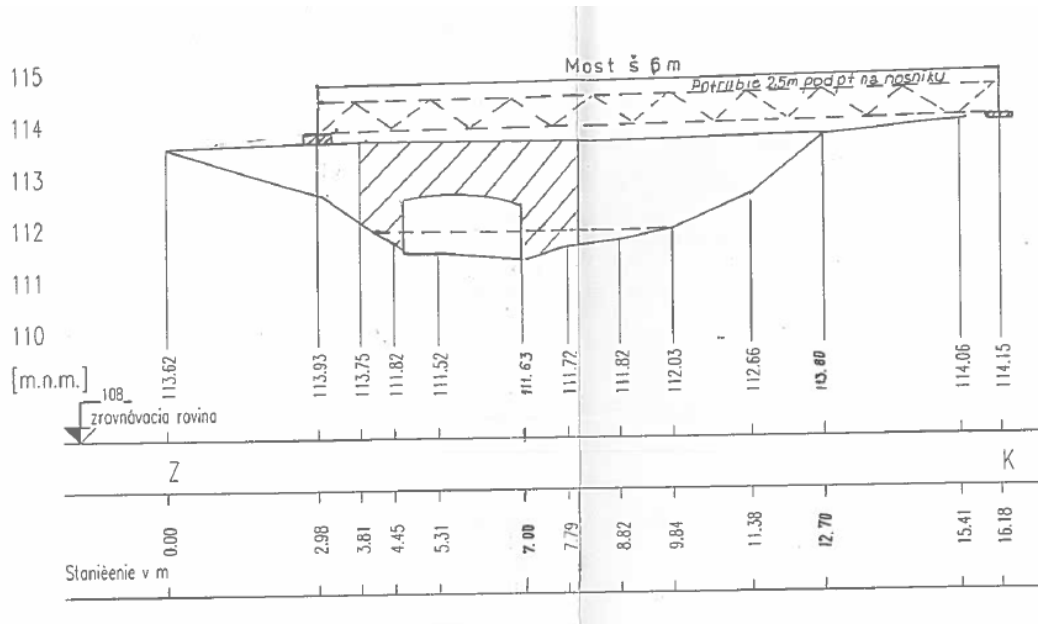


Obr. 9. Prierez zameraných potrubí v priepuste/presype v rkm 22,400.

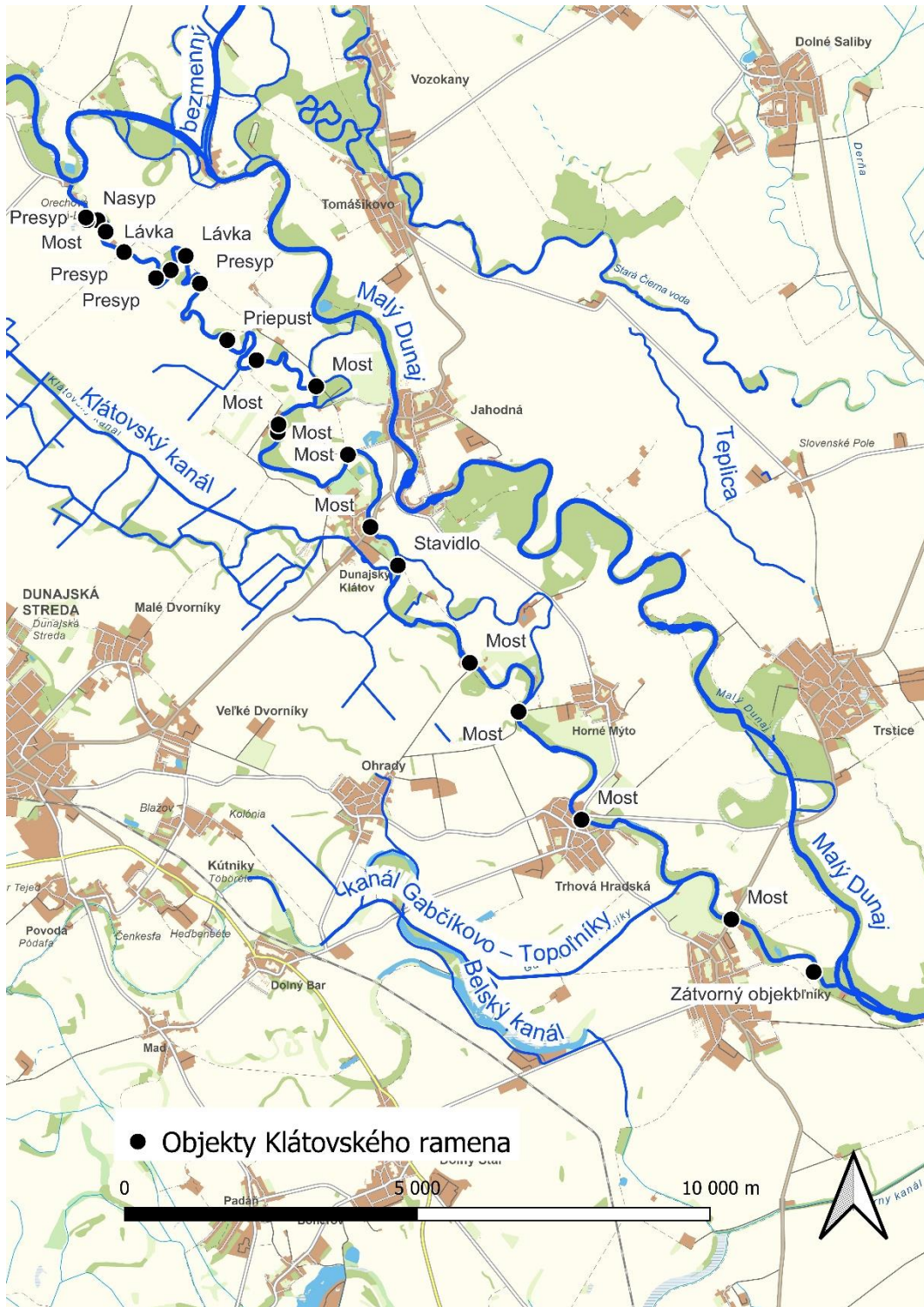


Obr. 10. Fotografia priepustov v rkm 22,400.

Niektoré objekty neboli prístupné k nášmu osobnému meraniu, nakoľko sa nachádzali v oplotených areáloch. Rozmery takýchto objektov boli získané z historických meraní SVP, ukážka takéhoto zamerania je na obr. 39. Celkovo bolo identifikovaných 22 objektov (vrátane presypov a lávok), lokalizácia jednotlivých objektov je znázornená na Obr. 40.



Obr. 11. Záznam z merania objektov na Klátovskom ramene – most v rkm 19,900 (zdroj: SVP, október 2003).



Obr. 40. Mapa objektov zaznamenaných na Klátovskom ramene.

Koeficienty drsnosti sú jednou z hlavných premenných používaných pri kalibrovaní hydraulického modelu. Vo všeobecnosti pre prúdenie povrchovej vody s voľnou hladinou drsnosť klesá so zvýšenou hladinou, resp. prietokom. Ak sú však brehy rieky drsnejšie ako dno kanála (kvôli vegetácii) potom sa zložená hodnota koeficientu drsnosti so zvyšujúcou sa

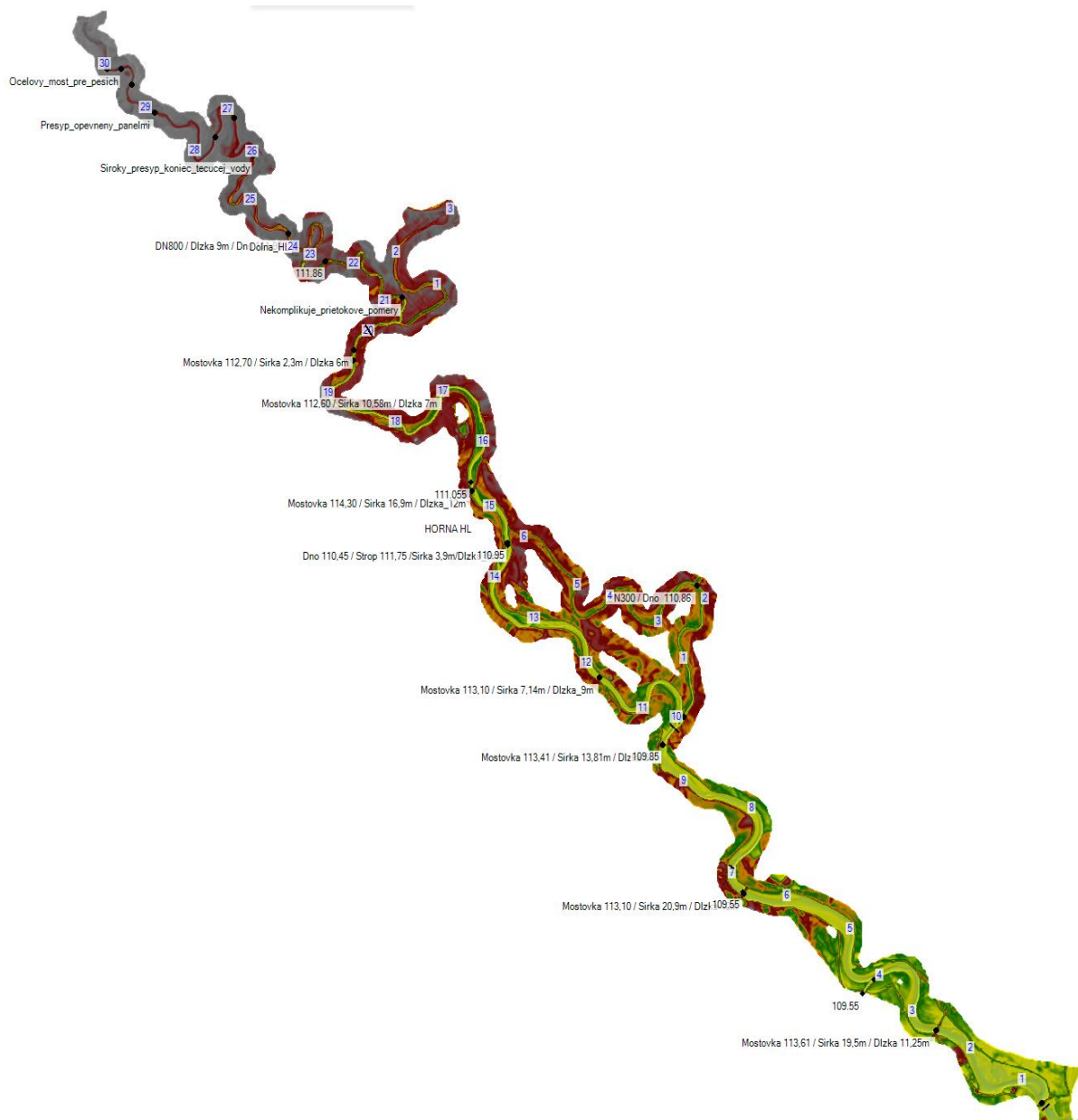
hladinou zvyšuje. V rámci projektu bola kalibrácia numerického modelu hladinového režimu neustáleného prúdenia vykonaná na merania in situ, ktoré boli tiež následne definované ako scenár „Analýza súčasného stavu“.

Kalibračné lokality boli vybrané z databázy meraní a zvolené na základe kompatibility s numerickým modelom a jeho výpočtovej siete. Výsledky jednotlivých kalibračných lokalít s porovnaním so simuláciou pri scenári „Analýza súčasného stavu“ sú:

- rkm 4,000, zaústenie kanála Gabčíkovo-Topoľníky, meraná hladina 109,37 m. n.m., simulovaná 109,32 m n.m.
- rkm 9,578, most, meraná hladina 109,85 m. n.m., simulovaná 109,79 m n.m.
- rkm 14,460, mlyn, meraná horná hladina 110,95 m. n.m., simulovaná 110,70 m n.m.
- rkm 14,460, mlyn, meraná dolná hladina 110,69 m. n.m., simulovaná 110,51 m n.m.
- rkm 15,430, most, meraná hladina 111,01 m. n.m., simulovaná 110,95 m n.m.
- rkm 24,200, most, meraná horná hladina 112,42 m. n.m., simulovaná 112,42 m n.m.

Výsledky kalibračných analýz a odchýliek na jednotlivých lokalitách je možné považovať za primerané. Najväčšou odchýlkou je rozdiel hladín v oblasti Klátovského mlyna v tesnej blízkosti stavidla. Výraznejšia odchýlka je spôsobená deformáciou hladiny pri prepade stavidlom v kombinácii s rozlíšením výpočtovej siete pre potreby výpočtov celého Klátovského ramena. Z dôvodov veľmi vysokých výpočtových časov nemohla byť výpočtová sieť detailizovaná pri objektoch natoľko, aby takéto lokálne deformácie hladiny a rýchlostného poľa zachytila, tzn. v týchto lokalitách môže dochádzať k odchýlkam.

Súčasťou meraní in situ zabezpečovanom pracoviskom STU bolo okrem meraní hladín a prietokov aj rekognoskácia križujúcich (kritických) objektov na celom úseku Klátovského ramena. Na obr. 41 je znázornená situácia identifikácie kritických oblastí so súčasným staničením toku Klátovského ramena. V tab. 3 uvádzame zoznam s identifikáciou kritických oblastí z pohľadu prúdenia povrchovej vody s popisom, resp. parametrami prekážky (objektu).



Obr. 41. Situácia s identifikáciou kritických oblastí z pohľadu numerického modelu prúdenia povrchových vôd.

Tab. 3. Zoznam s identifikáciou kritických oblastí z pohľadu numerického modelu prúdenia povrchových vôd.

Tok	rkm	Objekt	Popis
Klátovské_rameno	0.500	Zátnový objekt	
	2.500	Most	Mostovka 113,61 / Šírka 19,5m / Dĺžka 11,25m
	6.650	Most	Mostovka 113,10 / Šírka 20,9m / Dĺžka 10m
	9.570	Most	Mostovka 113,41 / Šírka 13,81m / Dĺžka 8m
	11.700	Most	Mostovka 113,10 / Šírka 7,14m / Dĺžka _9m
	14.500	Priepust/stavidlo	Dno 110,45 / Strop 111,75 / Šírka 3,9m / Dĺžka _5m
	15.300	Most	Mostovka 114,30 / Šírka 16,9m / Dĺžka _12m
	17.000	Most	Mostovka 112,60 / Šírka 10,58m / Dĺžka 7m

	19.500	Most	Mostovka_113,62_ Šírka 6,7m_ Dĺžka _4m
	19.900	Most	Mostovka 112,70 / Šírka 2,3m / Dĺžka 6m
	20.700	Most	Nekomplikuje prietokové pomery
	22.400	Priepust	Priepusty_2xDN1200_Dno_rúry(výtok) 111.24 – návrh regulovateľného priepustu 1
	24.200	Priepust	DN800 / Dĺžka 9m / Dno 111,90 – návrh regulovateľného priepustu 2
	25.900	Presyp	Široký presyp koniec tečúcej vody – návrh regulovateľného priepustu 3
	27.500	Presyp	Prirodzený presyp - z biologického hľadiska nekomplikuje prietokové pomery
	28.000	Presyp	Prirodzený presyp – z biologického hľadiska nekomplikuje prietokové pomery
	28.900	Presyp	Presyp opevnený panelmi – návrh regulovateľného priepustu 4
	29.800	Most	Oceľový most pre peších
	29.900	Nasyp	Začiatok_1_jazierka
	29.900	Presyp	Poľná cesta v suchej časti – návrh nepriepustnej prehrádzky pre vytvorenie sedimentačného jazera, s regulovateľným stavidlom pre $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	26.800	Lávka	Drevená lávka
	29.500	Lávka	Drevená lávka
Soliare	0.220	Priepust	DN300 / Dno 110,70
	2.210	Priepust	DN300 / Dno 110,86

VÝSLEDKY MATEMATICKEHO MODELOVANIA – NÁVRH MOŽNÝCH OPATRENÍ NA ZLEPŠENIE RÝCHLOSTNÉHO A HLADINOVÉHO REŽIMU

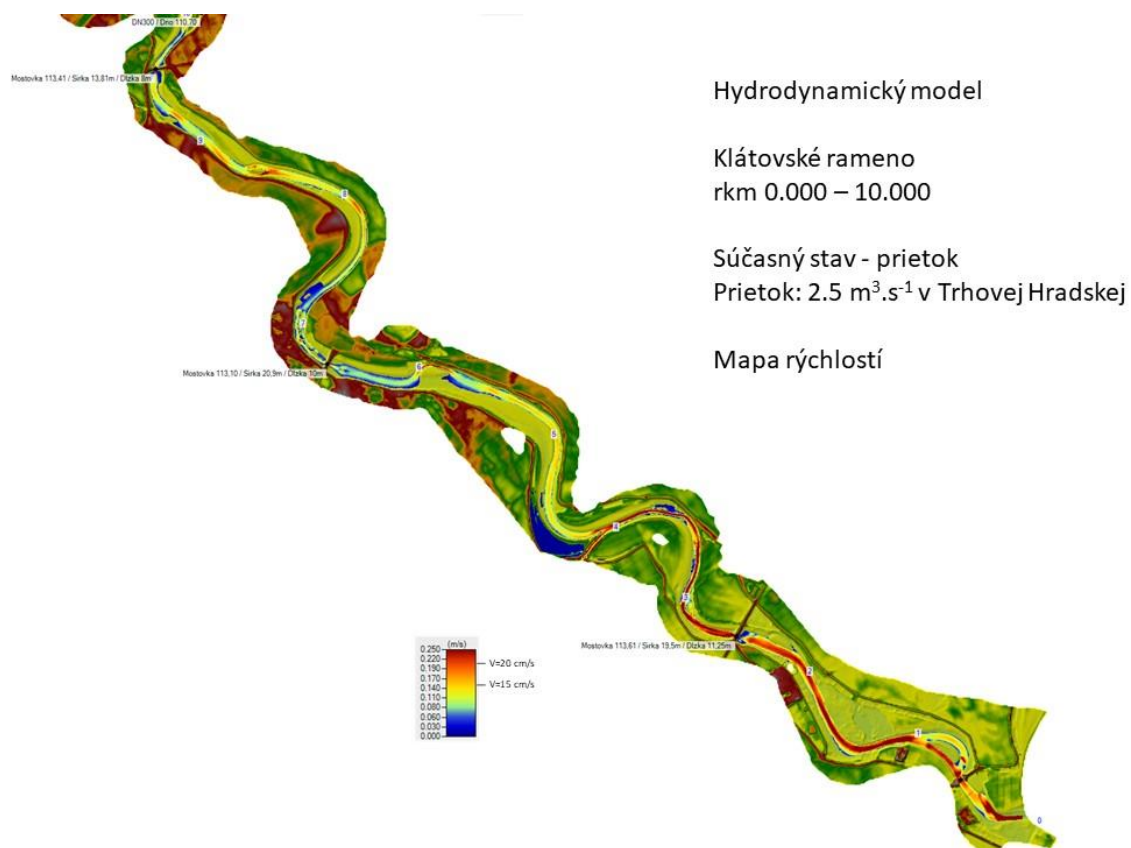
1. modelovaný scenár: Analýza súčasného stavu

Súčasný stav ako kalibračný scenár a zároveň východzí stav pre analýzu je charakteristický nízkymi prietokmi s veľmi malými rýchlosťami. Z praktického pohľadu modelovania hydrodynamických podmienok bolo Klátovské rameno rozdelené na 3 približne rovnako dlhé úseky – dolný, stredný a horný. Na nasledujúcich obrázkoch sú znázornené mapy rýchlostí a potenciálne zóny erózie a zanášania v jednotlivých úsekoch Klátovského ramena pre súčasný stav.

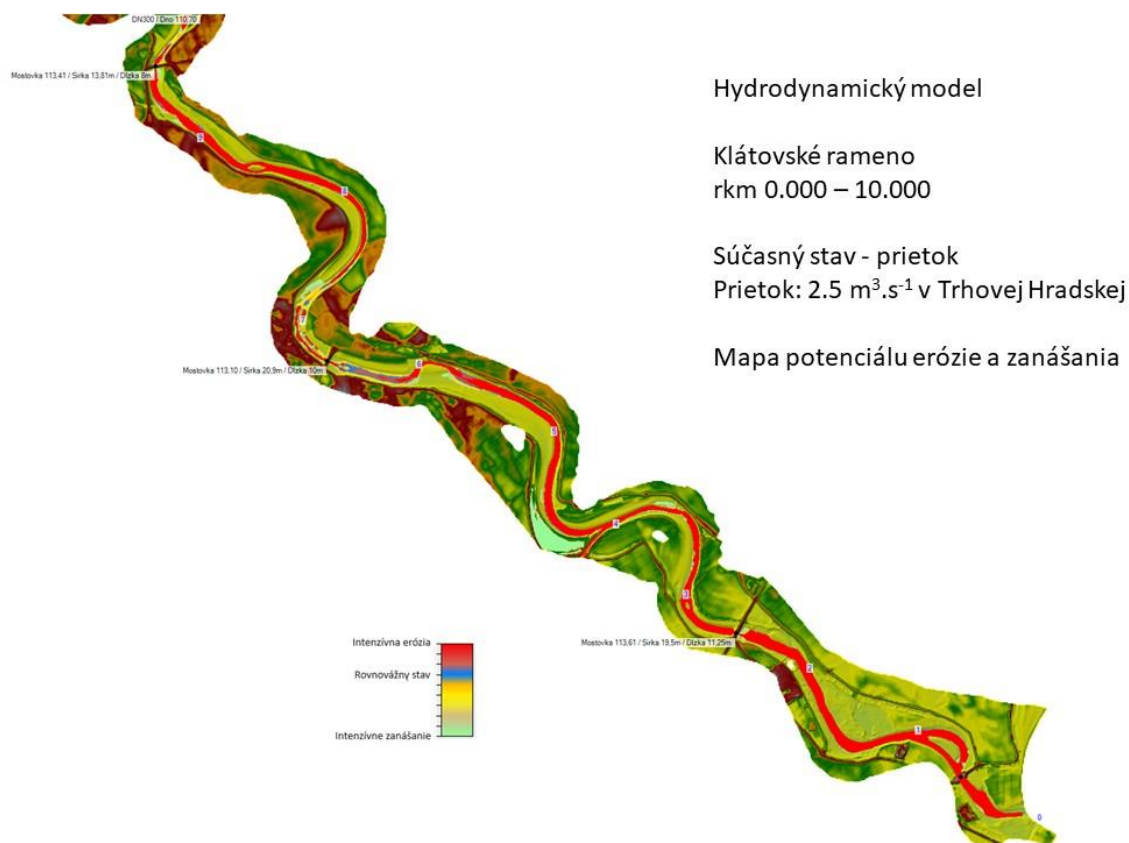
- Dolný úsek rkm 0,000 – rkm 10,000

Je najbližší optimálnemu stavu prúdenia s formujúcou sa prúdnicou na dlhších úsekoch. Je pod veľkým vplyvom manipulácie na Zátvornom objekte a hladinového režimu v Malom Dunaji. Výrazné nadlepšenie prietoku v dolných 4 kilometroch je zabezpečované hlavne výrazným prítokom z kanála Gabčíkovo-Topoľníky. Prevažuje tu prúdiaca voda

s rýchlosťami prevažne nad $\sim 0.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, inde nad $\sim 0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nad rkm 4,000 je výrazne slabšie prúdenie, podrobnejšie popísané pri strednom úseku modelu.



Obr.42. Mapa rýchlostí v úseku rkm 0,000 – 10,000 Klátovského ramena.



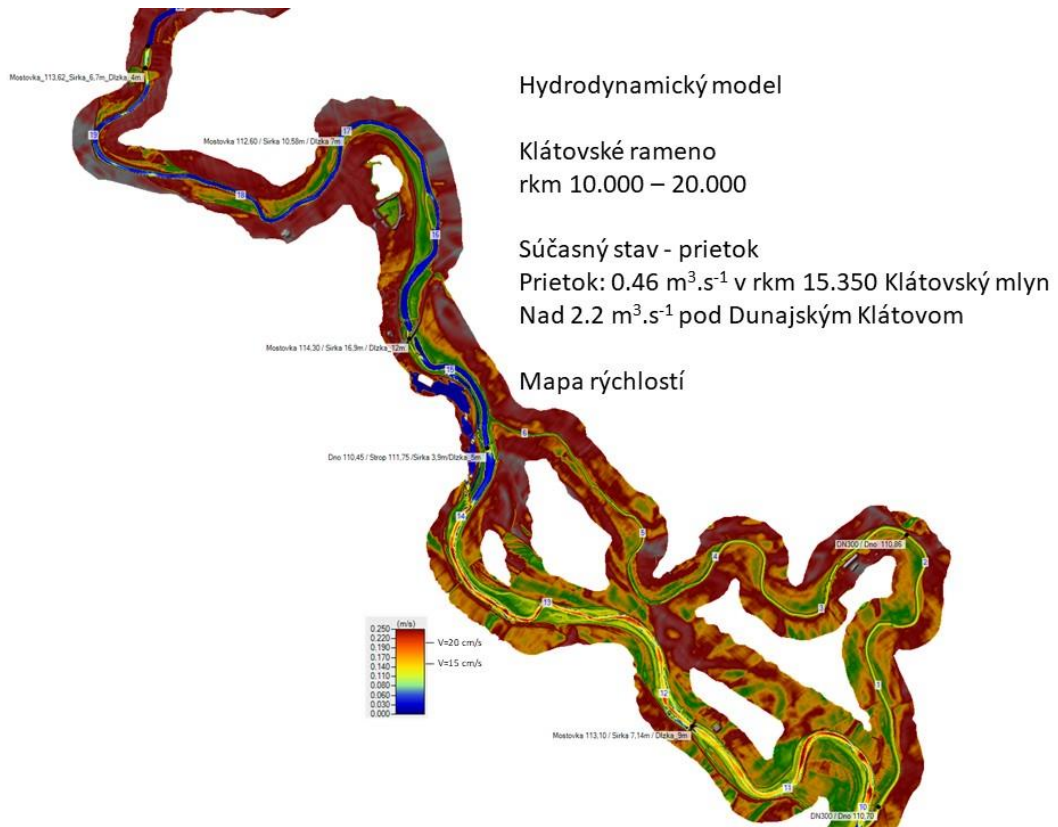
Obr.43. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena v úseku rkm 0,000 – 10,000.

- Stredný úsek rkm 10,000 – rkm 20,000

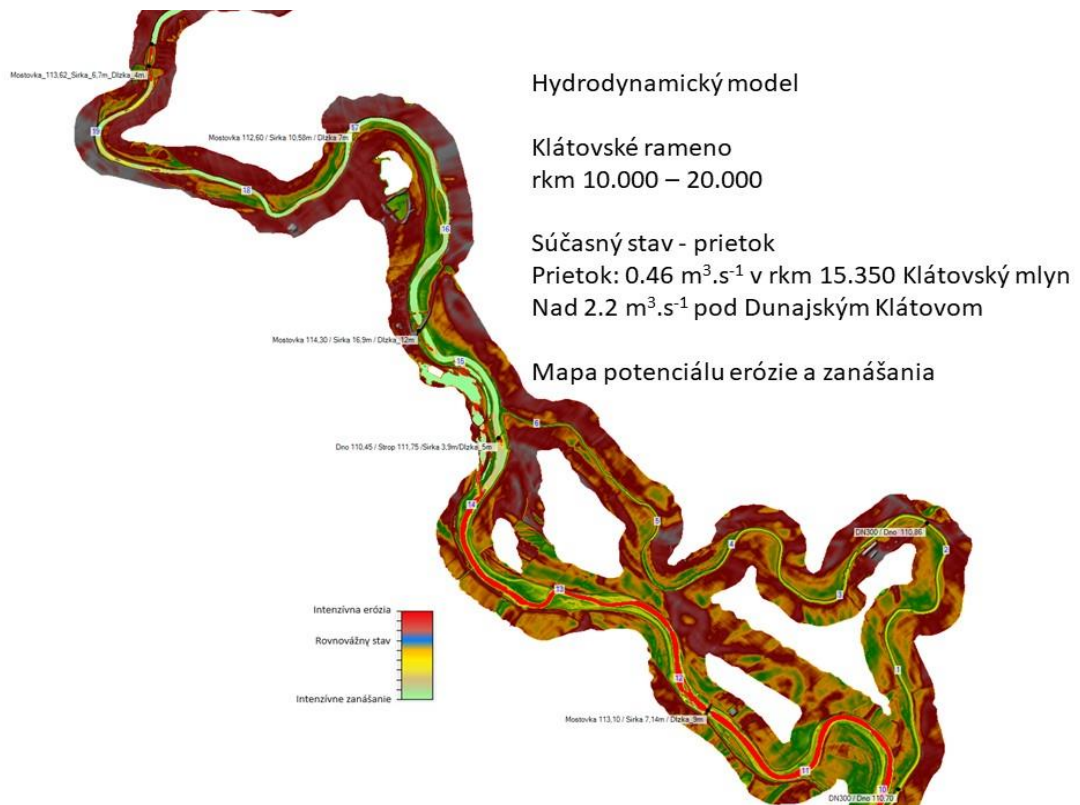
Tento úsek je charakteristický nízkymi rýchlosťami s minimálnym vplyvom manipulácie na Zátvornom objekte a hladinového režimu v Malom Dunaji. Nadlepšenie prítoku je v súčasnosti zabezpečovaný hlavne prítokom z Klátovského kanála.

Od prítoku Klátovského kanála po prítok kanála Gabčíkovo-Topoľníky prevažuje prúdiaca voda s rýchlosťami v priamych úsekoch $\sim 0,07 - 0,15 \text{ m.s}^{-1}$ (v modeli zelené a žlté farby) a len v oblúkoch a miestach so sústredeným prítokom $\sim 0,15 - 0,20 \text{ m.s}^{-1}$ (v modeli oranžové a červené farby).

Výrazne sa však podmienky menia nad zaústením Klátovského kanála v rkm 14,000, kde sa prúdiaca voda mení na stojatú a rýchlosti klesajú pod $\sim 0,07 \text{ m.s}^{-1}$.



Obr.44. Mapa rýchlostí v úseku rkm 10,000 – 20,000 Klátovského ramena.



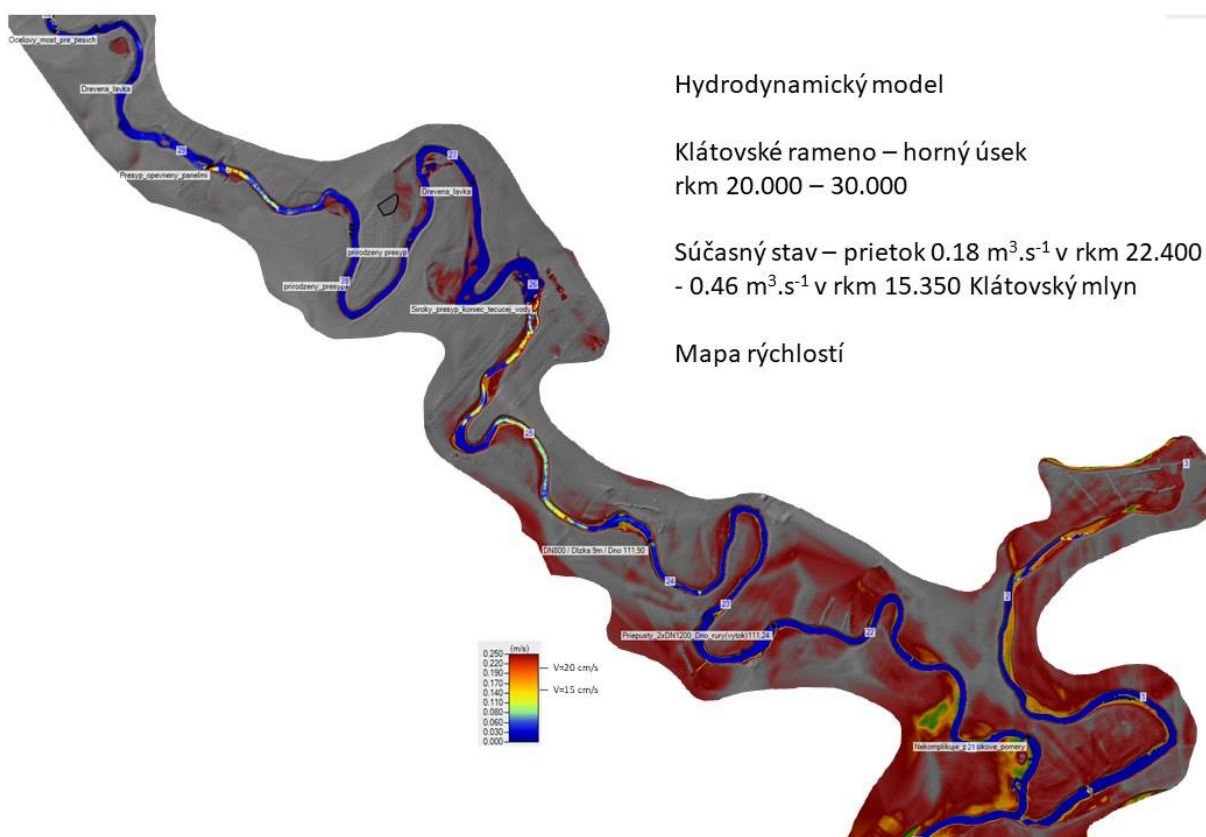
Obr.45. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena v úseku rkm 10,000 – 20,000.

- Horný úsek rkm 20,000 – rkm 30,000

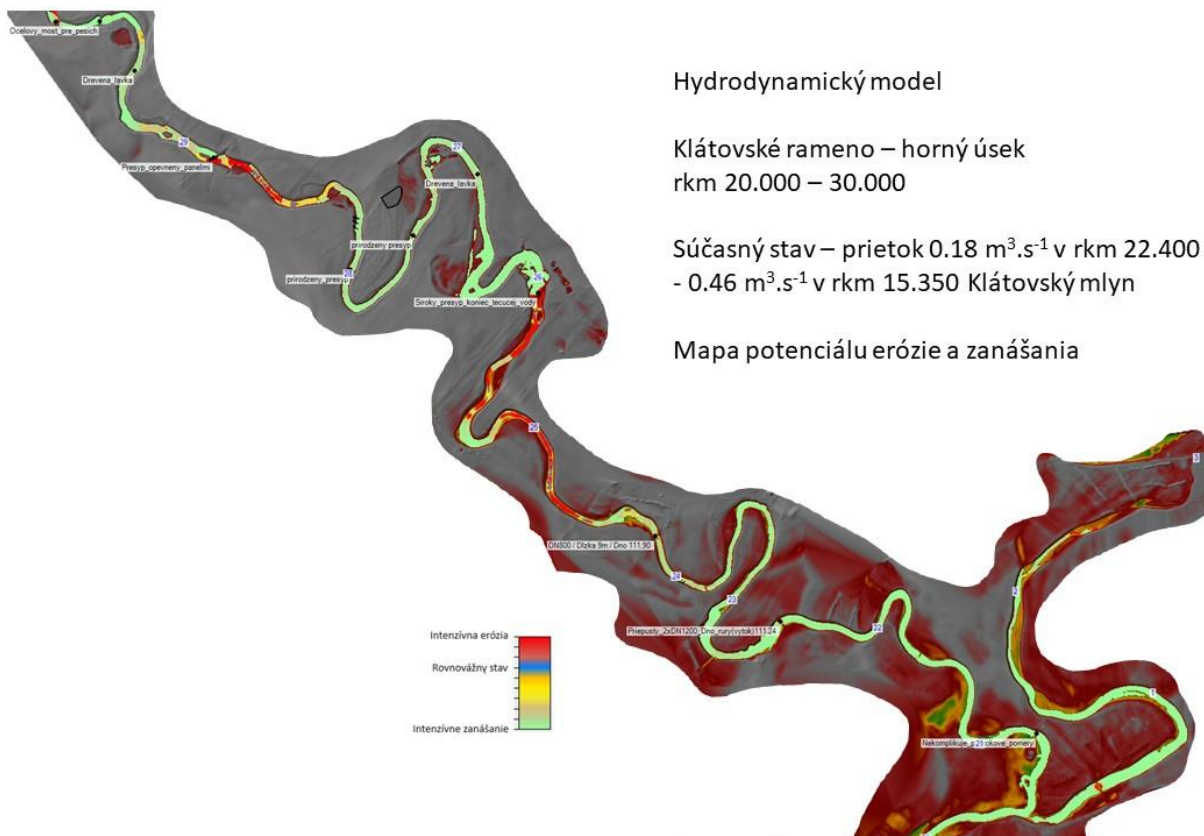
Tento úsek nad prítokom Klátovského kanála (v rkm 14,000) je najproblémovejší úsek Klátovského ramena s prerušovanou takmer stojacou vodou s rýchlosťou prevažne pod $0,07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. O 8 km vyššie - nad rkm 22,400 - samotnému prúdeniu bránia aj priečne cestné presypy, ktoré túto nepriaznivú situáciu ešte zhoršujú. Tok je v týchto horných kilometroch dotovaný len vývermi podzemnej vody.

Okrem modelov rýchlostí vody je nevyhnutné si všimnúť aj modely potenciálu erózie a zanášania. Celá horná polovica Klátovského ramena je podľa modelov odsúdená na zanášanie/zazemnenie!

Tento zásadný problém chráneného územia, prízvukovaný aj spolupracujúcimi ochranármi aj hydrobiológmi, bolo nevyhnutné v tomto projekte riešiť, a to nasledujúcimi viacerými scenármi nadlepšovania prietokov o 1, 2, 3 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, ale aj viacerými morfologickými úpravami neprimerane širokej a teda neprimerane pomalej prúdnice (výhony, ostrovy) a sprietočením priečných cestných presypov.

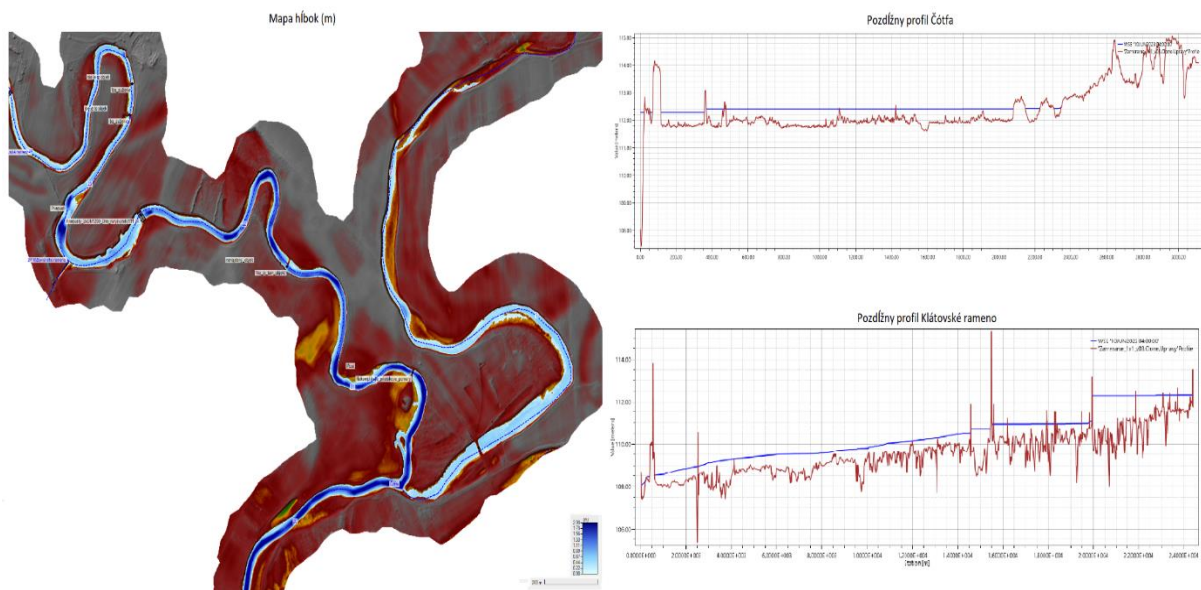


Obr.46. Mapa rýchlostí v úseku rkm 20,000 – 30,000 Klátovského ramena.



Obr.47. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena v úseku rkm 10,000 – 20,000.

Uvedené obrázky súčasného stavu dokazujú nevyhovujúci prietokový a s tým súvisiaci hladinový režim najmä v hornom a sčasti aj v strednom úseku úseku Klátovského ramena. Príčinou sú najmä existujúce presypy zabraňujúce plynulému prúdeniu a nedostatočná dotácia z podzemných vôd v súčasnosti. Na obr. 48 je znázornený úsek Klátovského ramena so zaústením ramena Čótfá s výškovým usporiadaním (pozdĺžne profily). Z pozdĺžneho profilu hornej časti Klátovského ramena je zrejmé, že hlbšie vodné plochy sa tu udržujú len vďaka zavzdutiu umelými presypmi a po ich jednoduchom odstránení by tieto hlbšie biotopy vytiekli. Z toho vyplýva potreba vybudovania priepustov v týchto cestných presypoch, v ktorých budú osadené regulovateľné prvky, umožňujúce ekologicky vyhovujúce nastavenie hladiny v ramene - či už bez dotácie prietoku z Malého Dunaja alebo s dotáciou prietoku +1, +2, +3 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



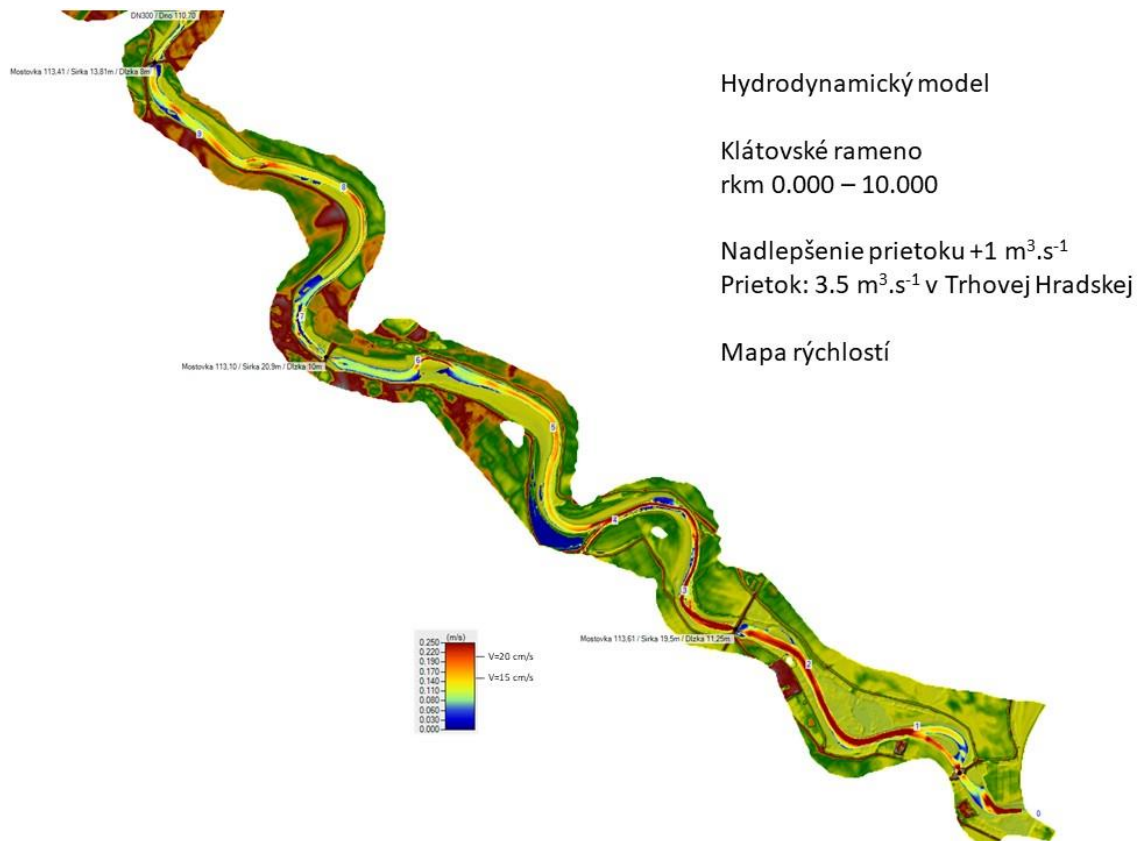
Obr. 48. Zaústenia mŕtveho ramena Čotfa do Klátovského ramena.

2. modelovaný scenár: Nadlepšenie prietoku o $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja na prameni Klátovského ramena

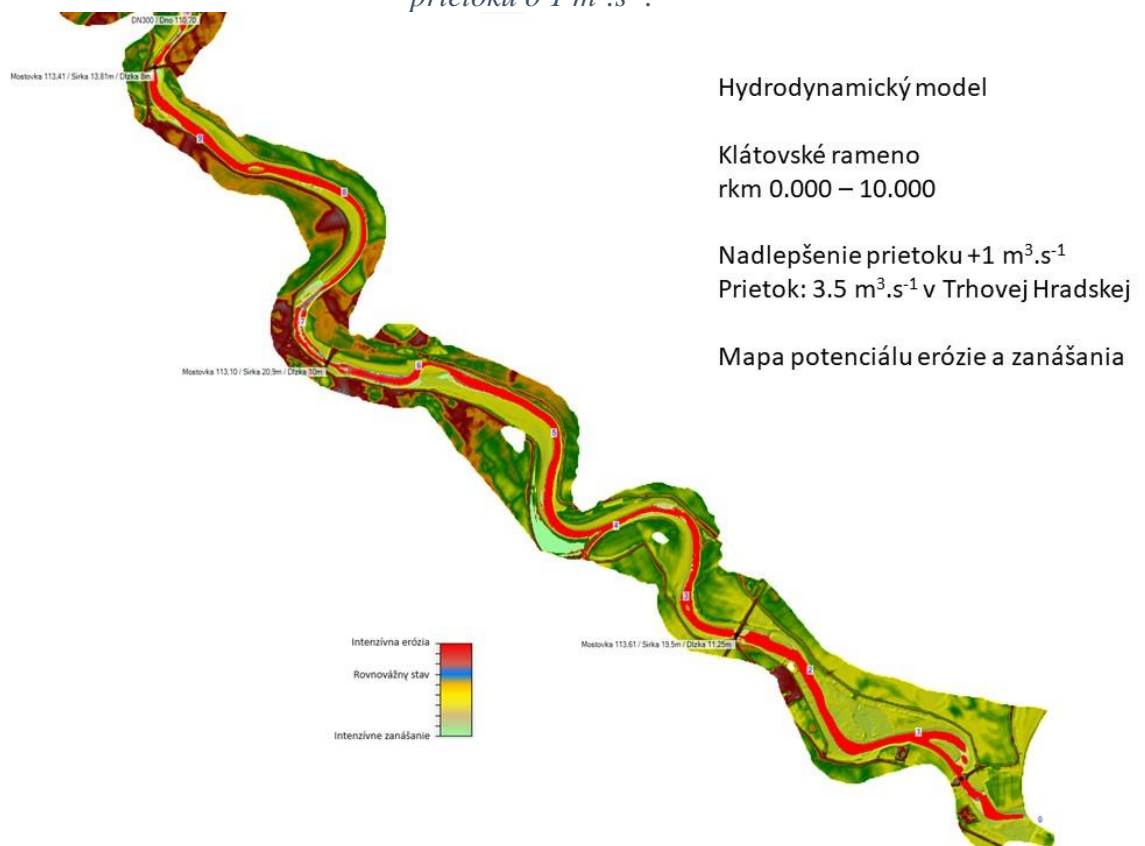
Pri tomto scenári sme modelovali nadlepšenie prietoku do Klátovského ramena o $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja v mieste historického prehradenia Klátovského ramena v roku 1925 (kolaudačné rozhodnutie z roku 1925). Koryto je modelované v súčasnom stave, teda s neprietočnými presypmi.

V hornom úseku bolo pri nadlepšení prietoku o $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zaznamenané len mierne zlepšenie prietokového režimu, avšak stále výrazne degradovaného spomínanými presypmi. Horný úsek až po prítok Klátovského kanála v rkm 14,000 je v tomto scenári stále charakteristický stojatou vodou pod $0,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, avšak s rozsiahlejším zlepšením prúdenia na $\sim 0,07\text{-}0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (úseky: 18,300-19,700, 22,800 – 24,200, 26,500 – 30,000). Úseky so stojatou vodou a nevyhnutným zanášaním, ktoré sa napriek dotácii udržuujú nad všetkými priečnymi presypmi, je možné a nutné zlepšiť vytvorením vyššie spomínaných priepustov.

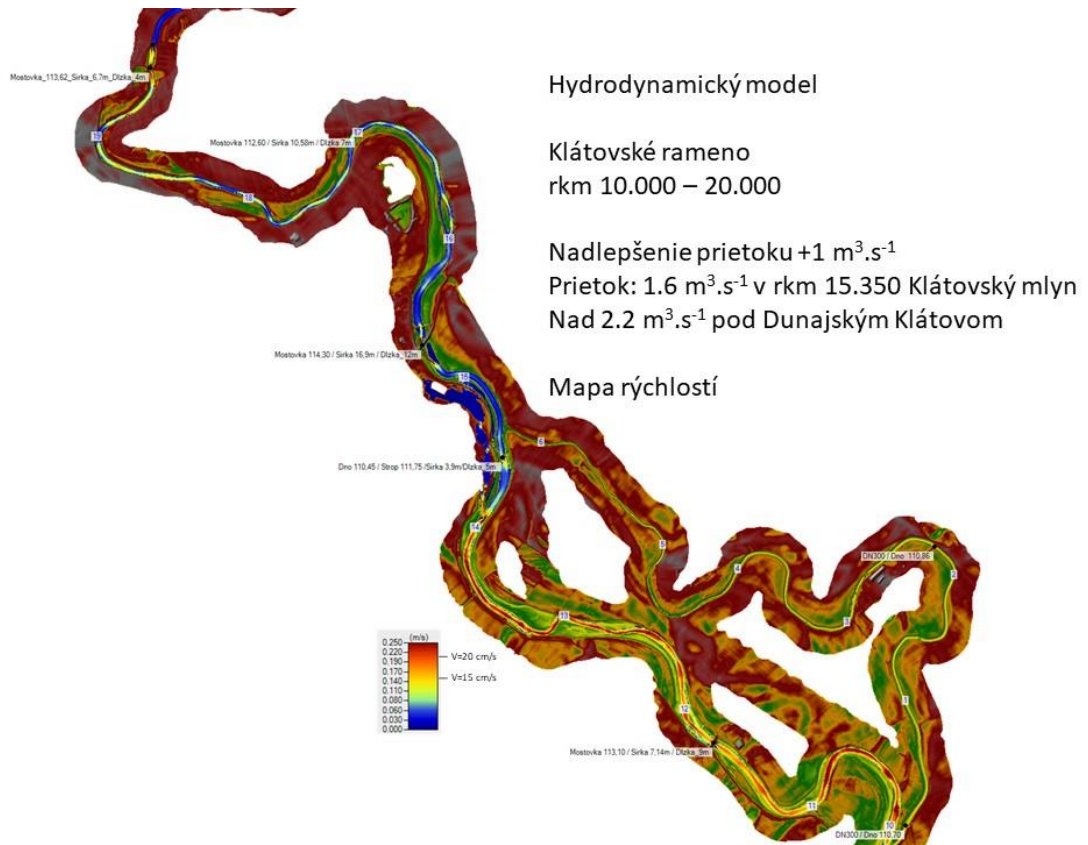
Na dolnom úseku Klátovského ramena (od ústia Klátovského kanála po ústie kanála Gabčíkovo-Topoľníky) už prevažuje prúdiaca voda s rýchlosťami nad $\sim 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (v modeli žltou) a nad $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, čo už je hraničná reoaktívna rýchlosť pre malé ryby (v modeli oranžovou a červenou), no s negatívnou výnimkou neúmerne širokého koryta v úseku rkm 6,000 – 7,500 pri Trhovom Mýte (tu navrhujeme zvýšiť rýchlosti morfológickým zúžením prúdnice bočnými výhonmi, resp. novým ostrovom). V dolných 4 kilometroch ústia do Malého Dunaja už prevažujú vyhovujúce rýchlosti nad $\sim 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



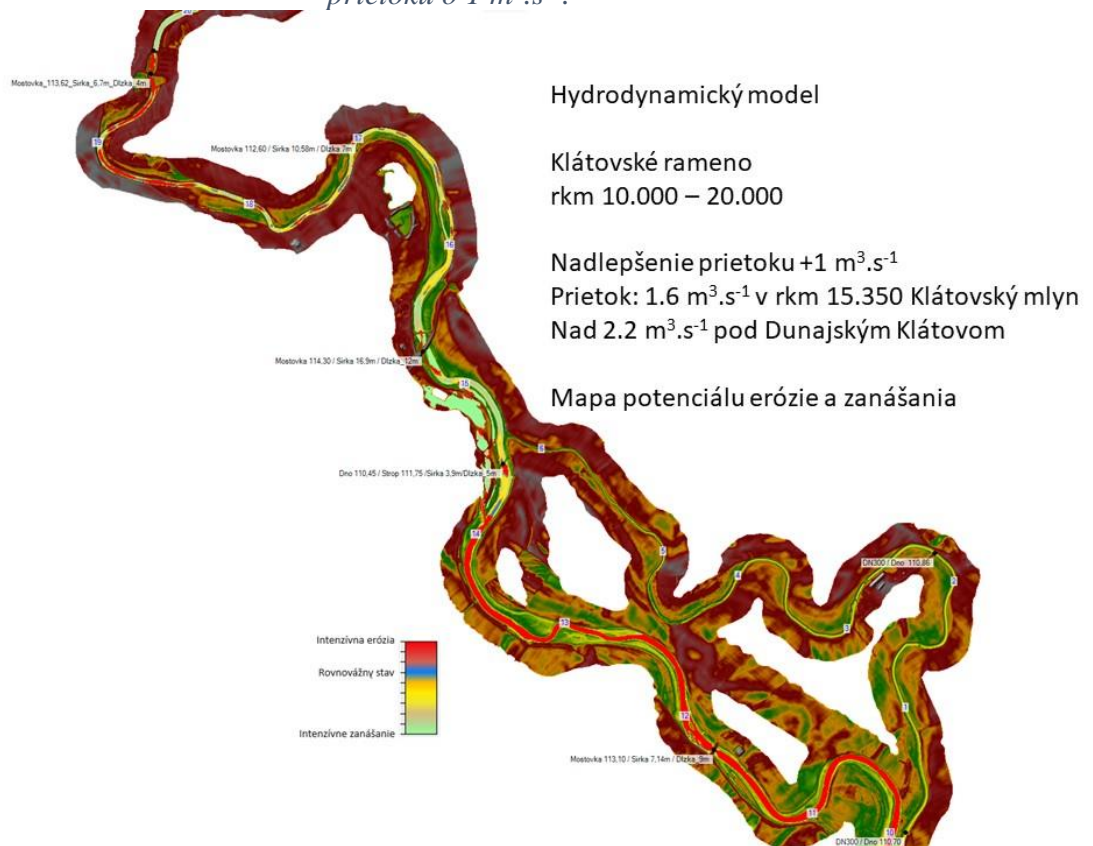
Obr. 49. Mapa rýchlostí v úseku rkm 0,000 – 10,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 1 m³.s⁻¹.



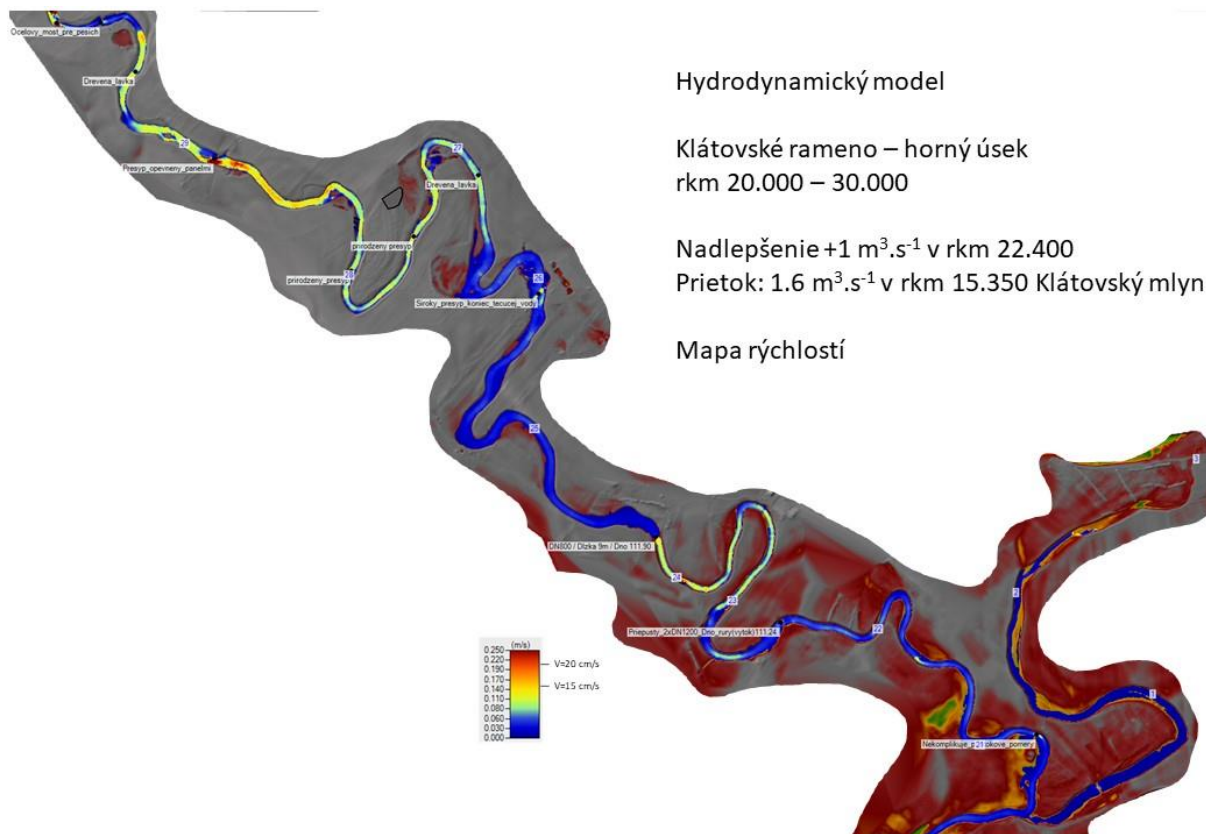
Obr.50. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 1 m³.s⁻¹ v úseku rkm 0,000 – 10,000.



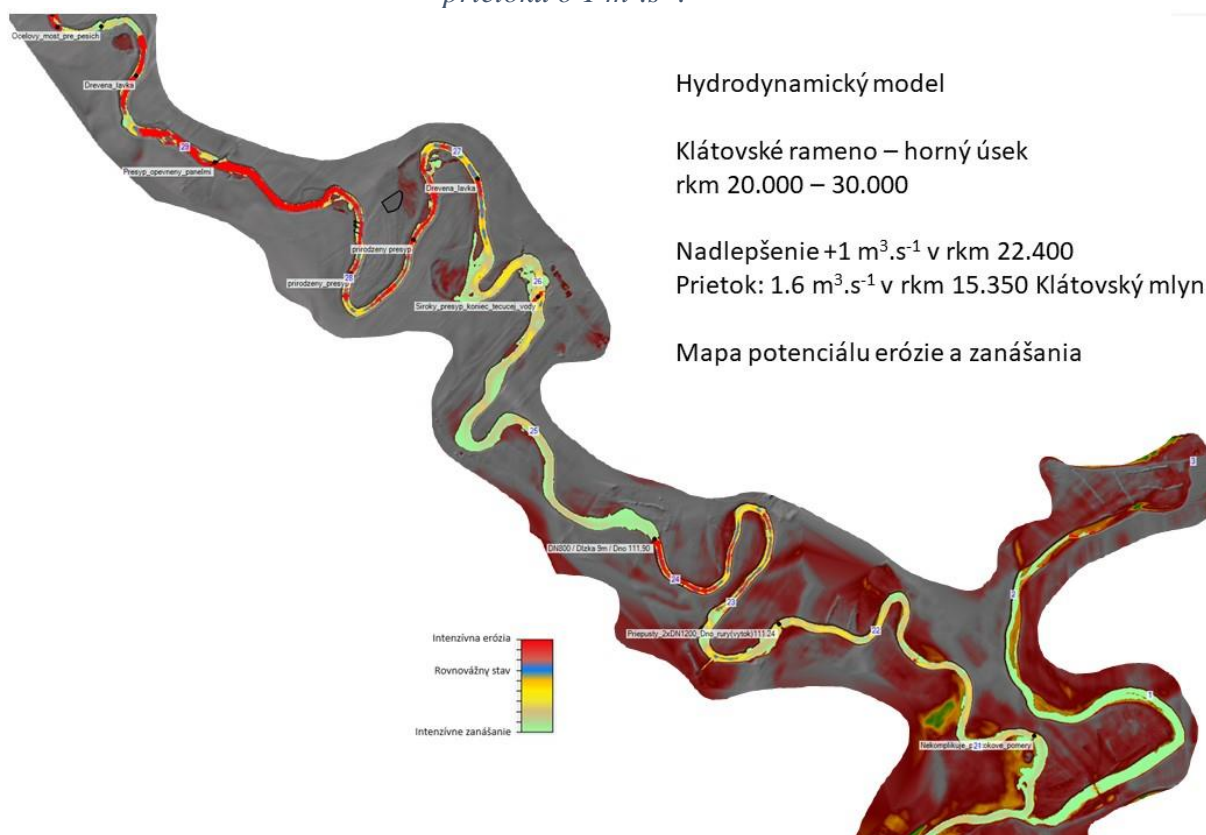
Obr. 51. Mapa rýchlostí v úseku rkm 10,000 – 20,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 1 m³.s⁻¹.



Obr.52. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 1 m³.s⁻¹ v úseku rkm 10,000 – 20,000.



Obr. 53. Mapa rýchlostí v úseku rkm 20,000 – 30,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



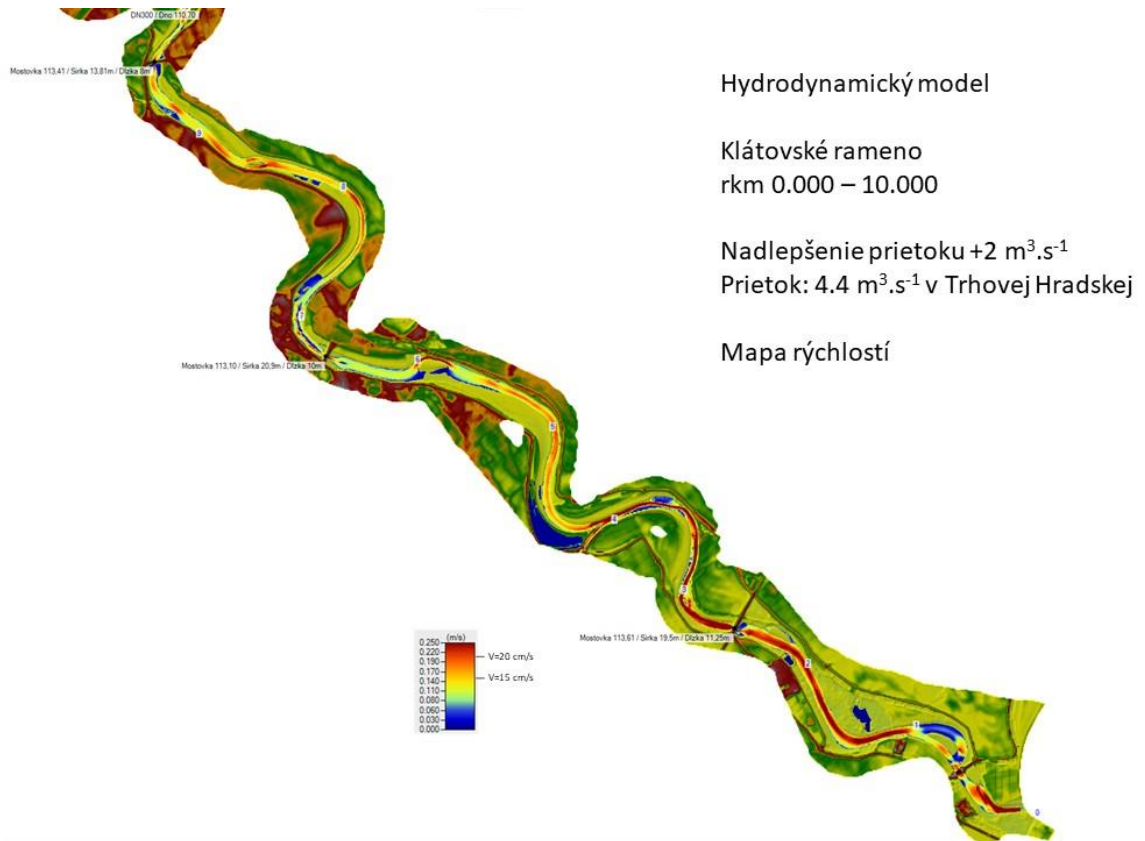
Obr.54. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v úseku rkm 20,000 – 30,000.

3. modelovaný scenár: Nadlepšenie prietoku o $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja na prameni Klátovského ramena

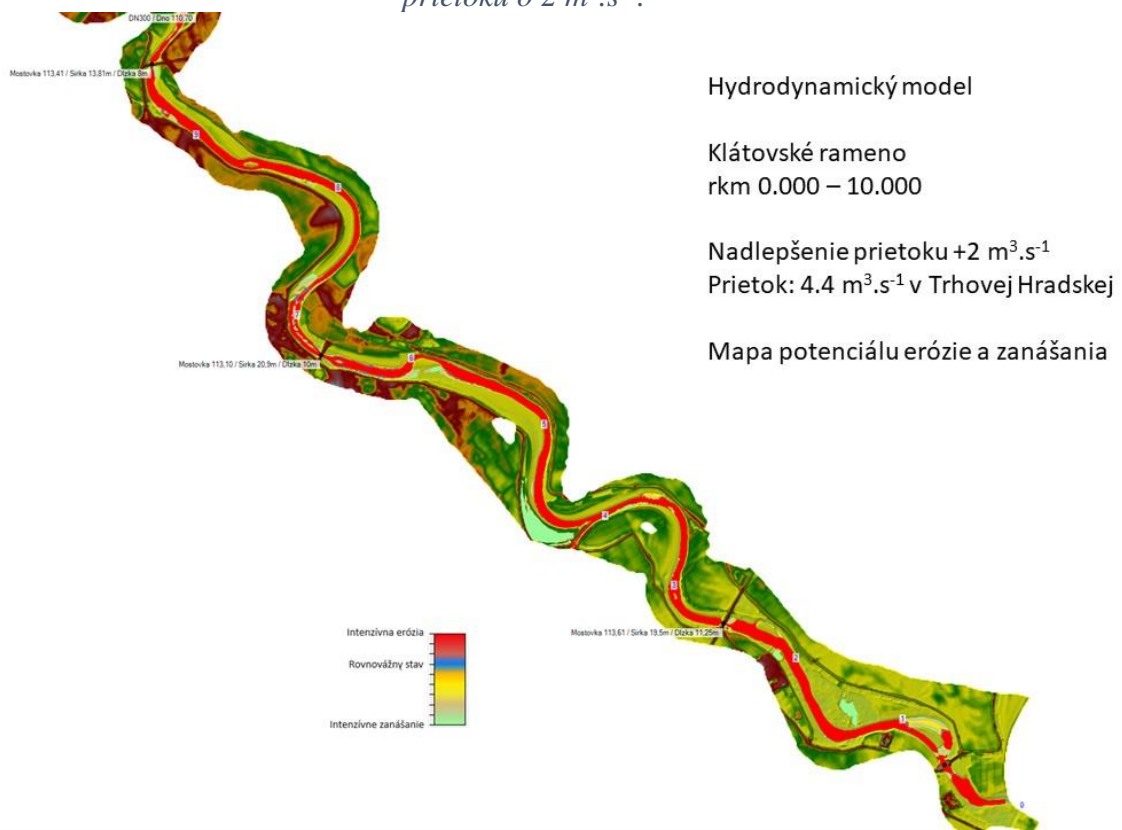
Pri tomto scenári sme modelovali nadlepšenie prietoku do Klátovského ramena o $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja v mieste historického prehradenia Klátovského ramena v roku 1925. Koryto je modelované v súčasnom stave, teda s neprietočnými presypmi v hornom úseku. Bolo zaznamenané výrazné zlepšenie prietokového a s tým súvisiaceho hladinového režimu aj v hornej časti Klátovského ramena. Modelované vytváranie brodov prelievaním presypov navrhujeme vo výslednom návrhu riešenia nahradiť priepustmi s kapacitou $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Horný úsek až po prítok Klátovského kanála v rkm 14,000 je v tomto scenári zvýšeného dotovania charakteristický stojatou vodou (pod $0,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) už len v rkm 19,700 – 20,700 a v rkm 24,200 – 26,500, inde prevláda ekologicky priaznivejšia pomalytečúca voda $0,07 - 0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (tu sa prúdenie ešte zvýši po vybudovaní priepustov).

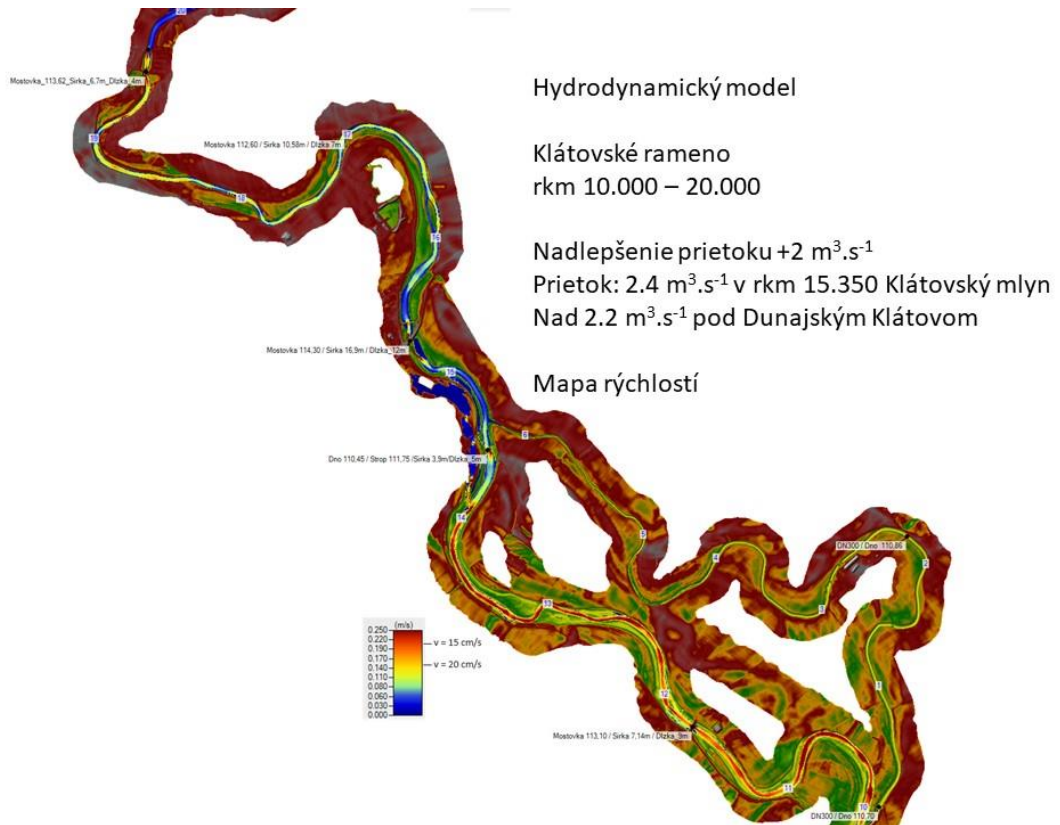
Na dolnom úseku Klátovského ramena (od ústia Klátovského kanála po ústie kanála Gabčíkovo-Topoľníky) už prevažuje prúdiaca voda s rýchlosťami nad $\sim 0,10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (v modeli žltou) a nad $0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, čo už je hraničná reoaktívna rýchlosť pre malé ryby (v modeli oranžovou a červenou), no s negatívnou výnimkou neprimerane širokého koryta v rkm 6,000 – 7,200 pri Trhovom Mýte (tu navrhujeme zvýšiť rýchlosti morfológickým zúžením prúdnice bočnými výhonmi resp. novým ostrovom). V dolných 4 kilometroch ústia do Malého Dunaja už prevažujú vyhovujúce rýchlosti nad $\sim 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



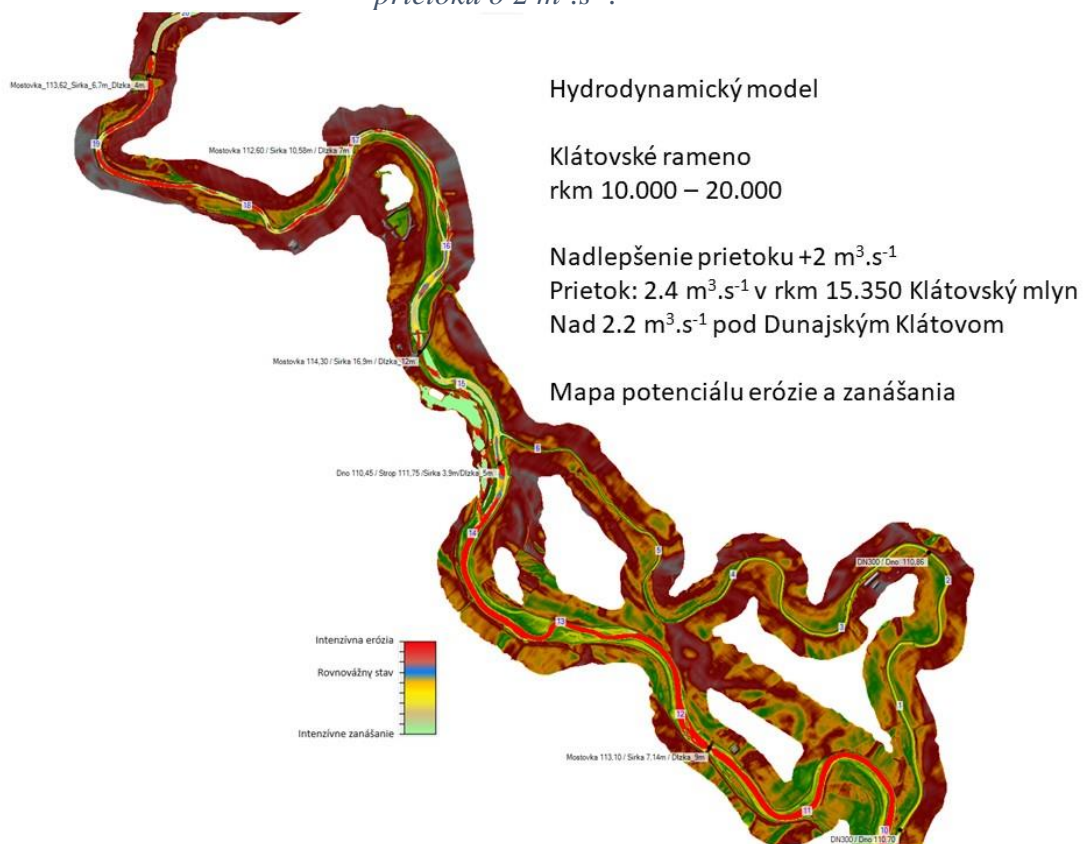
Obr. 55. Mapa rýchlostí v úseku rkm 0,000 – 10,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 2 m³.s⁻¹.



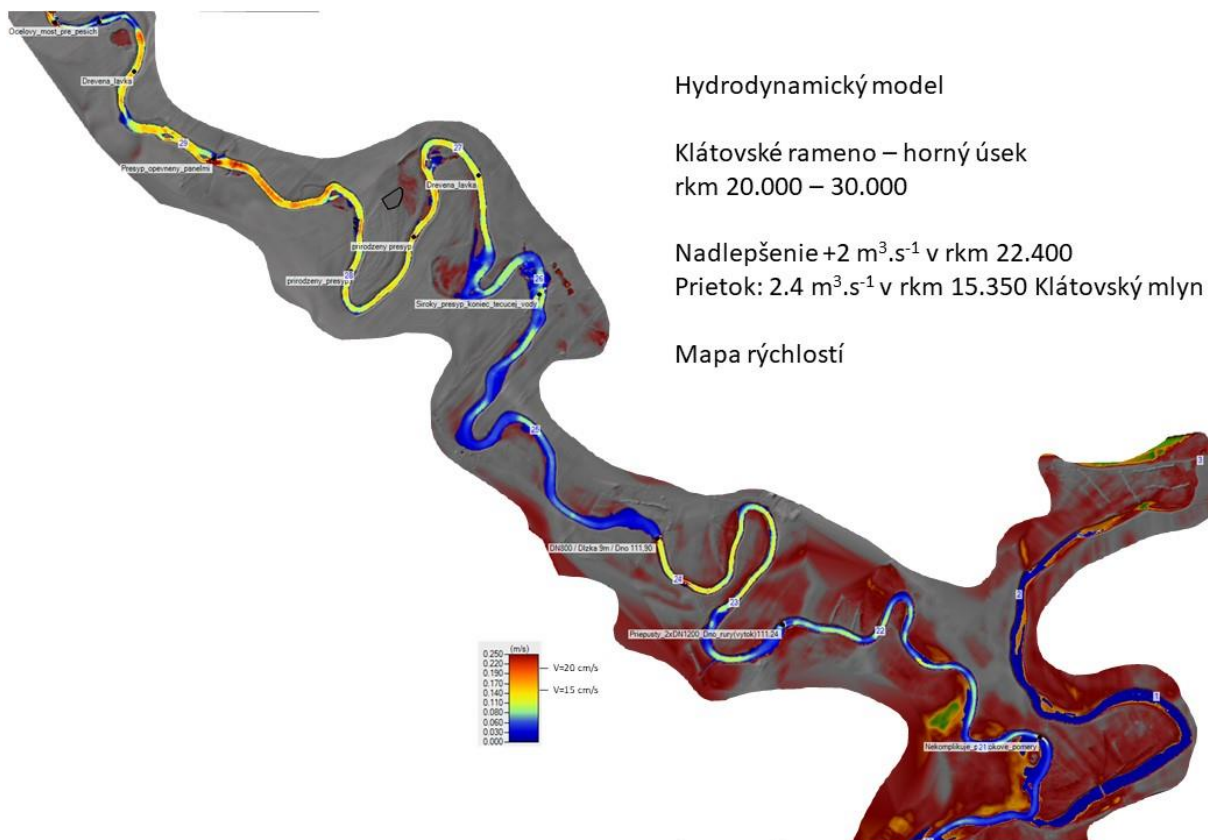
Obr.56. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 2 m³.s⁻¹ v úseku rkm 0,000 – 10,000.



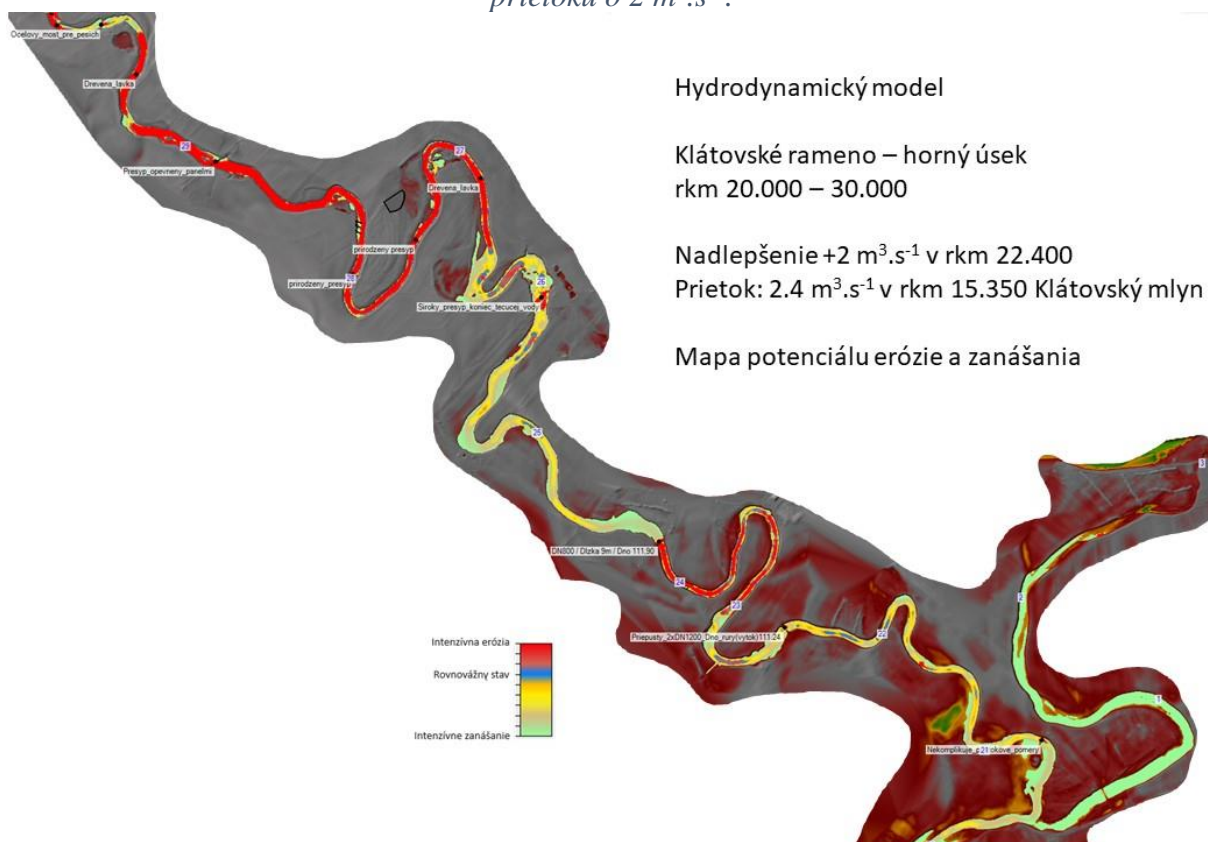
Obr. 57. Mapa rýchlostí v úseku rkm 10,000 – 20,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 2 m³.s⁻¹.



Obr.58. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 2 m³.s⁻¹ v úseku rkm 10,000 – 20,000.



Obr. 59. Mapa rýchlostí v úseku rkm 20,000 – 30,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

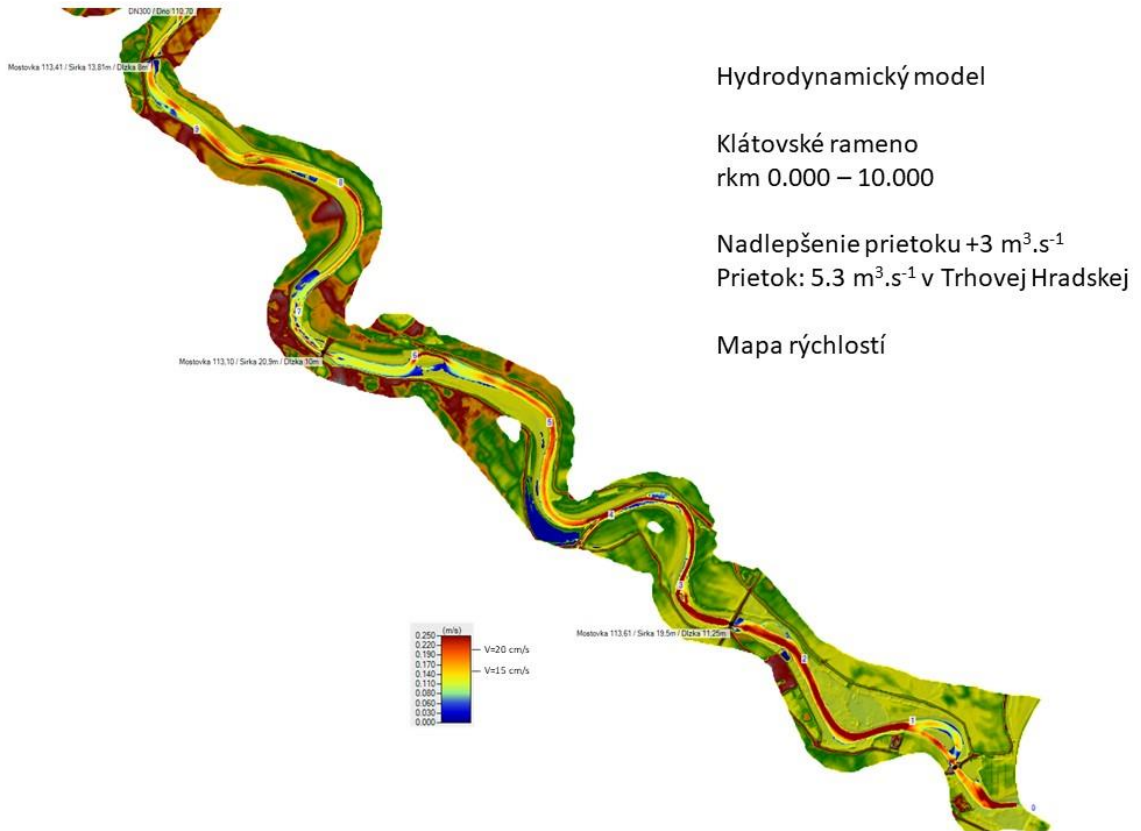


Obr.60. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v úseku rkm 20,000 – 30,000.

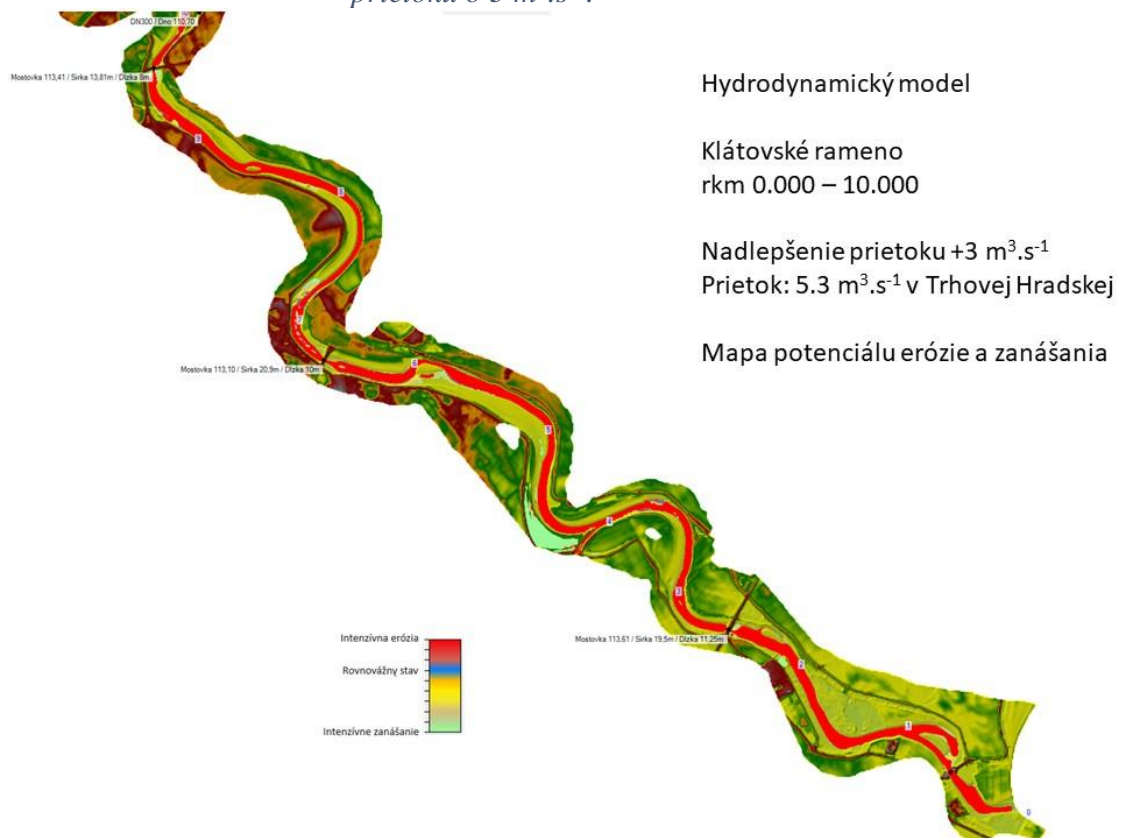
4. modelovaný scenár: Nadlepšenie prietoku o $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja na prameni Klátovského ramena

Pri tomto scenári sme modelovali nadlepšenie prietoku do Klátovského ramena o $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odberom z Malého Dunaja v mieste historického prehradenia Klátovského ramena v roku 1925. Koryto je modelované v súčasnom stave, teda s neprietočnými presypmi v hornom úseku. Bolo zaznamenané veľmi výrazné zlepšenie prietokového a s tým súvisiaceho hladinového režimu aj v hornej časti Klátovského ramena. V hornom úseku od rkm 30,000 do rkm 26,500 by prevládala výrazne tečúca voda $0,15 - 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, ktorá by už odnášala aj sedimenty. Od rkm 26,500 až po prítok Klátovského kanála v rkm 14,000 by prevládala pomaly tečúca voda $0,07 - 0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a to vplyvom presypov v hornej časti. Kvôli nim by mohlo na niektorých úsekoch dôjsť vzdutím k vybrežovaniu vody z Klátovského ramena, preto navrhujeme vo všetkých existujúcich priečných presypoch osadiť rámové priepusty s nastaviteľnou kapacitou 1 až $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, čím bude tento problém odstránený. Zároveň sa tým odstránia hypotetické krátke úseky so stojacou vodou a silným zanášaním, ktoré v modeli vychádzajú práve nad neprietočnými cestnými presypmi.

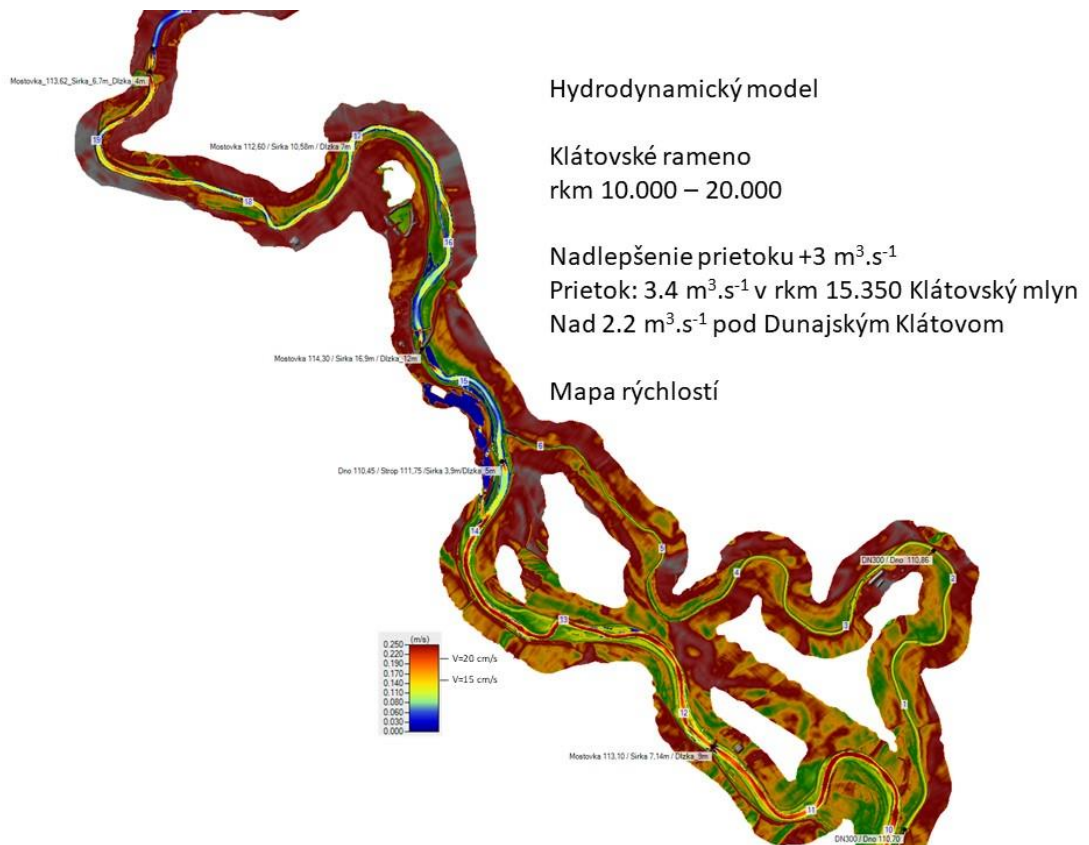
Na celom dolnom úseku od rkm 14,000 do rkm 4,000 prevažuje v modeli prúdiaca voda s veľmi dobrými rýchlosťami od $0,15$ až nad $\sim 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (v modeli oranžová, červená až hnedá), ktorá by už odnášala aj sedimenty (okrem úseku rkm 6,000 – 6,600 pod Trhovým Mýtom s rýchlosťami len $0,07 - 0,12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, kde navrhujeme morfológické zúženie príliš širokého koryta novým ostrovom, resp. bočnými výhonmi).



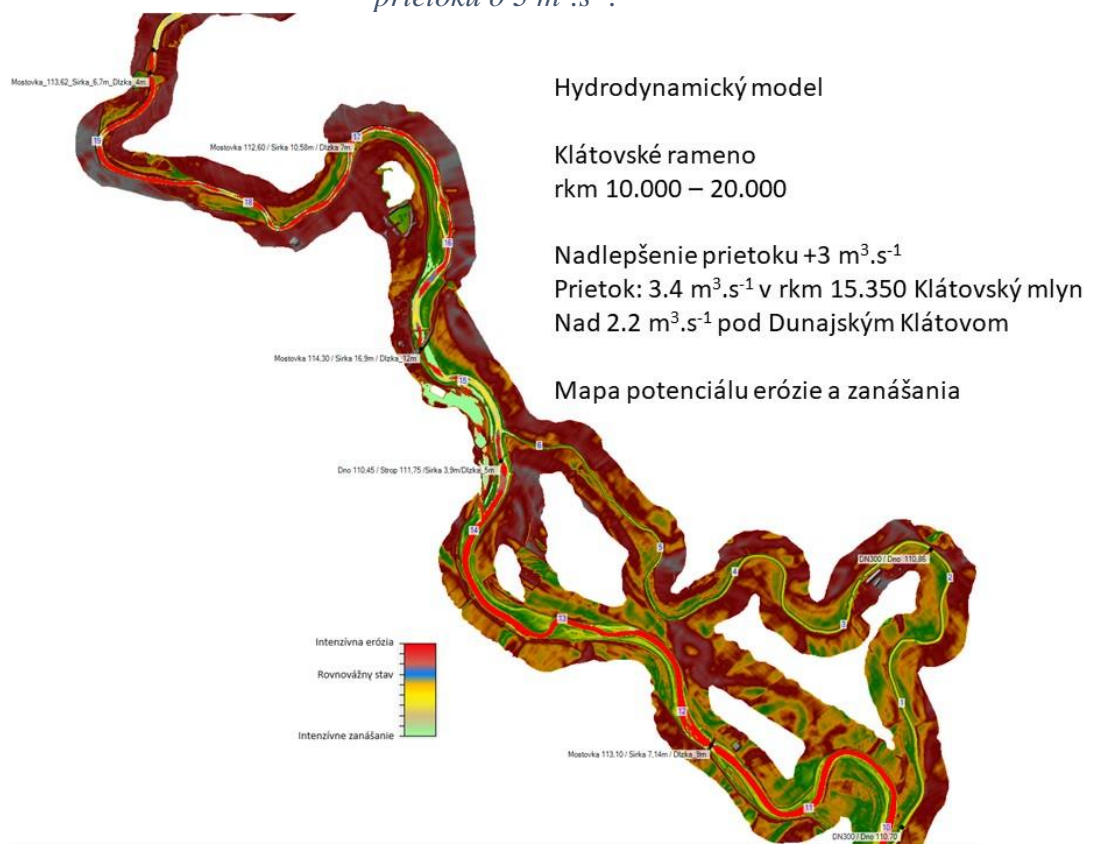
Obr. 61. Mapa rýchlostí v úseku rkm 0,000 – 10,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 3 m³.s⁻¹.



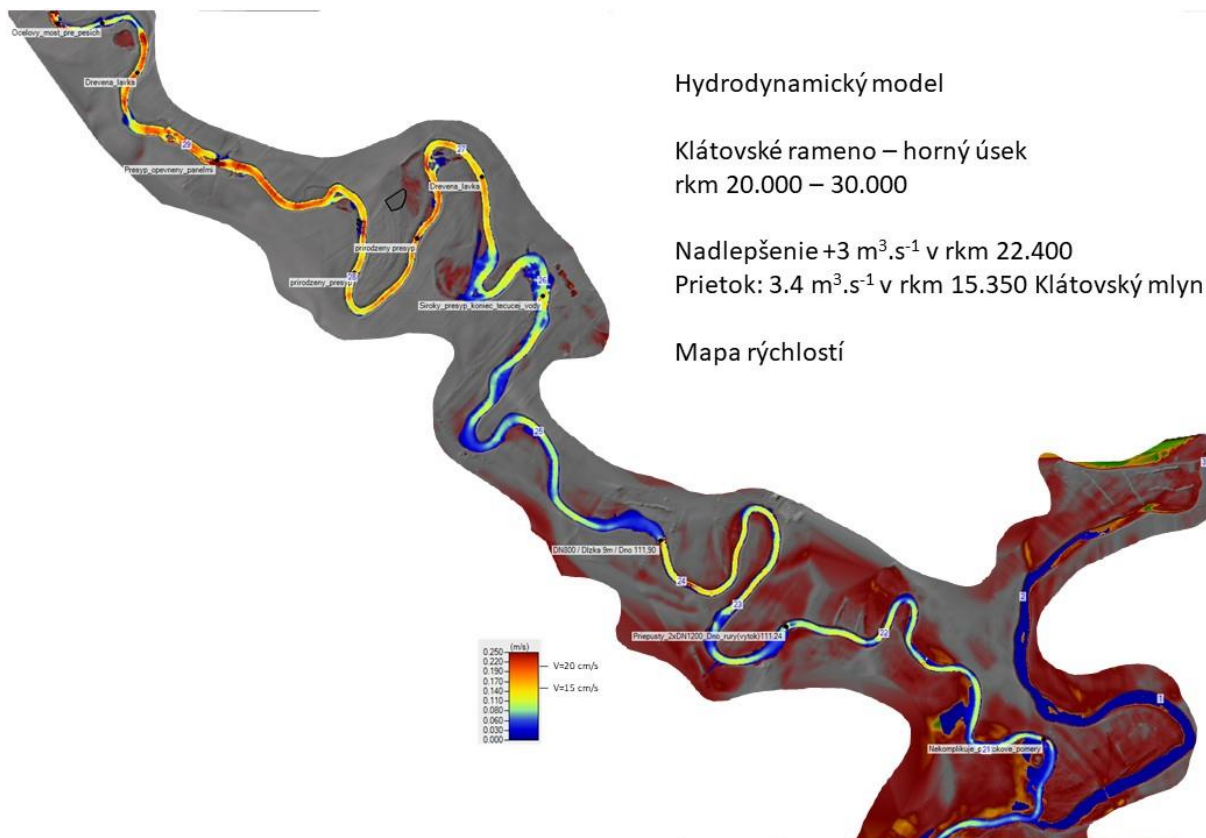
Obr.62. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 3 m³.s⁻¹ v úseku rkm 0,000 – 10,000.



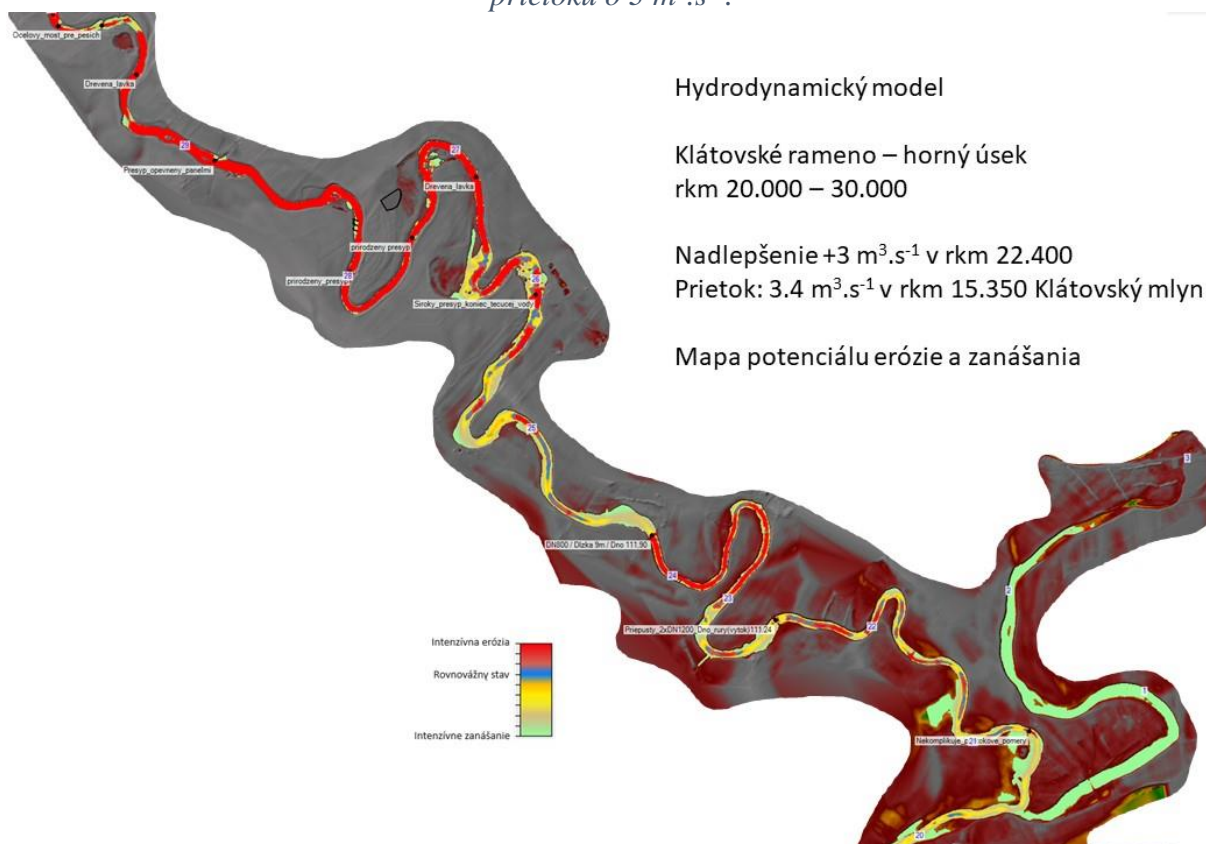
Obr. 63. Mapa rýchlostí v úseku rkm 10,000 – 20,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 3 m³.s⁻¹.



Obr.64. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o 3 m³.s⁻¹ v úseku rkm 10,000 – 20,000.



Obr. 65. Mapa rýchlostí v úseku rkm 20,000 – 30,000 Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

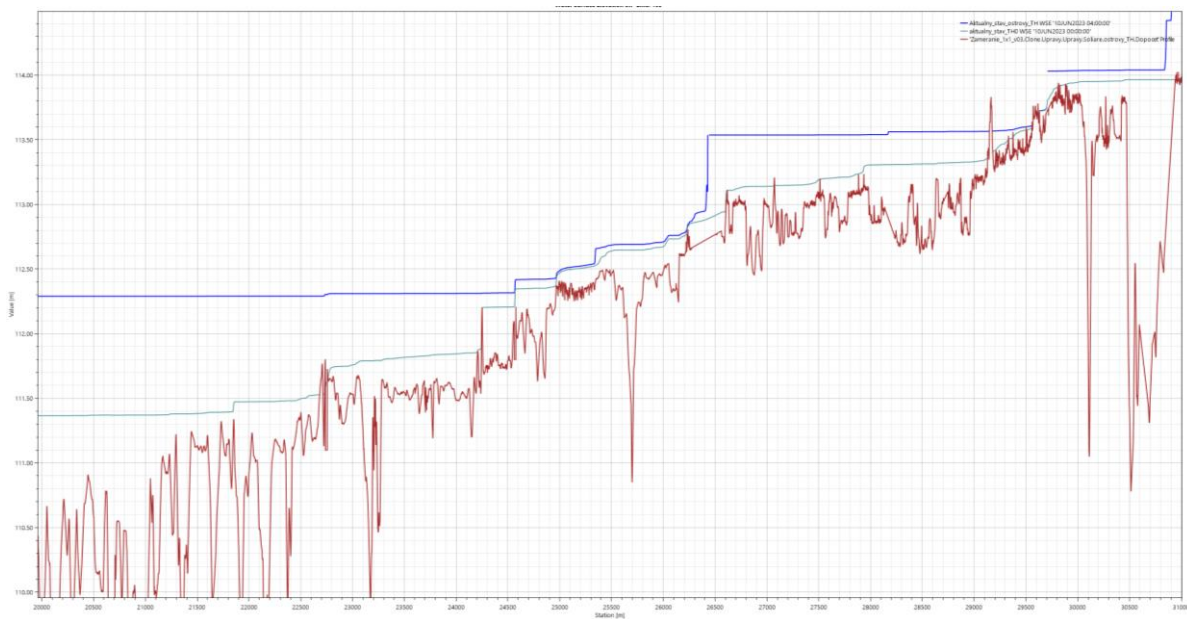


Obr.66. Mapa potenciálnych zón erózie a zanášania Klátovského ramena pri nadlepšení prietoku o $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v úseku rkm 20,000 – 30,000.

5. modelovaný scenár: Sprietočnenie úseku rkm 20,000 – rkm 30,000

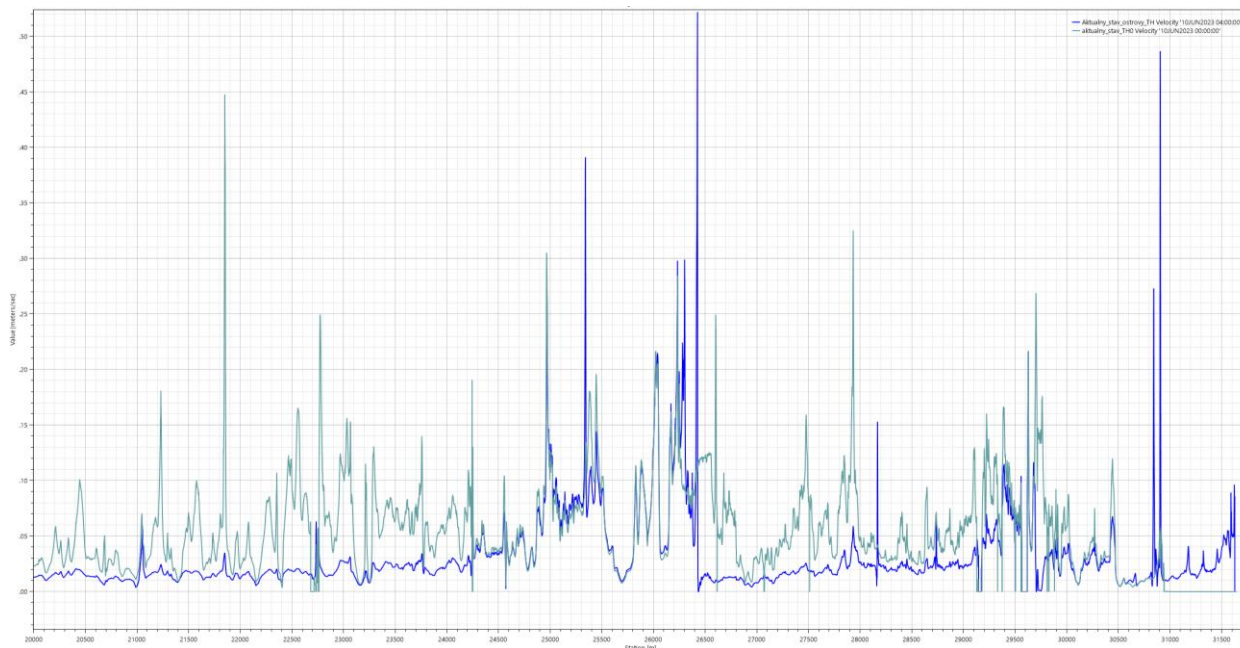
Vzhľadom na skutočnosť, že budovanie odberného objektu na Malom Dunaji a dotovanie Klátovského ramena je zatiaľ len v štádiu prípravy, bolo pristúpené k simulovaniu možností zlepšenia prietokových pomerov sprietočením násypov predovšetkým na kritickom hornom úseku rkm 20,000 – rkm 30,000. Prietoknosť kritických oblastí má byť zabezpečená rámovými priepustami s dostatočnou kapacitou $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Odstránením presypov by podľa modelu došlo k zvýšeniu odtoku z územia, t.j. absenciou vzduťia od presypov by sa zväčšil celkový gradient hladiny. To by v prípade nezabezpečenia dotácie prietoku z Malého Dunaja mohlo viesť ku „vytečeniu“ existujúcich vzduť jazerných mokraďových biotopov, čo v 5.stupni ochrany nemusí byť prijateľné. Preto je nutné cestné presypy ponechať, ale každý priepust doriešiť ako regulovateľný (fošnovým hradením, na výškovú úroveň dnešnej hladiny), a to pre všetky uvažované prevádzkové dotačné prietoky $+1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $+2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $+3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



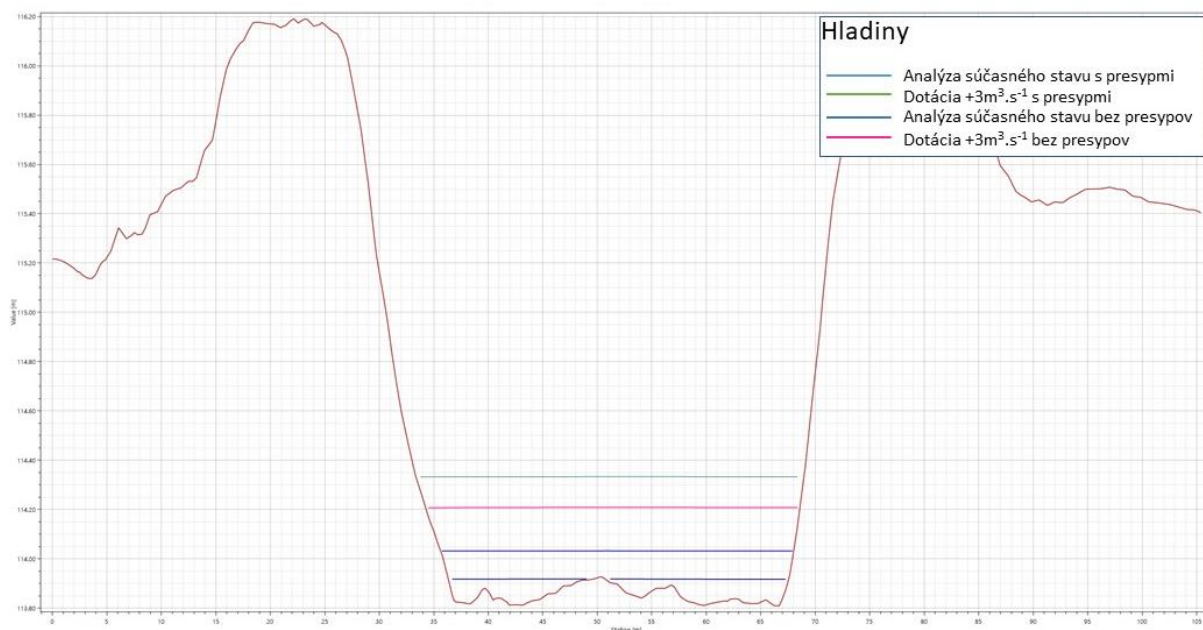
Obr.67. Hladinový režim na hornom úseku rkm 20,000 – 30,000 pri scenári (modrá – aktuálny stav, zelená – úprava presypov).

Výsledky simulácií sprietočnenia priečných presypov preukázali jednoznačne zlepšenie prúdových pomerov v hornom úseku Klátovského ramena už pri scenároch „Analýza súčasného stavu“, teda aj bez dotovania prietoku z Malého Dunaja. Priemerné rýchlosti v osi koryta stúpili o 5% a v kritických miestach sú tieto zlepšenia výraznejšie a predstavujú nárast o takmer 21%. (Riešenie prúdenia len pomocou vypustenia existujúcich vzduť jazerných mokraďových biotopov však v 5.stupni ochrany nie je vhodné, preto by malo byť spojené aj s púšťaním dotačných prietokov!)

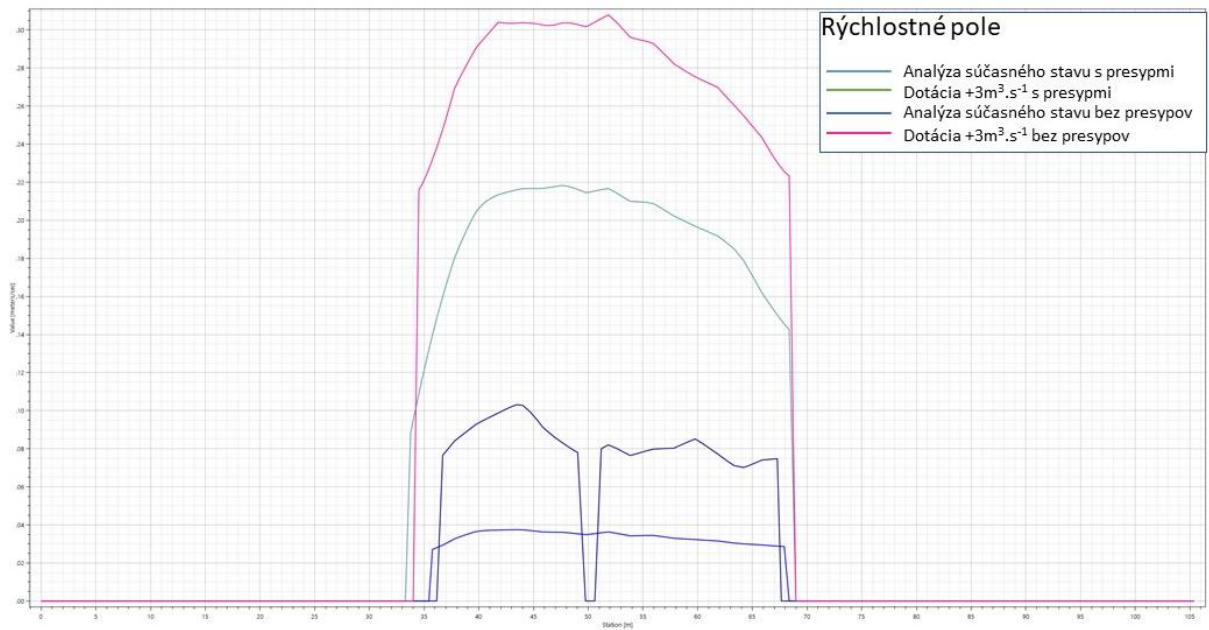


Obr.68. Rýchlostný profil na hornom úseku rkm 20.000 – 30.000 pri scenári „Analýza súčasného stavu“ (modrá - aktuálny stav, zelená- úprava presypov).

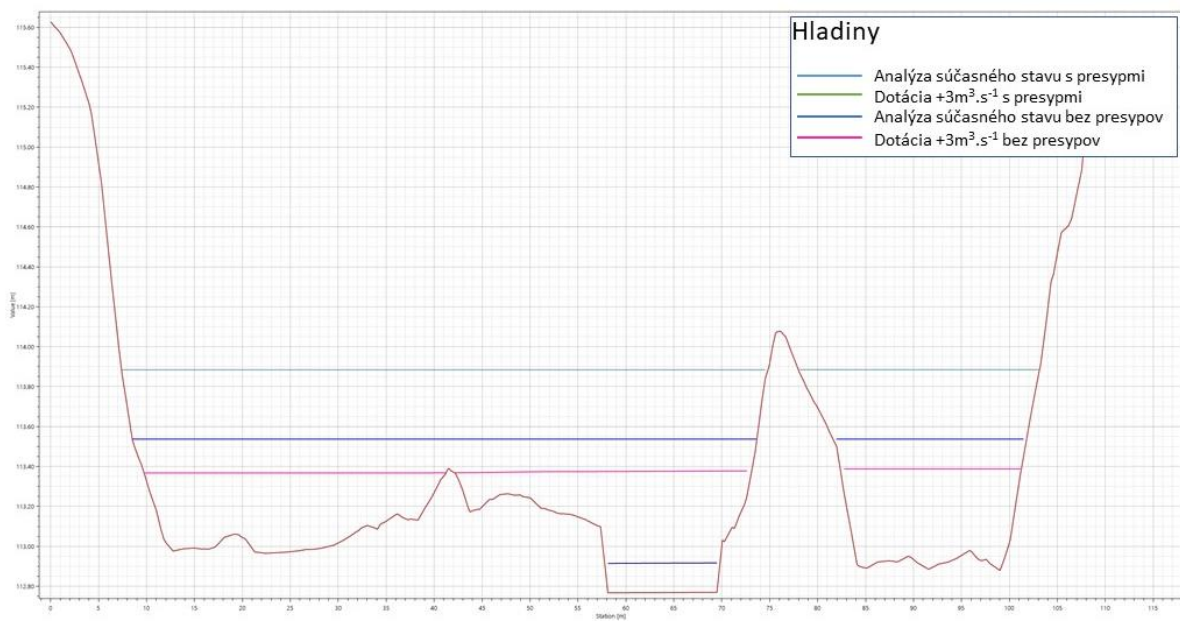
Pri navyšovaní prietoku o dotačný prietok 1 až 3 m³.s⁻¹ dochádza ešte k výraznejšej zmene rýchlostného poľa a hladinového režimu. Pre prehľadnosť uvádzame výsledky v profiloch tesne nad kritickými presypmi v hornom úseku a len limitné hodnoty, t.j. pre scenáre „Analýza súčasného stavu“, resp. „Dotácia 3 m³.s⁻¹“ a variantne s presypmi a bez presypov.



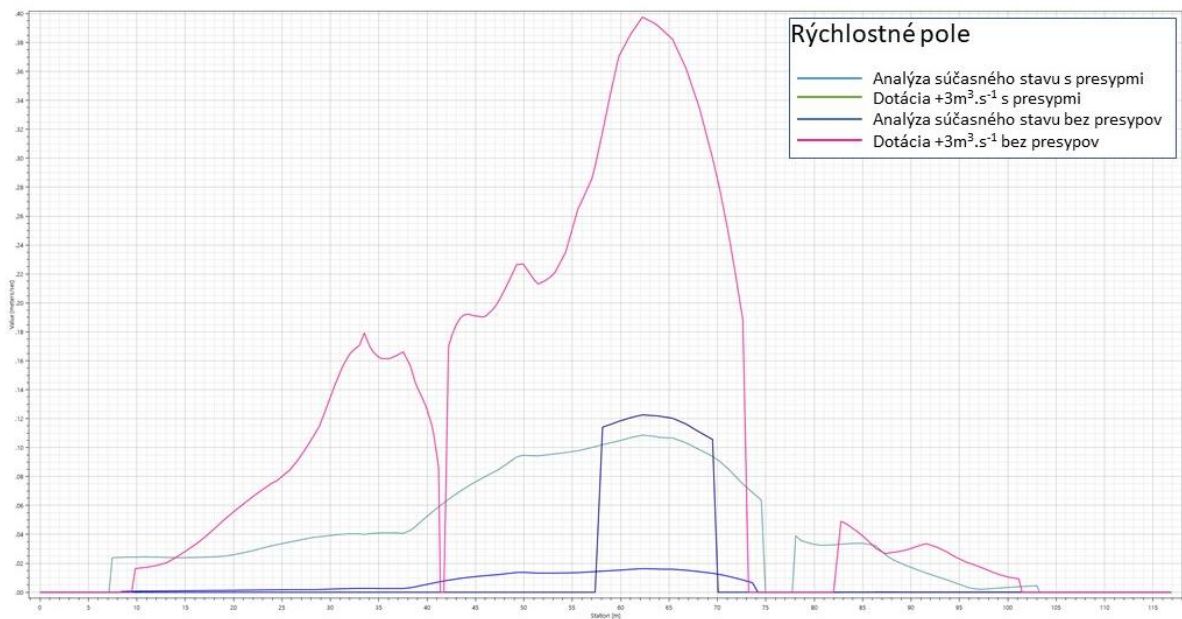
Obr.69. Hladinový režim (pričný profil nad presypom v rkm 28,900).



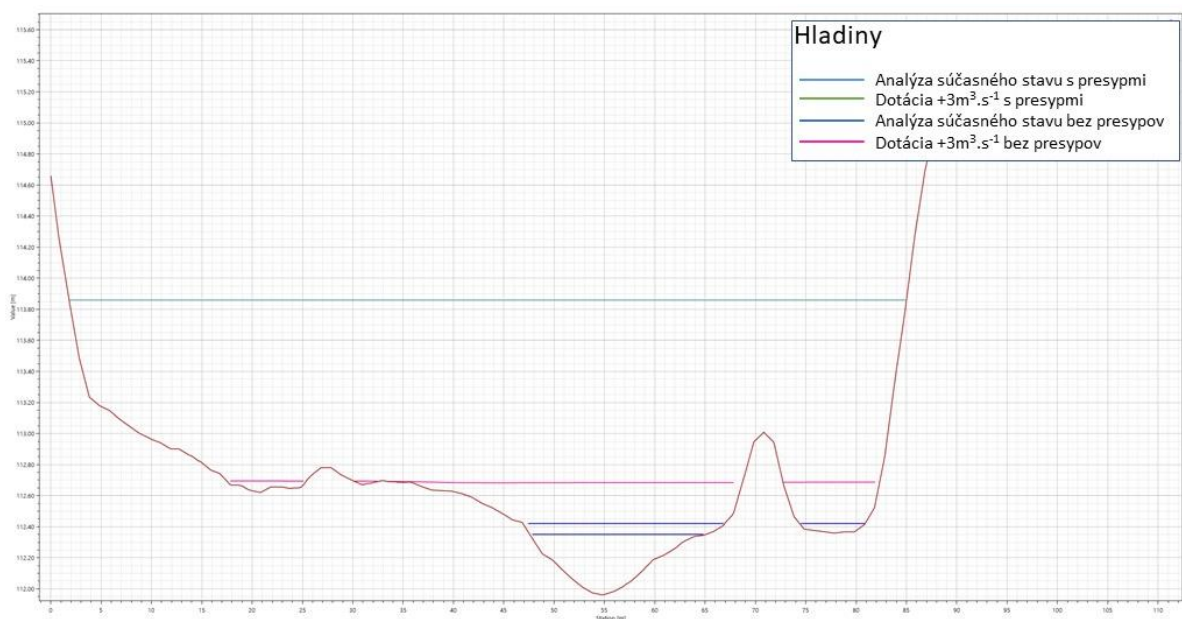
Obr.70. Rýchlostný profil (pričný profil nad presypom v rkm 28,900).



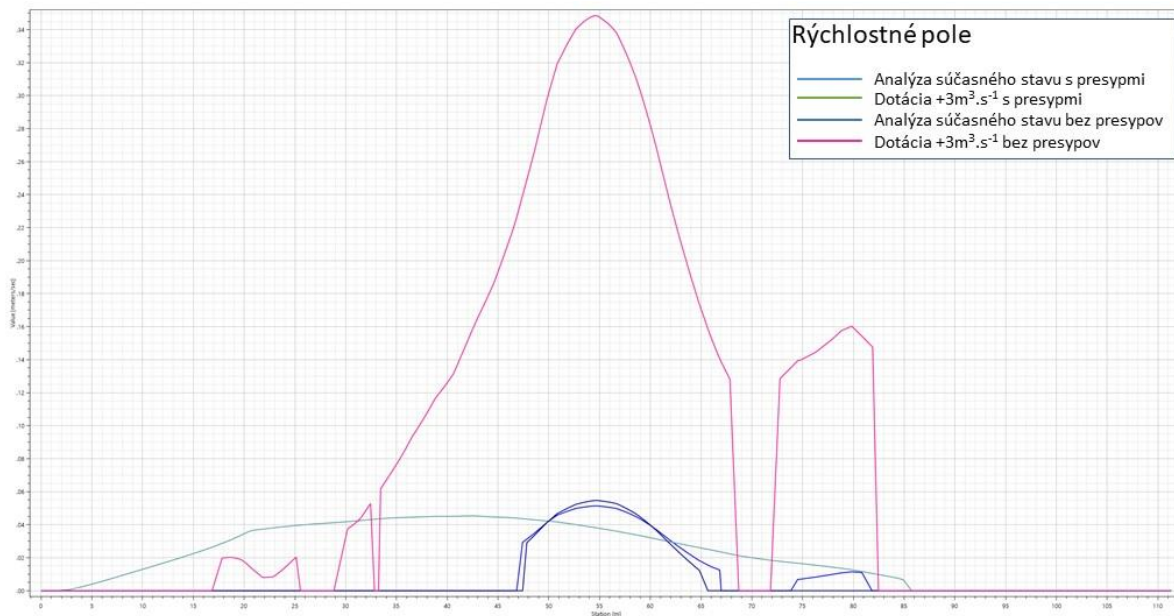
Obr.71. Hladinový režim (pričný profil nad presypom v rkm 25,900)



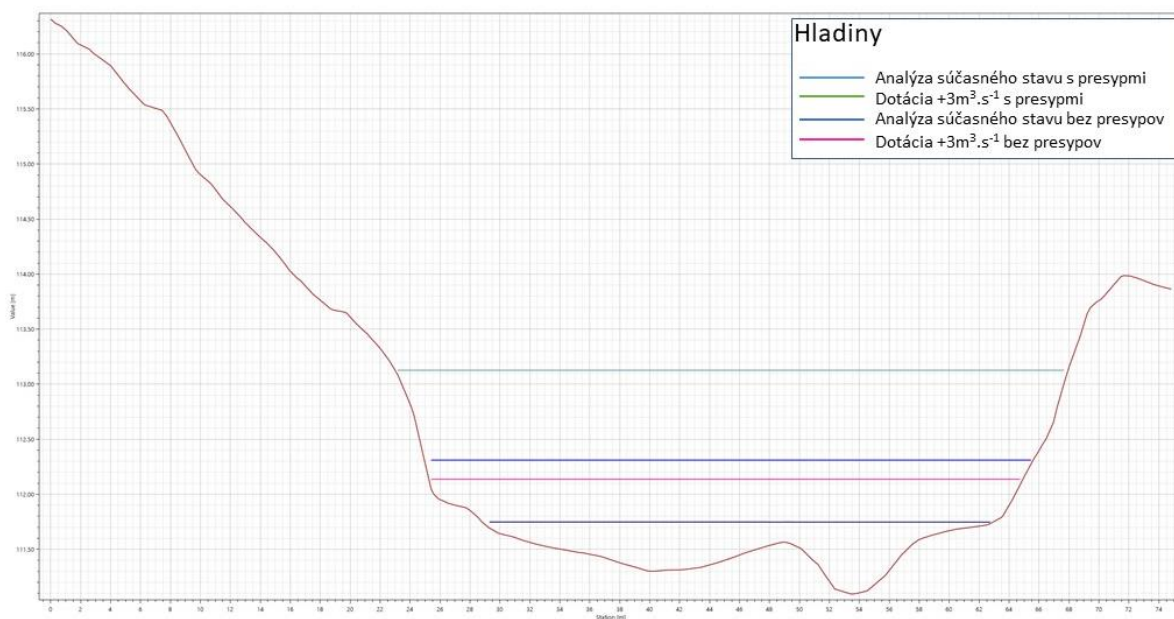
Obr.72. Rýchlostný profil (pričný profil nad presypom v rkm 25,900)



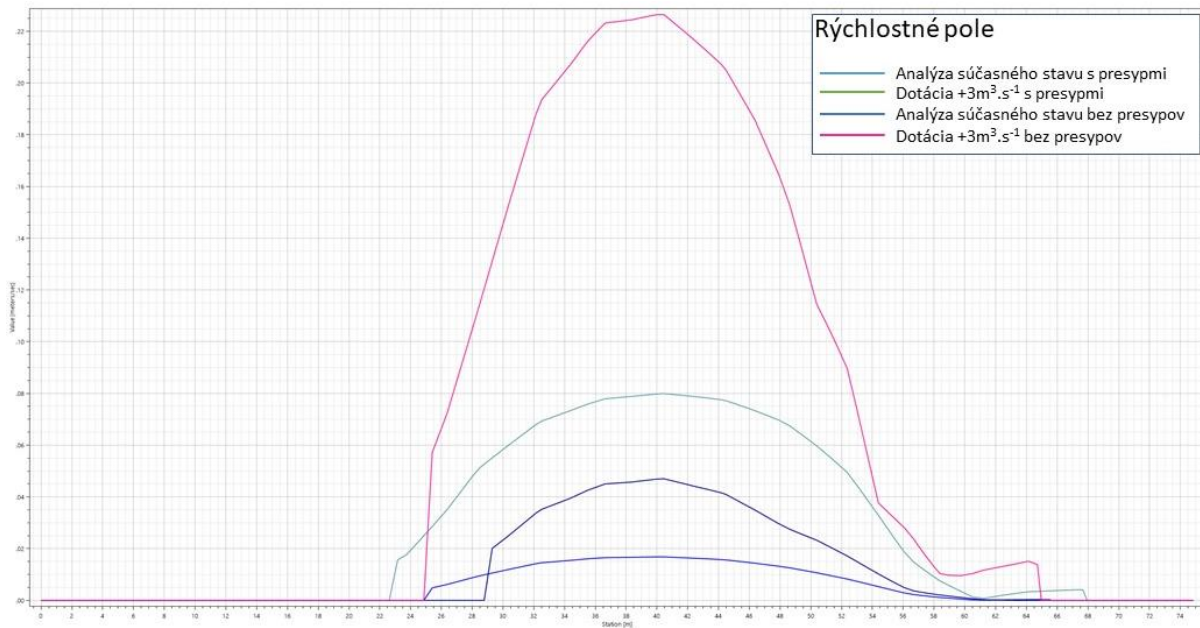
Obr.73. Hladinový režim (pričný profil nad presypom v rkm 24,200)



Obr.74. Rýchlostný profil (pričný profil nad presypom v rkm 24,200)



Obr.75. Hladinový režim (pričný profil nad presypom v rkm 22,500)



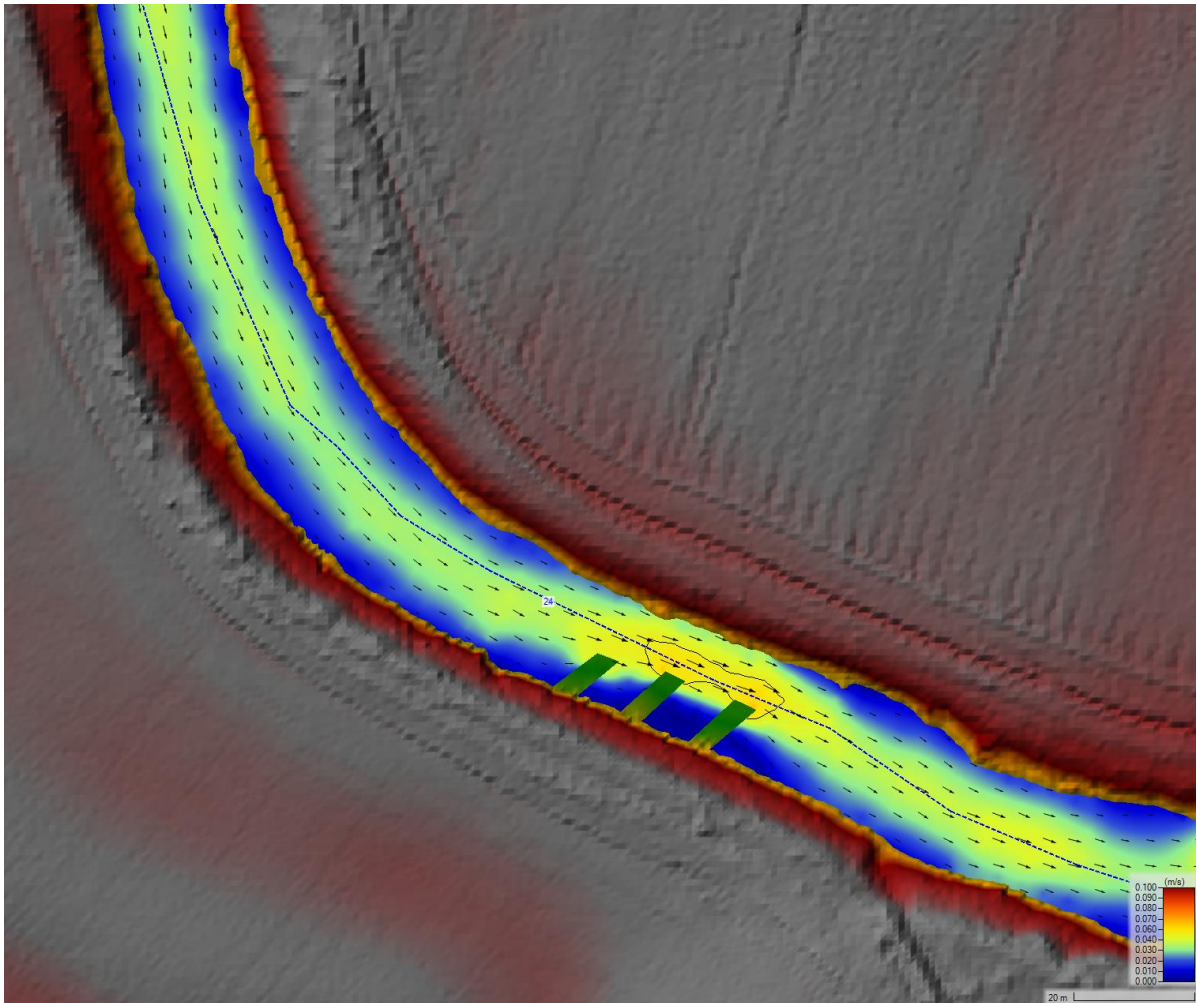
Obr.76. Rýchlostný profil (pričný profil nad presypom v rkm 22,500).

Z analýzy výsledkov jasne vyplýva, že odstránením presypov v kritických miestach na toku v rkm 20,000 – 30,000 stúpnu rýchlosti v týchto bodoch na 0,22 až 0,40 m.s⁻¹ v prípade dotovania 3 m³.s⁻¹ a v prípade zachovania aktuálnych prietokových pomerov na ~ 0,1 m.s⁻¹.

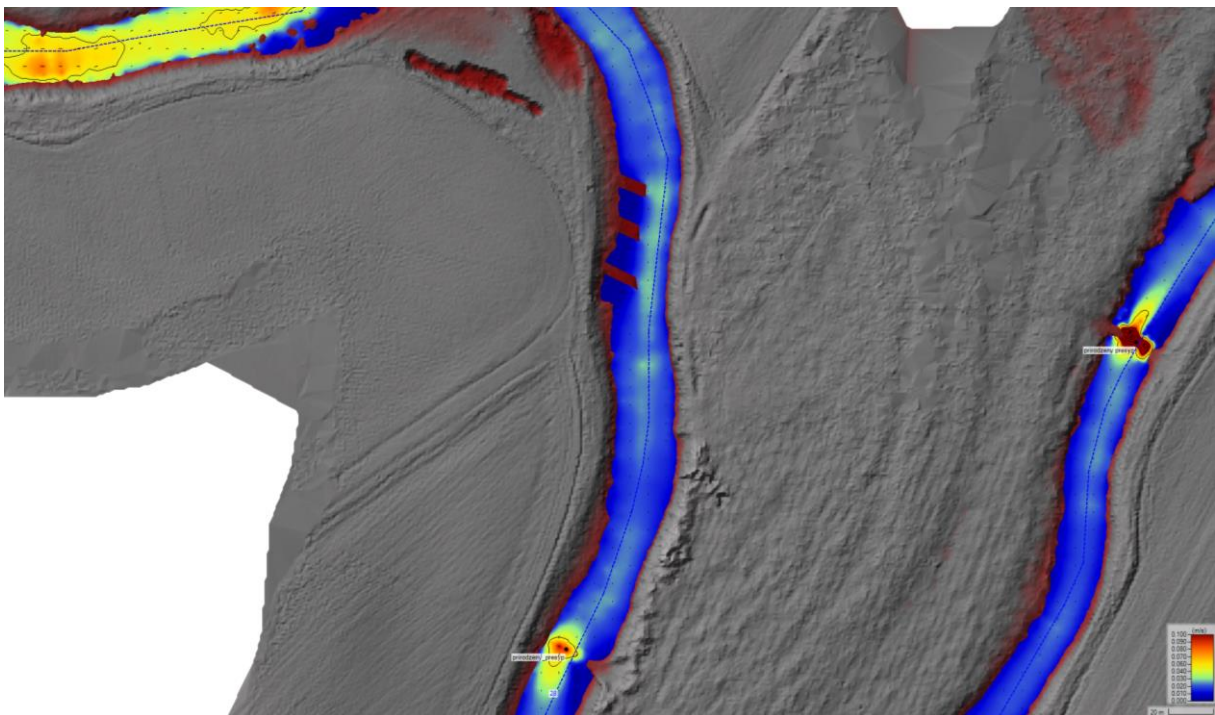
6. modelovaný scenár: Usmerňovacie (sústred'ovacie) stavby

Tento výpočtový scenár bol rovnaký ako „Analýza súčasného stavu“, s testovaním vybraných lokalít v hornom kritickom úseku na citlivosť a zmenu rýchlostného poľa vytvorením usmerňovacích stavieb, tzv. výhonov. Správnym umiestnením, množstvom a rozmermi výhonov je možné zlepšiť podmienky prúdenia v Klátovskom ramene, avšak takéto zásahy majú pri veľmi pomaly tečúcej vode len lokálny charakter (viď. obr.77, obr. 78).

Z biologického hľadiska je znásobenie rýchlosti z 0,3 m.s⁻¹ na 0,6 m.s⁻¹ vytvorením výrazne lepšieho nového biotopu prúdomilných organizmov. Séria takýchto prúdivých biotopov nadväzujúcich na seba môže v takto revitalizovanej lokalite vytvoriť významný trvalý habitat, resp. útočisko pre prežívanie prúdomilných organizmov (a to už pred vytvorením dotácie prietoku z Malého Dunaja).



Obr.77. Vplyv sústavy sústreďovacích stavieb v rkm 24,000.



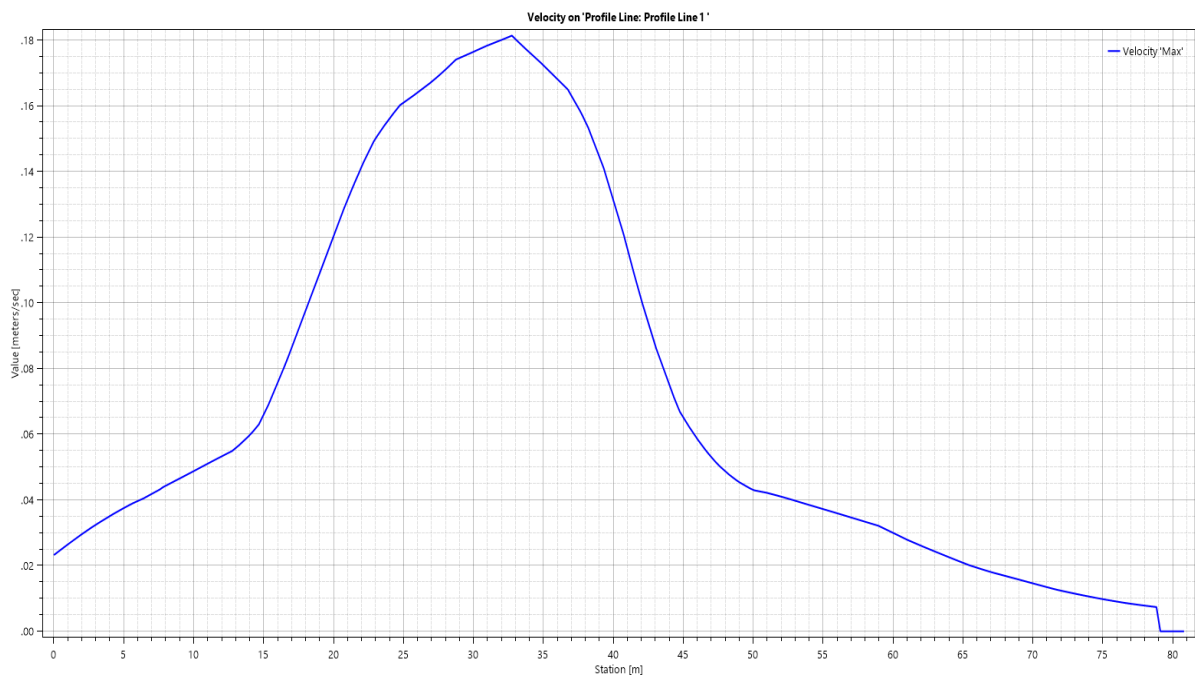
Obr. 78. Vplyv sústavy sústreďovacích stavieb v rkm 28,650.

7. modelovaný scenár: Ostrovy

V rámci výpočtov prúdenia bolo pristúpené v súčinnosti s pracovníkmi projekcie na SVP v úzkej súčinnosti všetkých partnerov k testovaniu a návrhu sústavy ostrovov v oblasti Trhovej Hradskej rkm 6,500 – 7,100. Návrh ostrovov má za úlohu:

- zlepšiť prúdové pomery v oblasti, najmä zvýšiť rýchlosti prúdenia vody
- vytvoriť súvislú zrýchlene tečúcu prúdnicu na pravej aj ľavej strane ramena,
- svojím tvarom, umiestnením a rozmermi zvýšiť erozívnu schopnosť prúdu a vytvoriť tak lepšie podmienky pre biodiverzitu,
- zvýšiť atraktivitu oblasti .

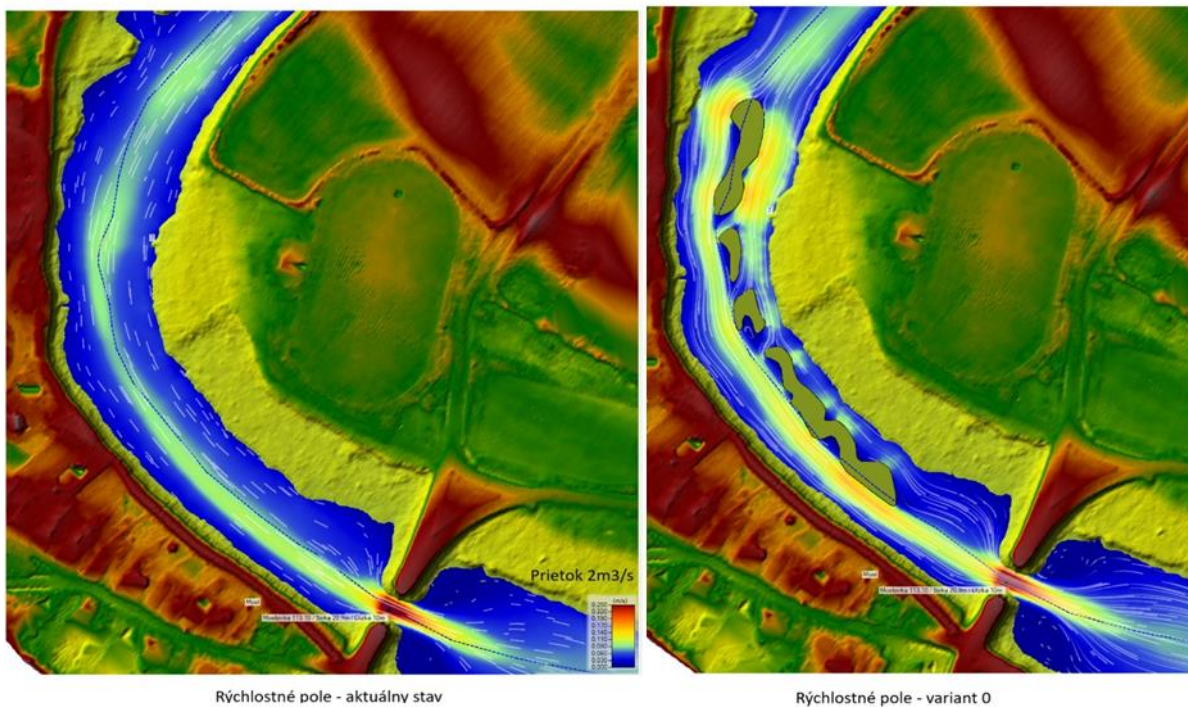
Z výpočtov vyplýva výrazné zlepšenie podmienok prúdenia v oblasti. Očakáva sa tiež výrazné zvýšenie erozívnej schopnosti prúdu a svojím tvarom a umiestnením je atraktívnym prírodným prvkom. Za kľúčový je možné pokladať prvý „poprúdny“ ostrov, ktorého tvar a umiestnenie delia prúdnicu a dávajú tak základ pre riadené erozívne procesy v dne, čo je hlavným prínosom. Jeho realizácia je v súčasnosti predmetom činnosti pracovníkov SVP, š.p.



Obr.79. Rýchlostné pole v profile začiatku sústavy ostrovov pre určenie polohy a tvaru prvého ostrova z pohľadu efektívneho delenia prúdu.



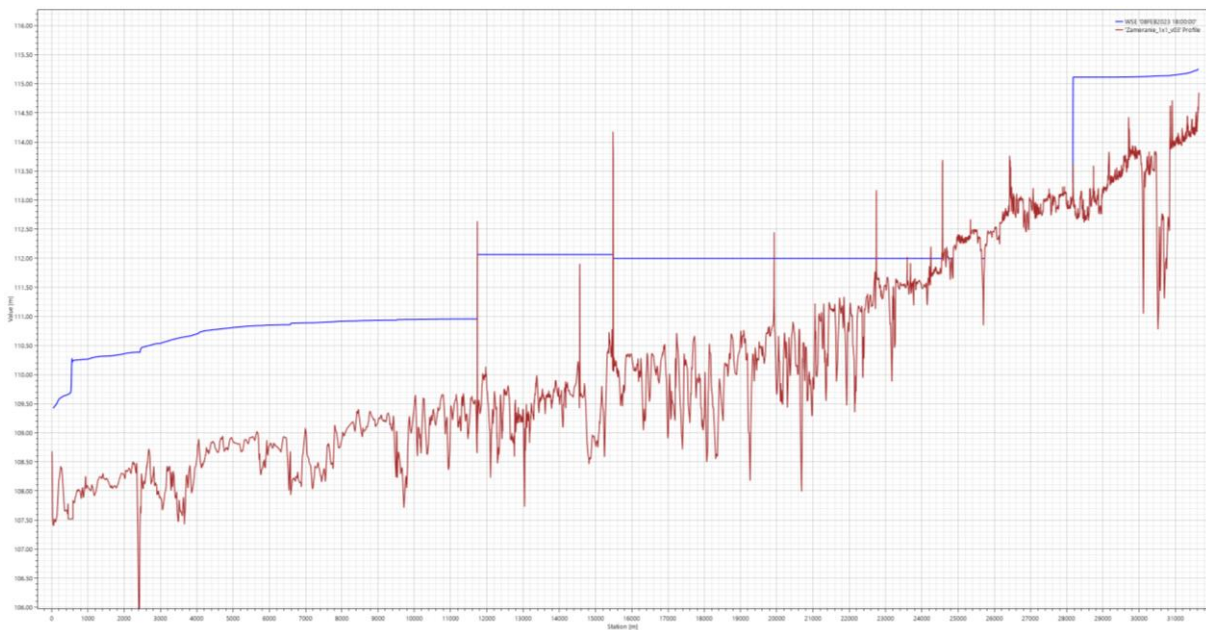
Obr.80. Návrh sústavy ostrovov na numerické testovanie.



Obr.81. Porovnanie vplyvu ostrovov na rýchlostné pole a delenie prietoku pred výstavbou (aktuálny stav) a po realizácii sústavy (variant 0).

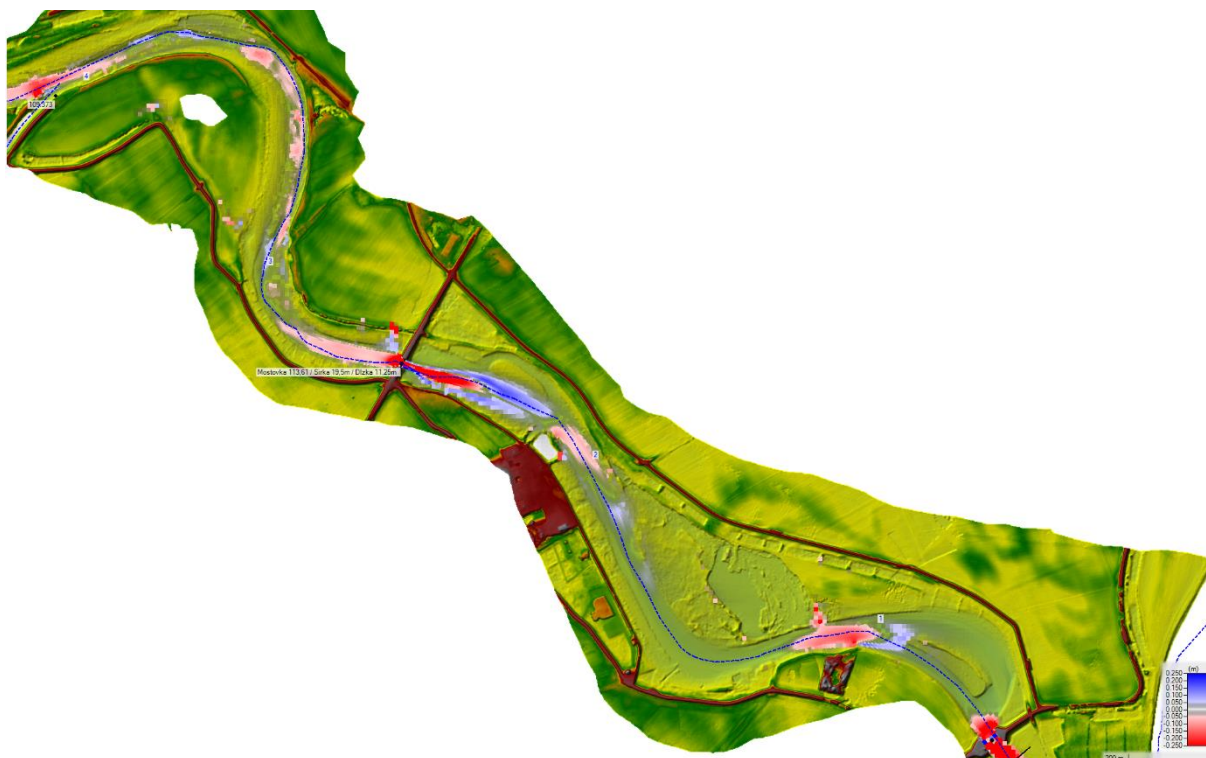
8. modelovaný scenár: Preplach Klátovského ramena

Výpočet scenára preplachu Klátovského ramena bol svojou numerickou schémou najkomplikovanejší model prúdenia povrchových vôd, keďže uvažoval s pohyblivým dnom a silne nestacionárnym prúdením počas vyhradenia polí na Zátvornom objekte. Je však nutné podotknúť, že preplach ramena je efektívny proti prúdu približne len po rkm 6,640. Vyššie sa gradient hladiny v ramene vytvorený vyhradením Zátvorného objektu úplne vytráca. Stále sa jedná o dolný úsek, ktorý je z pohľadu zanášania najmenej problematický (aj keď takéto obnovovanie štrkového dna by bolo nesporným lokálnym biologickým prínosom pre „štrkomilné“ rastlinstvo a živočíšstvo, hoci len na malých plochách – pozri červené plochy na obr. 83). Efekt preplachu sa zintenzívňuje smerom k Zátvorenému objektu a za ním, čo môže spôsobovať problémy s tvorbou výmoľov v blízkom okolí objektu. Negatívom je tiež masívna erózia na sútoku s Malým Dunajom a množstvo sedimentu vypláchnutého do Malého Dunaja, čo sa musí nutne prejavíť v nižších častiach toku.



Obr.82. Pozdĺžny profil hladinového režimu na Klátovskom ramene v priebehu preplachu v konečnej fáze vypúšťania.

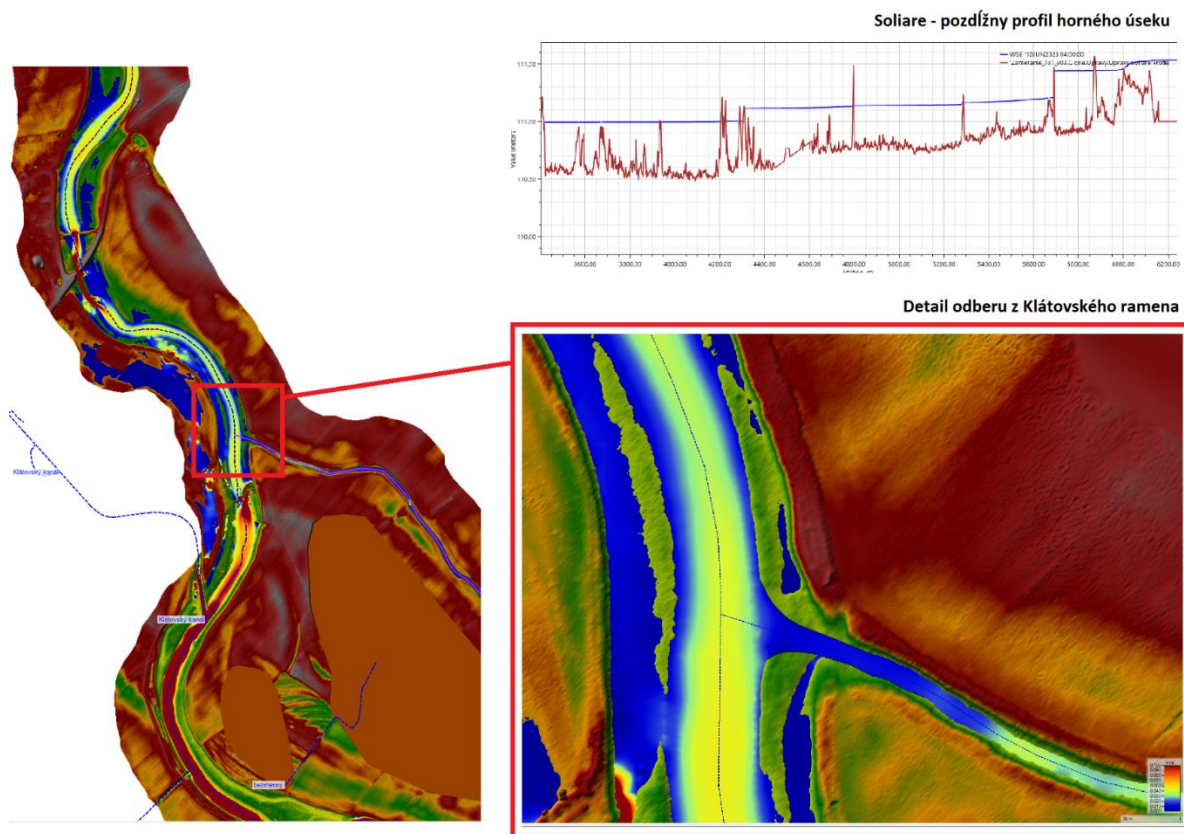
Na obr. 83 je znázornenie pohybu sedimentov v úseku Klátovského ramena nad Zátvorným objektom. Miesta s červenou farbou znázorňujú lokality, kde dochádza k masívnej erózii, modrou farbou sú znázornené miesta, kde dochádza naopak k usadzovaniu sedimentov.



Obr.83. Pretvorenie dna na úseku rkm 0.000 – 4.000

9. modelovaný scenár: Sprietočnenie mŕtveho ramena Soliare

Súčasťou vývoja numerického modelovania hladinového režimu Klátovského ramena na katedre hydrotechniky SvF STU bola aj problematika možného návrhu sprietočnenia v súčasnosti suchého ramena Soliare v kooperácii s partnermi projektu. Navrhovaný bol vtok aj možnosti zavzdúvania hladiny Klátovského ramena v Dunajskom Klátove stavidlom nad Klátovským mlynom. Avšak po zameraní sa zistilo, že na trvalé napúšťanie a pretekánie ramena Soliare nie je potrebné zavzdúvania hladiny Klátovského ramena, ale postačí mierne prehĺbiť zazemnený horný úsek ramena Soliare v dĺžke cca 400 m (obr. 84).



Obr.84. Návrh prekopania zaneseného vtoku do mŕtveho ramena Soliare a znázornenie jeho možného napúšťania.

HLADINOVÝ REŽIM PODZEMNÝCH VÔD, ANALÝZA A PROGNÓZA

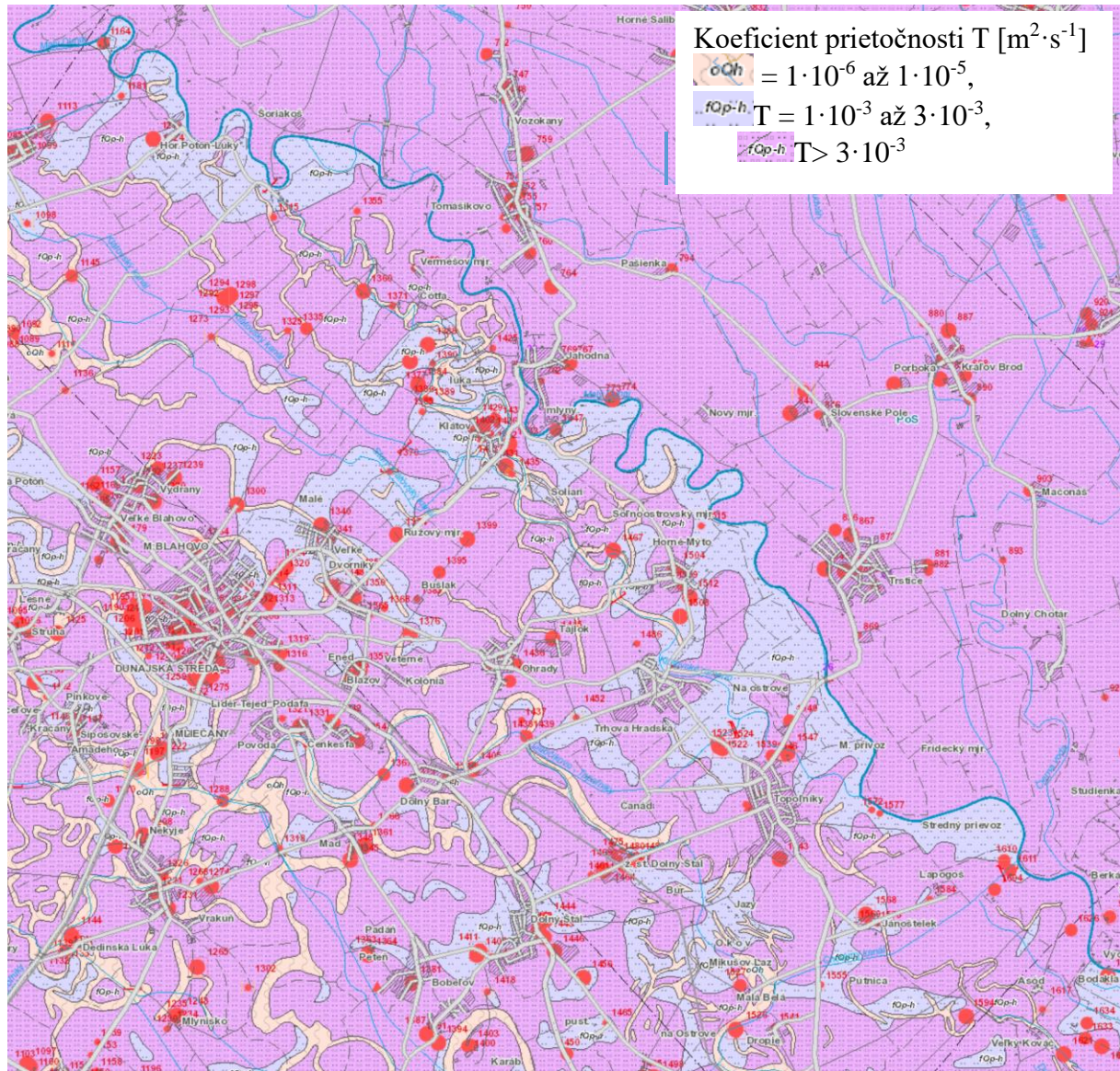
Vplyvom zmien hladinového režimu v Klátovskom ramene sa predpokladá aj so zmenami hladinového režimu podzemných vôd v jeho okolí.

Za účelom zistenia predpokladaných zmien bolo nutné vytvoriť model reprezentujúci priebehy hladiny podzemných vôd na riešenom území. Nakoľko určenie okrajovej podmienky modelu je náročné, simulácia prebieha na modeli širšieho záujmového územia, aby vplyv použitej okrajovej podmienky smerom k riešenému územiu vymizol. Preto navrhnutý model simuluje priebeh hladiny na podstatne väčšej ploche, ako je riešená oblasť. Na simuláciu tohto hladinového režimu bol použitý balík programov Triwaco, ktorý je založený na riešení Bousinesquovej rovnice prúdenia podzemných vôd numericky, metódou konečných prvkov (Royal Haskoning, 2002).

Simulácie boli realizované v niekoľkých krokoch, označených ako Varianty nasledovne:

Variant 0 – súčasný stav, ktorý zodpovedá priemernej hladine podzemnej vody a priemerným zrážkam na danej lokalite. Tento stav bol použitý aj na kalibráciu matematického modelu.

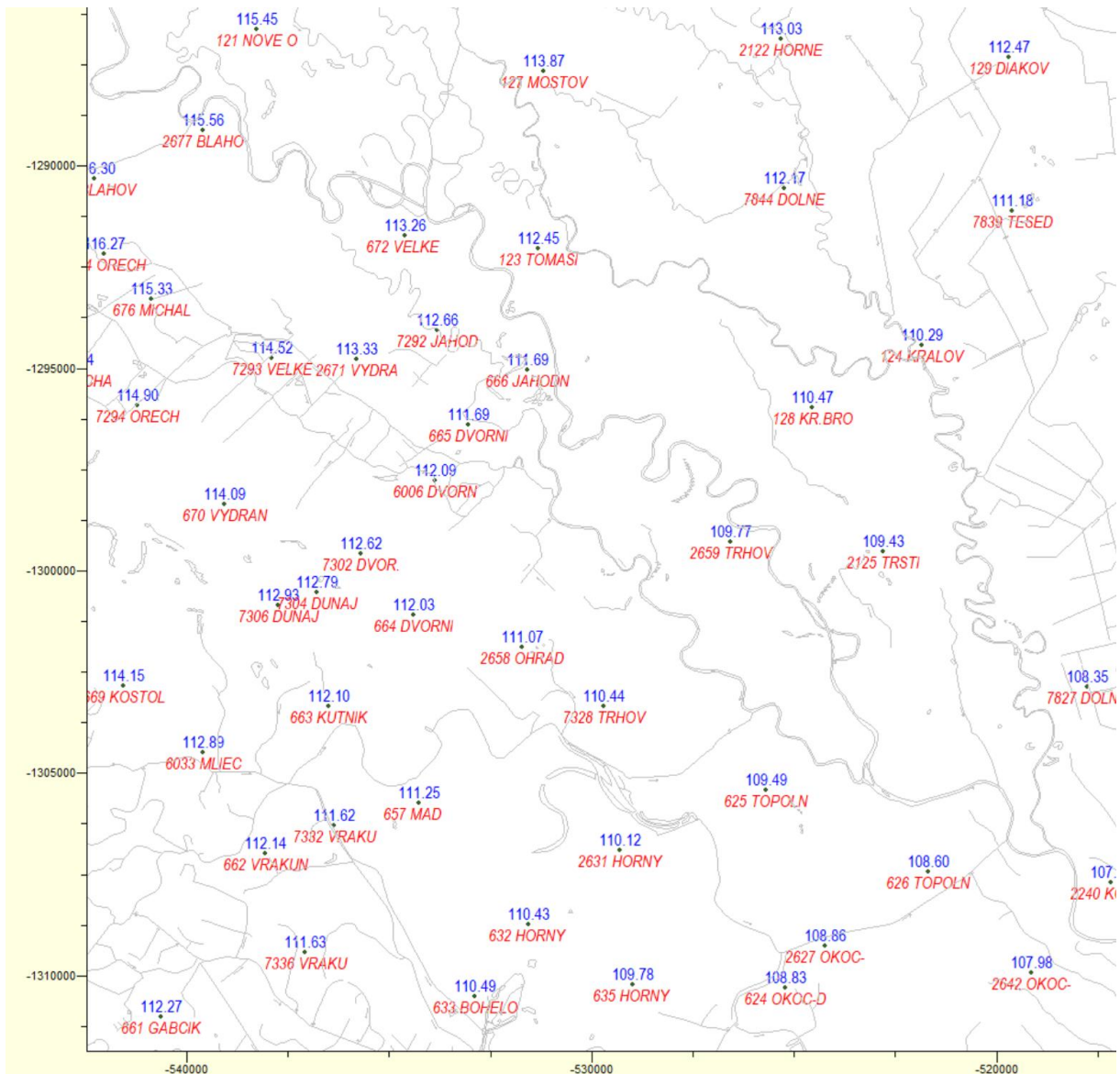
Kalibrácia modelu spočívala v odhade odporu dna toku Klátovského ramena, ako aj ostatných tokov v riešenom území, v spresnení parametrov horninového prostredia obr. 85 (Mapový portál Hydrogeologické mapy) ako je koeficient filtrácie, prietochnosť a pod. tak, aby namodelovaná hladina podzemnej vody približne odpovedala priemernej hladine podzemnej vody v sondách základnej pozorovacej siete vrtov SHMÚ.



Obr. 85. Výrez: Základná hydrogeologická mapa Podunajskej roviny - Žitného ostrova a pravobrežia Dunaja 1 : 50 000.

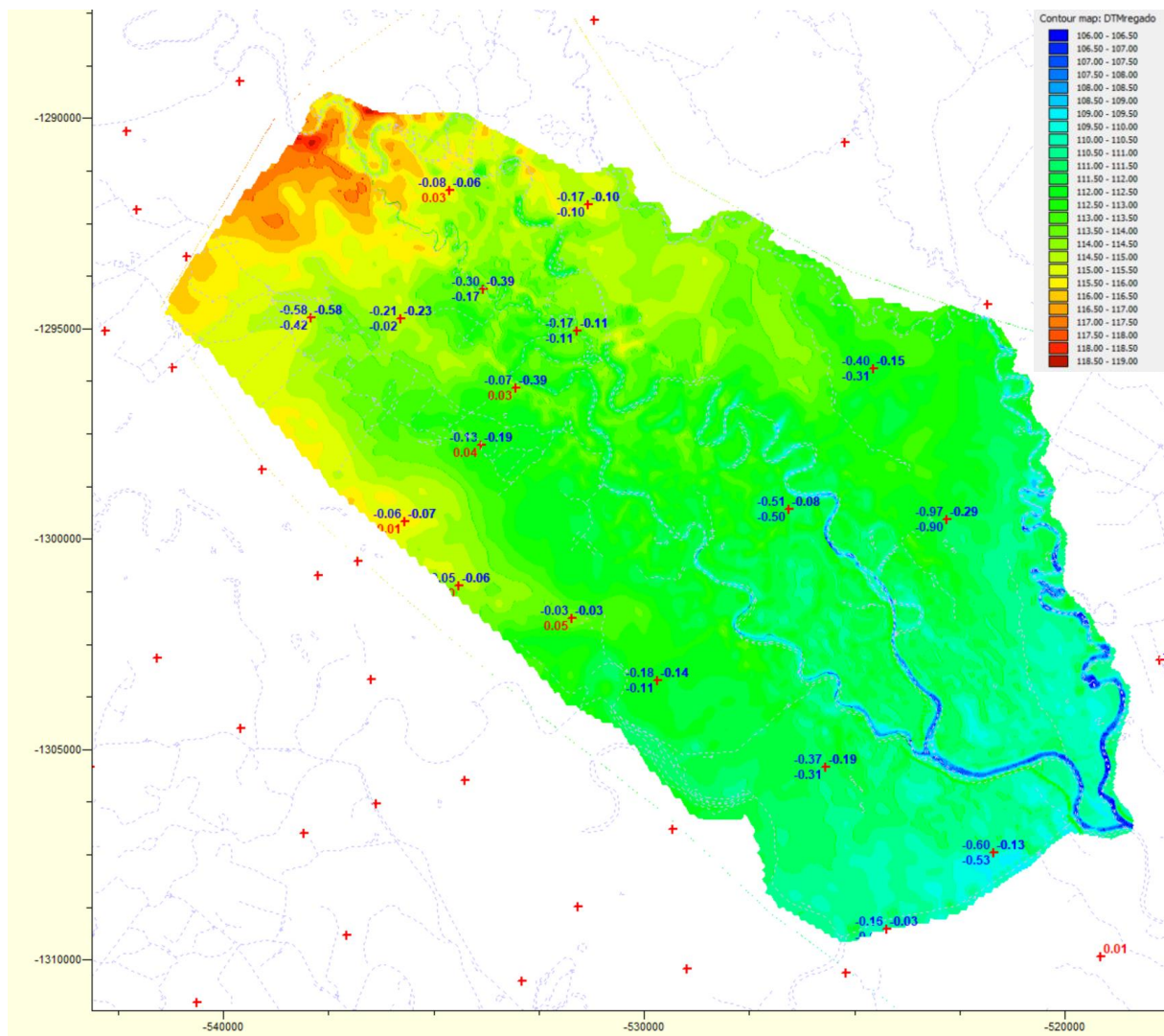
Výsledky postupného približovania namodelovanej hladiny podzemnej vody k nameranej hladine podzemnej vody sú znázornené na Obr. prostredníctvom rozdielov. Tieto rozdiely vyjadrujú rozdiel medzi vypočítanou (simulovanou) a priemernou nameranou hladinou podzemnej vody za 20 ročné obdobie (1994 – 2014) v danom vrte SHMÚ (v tzv. kontrolných

bodoch – checkpointoch). Poloha týchto sond spolu so spomínanou hodnotou hladiny podzemnej vody je znázornená na obr. 86.



Obr. 86. Priemerné hodnoty hladiny podzemnej vody v sondách základnej pozorovacej siete vrtov SHMÚ – priemerný stav za 20 ročné obdobie (1994 – 2014).

Za predpokladu, že vypočítaná hladina bola vyššie ako nameraná, diferencia je kladná a hodnota je znázornená červenou farbou. Opačne, v prípade, že vypočítaná hladina je nižšie ako nameraná, diferencia je záporná a hodnota je znázornená modrou farbou.

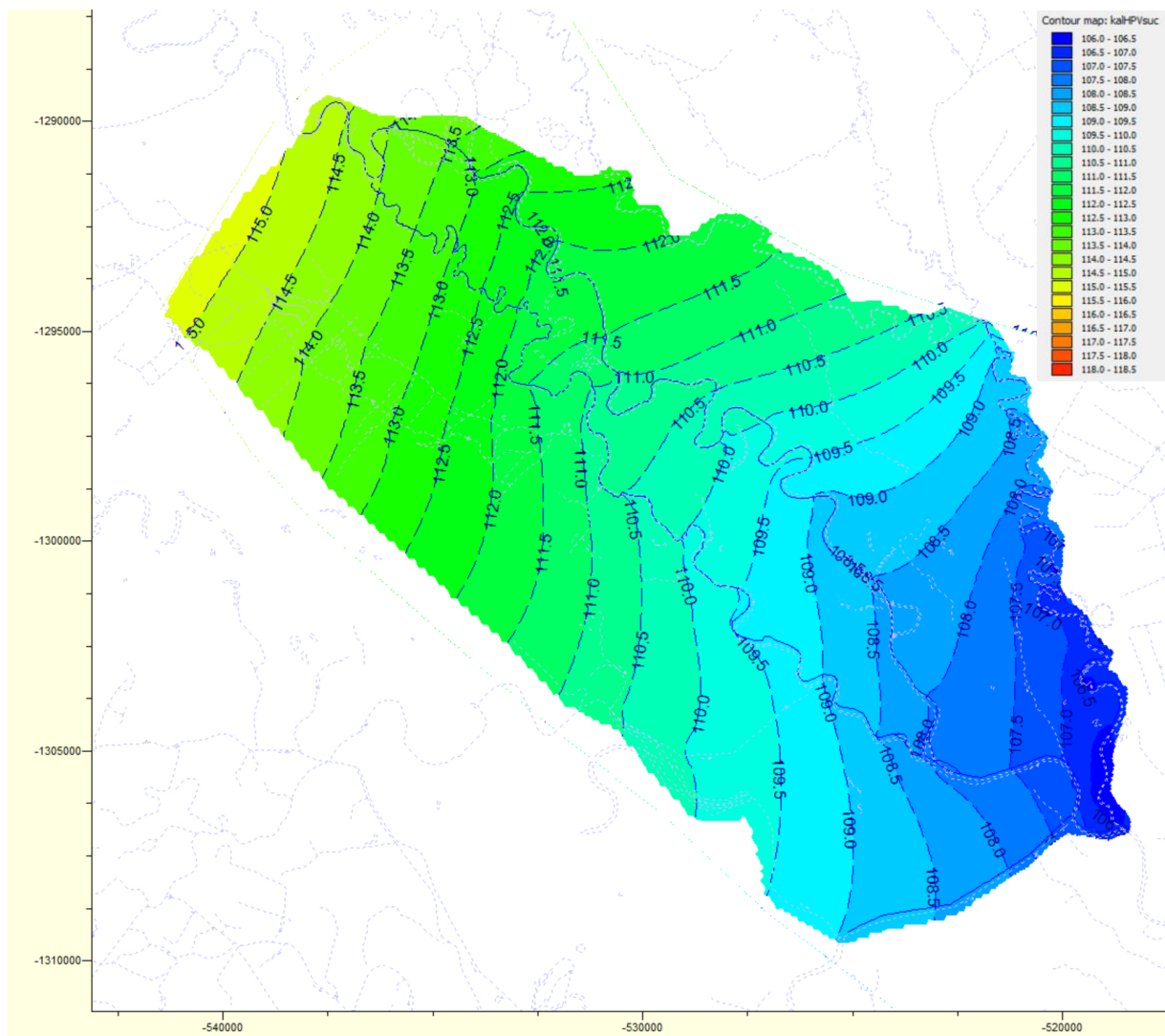


Obr. 87. Digitálny model terénu (ZBGIS) a znázornenie diferencií v kontrolných bodoch.

Ak sa však sústreďíme na riešenu oblasť v blízkosti Klátovského ramena, z Obr. je zrejmé, že odchýlka sa pohybuje od - 0,17 do 0,03 m. Táto diferenciacia hovorí o tom, že namerané hodnoty sú o 17 cm vyššie ako priemerné namerané, resp. o 3 cm nižšie ako priemerné namerané. Je pochopiteľné, že pri simulácii sme neboli schopní dostať nulové hodnoty diferencií, nakoľko simulačné výpočty sú zaťažené rôznymi chybami, nehovoriac o chybách merania hladín a spriemerovaní dlhoročných meraní za 20 rokov. Zároveň celý výpočet je vykonaný ako ustálený stav s priemernými vstupnými hodnotami. V skutočnosti je malá pravdepodobnosť, že v jednom dni na celom území nastane priemerný stav, ktorý závisí nielen od režimu nerovnomerného rozdelenia zrážok a hladín prípadne prietokov v tokoch v danej oblasti, ale aj od iných javov.

Po niekoľkonásobnej úprave parametrov horninového prostredia sme teda dospeli k záveru, že nakalibrovaný model (Variant 0c) s priemernou absolútnou chybou 18 cm je

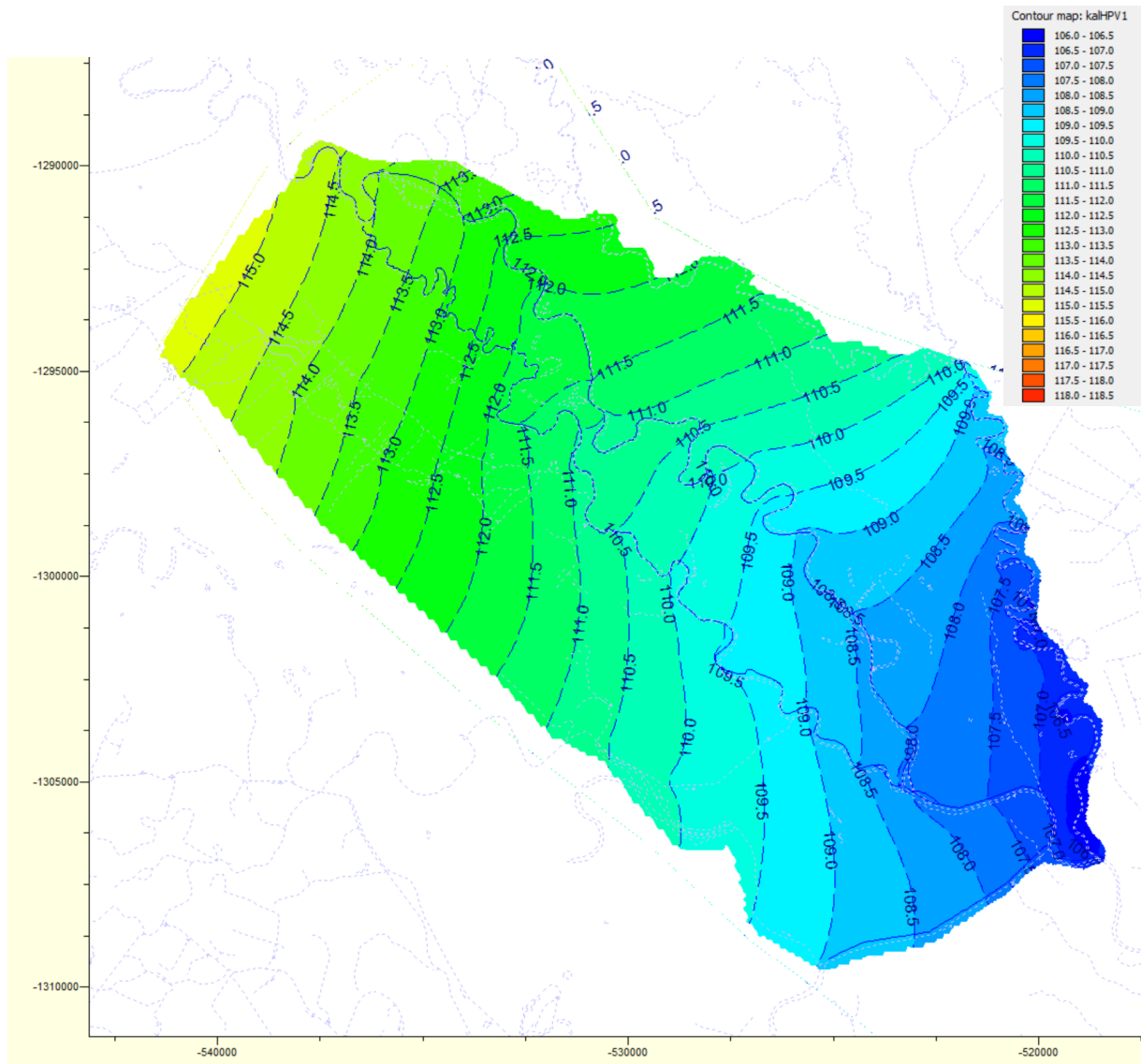
vhodný na simuláciu prognózy hladiny podzemných vôd po realizácii predpokladaných zmien v prietokovom režime Klátovského ramena a označili sme ho ako nulový variant – Variant 0. Výsledok simulácie hladiny podzemnej vody pre Variant 0 je znázornený na obr. 88.



Obr. 88. Simulovaná hladina podzemnej vody (m n. m.) pre Variant 0 – súčasnosť.

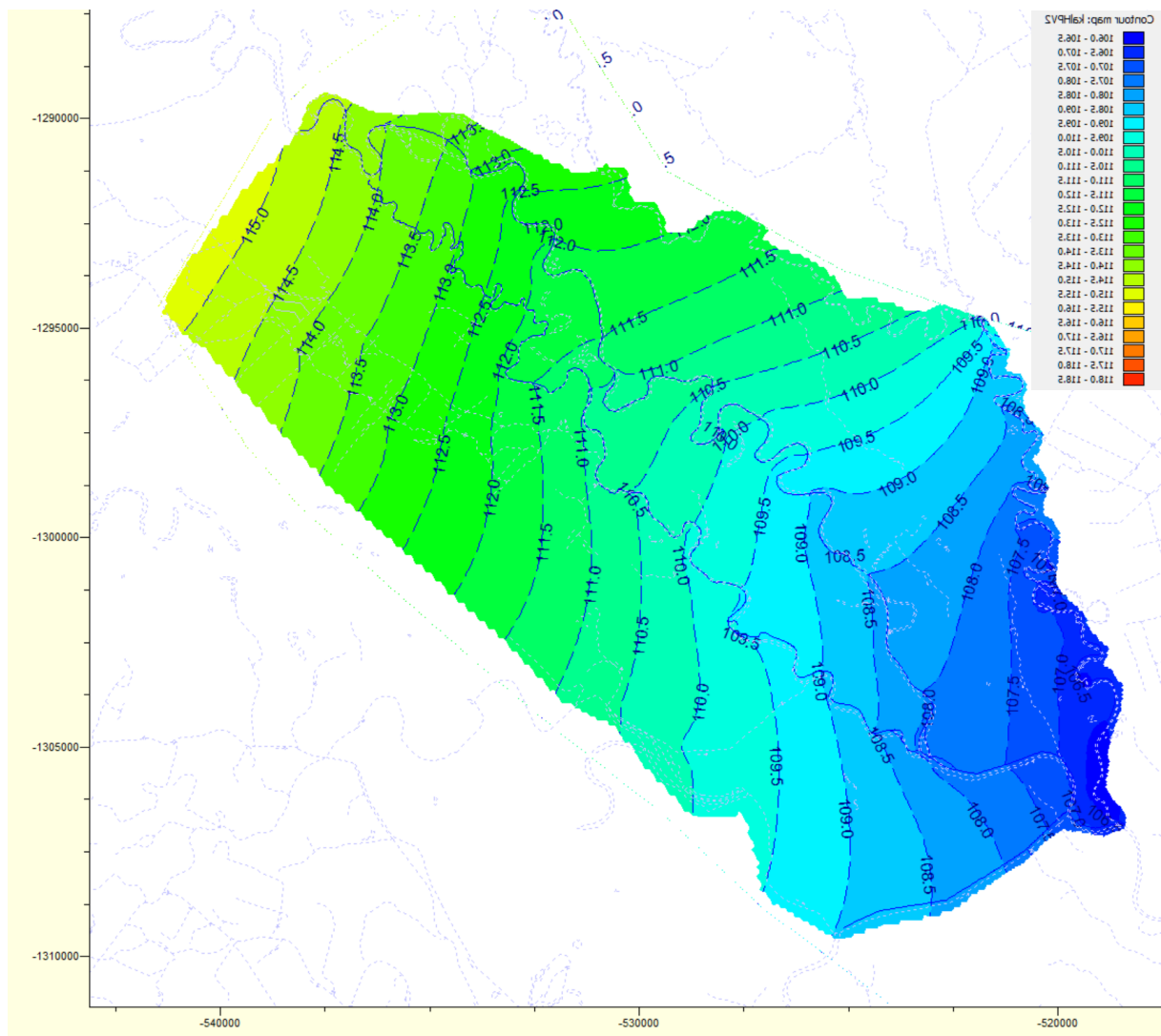
Ďalšie riešenie pozostávalo v zmene hladiny v Klátovskom ramene, namodelovanej pre dotačné prietoky 1, 2 a 3 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Uvedený priebeh hladiny vychádza z predošlých výpočtov hladiny v Klátovskom ramene. Tieto výpočty sme označili postupne podľa dotačných prietokov ako Variant 1, Variant 2 a Variant 3.

Varianta 1 – odpovedá priemernej hladine podzemnej vody, priemerným zrážkam na danej lokalite a zmenenej hladine v Klátovskom ramene za predpokladu dotácie prietoku $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledok simulácie hladiny podzemnej vody pre Varianta 1 je znázornený na obr. 89.



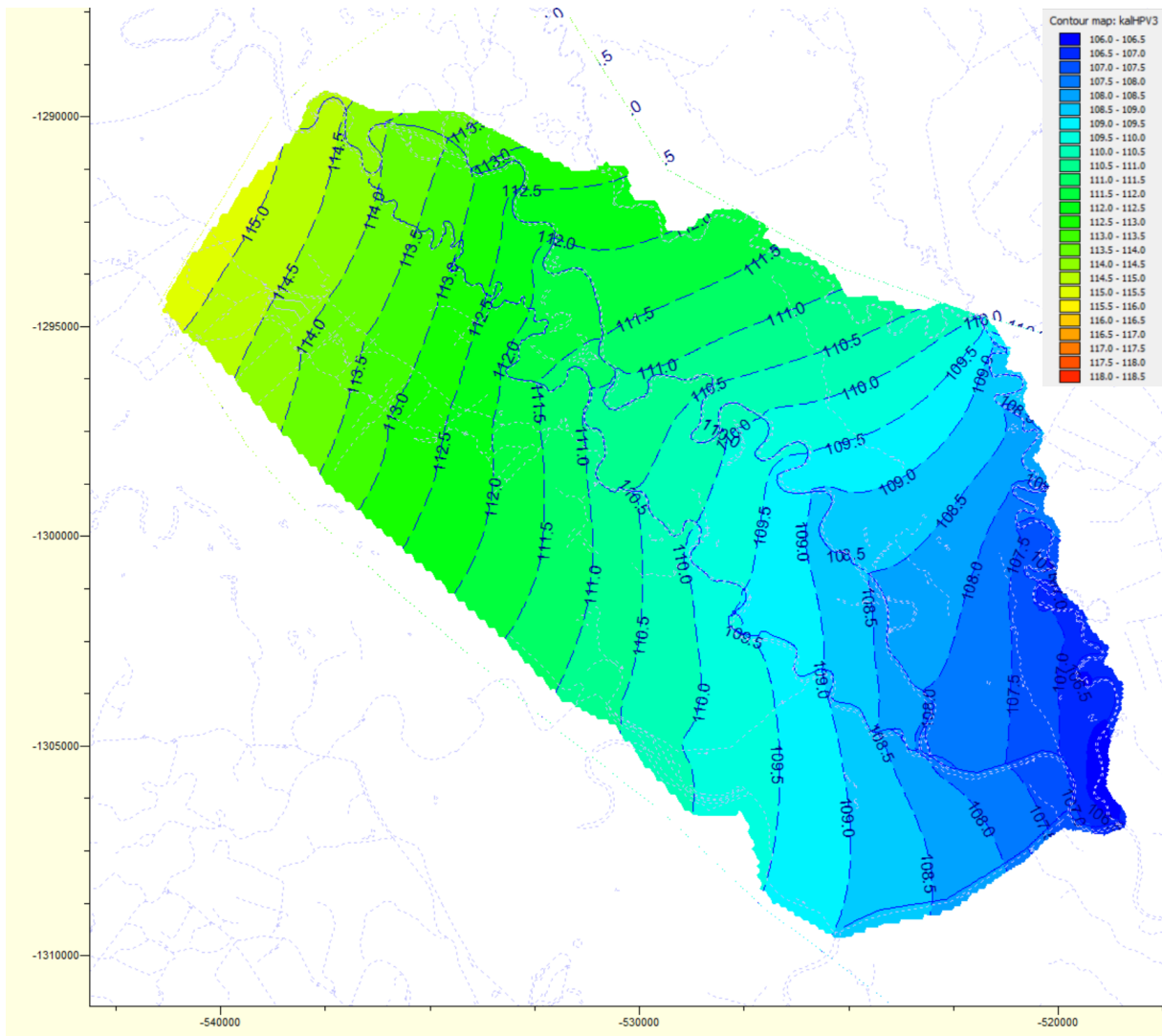
Obr. 89. Simulovaná hladina podzemnej vody (m n. m.) pre Varianta 1 – dotácia prietoku v Klátovskom ramene $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Variant 2 – odpovedá priemernej hladine podzemnej vody, priemerným zrážkam na danej lokalite a zmenenej hladine v Klátovskom ramene za predpokladu dotácie prietoku $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledok simulácie hladiny podzemnej vody pre Variant 2 je znázornený na obr. 90.



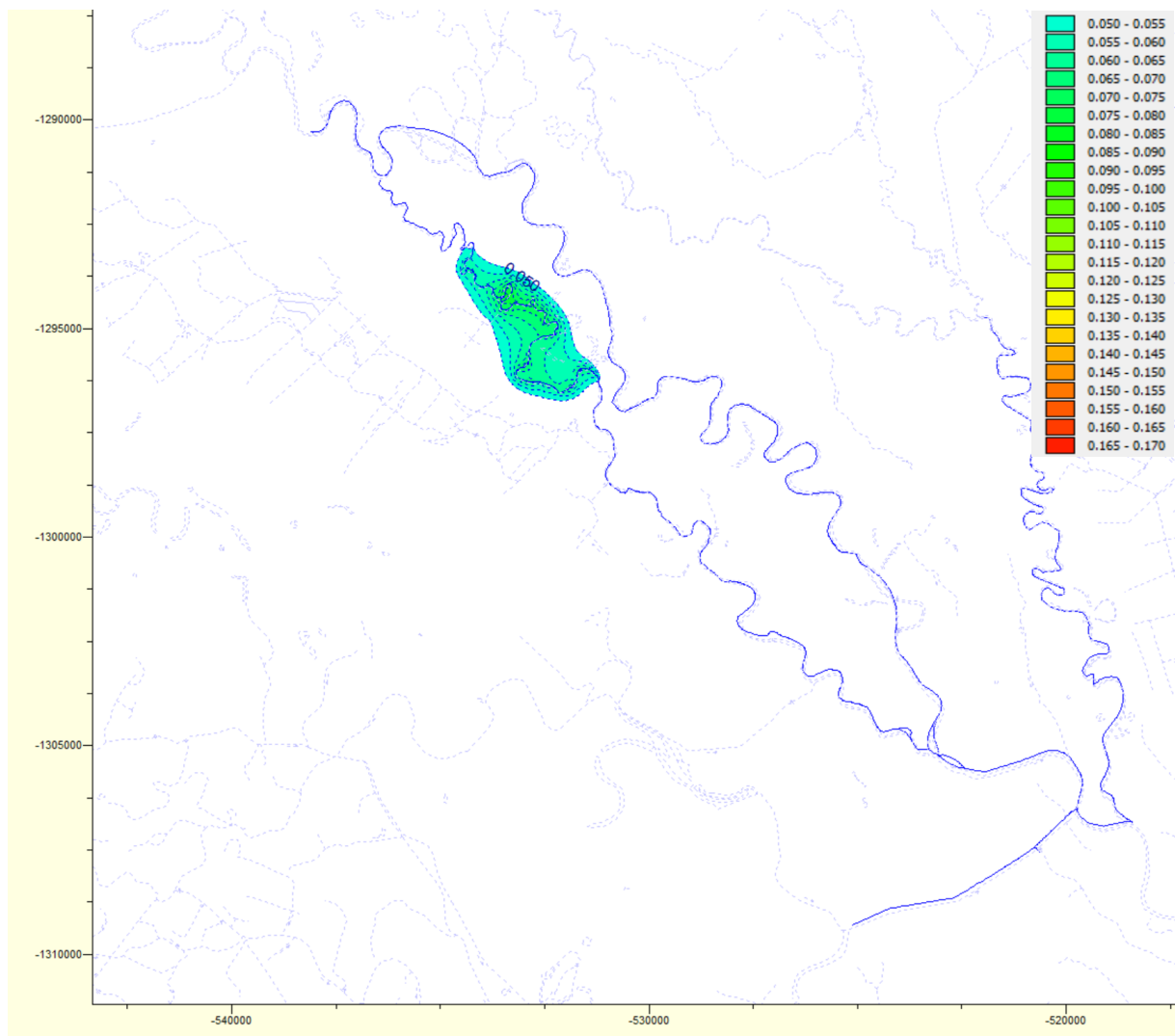
Obr. 90. Simulovaná hladina podzemnej vody (m n.m.) pre Variant 2 – dotácia prietoku v Klátovskom ramene $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Varianta 3 – odpovedá priemernej hladine podzemnej vody, priemerným zrážkam na danej lokalite a zmenenej hladine v Klátovskom ramene za predpokladu dotácie prietoku $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledok simulácie hladiny podzemnej vody pre Varianta 3 je znázornený na obr. 91.

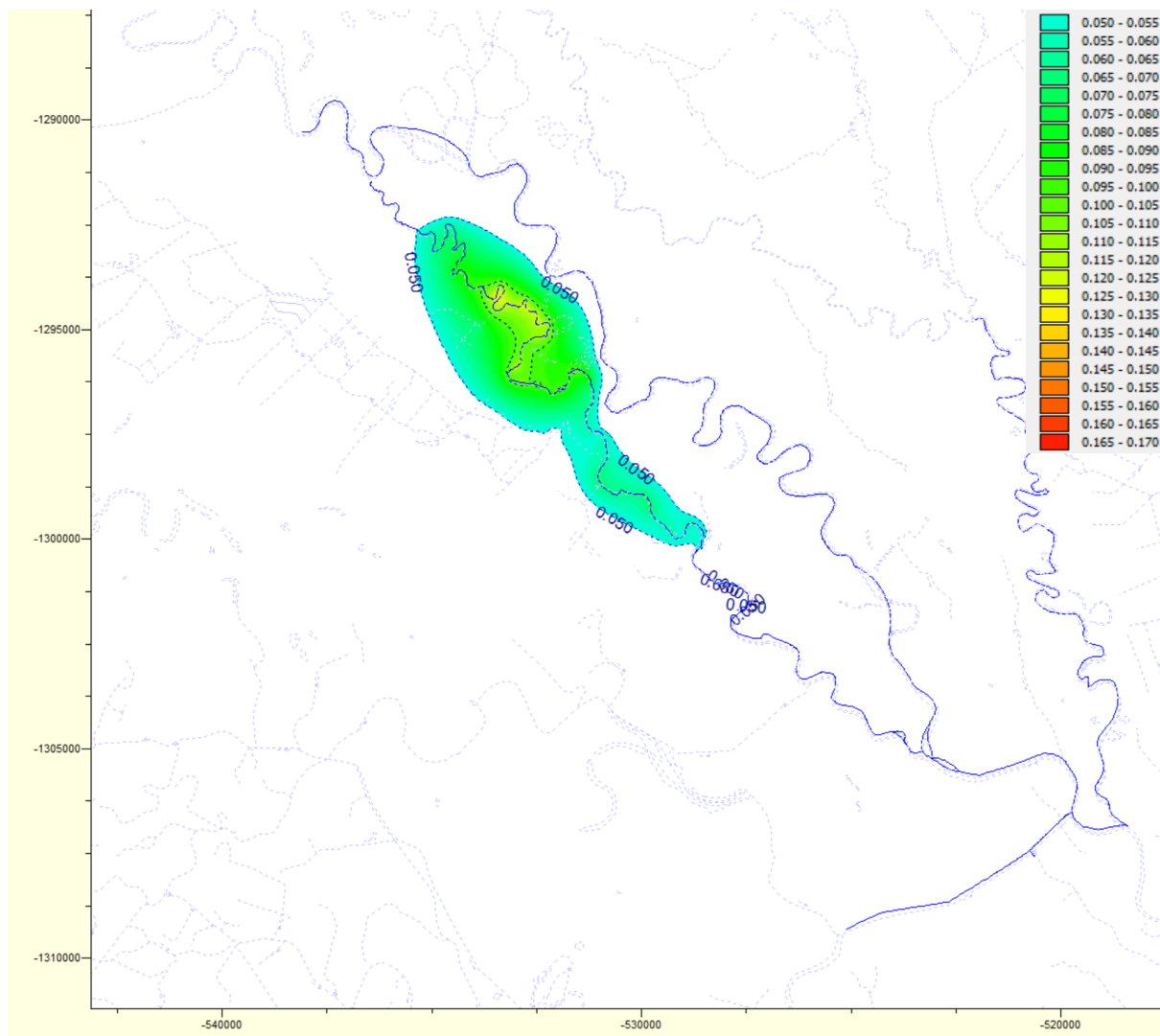


Obr. 91. Simulovaná hladina podzemnej vody (m n. m.) pre Varianta 3 – dotácia prietoku v Klátovskom ramene $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

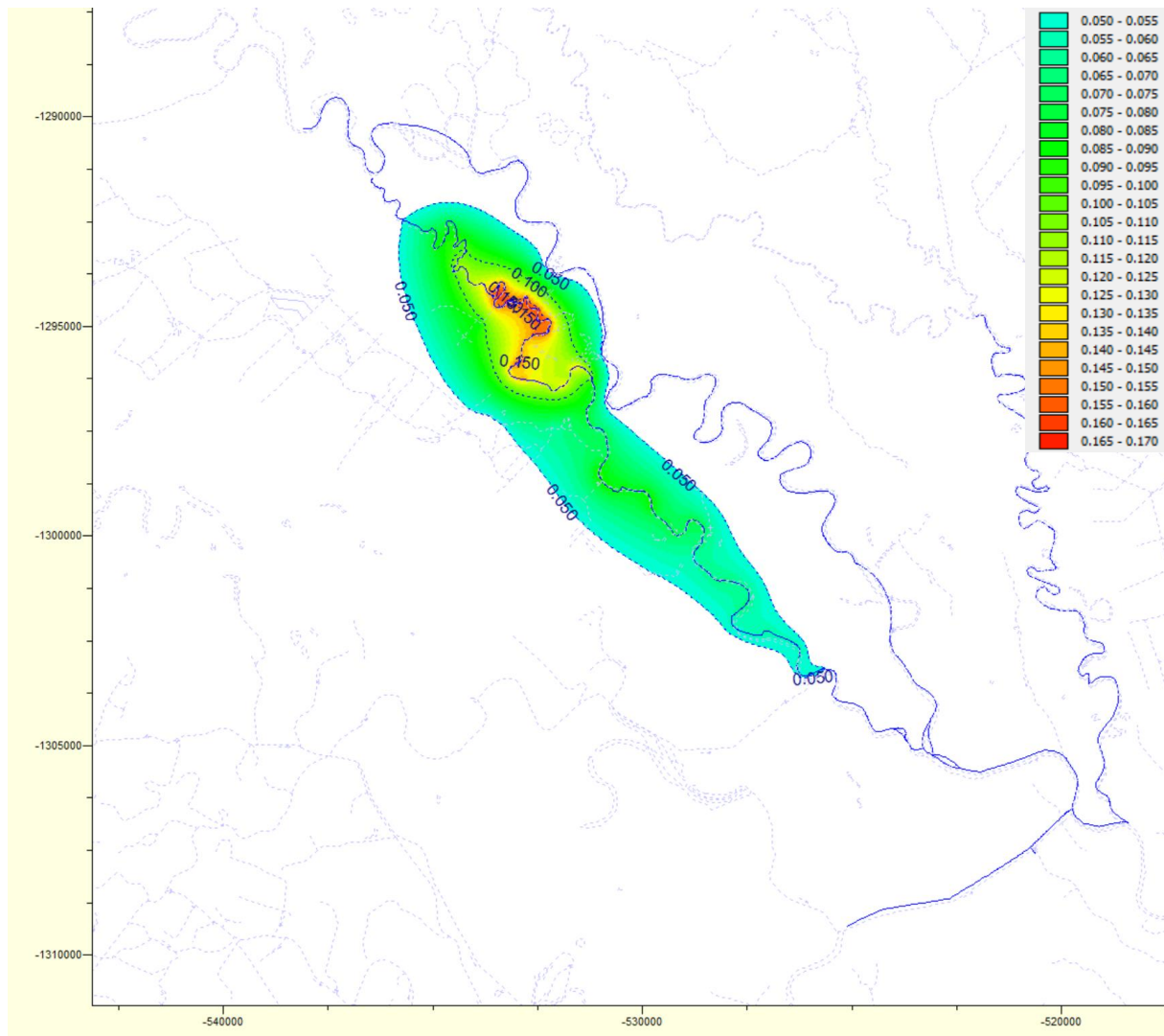
Nakoľko rozdiely medzi jednotlivými variantami sú tak minimálne, bolo vhodné určiť rozdiely hladín vypočítaných pre jednotlivé varianty vzhľadom na súčasnosť, teda Variant 0. Tieto zmeny v hladine podzemnej vody sú postupne znázornené na nasledovných obrázkoch obr. 92, obr. 93 a obr. 94.



Obr. 92. Rozdiel hladín podzemnej vody (m) pre Variant 1 a Variant 0.



Obr. 93. Rozdiel hladín podzemnej vody (m) pre Variant 2 a Variant 0.



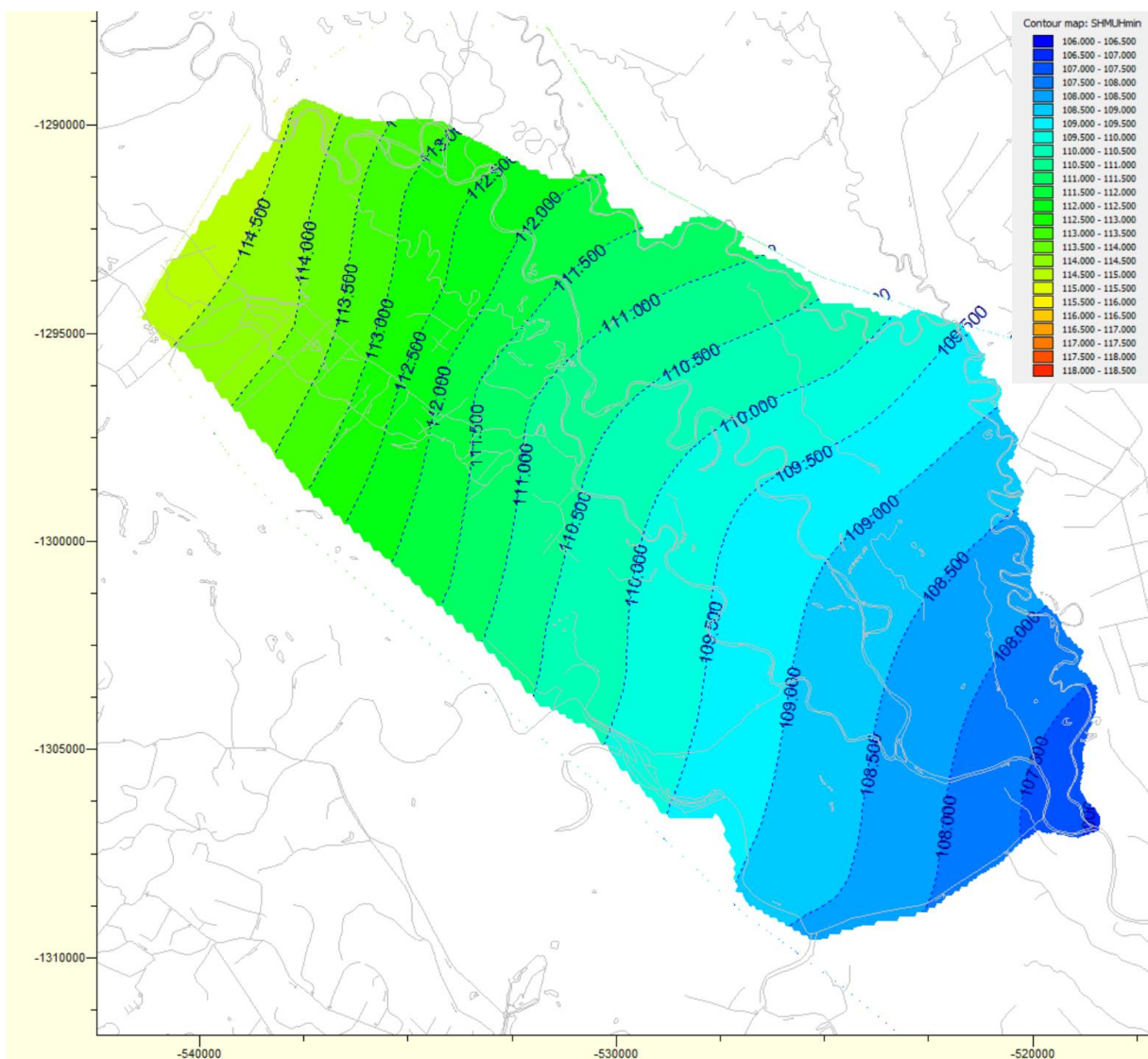
Obr.94. Rozdiel hladín podzemnej vody (m) pre Variant 3 a Variant 0.

Ako vidno z obrázkov obr. 92, obr. 93 a obr. 94 je vplyv dotácie vody do Klátovského ramena na hladinu podzemnej vody zanedbateľný. Pri dotácii až $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sa hladina môže zvýšiť v príbrežnej oblasti maximálne o 20 cm. Pokúsili sme sa preto zistiť, aký vplyv by malo odstránenie nánosov dna v hornej časti Klátovského ramena na hladinu podzemnej vody. Numericky to znamená, že sme zmenšili infiltračný odpor dna z 2 dní na desatinu (0,2 dňa), t. j. predpokladali sme, že dno Klátovského ramena by bolo priepustnejšie.

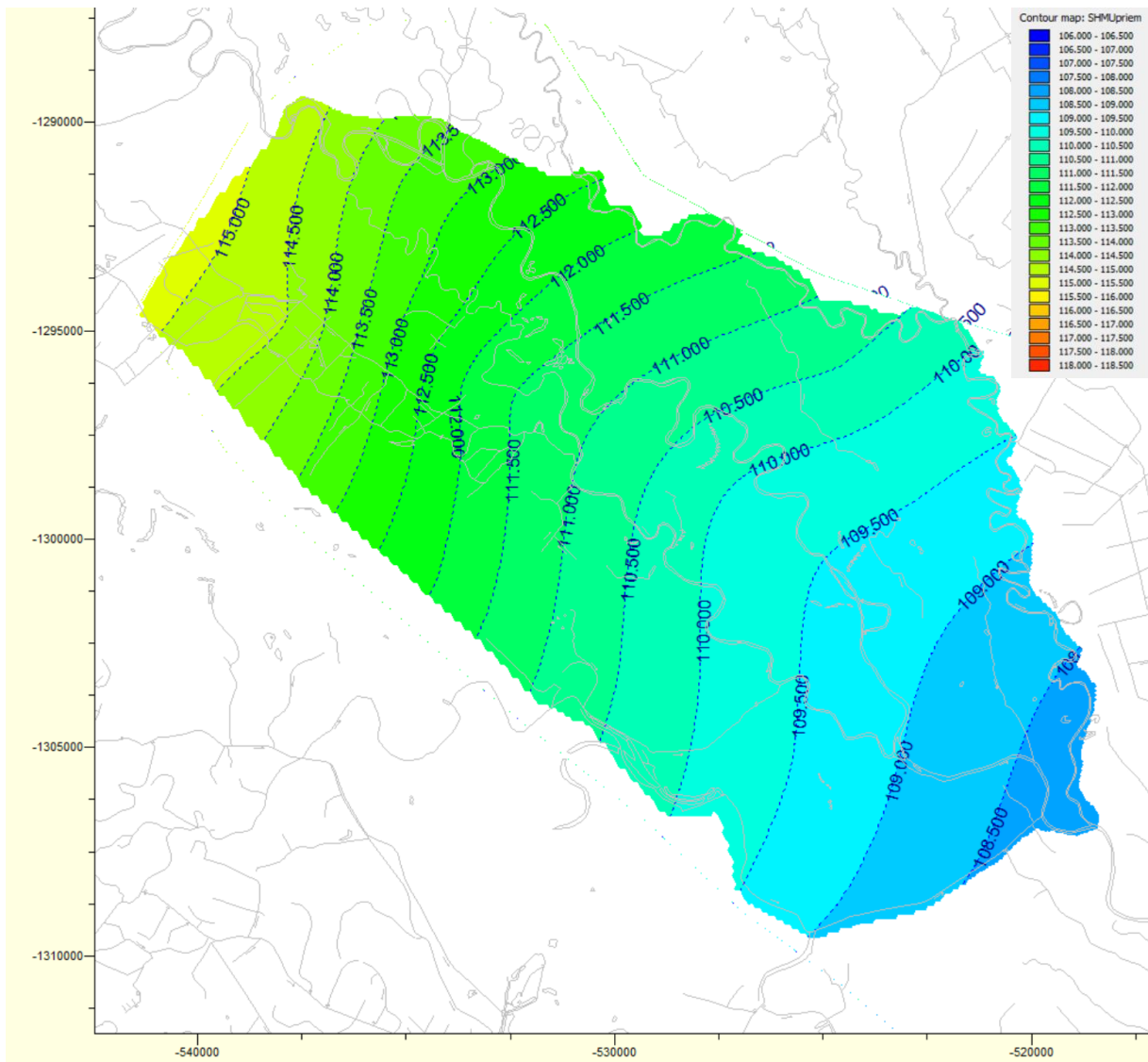
Obrázky odpovedajúce uvedeným výpočtom neuvádzame, nakoľko tento vplyv by bol rovnako malý pre všetky 3 varianty. Je to možno vysvetliť tým, že piezometrická hladina, interpolovaná z priemernej hladiny podzemnej vody v sondách základnej pozorovacej siete vrtov SHMÚ, sa v prevažnej časti Klátovského ramena nachádza nad hladinou v Klátovskom

ramene, a preto Klátovské rameno môže dotovať podzemné vody len na veľmi obmedzenom úseku toku.

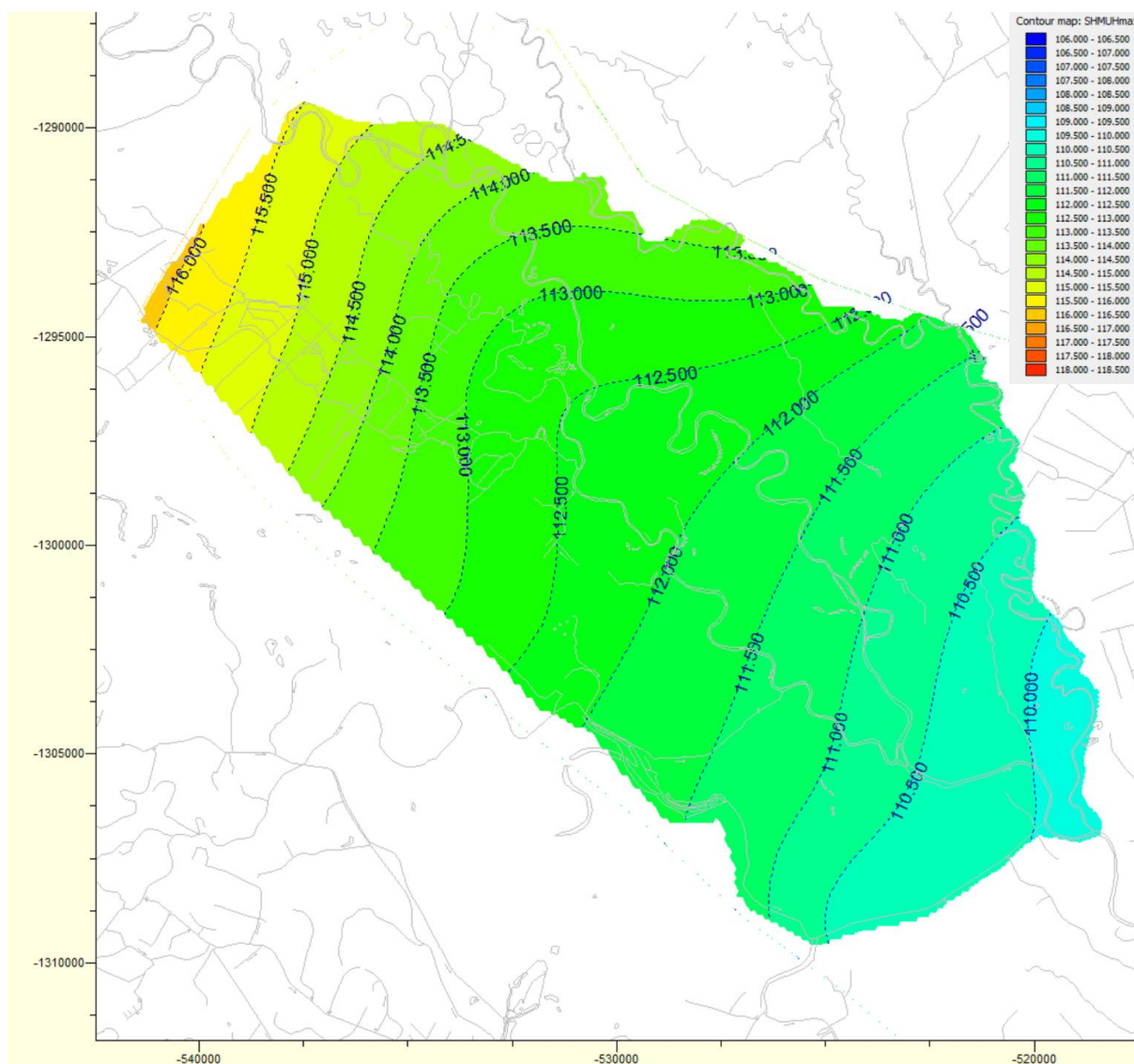
Pre informáciu uvádzame priebehy interpolovanej hladiny podzemnej vody, resp. hydroizohypsy piezometrickej hladiny podzemnej vody v sondách základnej pozorovacej siete vrtov SHMÚ, a to pre minimálnu, priemernú a maximálnu hodnotu za 20 ročné obdobie pozorovaní. Je nutné podotknúť, že takéto stavy hladiny podzemnej vody nenastanú nikdy na celom území. Na Obr. sú znázornené hydroizohypsy pre minimálne hladiny, na obr. 96 sú znázornené hydroizohypsy pre priemerné hladiny a na Obr. 7 sú znázornené hydroizohypsy pre maximálne hladiny.



Obr. 95. Priebeh interpolovanej piezometrickej hladiny podzemnej vody v sondách základnej pozorovacej siete vrtov SHMÚ – minimálny stav.



Obr. 96. Priebek interpolovanej piezometrickej hladiny podzemnej vody v sondách základnej pozorovacej siete vrtov SHMÚ – priemerný stav.



Obr. 97. Priebek interpolovanej piezometrickej hladiny podzemnej vody v sondách základnej pozorovacej siete vrtov SHMÚ – maximálny stav.

ZÁVER

V rámci riešenia projektu **Zlepšenie stavu mokrade NPR Klátovské rameno na území SKUEV0075** (Kód projektu ACC04P05) vypracovala Stavebná fakulta STU v Bratislave ako spoluriešiteľské pracovisko v rámci Aktivity č. 2 **Vodohospodársko – environmentálnu štúdiu**, ktorej cieľom bolo poukázať na možnosti hydraulického riešenia zlepšenia prietokového a hladinového režimu vody v Klátovskom ramene a jeho okolí za účelom celkového zlepšenia stavu mokradných biotopov stojatých vôd, mokradí a lužných lesov v Národnej prírodnej rezervácii (NPR) Klátovské rameno.

Tomuto cieľu boli podrobené všetky aktivity riešiteľského kolektívu, od terénnych meraní in situ až po teoretické numerické výpočty, z ktorých vyplynuli navrhované technické riešenia dotácie Klátovského ramena z Malého Dunaja filtráciou cez sedimentačné nádrže, ktoré by

boli umiestnené vo vyschnutej časti horného úseku samotného ramena. Aj z toho dôvodu boli počiatky sústredené na bodové infiltračné pokusy metódou koncentrických (sústredných) vsakovacích valcov, ktoré dali výpoveď o intenzite vsakovania povrchovej vody do podložia koryta Klátovského ramena. Na základe týchto meraní bol navrhnutý samostatný vsakovací veľkopokus napúšťania malodunajskej vody do Klátovského ramena, ktorý by v plnej miere dokázal smer prúdenia vsakujúcej vody v blízkom okolí Klátovského ramena a s tým súvisiace následné opatrenia na dotáciu samotného ramena. Realizácia tohto pokusu nebola predmetom projektu a pristúpi sa k nemu pri projektovaní samotného odberného objektu z Malého Dunaja za súčinnosti pracovníkov SVP, š. p.

Veľmi dôležitým podkladom pre naše hydraulické výpočty bol digitálny model terénu prevzatý zo Základnej bázy údajov pre geografický informačný systém (ZBGIS), ktorý bol v rámci riešenia projektu doplnený o údaje z podrobného digitálneho zamerania koryta Klátovského ramena a s tým súvisiacou batymetriou (meraniami hĺbok vody v Klátovskom ramene). Až potom, ako sme dokázali zostaviť v GIS prostredí 2-D matematický model prúdenia vody v Klátovskom ramene, ktorý bol postupne nakalibrovaný vďaka ďalším terénnym meraniam zameraným na prietokový a hladinový režim v jednotlivých profiloch na Klátovskom ramene a jeho prítokoch, bolo možné vytvoriť potrebné scenáre dotácie vody do Klátovského ramena a s tým súvisiace možné morfológické úpravy koryta za účelom zlepšenia rýchlostného režimu toku s cieľom rozšírenia prúdivých biotopov pre prúdomilné druhy v ÚEV a uvedenia dnových sedimentov v toku do pohybu. Pri ich zostavení riešitelia úzko spolupracovali so ŠOP, a najmä s externým konzultantom SVP RNDr. Drugom, ktorý svojím odborným úsilím usmerňoval práce matematického modelovania na katedre hydrotechniky.

Navrhované riešenia boli v súlade so závermi štúdie hydrobiológov z SAV (AQREMON, 2024), ktorá na základe analýzy štruktúry populácií a spoločenstiev akvatickej fauny a flóry v NPR Klátovské rameno potvrdila, že revitalizačné opatrenia majú vysoký potenciál pre zlepšenie ekologického stavu a obnovenie dynamiky vodného režimu v dotknutom území, čo by znamenalo aspoň priblíženie sa environmentálnym podmienkam, aké v Klátovskom ramene existovali pred tým, než bolo umelo prehradené a tým pádom odrezané od toku Malého Dunaja.

Výsledky namodelovaných scenárov zlepšenia prietokového a hladinového režimu boli doplnené o možnosti stanovenia vplyvu realizácie lokálnych usmerňovacích stavieb, resp. umelých ostrovov, ktorých úlohou bolo zvýšenie rýchlosti vodného prúdu a s ňou spojenej unášacej schopnosti splavenín a sedimentov v koryte Klátovského ramena. Najlepším

dôkazom je samotná realizácia pilotného ostrova a pilotnej štrkovej lavice v obci Trhová Hradská.

Čas ukáže, kedy dôjde k realizácii dotácie Klátovského ramena vodou z Malého Dunaja, a akým množstvom vody sa bude v konečnom dôsledku rameno dotovať, ale som presvedčený, že pomôže akékoľvek množstvo vody pri ďalších návrhoch úpravy koryta Klátovského ramena so súčasným sprietočnením existujúcich presypov, ktoré tvoria najväčšiu prekážku prúdiacej vody v Klátovskom ramene.

POUŽITÁ LITERATÚRA A PODKLADY

AQREMON, 2024: Analýza štruktúry populácií a spoločenstiev akvatickej fauny a flóry v NPR Klátovské rameno s predikciou dôsledkov navrhovaných revitalizačných opatrení. Revitalizácia Klátovského ramena – záverečná správa k projektu, 49 s.

ATLAS KRAJINY SLOVENSKEJ REPUBLIKY 1. Vyd. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR: Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia, 2002, 344 s.

BENKOVÁ, K. a kol., 2005: Základná hydrogeologická mapa Podunajskej roviny – Žitného ostrova a pravobrežia Dunaja v mierke 1:50 000 Bratislava: ŠGÚDŠ, 267 s.

FAŠKO, P. – ŠŤASTNÝ, P., 2022: Klimatické oblasti. Atlas krajiny Slovenskej republiky, 2002, 95 s.

GYALOKAY, M., 1960: Odvodnenie Žitného ostrova, Práce a štúdie 11, VÚVH Bratislava, 128 s.

GYALOKAY, M., 1972: Ochrana Žitného ostrova pred vodami. Práce a štúdie 62, VÚVH Bratislava, 217 s.

GEOMAD, 2024:

HEC-RAS, 2016: Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, Reference Manual, U.S, Army Corps of Engineers, Davis, CA, 538 s.

KULLMAN a kol., 2017: Hydrologická ročenka, Podzemné vody 2016, Vydavateľstvo SHMÚ, Bratislava, 2017, 258 s.

LEŠKOVÁ, D. – MAJERČÁKOVÁ, O., 2002: Hydrologická časť, Atlas krajiny Slovenskej republiky, 95 s.

MAPOVÝ KLIENT ZBGIS - <https://www.geoportal.sk/sk/sluzby/aplikacie/mapovy-klient-zbgis/>

- MAPOVÝ PORTÁL: Hydrogeologické mapy - <https://apl.geology.sk/mappointal/#/aplikacia>
- MAZÚR, E. a M. LUKNIŠ. 1986: Geomorfologické členenie SSSR a ČSSR časť Slovensko, Bratislava: Slovenská kartografia, n. p., 1986.
- ROYAL HASKONING, 2002: Triwaco a simulation package for groundwater, Version 3.0 internal release Royal Haskoning Division Water, Rotterdam, Netherlands.
- SVP, š.p., 2003: Projektová dokumentácia k objektom na Klátovskom ramene.
- ŠIMO, E.- ZAŤKO, M., 2002: Podzemná voda, Atlas krajiny Slovenskej republiky.
- ŠOLTÉSZ, A – BAROKOVÁ, D., 2018.: Zvýšenie bezpečnosti územia proti spätnému vzdutiu Malého Dunaja a Klátovského ramena z Váhu I., II. a III. etapa – Numerická analýza a prognóza prúdenia podzemných vôd. Záverečná správa, KHTE, SvF STU v Bratislave, 97 s.
- TRIWACO User's manual, Triwaco 3.x, 18 November 2004, Final Report www.triwaco.com.
- VARGA, P., 2022: Klátovské rameno – minulosť, prítomnosť a budúcnosť. Power pointová prezentácia, SVP, 37 s.
- VASS, D. a kol., 1988: Regionálne – geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov panónskej panvy na území ČSSR M 1:500 000. Bratislava: ŠGÚDŠ.
- VIEST, D. – JIROUSEK, A., 2028: Vodné družstvá na Slovensku. Zvláštny odtisk zo zprávy o činnosti štátnej zemedelsko-technickej služby na Slovensku v rokoch 1918 – 1927. Slovenská Grafia, Bratislava, 64 s.