



GEOSPEKTRUM s.r.o.



ZÁVEREČNÁ SPRÁVA

Názov geologickej úlohy:

Posúdenie a návrh lokalizácie a parametrov
PTS pre ochrannú hrádzu v km 4,1-10,7
Biskupického kanála - pod VE Kostolná

Objednávateľ geologických prác:

Cabex s.r.o.

Etapa geologického prieskumu:

podrobný IG a doplnkový HG prieskum

Číslo geologickej úlohy:

2216

Evidenčné číslo:

700/2022

Zhotoviteľ geologických prác:

GEOSPEKTRUM s.r.o.

Zodpovedný riešiteľ:

RNDr. Ján Dzúrik

Spoluriešiteľ:

RNDr. Juraj Tomana

RNDr. Tibor Kovács

Ing. Denis Dobránsky

RNDr. Ivan Jakubis

RNDr. Jaroslav Buša, PhD.

Dátum vyhotovenia:

10.12.2022

Počet exemplárov:

6

Za GEOSPEKTRUM s.r.o.:

RNDr.
konateľ spoločnosti

BRATISLAVA 2022

OBSAH

1.	Cieľ geologickej úlohy a údaje o území.....	3
1.1.	Úvod	3
1.2.	Vymedzenie geologickej úlohy.....	6
2.	Charakteristika prírodných pomerov	6
2.1.	Geomorfologická charakteristika	6
2.2.	Hydrologická charakteristika	8
2.3.	Klimatická charakteristika	12
2.4.	Doterajšia preskúmanosť územia	14
2.5.	Geologická a tektonická stavba územia	15
2.5.1.	Bradlové pásmo.....	16
2.5.2.	Považský Inovec.....	16
2.5.3.	Trenčianska kotlina	17
2.5.4.	Geodynamické javy	21
2.6.	Hydrogeologické pomery	22
3.	Výsledky prieskumných prác.....	32
3.1.	Vrtné práce.....	32
3.2.	Dynamické penetračné skúšky	32
3.3.	Vzorkovacie práce	33
3.4.	Laboratórne práce	33
3.5.	Geodetické zameranie vrtov a penetračných sond	33
3.6.	Spôsob likvidácie prieskumných diel.....	34
4.	Inžinierskogeologické a hydrogeologické pomery	34
4.1.	Inžinierskogeologické pomery	34
4.2.	Hydrogeologické pomery.....	36
5.	Matematické modelovanie	47
5.1.	Použitie programové nástroje na modelovanie	48
5.1.1.	Program MODFLOW	48
5.1.2.	Program PEST.....	48
5.2.	Vymedzenie modelového územia a výpočtová sieť	48
5.3.	Kalibrácia modelového riešenia.....	51
5.4.	Výpočty kalibrovaným modelom.....	53
5.4.1.	Modelovanie účinku štyroch úplne zapustených podzemných stien - po zvýšení hladiny vo Váhu na 100 ročnú vodu	54
5.4.2.	Modelovanie účinku dvoch podzemných stien po zvýšení hladiny vo Váhu.....	61
6.	Záver	74
7.	Údaje o uložení geologickej dokumentácie	75
8.	Zoznam použitej literatúry	76

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č. 1	Situácia prieskumných diel
Príloha č. 2	Geologicko-technický náčrt vrtov
Príloha č. 3	Geologická dokumentácia a fotodokumentácia vrtov
Príloha č. 4	Geologická dokumentácia archívnych vrtov
Príloha č. 5	Výsledky z laboratória mechaniky zemín a z analýz chémie vôd
Príloha č. 6	Vyhodnotenie dynamických penetračných skúšok
Príloha č. 7	Inžinierskogeologické profily

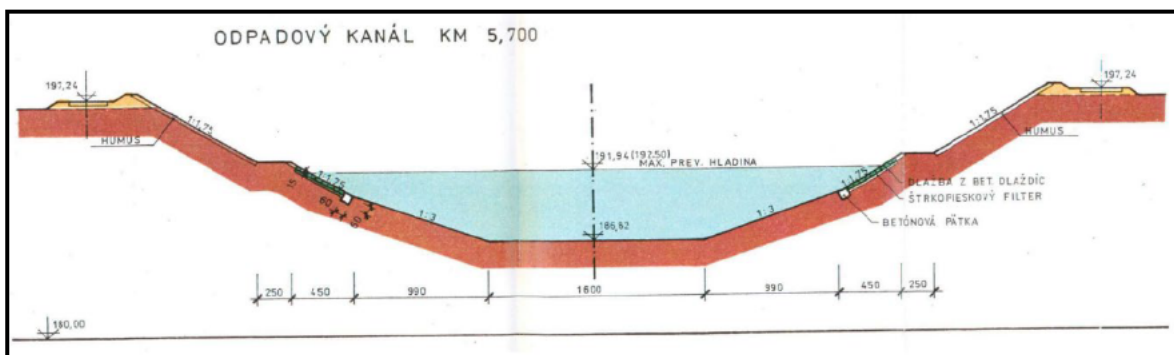
1. Cieľ geologickej úlohy a údaje o území

1.1. Úvod

Predkladaná záverečná správa dokumentuje a zhodnocuje výsledky podrobného inžinierskogeologického a doplnkového hydrogeologického prieskumu úlohy: „Posúdenie a návrh lokalizácie a parametrov PTS pre ochrannú hrádzu v km 4,1-10,7 Biskupického kanála - pod VE Kostolná“ [PTS – protipovodňová tesniaca stena]. Práce boli vykonané na základe objednávky od spoločnosti Cabex s.r.o. zo dňa 15.8.2022.

V oblasti VE (vodnej elektrárne) Kostolná v úseku 4,1 – 10,7 km boli zistené poruchy na ľavom svahu Biskupického kanála – odpadový kanál [⇒ tab. č. 1], ktorý je v tomto úseku zahĺbený do pôvodného terénu. Vzorový priečný rez odpadového kanála v riešenom úseku km 5,700 je na ⇒ obr. č. 1.

Obr. č. 1 Vzorový priečný rez odpadového kanála v riešenom úseku

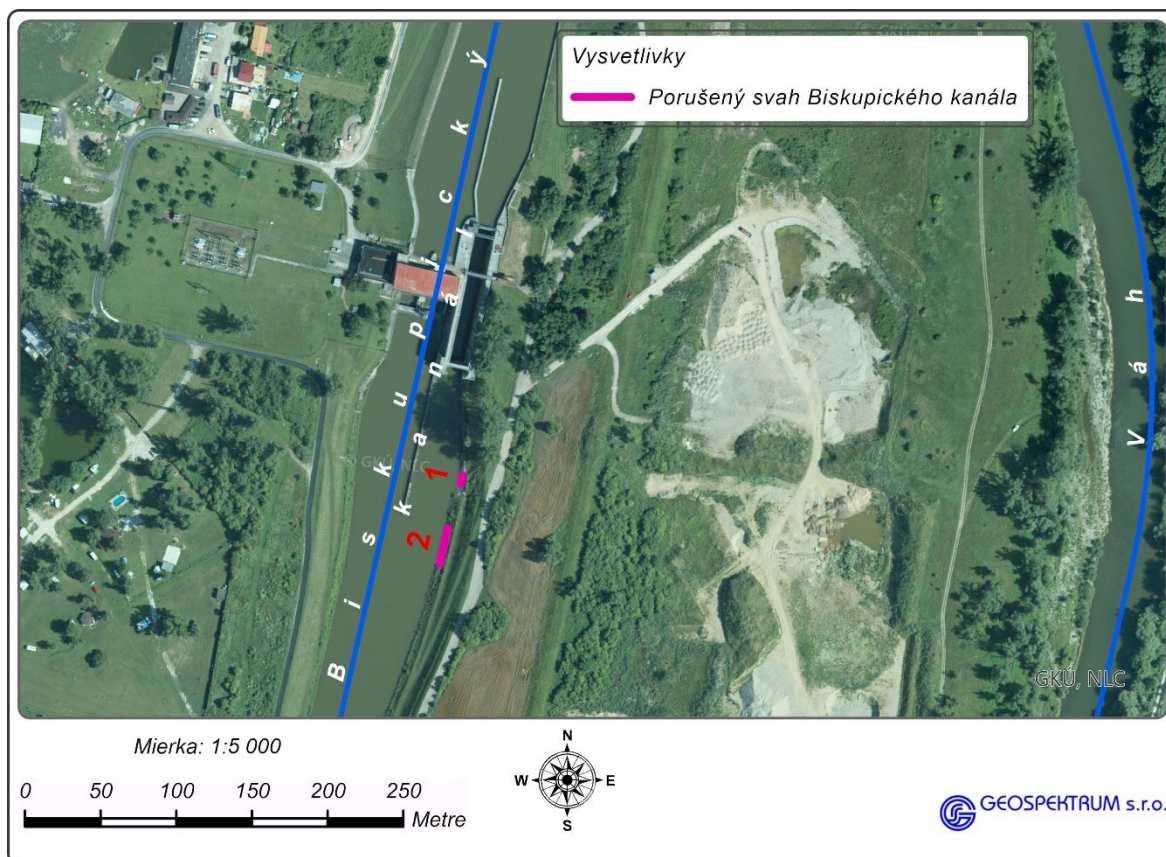


Tab. č. 1 Lokalizácia a popis porušenia svahu kanála

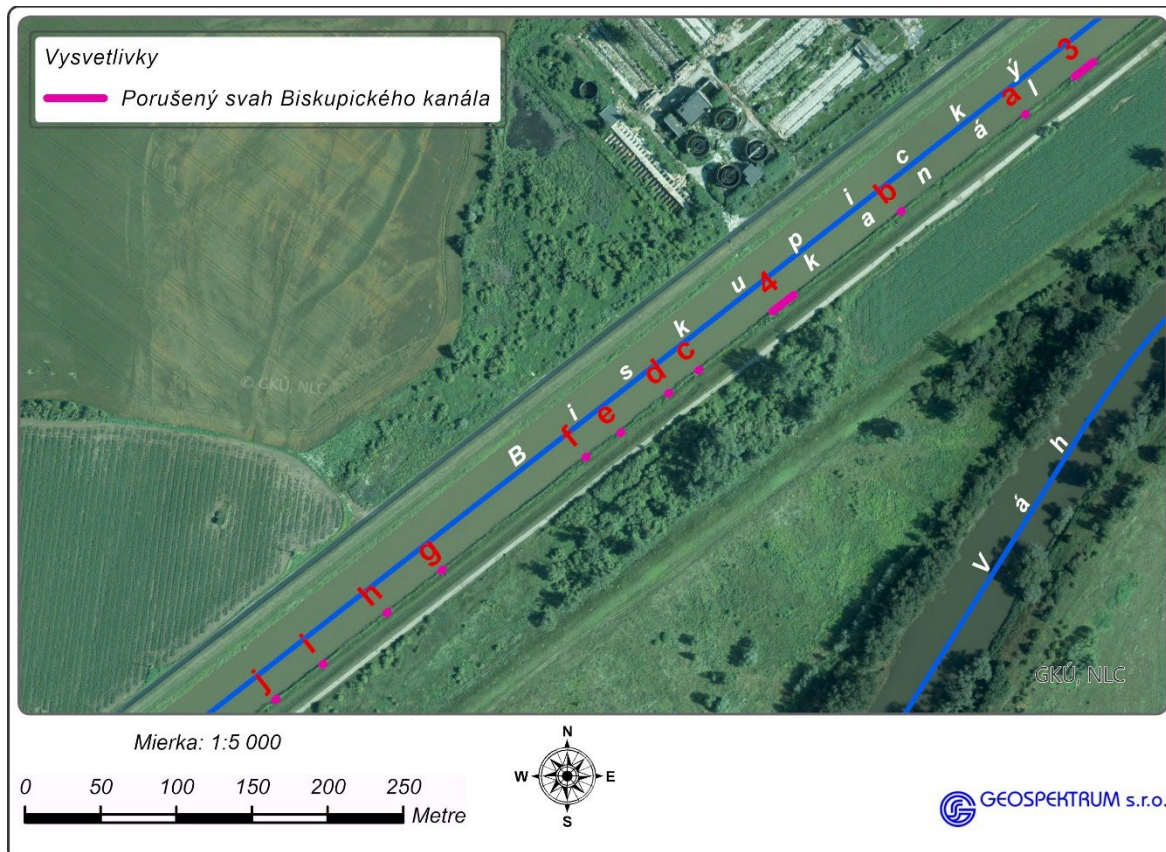
Číslo	Staničenie	Dĺžka (m)	Plocha (m ²)	Stupeň poškodenia
1	ZÚ km 4,9242 KÚ km 4,9300	5,8	28,18	vypadnuté pôvodné dlaždice a kameň na časti svahu, výmoľ
2	ZÚ km 4,9608 KÚ km 4,9851	24,3	47,11 16,03 12,22	sadnutý svah, vyplavený podklad, uvoľnené dlaždice
3	ZÚ km 7,0568 KÚ km 7,0730	16,2	50,22	chýbajúce dlaždice na svahu a čiastočne zosunuté vo vode, poškodená päta, výmoľ nad max. hladinu
a	km 7,1135			vyduté dlaždice, rozobraté ale nezosunuté
b	km 7,2179			rozobraté a zosunuté dlaždice a poškodený svah - výmoľ
4	ZÚ km 7,3082 KÚ km 7,3255	17,3	45,95	chýbajúce dlaždice na svahu a čiastočne zosunuté vo vode, poškodená päta, výmoľ nad max. hladinu
c	km 7,3887			už sanovaný svah čiastočne zosunutý do OK
d	km 7,4133			vyduté dlaždice nezosunuté, svah už sanovaný nad max. hl. vymletý
e	km 7,4541			sadnutý svah, vyplavený podklad ale uloženie dlaždíc neporušené
f	km 7,4819			už sanovaný svah, čiastočne rozobratá dlažba
g	km 7,6027			vyduté dlaždice na svahu, nerozrušené
h	km 7,6490			vyduté dlaždice na svahu, nerozrušené a už sanovaný svah
i	km 7,7039			už sanovaný svah nad max. hl. vymletý
j	km 7,7405			vyduté dlaždice na svahu, doposiaľ nerozrušené
k	km 7,7689			vyduté dlaždice na svahu, nerozrušené a už sanovaný svah
5	ZÚ km 7,8769 KÚ km 7,8921	15,2	37,21	chýbajúce dlaždice na svahu a všetky zosunuté vo vode, poškodená päta, výmoľ nad max. hladinu
6	ZÚ km 7,9409 KÚ km 7,9540	13,1	26,39	chýbajúce dlaždice na svahu a čiastočne zosunuté vo vode, poškodená päta, výmoľ po max. hladinu
1	km 7,9894			sadnutý svah, vyplavený podklad, uvoľnené dlaždice
7	ZÚ km 8,0343 KÚ km 8,0805	46,2	129,59	chýbajúce dlaždice na svahu a všetky zosunuté vo vode, poškodená päta, výmoľ nad max. hladinu
8	ZÚ km 8,0911 KÚ km 8,1082	17,1	38,42	chýbajúce dlaždice na svahu a všetky zosunuté vo vode, poškodená päta, výmoľ nad max. hladinu
9	ZÚ km 8,1744 KÚ km 8,1973	22,9	50,52	chýbajúce dlaždice na svahu a čiastočne zosunuté vo vode, poškodená päta, výmoľ po max. hladinu
10	ZÚ km 8,2083 KÚ km 8,2410	32,7	105,6	chýbajúce dlaždice na svahu a všetky zosunuté vo vode, poškodená päta, výmoľ nad max. hladinu

Vysvetlivky: ZÚ – začiatok úseku; KÚ – koniec úseku

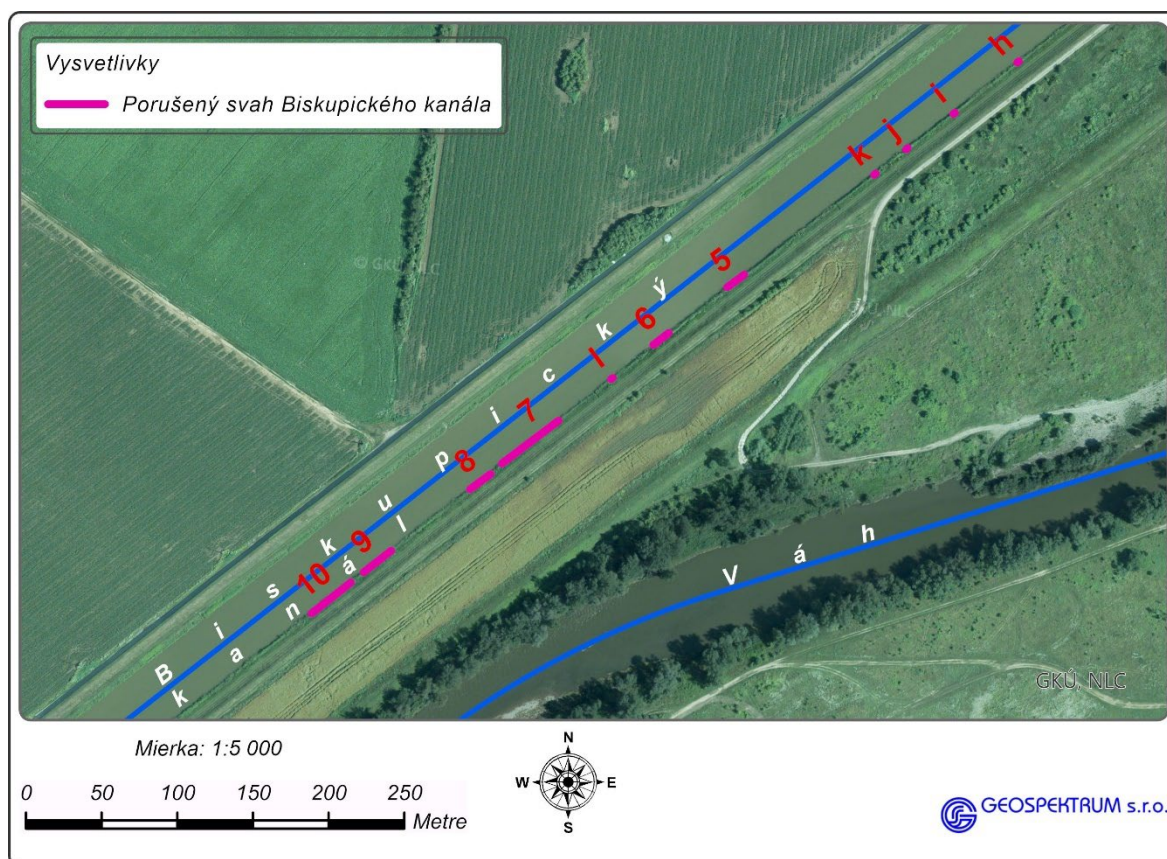
Obr. č. 2 Lokalizácia porušeného svahu kanála úsek č. 1 a 2



Obr. č. 3 Lokalizácia porušeného svahu kanála úsek č. 3 a 4



Obr. č. 4 Lokalizácia porušeného svahu kanála úsek č. 5 až 10



Inžinierskogeologické a hydrogeologické prieskumné práce boli realizované za účelom overenia príčin porušenia svahu odpadového kanála a posúdenia navrhovanej protipovodňovej tesniacej steny ochrannej hrádze. Pre objektívne zhodnotenie sme realizovali 3 inžinierskogeologické vrty, z ktorých 2 boli zabudované ako pozorovacie objekty úrovne hladiny podzemnej vody. Inžinierskogeologické vrty boli doplnené o 4 penetračné sondy. Pre detailné zhodnotenie prúdenia podzemných vôd sme použili matematické modelovanie prúdenia podzemných vôd širšieho okolia.

K spracovaniu nám boli poskytnuté od objednávateľa nasledovné podklady:

- ⇒ grafický podklad - situácia, pozdĺžny a priečne rezy v programe AutoCad;
- ⇒ manipulačný poriadok pre vodnú stavbu II. Vážska kaskáda Trenčianske Biskupice, Kostolná, Nové Mesto nad Váhom, Horná Streda;
- ⇒ etapová správa o dohľade za obdobie rokov 2019 – 2020;
- ⇒ výpočty povodňových stavov na Váhu.

Predkladaná záverečná správa je vypracovaná v súlade so zákonom NR SR č. 569/2007 Z.z. o geologických prácach (geologický zákon) a vyhláškou MŽP SR č. 51/2008 Z.z., ktorou sa vykonáva geologický zákon.

1.2. Vymedzenie geologickej úlohy

Časť Biskupického kanála v úseku km 4,1 – 10,7 sa nachádza v zmysle územnosprávneho členenia na území Trenčianskeho kraja, v okrese Trenčín a na území 6 obcí.

Názov a číselný kód samosprávneho kraja:	Trenčiansky	[3]
Názov a číselný kód okresu:	Trenčín	[309]
Názov a číselný kód obcí:	Opatovce	[506371]
	Veľké Bierovce	[506656]
	Rozvadze	[545741]
	Zemianske Lieskové	[545686]
	Melčice	[545686]
	Ivanovce	[506095]
Názov a číslo k. ú.:	Opatovce	[843873]
	Veľké Bierovce	[867942]
	Rozvadze	[852929]
	Zemianske Lieskové	[873063]
	Melčice	[836664]
	Ivanovce	[821471]

Územie sa rozprestiera v Trenčianskej kotline a nachádza sa na mapovom liste 35-12 Horná Súča a 35-14 Nové Mesto nad Váhom v mierke 1:50 000.

Situácia územia v mierke 1:50 000 je na ⇒ obr. č. 5.

2. Charakteristika prírodných pomerov

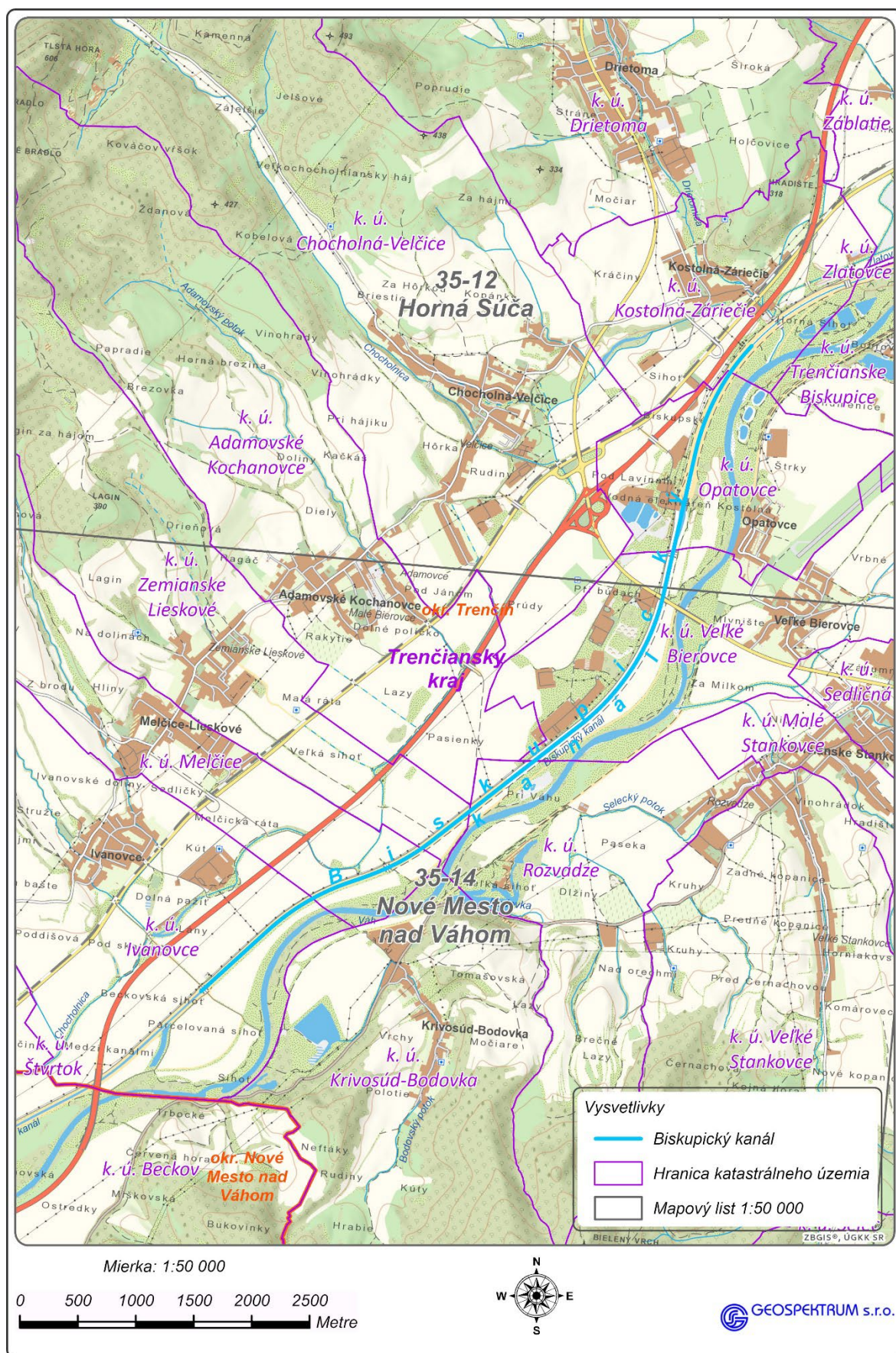
2.1. Geomorfologická charakteristika

Na základe regionálneho geomorfologického členenia [(Mazúr & Lukniš, 1986); (Kočícký & Ivanič, 2011)] sa vymedzená oblasť nachádza v provincii Západné Karpaty, subprovincii Vonkajšie Západné Karpaty, oblasti Slovensko-moravské Karpaty, celku Považské podolie, podcelku Trenčianska kotlina [⇒ obr. č. 6].

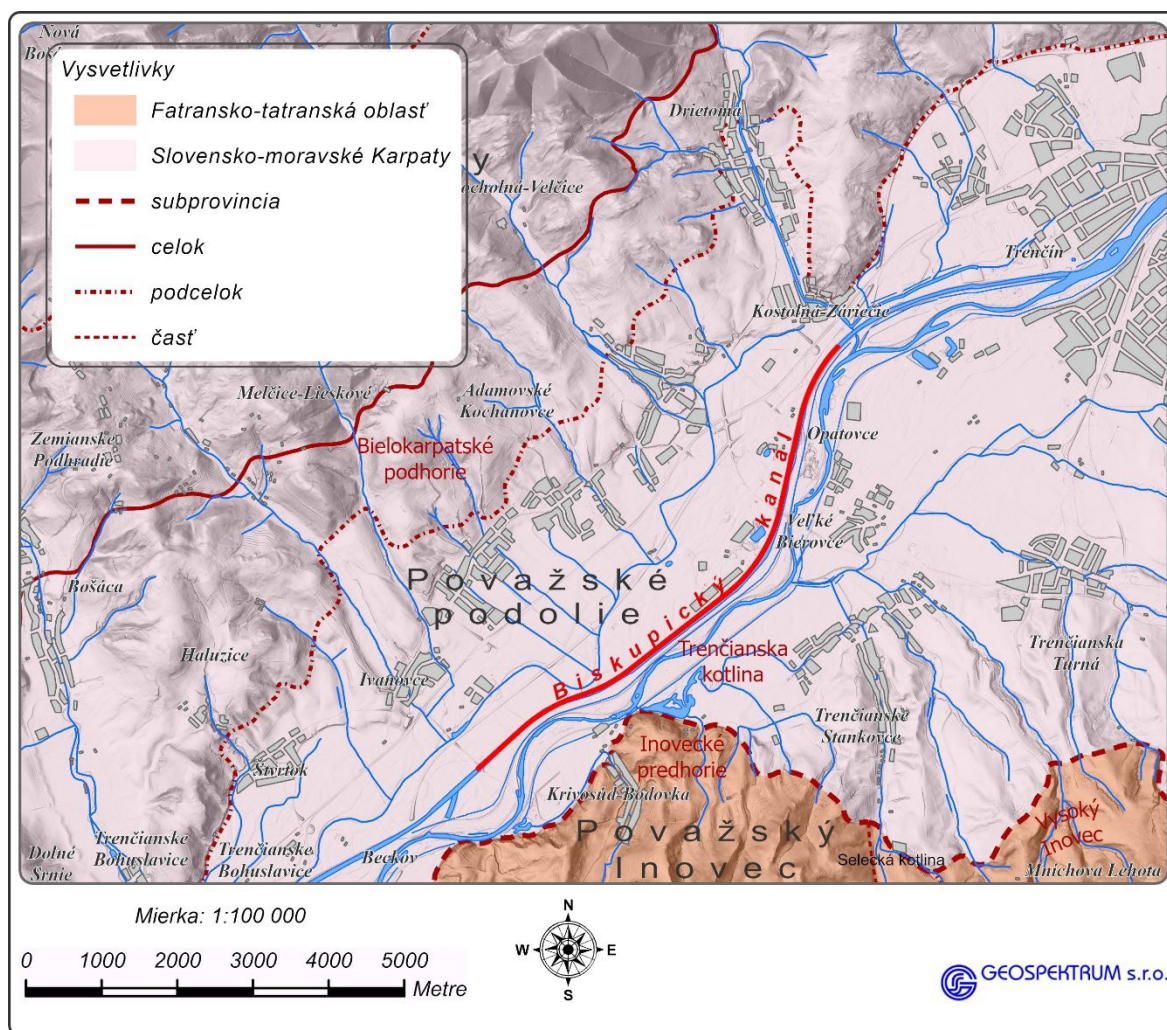
Trenčianskou kotlinou preteká rieka Váh, pozdĺž ktorej sa vyvinula plochá údolná niva premenlivej šírky. Vo vymedzenej oblasti sa jej šírka pohybuje v rozmedzí $\approx$ 2-5 km. Nadmorská výška terénu v kotline v okolí Biskupického kanála dosahuje $\approx$ 190-200 m n. m. Konfigurácia údolnej nivy je výsledkom mladej zlomovej tektoniky ktorá prebiehala v neogéne a doznievala až v pleistocéne. Dolnovážska niva sa vyznačuje fluvialným akumuláčnym reliéfom prevažne rovinatého charakteru.

Západne od Trenčianskej kotliny sa tiahne podcelok Biellokapatské podolie a celok Biele Karpaty. Z juhu a východu kotlina susedí s celkami Považský Inovec a Strážovské vrchy.

Obr. č. 5 Situácia záujmového územia



Obr. č. 6 Geomorfologické členenie územia



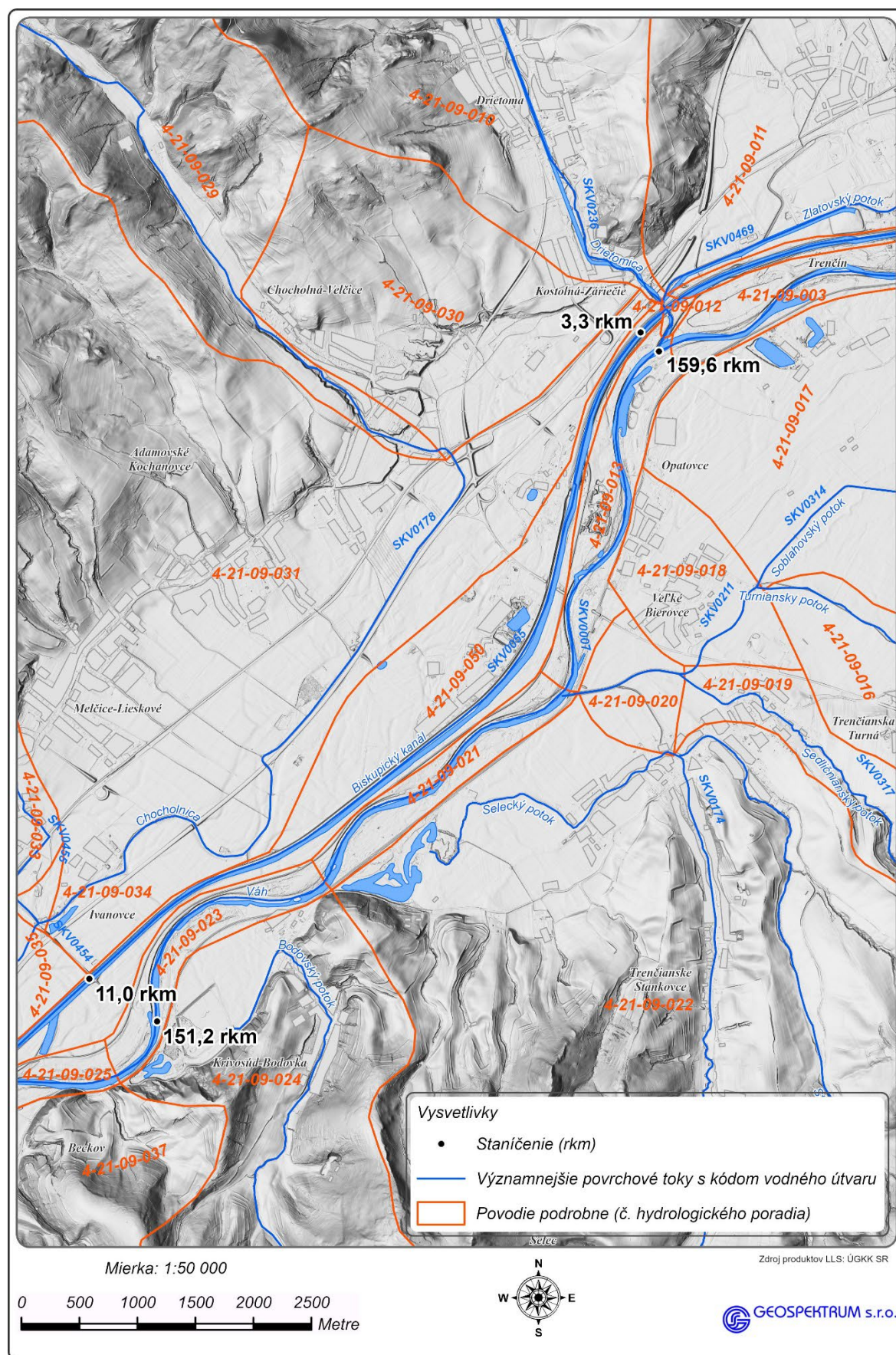
2.2. Hydrologická charakteristika

Hodnotené územie patrí do hlavného povodia Dunaja (4), čiastkového povodia Váhu (21), základného povodia Váhu od zaústenia Nosického kanála pod zaústenie Biskupického kanála (09) (čísla hydrologického poradia: 4-21-09).

V hodnotenom území je najvýznamnejším povrchovým tokom Váh. Medzi rkm 264,5-143,4 (úsek pretekajúci aj hodnoteným územím rkm 151,2-159,6) je radený medzi útvary povrchovej vody (s kódom vodného útvaru SKV0007) a svojim typom vodného útvaru patrí medzi veľké toky strednej časti povodia Váhu v nadmorskej výške 200-500 m v Karpatoch (kód typu V2(K2V)) a druhom vodného útvaru (HMWB) patrí medzi výrazne zmenené vodné útvary v zmysle vyhlášky MPŽPaRR SR č. 418/2010 Z.z., o vykonaní niektorých ustanovení vodného zákona.

Druhým významným povrchovým tokom je Biskupický kanál dlhý 38,85 km. Je to derivačný kanál (vybudovaný na energetické účely) na rieke Váh, pomenovaný podľa trenčianskej mestskej časti Biskupice, bývalej samostatnej obce Trenčianske Biskupice. Bol vybudovaný v rokoch 1942-1956, kedy došlo k významnému narovnaniu a regulácii vážskeho toku. Začína sa na okraji Trenčína a ústí v Piešťanoch, kde sa opätovne spája so starým korytom Váhu pred vodnou nádržou Slňava. Medzi kanálom a pôvodným korytom Váhu sa nachádza tzv. Vážsky ostrov, ktorý slúži primárne ako záplavové územie.

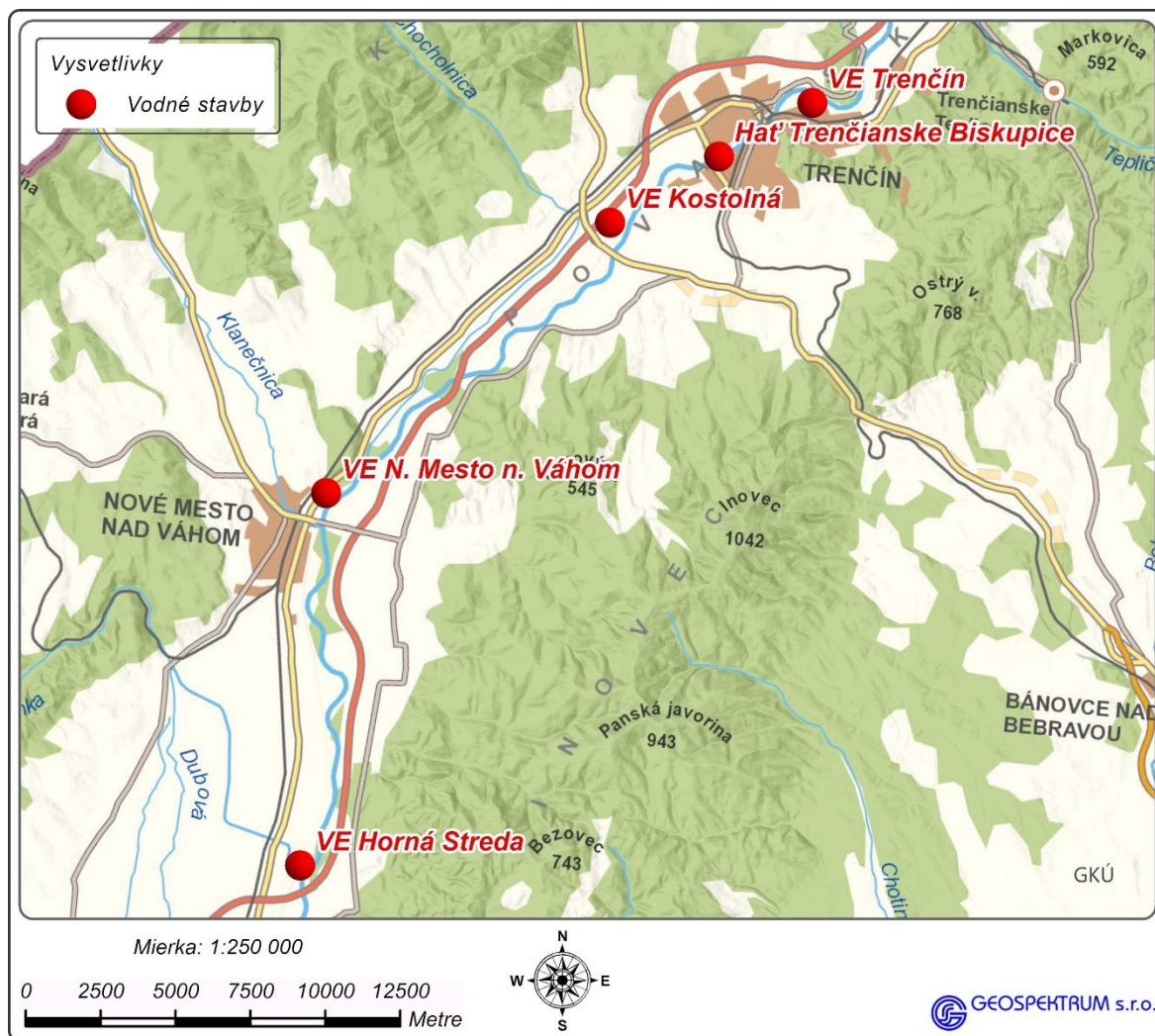
Obr. č. 7 Situácia povrchových tokov



Biskupický kanál (kód vodného útvaru SKV0055) je typ VÚ P1M (malé toky v nadmorskej výške do 200 m v Panónskej panve) a druhom VÚ AWB (umelý vodný útvar). V záujmovom území preteká v rkm 3,3-11,0.

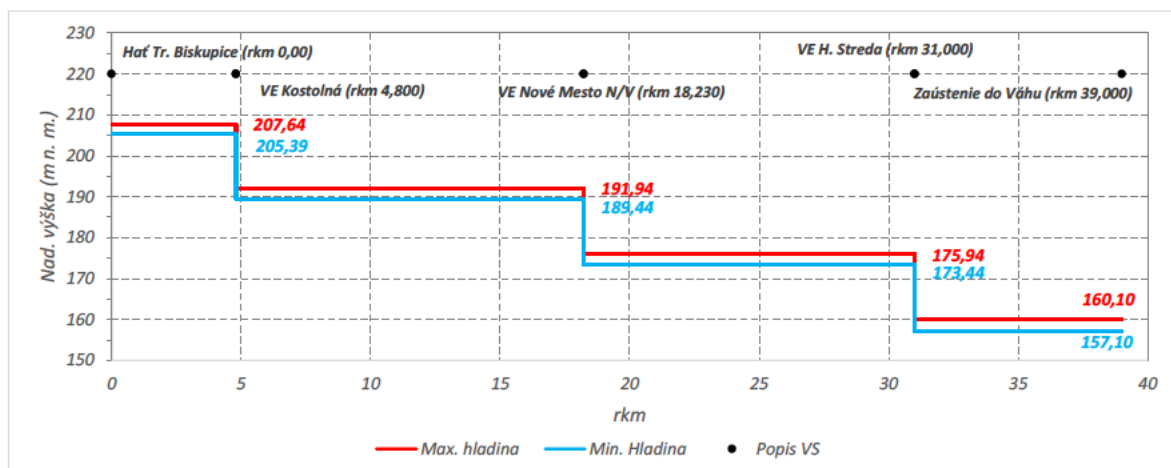
Na derivačnom Biskupickom kanáli je vybudovaná sústava vodných diel II. Vážskej kaskády. Kaskáda na 38,85 km úseku Váhu má spád okolo 50 m. Skladá sa z riečnej zdrže s haťou v Trenčianskych Biskupiciach a z troch vodných elektrární: VE Kostolná, VE Nové Mesto nad Váhom a VE Horná Streda.

Obr. č. 8 Sústava vodných diel na Biskupickom kanáli

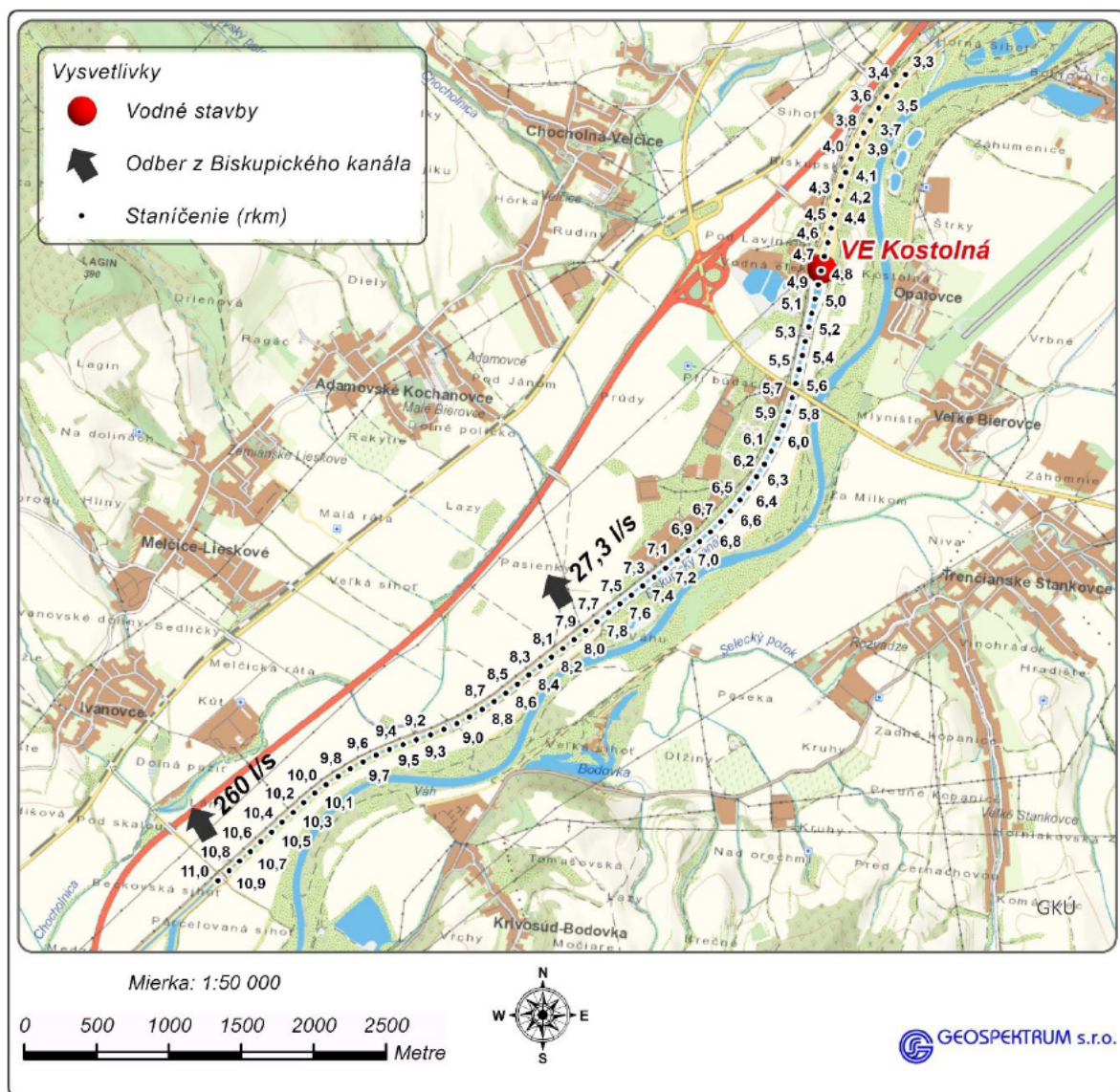


Prevádzkové minimálne a maximálne hladiny (Bpv) na jednotlivých objektoch II. Vážskej kaskády sú uvedené na obr. č. 9. Pre energetické využitie sa odoberá cez 4 polia regulačného zariadenia hate maximálne $Q = 199 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Minimálny zostatkový prietok v koryte pod haťou je stanovený na $Q = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Počas prevádzky MVE sa minimálny zostatkový prietok do koryta Váhu nebude prepúšťať haťou. Na hati Trenčianske Biskupice zostáva vo funkcii rybovod s priemernou kapacitou prietoku $Q = 0,300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a ľavostranný odvodňovací drén s prietokom cca $Q = 0,200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vo vymedzenej oblasti je povolený odber z Biskupického kanála v rkm 7,904 Adamovské Kochanovce ($\Sigma 27,3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) a rkm 10,930 Melčice - Lieskové ($\Sigma 260,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) (Lipták & Klčo, 2015).

Obr. č. 9 Prevádzkové hladiny II. Vážskej kaskády

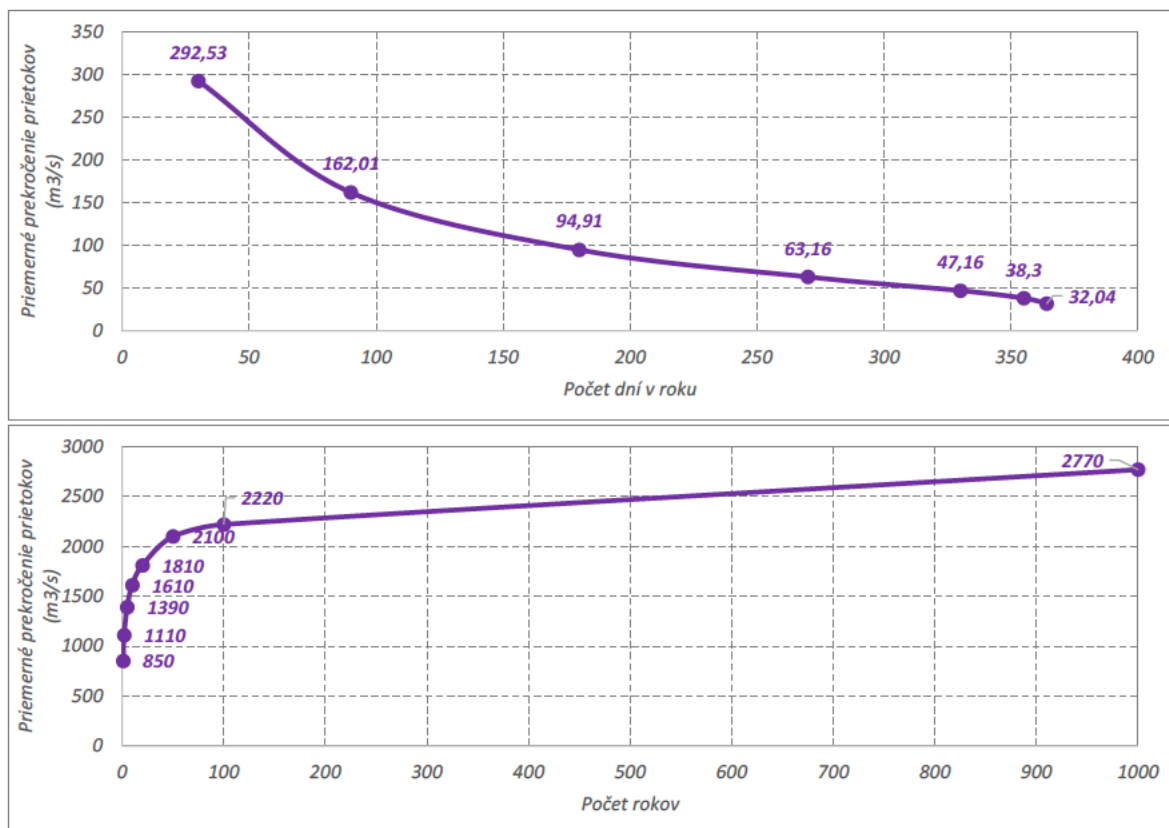


Obr. č. 10 Odber z Biskupického kanála



Priemerný dlhodobý prietok na Váhu na hati v Trenčianskych Biskupiciach je $134,39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Obr. č. 11 Priemerné prekročenie prietokov na Váhu na hati v Trenčianskych Biskupiciach



2.3. Klimatická charakteristika

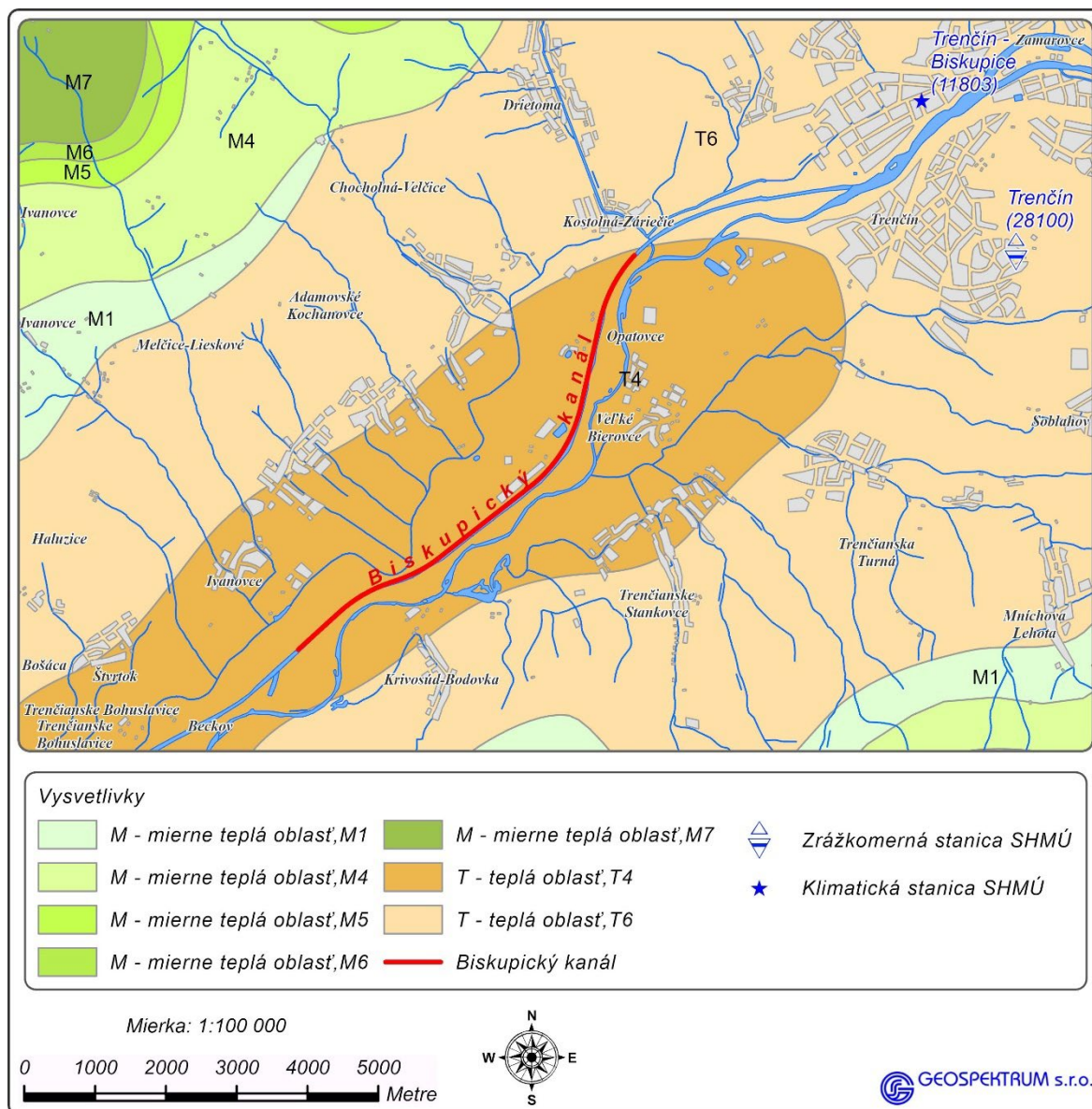
Podľa Končekovej klasifikácie (Šťastný, et al., 2015), vymedzená oblasť leží prevažne v oblasti teplej (T), v okrsku T4 [⇒ obr. č. 12].

Klimatická stanica SHMÚ s meraním teploty vzduchu je v Trenčíne - Biskupiciach (11803) v nadmorskej výške 209 m n. m. Priemerné mesačné a ročné teploty vzduchu za obdobie 2015-2021 sú uvedené v ⇒ tab. č. 2 s porovnaním dlhodobého normálu 1951-1980 (Petrovič & Šoltýs, 1991) a dlhodobého normálu 1981-2010 (Čepčková, et al., 2016).

Tab. č. 2 Priemerné mesačné teploty vzduchu (°C) zo stanice Trenčín - Biskupice (11803)

Obdobie	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	±
Normál 1951-1980	-2,0	-0,1	3,8	9,0	13,7	17,3	18,4	17,8	14,0	9,2	4,4	0,0	8,8	Normál 1981-2010
Normál 1981-2010	-1,6	0,2	4,4	10,0	14,8	17,4	19,6	19,0	14,5	9,6	4,3	-0,4	9,3	
2015	1,3	0,7	5,2	9,2	14,5	18,9	22,5	22,7	15,8	9,5	5,6	2,7	10,7	± 1,4
2016	-1,4	5,1	5,6	10,0	15,0	19,3	20,7	18,3	16,5	8,9	4,9	-0,6	10,2	± 0,9
2017	-6,9	2,1	7,6	8,6	15,4	20,2	20,6	21,2	14,4	9,9	4,9	1,8	10,0	± 0,7
2018	2,4	-1,4	2,5	15,1	18,2	19,8	21,3	22,3	15,6	12,1	7,1	1,4	11,4	± 2,1
2019	-1,8	2,8	7,1	12,0	12,4	22,7	20,4	21,5	15,0	11,3	8,6	2,8	11,2	± 1,9
2020	-0,5	4,8	5,4	9,6	12,4	18,3	19,1	20,6	15,4	10,7	4,6	3,7	10,3	± 1,0
2021	0,1	0,7	3,6	7,4	12,6	20,8	22,1	17,7	14,7	9,4	5,2	1,0	9,6	± 0,3
Priemer 2015-2021	-1,0	2,1	5,3	10,3	14,4	20,0	21,0	20,6	15,3	10,3	5,8	1,8	10,5	± 1,2

Obr. č. 12 Klimatická regionalizácia územia

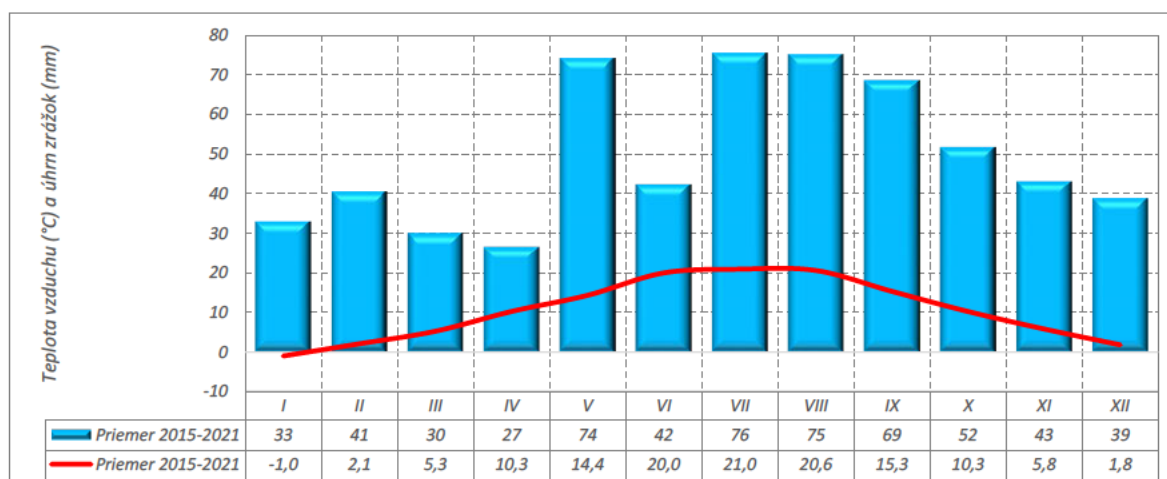


Zrážky sa pozorujú v zrážkomernej stanici Trenčín (28100) v nadmorskej výške 303 m n. m. Mesačné a ročné úhrny zrážok za obdobie 2015-2021 sú uvedené v ⇨ tab. č. 3 s porovnaním dlhodobého normálu 1951-1980 (Horecká & Valovič, 1991) a dlhodobého normálu 1981-2010 (Čepčková, et al., 2016).

Tab. č. 3 Priemerné mesačné úhrny zrážok (mm) zo stanice Trenčín (28100)

Obdobie	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	%
Normál 1951-1980	40	40	38	44	56	86	73	65	42	44	56	56	640	Normál
Normál 1981-2010	41	40	43	37	62	79	74	61	61	42	52	56	648	1981-2010
2015	35	39	60	24	62	14	33	118	50	24	67	14	540	83
2016	37	78	10	48	65	48	116	61	26	66	42	18	615	95
2017	19	25	29	55	24	27	58	43	92	67	53	40	532	82
2018	33	14	23	9	48	62	19	73	99	23	16	61	480	74
2019	42	22	44	19	144	32	23	44	66	40	68	35	579	89
2020	13	85	31	12	54	102	131	66	112	132	19	62	819	126
2021	52	22	15	20	122	12	149	122	35	10	37	44	640	99
Priemer 2015-2021	33	41	30	27	74	42	76	75	69	52	43	39	601	93

Obr. č. 13 Priemerné mesačné teploty vzduchu a priemerné úhrny zrážok za 2015 - 2021



Z hľadiska množstva spadnutých zrážok môžeme územie charakterizovať za 7 ročné obdobie 2015 až 2021 za zrážkovo normálne. V priebehu tohto obdobia bol aj veľmi suchý rok (2018) ale aj veľmi vlhký rok (2020), tri roky boli suché (2015; 2017; 2019) a dva roky normálne (2016; 2021).

Tab. č. 4 Klasifikácia roka podľa vlhkosti (Majerčáková, et al., 2007)

Hodnota pomeru	Klasifikácia
Viac ako 130 %	Mimoriadne vlhký rok
121 % až 130 %	Veľmi vlhký rok
111 % až 120 %	Vlhký rok
90 % až 110 %	Normálny rok
89 % až 80 %	Suchý rok
79 % až 70 %	Veľmi suchý rok
Menej ako 70 %	Mimoriadne suchý rok

2.4. Doterajšia preskúmanosť územia

Predmetné územie je rozsiahle a robilo sa tam množstvo inžinierskogeologických a hydrogeologických prieskumov, preto uvádzame len tie najdôležitejšie.

V rokoch 1968 – 1970 bol realizovaný hydrogeologický prieskum kvartéru stredného toku Váhu. Cieľom úlohy bolo stanovenie využiteľných množstiev podzemnej vody v rajóne v kategórii C₂ (Pospíšil, et al., 1970).

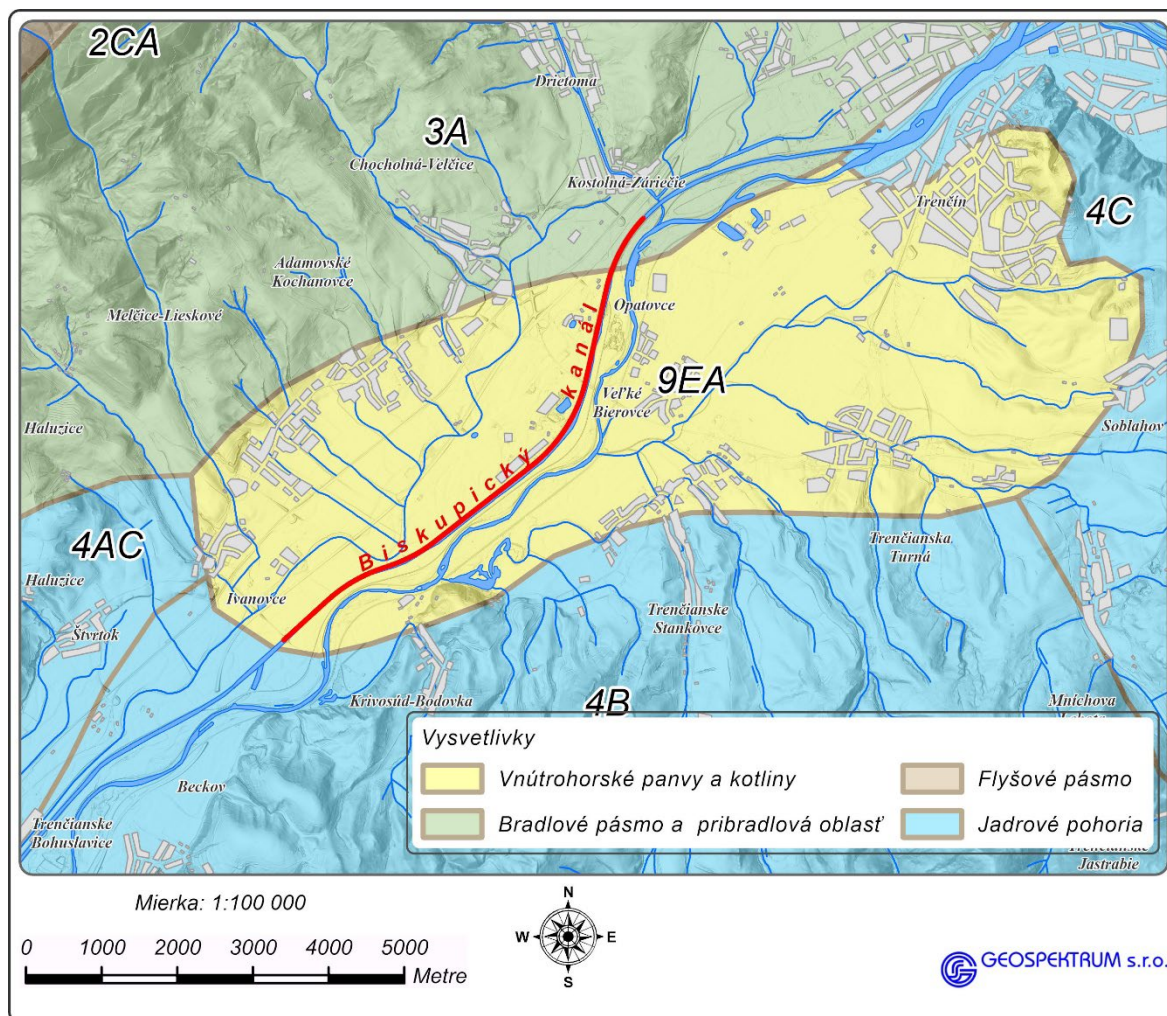
V rokoch 1980 – 1982 bol realizovaný orientačný inžinierskogeologický prieskum, ktorého výsledky boli využité na vypracovanie štúdie k investičnému zámeru rekonštrukcie vážskej kaskády Kostolná – Nové Mesto nad Váhom – Horná Streda. V tejto etape sa požadovalo posúdenie a rozčlenenie územia na úseky (rajóny) podobných geologických a geotechnických vlastností. Ide o územie, ktoré začína pri hati Trenčianske Biskupice až po sútok starého koryta Váhu s derivačným kanálom v Piešťanoch, vrátane príľahlých svahov na ľavej strane od starého koryta Váhu. Pravá hranica bola prevažne umelá, vedená približne 200 m od páty pravej hrádze derivačného kanála. V záverečnej správe je dokumentované veľké množstvo archívnych vrtov a nových mapovacích vrtov do 10 m, rezov inžinierskogeologických máp v mierke 1:10 000 s hydrogeologickými charakteristikami (Dzuriak, et al., 1982).

Vyhľadávací hydrogeologický prieskum kvartéru Trenčianskej kotliny a príľahlého mezozoika (rajón QM 038) v rozsahu 141 km² bol realizovaný v rokoch 1995 – 1998. Účelom prieskumných prác malo byť vyhľadanie prírodných zdrojov a overenie využiteľných množstiev podzemných vôd v kategórii C₂, zhodnotenie ich kvality, zistenie zdrojov znečistenia a návrh kvantitatívnej a kvalitatívnej ochrany. Súčasťou riešenia úlohy bolo zároveň zostavenie hydrogeologickej mapy mierky 1:50 000, zostavenie máp špecifických vlastností a mapy perspektívnych oblastí na vodohospodárske využitie podzemných vôd a vyhodnotenie režimu podzemných vôd z hľadiska možných prestupov podzemných vôd z mezozoika do kvartéru (Mlynárčík, 1998).

2.5. Geologická a tektonická stavba územia

Záujmové územie sa v zmysle regionálneho geologického členenia Západných Karpát nachádza z menšej časti v oblasti [3A] podbrančsko-trenčianskeho úseku bradlového pásma a pribradlovej oblasti a prevažne v oblasti [9EA] vo vnútrohorskej Trenčianskej kotline. Trenčianska kotlina z juhu susedí s jadrovým pohorím Považský Inovec [4B] (Vass, et al., 1988).

Obr. č. 14 Regionálne geologické členenie vymedzeného územia



2.5.1. Bradlové pásmo

Je dominantnou geologickou jednotkou podmieňujúcou vznik sústavy vnútrohorských kotlín v údolí Váhu, ktorý sleduje generálny smer bradlového pásma. Pásmo má veľmi zložitú štruktúru – tektonickú stavbu a lemuje záujmové územie prieskumu zo severozápadnej strany od Ivanoviec až po Trenčín. Geomorfologicky výrazne diferencované bradlové pásmo je tvorené prevažne krížňanským príkrovom a drietomskou sukcesiou, ktoré sú v severnej časti zastúpené predsenonskými (vrchný trias až stredná trieda) prevažne karbonátovými a detritickými sedimentami. Litologicky najrozšírenejšie sú tu súvrstvia šedých vápnitých bridlíc a vápnitých pieskovcov až zlepenecov veku alb - cenoman a jurské škvrnité slieňovce a vápence, prípadne tmavošedé lavicovité vápence, piesčité, krinoidové a kremité vápence s polohami slienitých bridlíc. Najstaršími členmi sú v bradlovom pásme súvrstvia vrchnotriasových (keuper) svetlých kremencov s polohami pestrých bridlíc (nor). V bridliciach sa miestami vyskytujú šošovky sadrovca a dolomitické konkrécie. Komplexy vápencov, dolomitov a kremencov boli pri tektonických pohyboch roztrhané do samostatných kryh a šošoviek, ktoré sa nezávisle pohybovali v plastickej ši ch slieňovcoch, ílovcach, pieskovcoch ako v obale. Celé bradlové pásmo nadobudlo bočným stlačením charakter antiklinória. Súvrstvia sú väčšinou strmo uklonené alebo prevrátené na juhovýchod pôsobením spätného násunu. Voči západnému okraju údolia Váhu je bradlové pásmo obmedzené sústavou poklesových zlomov karpatského smeru. Na priečnych SZ-JV zlomoch v bradlovom pásme je založená prevažná časť údolí pravostranných prítokov Váhu. Svahy bradlového pásma sú v závislosti od litológie podložných mezozoických hornín pokryté prevažne hlinito-kamenitými až piesčito-hlinitými delúviami. Spodná časť juhovýchodných svahov zvažujúcich sa do údolia Váhu je prekrytá niekoľko metrov hrubými polohami eolických sedimentov (spraši), pod ktorými sú zvyšky starších fluviálnych sedimentov (piesčité štrky) ako terasová akumulácia Váhu v strednom pleistocéne. Pri vyústení väčších prítokov do údolia Váhu sa vytvorili prolúviálne náplavové kužele, tvorené hlinitými štrkami s väčšími úlomkami hornín. Tieto sú výrazné najmä pri Ivanovskom potoku, Chocholnici a Drietomici [(Salaj, et al., 1987); (Began, et al., 1990) in (Mlynarčík, 1998)].

2.5.2. Považský Inovec

Severná časť pohoria Považský Inovec tvorí južné a juhovýchodné ohraničenie záujmovej oblasti, resp. geologické formácie Považského Inovca sa podieľajú aj na stavbe podložia Trenčianskej kotliny v časti od Beckova cez Trenčianske Stankovce po Mníchovu Lehotu. Považský Inovec je v podstate dielčia štruktúrna elevácia tzv. megaantiklinálnej fatrotatranskej sústavy Západných Karpát. Na styku s antiklinoriom bradlového pásma je na zlomovom systéme SV-JZ vyvinutá štruktúrna depresia s neogénnou výplňou, ktorej časťou je aj Trenčianska kotlina. Na geologickej stavbe Považského Inovca v blízkom okolí záujmovej oblasti sa podieľajú horniny kryštalinika, mladopaleozoického obalu a mezozoika. Kryštalinikum vychádza na povrch v severnej časti pohoria. Je budované hlavne kryštalickejšími bridlicami, granitoidmi, migmatitmi a telesami amfibolitov. Mladšie paleozoikum reprezentuje karbón a perm v severozápadnej časti pohoria. Leží diskordantne na kryštalinickom podloží a ponára sa pod obalové mezozoické série. Karbón je v detritickom morskom aj plytkovodnom vývoji a tvoria ho bazálne súvrstvia sivých a sivozelených drobových arkóz a drob a nadložné súvrstvia tmavosivých fylitických bridlíc v striedaní s piesčitými bridlicami a drobami. Perm má kontinentálny vývoj vo fácií verukána a tvoria ho pestré drobové bridlice, droby a drobové zlepence. Mezozoikum je v severnej časti Považského Inovca zastúpené obalovou jednotkou vo vývoji beckovskej

série, ktorá má voči kryštaliniku autochtónny charakter. Začína spodnotriasovými svetlými kremencami a kremitými pieskovecami, v ktorých sa v spodných častiach vyskytujú polohy zlepcov a arkózových pieskovcov. Vo vrchných častiach pribúdajú pestré bridlice s vložkami kremitých pieskovcov a kavernóznych dolomitov. Stredný trias je najviac zastúpený tmavými vápencami s vložkami krinoidových vápencov, brekcií a dolomitov. Ďalej sú v beckovskej sérii prítomné strednotriasové sivé dolomity a dolomitické vápence. Vápence sú často postihnuté metamorfózou, čo vyvoláva ich mramorový vzhľad. Súvrstvie dosahuje hrúbky 200-250 m. Vrchný trias je vyvinutý v podobe keupru (nor). Tvoria ho tmavočervené ílovce, žltosivé kremence, sivobiele kremence a kremité pieskovce, v bazálnej časti sú prítomné aj bunkovité vápence. Keuper je vyvinutý neobyčajne mohutne, dosahuje až 150 m hrúbku. Nadložné rétske súvrstvia sú menšieho plošného rozsahu a sú tvorené tmavosivými slieňmi s polohami lumachelových vápencov alebo kryštalických vápencov. Jura je pre beckovskú sériu typická, má však malé rozšírenie. Naspodku sú sivé piesčité krinoidové vápence s hniezdami rohovcov, vyššie sú ružové hľuznaté vápence a sivé prekremenelé a organogénne vápence. Krieda sa zachovala len v malých útržkoch pri Beckove a patria k nej flyšoidné súvrstvia sivozelených slieňov a piesčitých vápencov a svetlosivé celistvé vápence s hľuzami rohovcov. Kvartér je na severozápadnom okraji Považského Inovca v priestore medzi Beckovom a Trenčianskymi Stankovcami vyvinutý v značných hrúbkach (až 40-50 m). Prevažne ho tvoria produkty krasového zvetrávania karbonátov- červené až červenofialové íly, piesčité íly s úlomkami karbonátov, miestami škvrnité íly, premiestnené vo forme delúvií. V nadloží týchto hornín sa miestami nachádzajú hnedasté až hrdzavohnedé spraše a sprašové hliny, jemne piesčité s konkréciami CaCO_3 . Spraše odpovedajú mladšiemu pleistocénu [(Maheľ, 1964) in (Mlynarčík, 1998)].

2.5.3. Trenčianska kotlina

Na geologickej stavbe orografickej jednotky Trenčianska kotlina sa podieľajú podložné, prevažne zakryté, mezozoické komplexy, terciárna výplň depresí a pokryvné kvartérne sedimenty. Trenčianska kotlina je geneticky spätá so spodnomiocénnymi pohybmi vnútorných Západných Karpát a vznikom antiklinória bradlového pásma. Pozdĺž zlomov karpatského smeru obmedzujúcich bradlové pásmo z východnej strany, vznikali eróznodenudačné brázdy, pred disponujúce súčasné údolie Váhu. Od spodného miocénu začal pokles územia a vznik terciárnych vnútrohorských depresí. Ich hĺbka dosahovala až tisíc metrové skoky. Tieto depresie boli postupne zaplavované od juhu sa rozširujúcim morom a tvorili tak severné výbežky podunajskej panvy. V súvislosti s vrchnomiocénnymi pohybmi došlo k rozčleneniu týchto výbežkov na samostatné kotliny a s postupným vysladzovaním boli zaplnené pliocénnymi sedimentami. Po výzdvihu Považského Inovca koncom miocénu došlo k rozčleneniu pôvodnej Trenčianskej kotliny na dve dielčie depresie - tzv. turniansku a beckovskú a antecedentnou činnosťou Váhu k prerezaniu trenčianskeho a beckovského prielomu. Vo vrchnom pliocéne sa vytvorila v Trenčianskej kotline poriečna roveň v relatívnej výške 100-120 m nad dnešným tokom Váhu. Predterciárne podložie Trenčianskej kotliny tvoria mezozoické horniny bradlového pásma, Strážovských vrchov a obalová jednotka Považského Inovca, ktoré boli už popísané vyššie. V podloží neogénu Trenčianskej kotliny, a to hlavne v jej najhlbšej časti v priestore obce Trenčianska Turná, je možné predpokladať na mezozoiku aj zvyšky paleogénnych súvrství bazálnych zlepcov, pieskovcov a brekcií a pieskovcovovo-ílovcových súvrství stredného až vrchného eocénu náležiacich k vnútrokarpatskému paleogénu. Tieto súvrstvia ako denudačné zvyšky paleogénu platformného vývoja sa v Trenčianskej kotline zachovali v oblasti medzi Trenčínom a Soblahovom až pod kvartérnymi sedimentami. Neogénna výplň

Trenčianskej kotliny podľa výsledkov geofyzikálneho prieskumu dosahuje v oblasti Trenčianskej Turnej v tzv. turnianskej depresii hrúbku až 1000 m. V časti záujmového územia medzi obcami Beckov a Trenčianske Bohuslavice bola vrtnými prácami potvrdená hrúbka neogénu 200-300 m, ale v južnej časti tzv. beckovskej depresie sa predpokladá až cca 1100 m.

Najstaršie neogénne sedimenty sú miocénne (egenburg) karbonatické zlepenice a pieskovce, v nadloží so šedými piesčitými vápnitými ílmi s bohatou faunou. Tieto sú v Trenčianskej kotline zachované pri Zamarovciach a na Trenčianskom hradnom vrchu. Ďalšie neogénne sedimenty predstavujú pliocénne pestré ílovce, miestami s polohami slabo spevnených zlepenčov, pieskovcov, alebo polohy ílu, piesku a zaílovaných štrkov pontu. Po oboch stranách údolia Váhu sa vyvinul vo vrchnom pliocéne pás predhoria s nižšou nadmorskou výškou, menšou energiou reliéfu a so zarovnanými chrbtami, geneticky zodpovedajúci poriečnej rovní, prechádzajúcej do úpätných kotlinových plošín. Táto je v Trenčianskej kotline zreteľná najmä na ľavej strane údolia Váhu medzi Trenčínom - Soblahovom - Trenčianskou Turnou - Krivosúdom - Beckovom až po Piešťany (Mahel', 1964).

Kvartérny pokryv sa v Trenčianskej kotline formoval od spodného pleistocénu v prostredí prerušovaného výzdvihu územia a striedajúcich sa chladnejších a teplejších období. Geneticky sú zastúpené hlavne fluviálne sedimenty, ďalej proluviálne a deluviálne sedimenty a eolické sedimenty. Ležia prevažne na neogénnych súvrstviach, v menšom rozsahu na skalnom mezozoickom podloží, hlavne v oblasti mesta Trenčín, Štvrtku, Krivosúda a Beckova. Z hľadiska hydrogeologického majú najväčší význam fluviálne štrkopiesčité uloženiny Váhu a jeho najväčších prítokov Drietomice, Ivanovského potoka a Bošáčky.

V dôsledku zahlbovania sa Váhu do vlastných sedimentov zodpovedajúcich poriečnej rovní bola značná časť rovne oderodovaná. Najstaršie kvartérne sedimenty sa nachádzajú asi 20-40 m nad súčasným korytom Váhu na pravých svahoch údolia Váhu medzi Kostolnou-Záriečím a Štvrtkom. Sú to fluviálne piesčité štrky strednej terasy. Ich vznik sa kladie do stredného pleistocénu (ris). Tvorené sú prevažne valúnami pieskovcov a vápencov s malým podielom kremencov, rohovcov, žúl a kryštálických bridlíc. Rovnakého veku sú aj eolické sedimenty - žltosivé piesčité spraše, ktoré sú miestami na povrchu terasy prekryté eolickodeluviálnymi sprašovitými hlinami a vápnitými splachmi zo spraší. Výška bázy terasy sa pohybuje vo výške 8-10 m nad strednou hladinou Váhu. Celková hrúbka terasovej akumulácie je veľmi variabilná, maximálne sa predpokladá 20-30 m.

Terasová štrková akumulácia je charakterom sedimentov veľmi podobná würeským fluviálnym piesčitým štrkom dnovej akumulácie (v nízkej terase a nive Váhu a jeho väčších prítokov). Valúny štrku tvoria prevažne granitoidy, vápence a pieskovce, menej kremence, kremité pieskovce a kryštálické bridlice. Sú veľmi dobre opracované a jednotlivé polohy štrku a piesčitého štrku sú vytriedené. Prevládajú frakcie stredné až hrubé (ϕ 2-5 cm), miestami a na báze aj veľmi hrubé (ϕ 10-25 cm, ojedinelé až 50 cm). Hrúbka štrkopiesčitej dnovej akumulácie je priemerne 12 m, ale boli zistené aj hrúbky až 16 m. Smerom k okrajom údolia a na sever hrúbka štrkovej vrstvy klesá. Štrková výplň dna je prekrytá fluviálnymi nivnými hlinami alebo jemne piesčitými nivnými hlinami, ktorých hrúbka sa pohybuje od 0,5 do 3,0 m. Pozdĺž toku Váhu sú vyvinuté miestami aj povodňové hliny a bahnité sedimenty mŕtvych ramien.

Pri vyústení tokov z bočných dolín do nivy Váhu sa vytvorili nízke náplavové kužele, tvorené proluviálnymi hlinitými štrkami s úlomkami pevných hornín tvoriacich svahy bočných údolí (vápence, dolomity, vápnité pieskovce). Kužele vznikli až na prelome pleistocénu a holocénu a ležia na povrchu dnovej akumulácie Váhu. Valúny štrku sú slabo opracované, podlhovastého tvaru, uložené veľmi chaoticky. Hrúbka sedimentov

náplavových kužeľov sa pohybuje od 7,0 do 12,0 m, pričom vrchná časť (2-3 m) je silnejšie zahľinená.

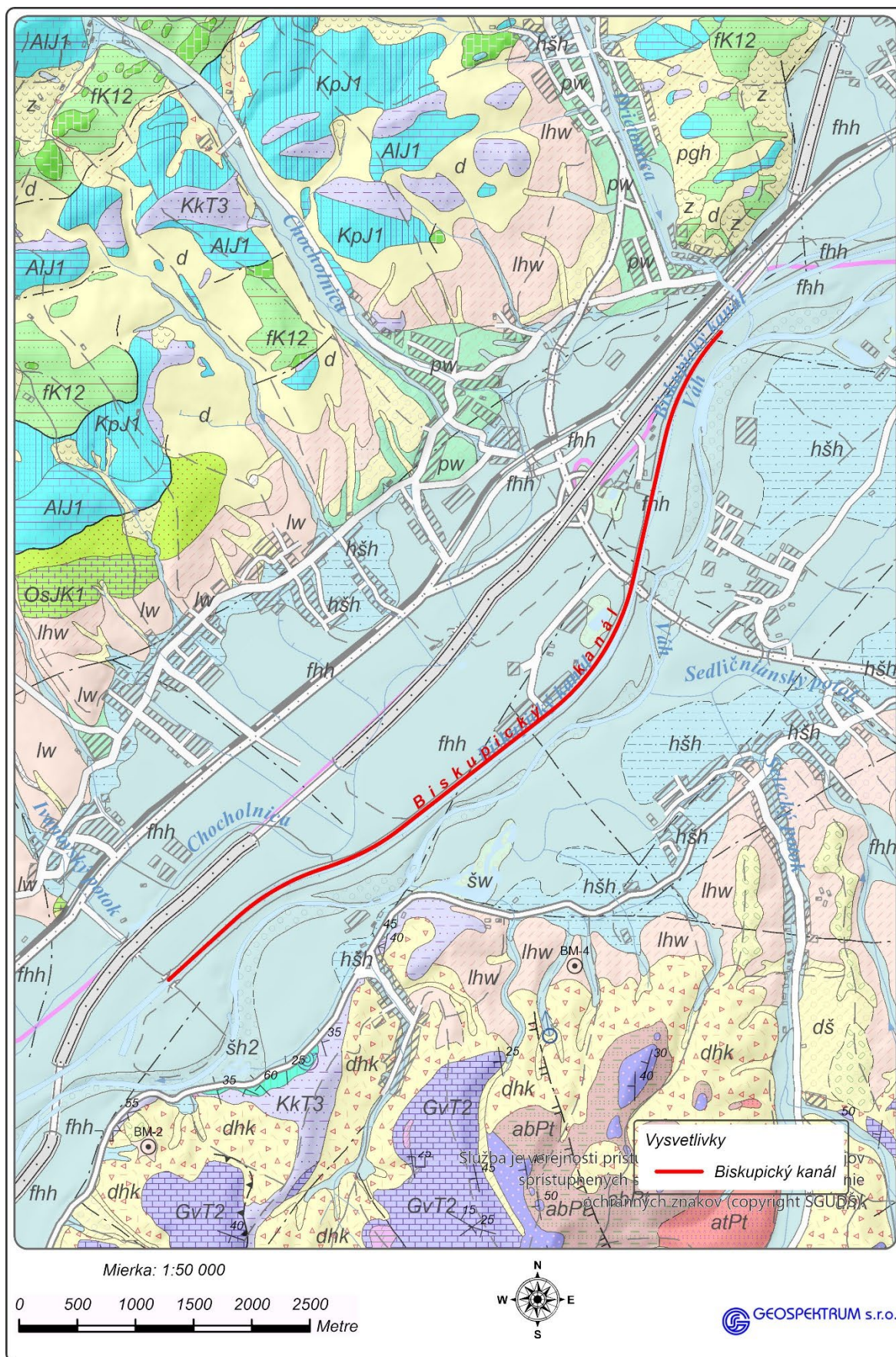
V okrajových SV častiach Trenčianskej kotliny, v prostredí budovanom mezozoickými karbonatickými horninami sú na strmších svahoch vyvinuté deluviálne hlinito-kamenité sute.

Antropogénne recentné uloženiny predstavujú v Trenčianskej kotline navážky z výkopov pre vodohospodárske stavby (derivačný kanál Váhu, odvodňovacie a melioračné kanály) dopravné stavby (cesty, železnice, diaľnica) a skrývkové zeminy z ťažby štrkopieskov. Hlinité zeminy boli prevažne využité na spätný zásyp terénnych depresii a ťažobných jám. Rovnako boli ukladané aj odpady z výroby stavebných materiálov, demolícií budov a rekonštrukcií dopravných ciest. V záujmovom území bolo zaevidovaných niekoľko väčších skládok komunálnych odpadov, pričom najväčšia - situovaná na pravej strane derivačného kanála pod mestom Trenčín, má rozmery 200 x 800 m a hrúbka uložených odpadov dosahuje až 10 m [(Began, et al., 1990) in (Mlynarčík, 1998)].

Tab. č. 5 Vysvetlivky ku geologickej mape

Index	Popis	Vek
<i>Šh2</i>	fluviálne sedimenty: resedimentované nívne piesčité štrky prikorytovej zóny	holocén
<i>fhh</i>	fluviálne sedimenty: litofaciálne nečlenené nívne hliny, alebo piesčité až štrkovité hliny dolinných nív a nív horských potokov	holocén
<i>hšh</i>	proluviálne sedimenty: prevažne hliny a piesčité hliny s úlomkami hornín a zahľinenými štrkami v nívnych náplavových kužeľoch	holocén
<i>d</i>	deluviálne sedimenty vcelku: litofaciálne nerozlíšené svahoviny a sutiny	pleistocén-holocén
<i>dhk</i>	deluviálne sedimenty: prevažne hlinito-kamenité (podradne piesčito-kamenité) svahoviny a sutiny	pleistocén-holocén
<i>phm</i>	proluviálne sedimenty: hlinité až piesčito-hlinité štrky s úlomkami hornín vo vrchných náplavových kužeľoch s pokryvom deluviálnych splachov	pleistocén
<i>lw</i>	eolické sedimenty: spraše a jemnopiesčité spraše, vápnité a sprašové hliny vcelku	pleistocén
<i>lhw</i>	eolicko-deluviálne sedimenty: nevápnité sprašové hliny a sprašiam podobné zeminy	pleistocén
<i>fK12</i>	pieskovce, bridlice, slieňovce, zlepenice - flyšové sekvencie	staršia krieda
<i>OsJK1</i>	kalpionelové vápence: svetlosivé, pleťovoružové slienité vápence (niekedy s rohovcami) a sivé slienité bridlice	mladšia jura - staršia krieda
<i>PoK12</i>	porubské súvrstvie: slieňovce, ílovito-piesčité bridlice, pieskovce, piesčité vápence, ortokonglomeráty	staršia - mladšia krieda
<i>KpJ1</i>	kopienecské súvrstvie: tmavosivé, niekedy zelenkavé, ílovito-piesčité ílovce až bridlice, vápnité pieskovce a piesčito-krinoidové vápence	staršia jura
<i>AlJ1</i>	allgäuske súvrstvie: tmavosivé až čierne, miestami škvrnité, jemnozrnné ± ílovité vápence a vápnité ílovce	staršia jura
<i>KkT3</i>	karpatský keuper: kremenné pieskovce, arkózy, zlepenice, ílovité bridlice, dolomity	mladší trias
<i>GvT2</i>	tatrikum: gutensteinské súvrstvie (gutensteinské vrstvy) - gutensteinské (annabergské) vápence: tmavosivé a čierne hrubolavicovité, vrstevnaté, červíkovité vápence	stredný trias
<i>abPt</i>	tatrikum, kálnická skupina: krivosúdske súvrstvie, sivozelené arkózy a pestré bridlice	mladší perm
<i>atPt</i>	tatrikum, kálnická skupina: selecké súvrstvie, sivozelené arkózy s vulkanickým materiálom a ryolitmi	starší perm

Obr. č. 15 Geologická mapa (ŠGÚDŠ, 2019)



2.5.4. Geodynamické javy

Na záujmovom území prebiehajú procesy súvisiace s činnosťou riek a s rušivou i akumuláčnou činnosťou vetra, priaznivé podmienky pre eolickú činnosť vytvára suchá polostepná klíma so zrážkami menej ako 600 mm za rok, ako aj veľké rozšírenie piesčitých a prachovitých fluviálnych a eolických sedimentov, ktoré najmä po jarnom rozmrazení a nakyprení pomerne ľahko podliehajú rozvievaniu prevládajúcimi severozápadnými vetrami.

Najvýznamnejšie geodynamické procesy sú úzko viazané na činnosť tokov. Ide o akumuláčno-erózne procesy pri striedaní sa prietokov, kedy pri povodňových stavoch dochádza k intenzívnemu vymieľaniu a bočnej erózii, prípadne k sufózii, pri bežných a nízkych stavoch k akumulácii jemnozrnných náplavov.

Seizmická aktivita je spojená s mladými zlomami, ktoré majú smer SZ-JV, pričom seizmicky najexponovanejším územím je dobrovodská oblasť, kde katastrofálne zemetrasenie postihlo Dobrú Vodu v roku 1906. Seizmicita územia pre danú oblasť sa udáva 6° až 7° M.C.S.

Foto. č. 1 Fotodokumentácia porúch svahov odpadového kanála

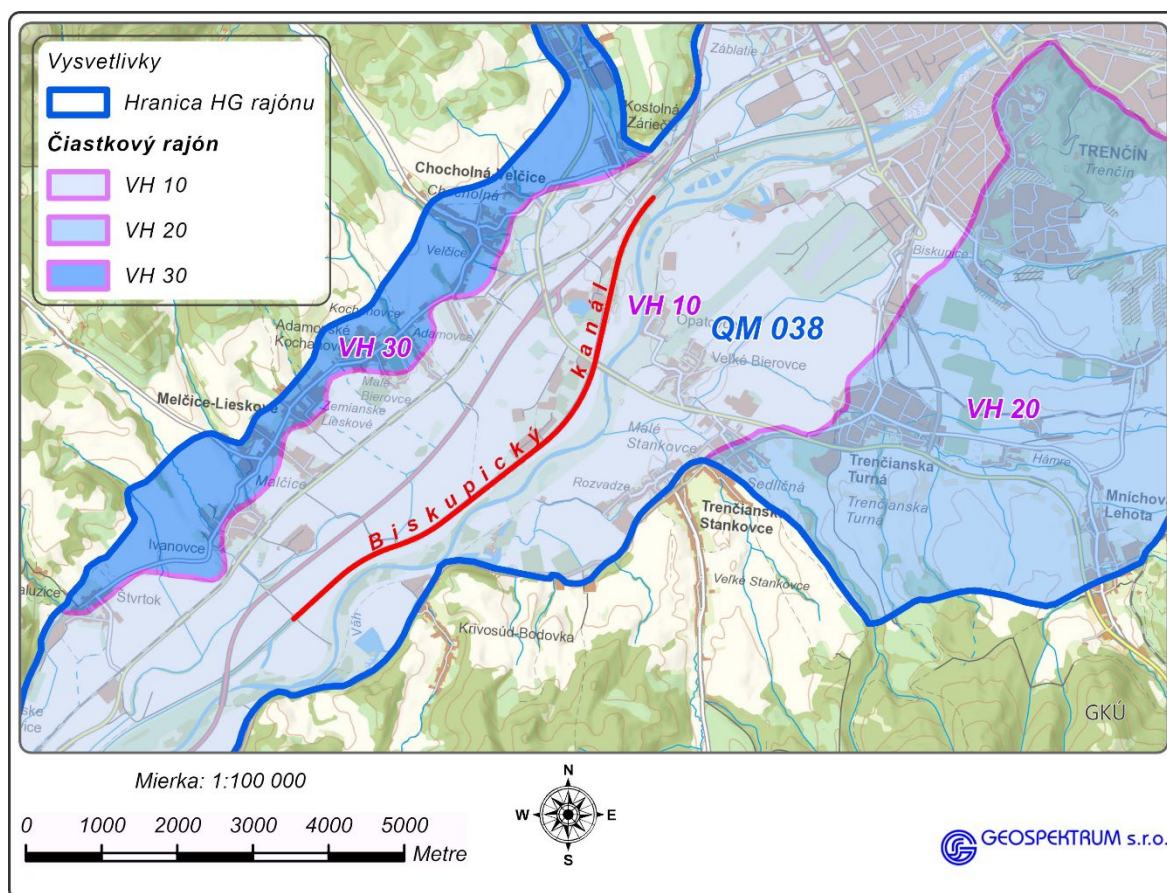


2.6. Hydrogeologické pomery

Hodnotené územie je súčasťou hydrogeologického rajónu QM 038 „Kvartér Trenčianskej kotliny a príslahlé mezozoikum Trenčianskej vrchoviny“. Hydrogeologický rajón má 3 čiastkové rajóny (Šuba, et al., 1984):

- ↪ VH 10 - čiastkový rajón aluviálnej nivy Váhu;
- ↪ VH 20 - čiastkový rajón mezozoika;
- ↪ VH 30 - čiastkový rajón sedimentov terás Váhu.

Obr. č. 16 Príslušnosť k hydrogeologickému rajónu



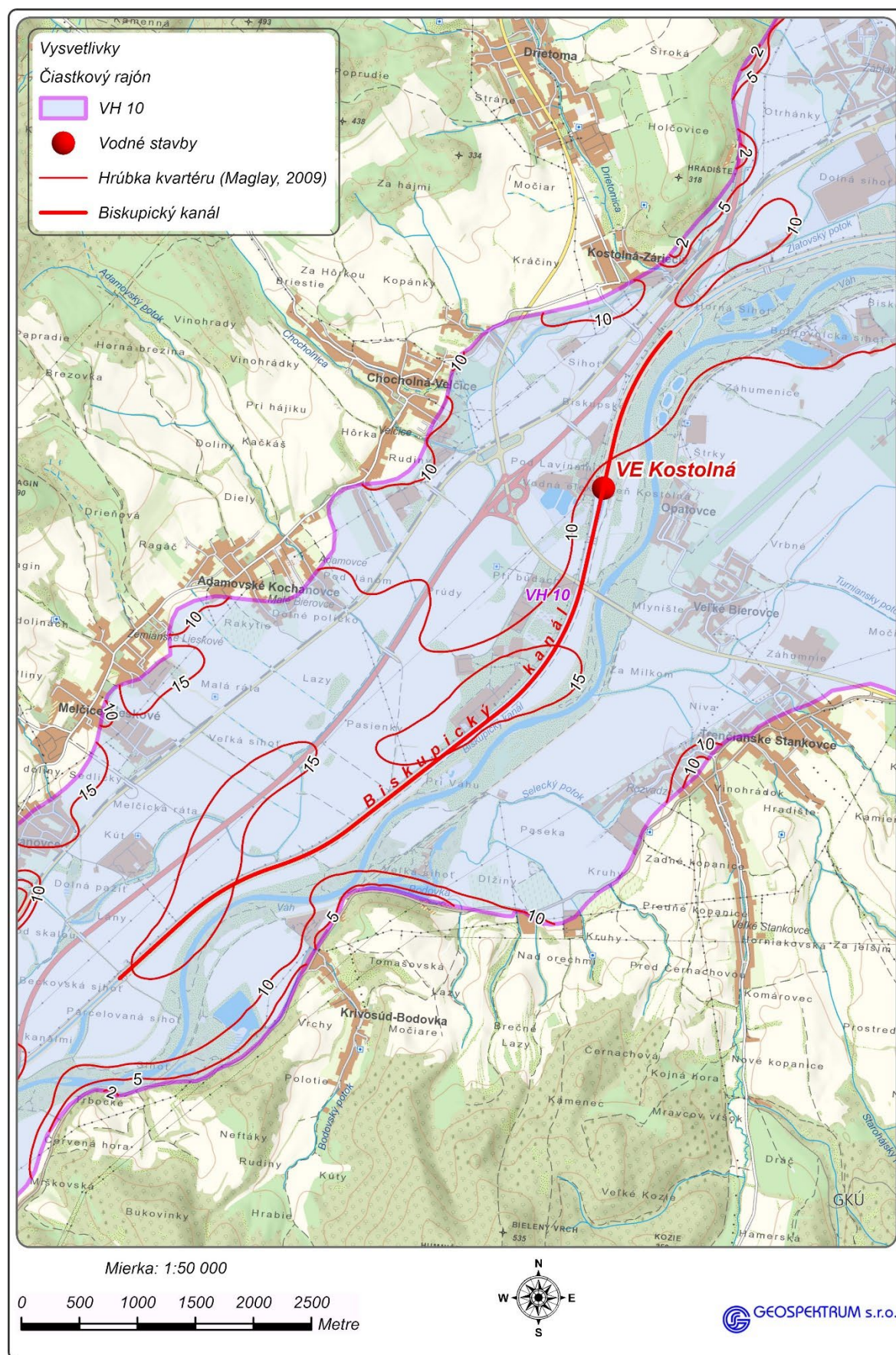
Vymedzená oblasť sa nachádza v čiastkovom rajóne VH 10 s plochou 68,3 km² s bilančným profilom „Váh pod VN Sĺňava“.

V zmysle Nariadenia vlády SR č. 452/2019 Z. z. ktorým sa mení a dopĺňa NV SR č. 282/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd je časť hydrogeologického rajónu [VH 10 a VH 30] súčasťou väčšieho kvartérneho útvaru SK1000500P „Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov horného toku Váhu a jeho prítokov“.

V útware podzemnej vody SK1000500P sú ako kolektorské horniny zastúpené najmä aluviálne a terasové štrky, piesčité štrky, piesky, glacifluviálne sedimenty, proluviálne sedimenty stratigrafického zaradenia pleistocén - holocén.

V hydrogeologickom čiastkovom rajóne VH 10 je priemerný rozsah hrúbky zvodnencov <10 m. Hrúbka kvartérnych sedimentov [⇒ obr. č. 17] je známa z mapy kvartéru Slovenska (Maglay, et al., 2009).

Obr. č. 17 Hrúbka kvartérnych sedimentov (Maglay, et al., 2009)



Vymedzenie najvýznamnejšieho hydrogeologického čiastkového rajónu VH 10 je podmienené predovšetkým priestorovou kontinuitou hlavného kolektora podzemných vôd - kvartérnych štrkopieskových sedimentov dnovej akumulácie Váhu, ktorú tvorí samotná niva Váhu. Kolektor podzemnej vody je tvorený riečnymi štrkopiesčitými sedimentami a priepustnosť je výlučne medzizrnová s voľnou hladinou. Valúny štrku tvoria prevažne granitoidy, vápence a pieskovce, menej kremence, kremité pieskovce a kryštalické bridlice. Sú veľmi dobre opracované a vytriedené.

Prevládajúca je frakcia s valúnami ϕ 2-5 cm, miestami na báze s ϕ 10-25 cm, ojedinelé aj balvany ϕ 25-50 cm. Piesčitú výplň tvorí piesok stredno až hrubozrnný s obsahom 30-60 %, miestami sú tenšie polohy strednozrnného piesku s prímiesou štrku. Hrúbka štrkopiesčitej dnovej akumulácie je 2-16 m, ojedinelé až 27 m. Priemerná hrúbka kolektora na základe štatistického spracovania údajov z hydrogeologických vrtov je 7,3 m. Podložie štrkopieskov v prevažnej časti územia čiastkového rajónu VH 10 tvoria neogénne íly, ílovce a ílovité bridlice, ktoré z hydrogeologického hľadiska považujeme za izolátor (Mlynarčík, 1998).

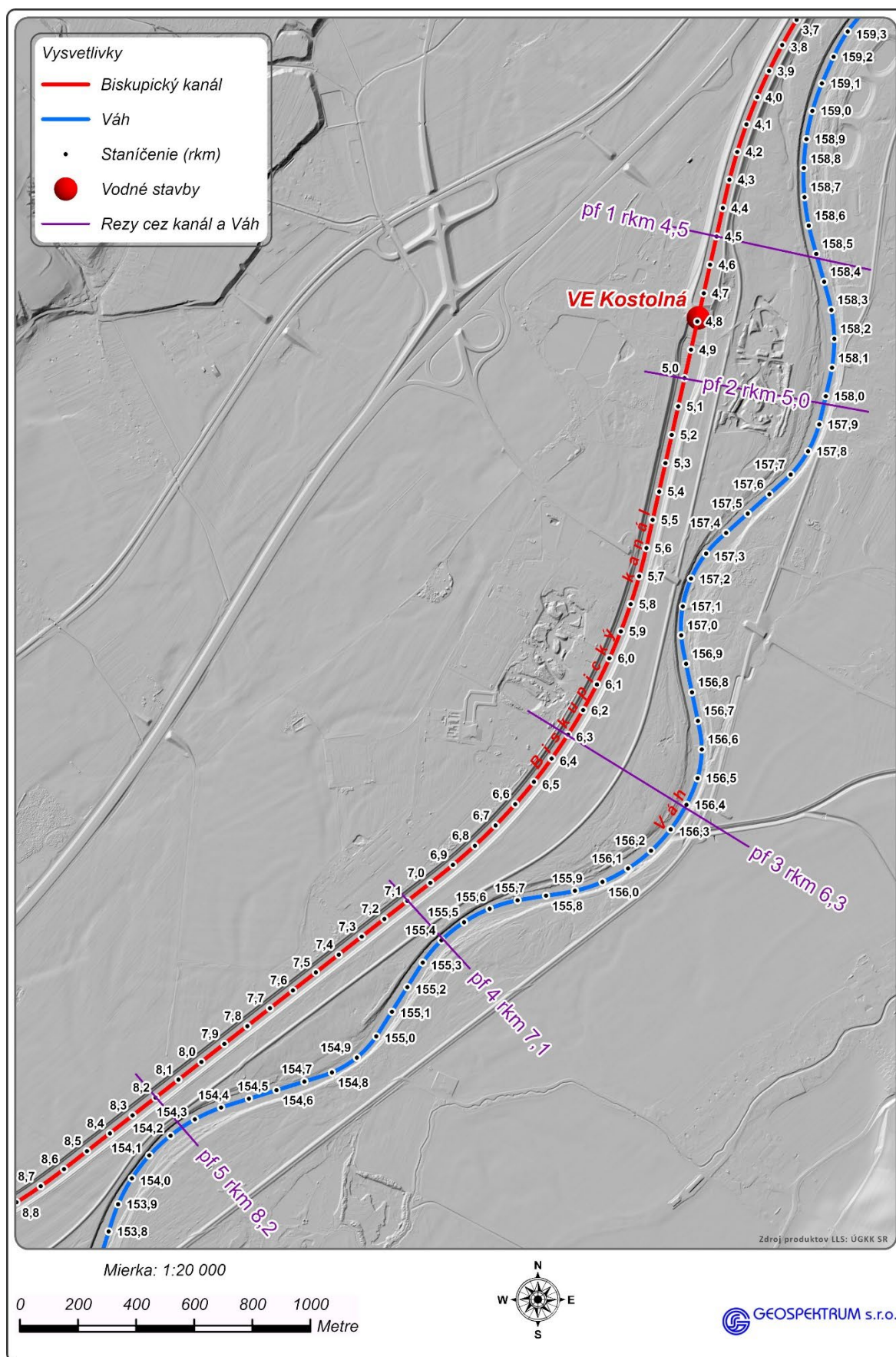
Charakteristickým profilom aluviálnej nivy sú povodňové hliny malých hrúbok, nasledujú piesky zahlinené s prechodom do štrkopiesčitých sedimentov, ktoré tvoria hlavný kolektor podzemnej vody.

Kolektor je trvalo zvodnený a je v hydraulickej spojitosti so starým korytom Váhu. Významným hydrologickým i hydrogeologickým prvkom je umelý prírodný i odpadový kanál. Úroveň hladiny povrchovej vody v kanáloch sa nachádza vyššie alebo nižšie ako úroveň hladiny vo Váhu. Koryto Váhu i kanálov je zakolmatované, preto sa tu prejavujú hladinové skoky. Pre predstavu ako to vyzerá s hladinami v prírodnom, odpadovom kanáli a vo Váhu dokumentujeme na 5 rezoch [$\Rightarrow$ obr. č. 18] na podklade digitálneho modelu reliéfu [DMR 5.0 - Lidar ÚGKK; oblasť 07 – Trenčín; naliatané 28.11.2017-6.4.2018 s výškovou presnosťou DMR 5.0 v ETRS89-h 0,07 m, s výškovou presnosťou v Bpv 0,06 m, s priemernou hustotou bodov 31 b/m²]. Pri snímkaní systémom lidar sa sníma reliéf terénu a pri vodných plochách nie dno ale úroveň hladiny. Na rezoch $\Rightarrow$ obr. č. 19 sú zobrazené rezy v rkm kanála - terénu a hladín.

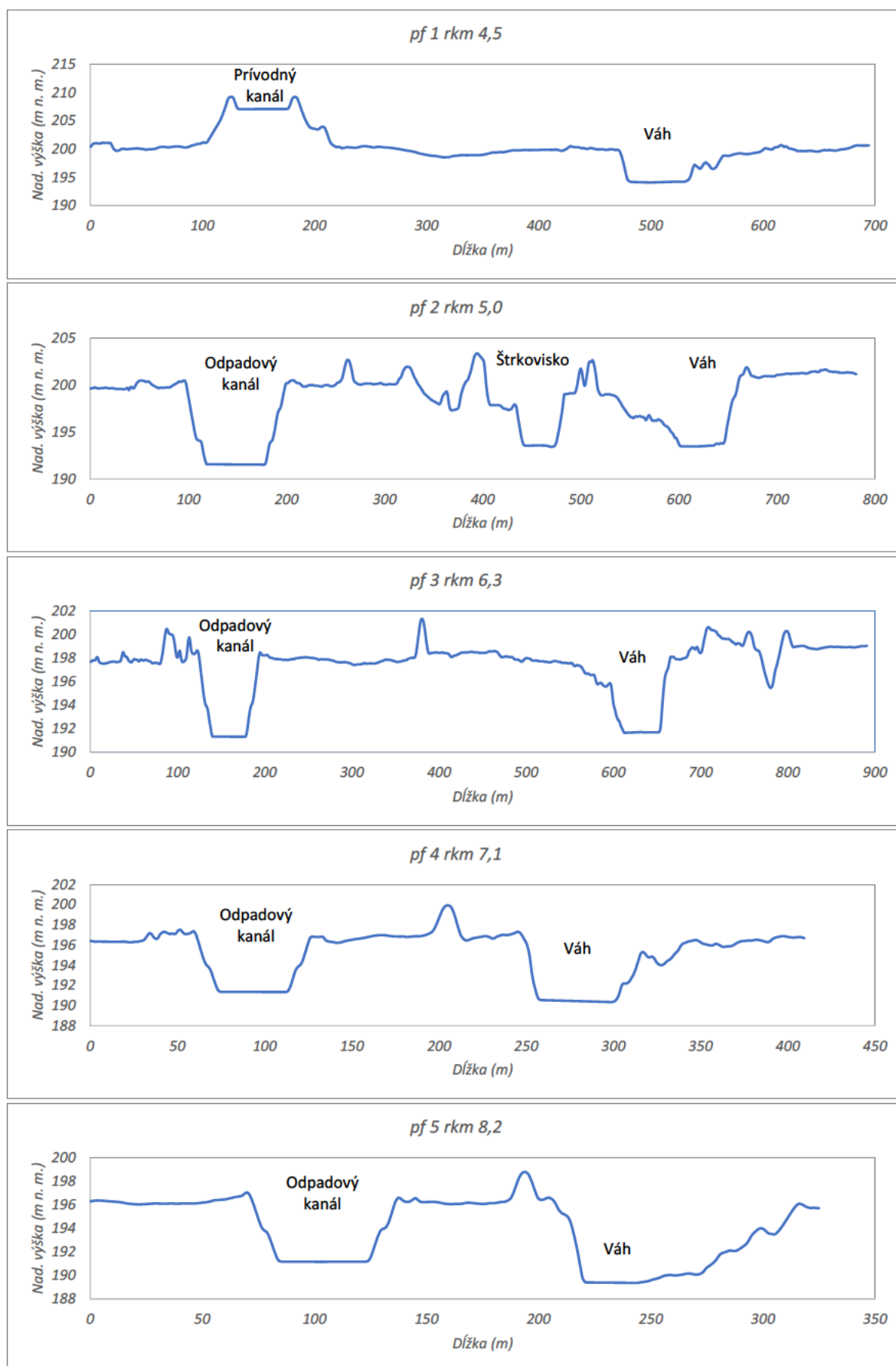
Hydrogeologické ohraničenie zvodneného kolektora voči okoliu môžeme charakterizovať okrajovou podmienkou $Q = \text{konšt.}$, styk kolektora s korytom Váhu predstavuje okrajovú podmienku $H = \text{konšt.}$ Ohraničenie kolektorských štrkopieskov zhora považujeme za polopriepustné, ohraničenie voči podložiu v prevažnej časti územia za nepriepustné, len v miestach, kde podložie štrkov tvoria priamo karbonáty mezozoika za polopriepustné. Vsakovanie povrchových vôd bočných prítokov Váhu do štrkového kolektora je lokálne preukázané a môže tvoriť podmienku $Q = \text{konšt.}$ (Mlynarčík, 1998).

Generálny smer prúdenia podzemných vôd v aluviálnej nive je viac-menej paralelný s priebehom hlavného toku, pričom rieka Váh podzemné vody vo vymedzenej oblasti drénuje. Prúdenie podzemných vôd vo vymedzenej oblasti dokumentuje $\Rightarrow$ obr. č. 20, na ktorom sú modelové hydroizohypsy ustáleného stavu prírodných zdrojov (Mlynarčík, 1998).

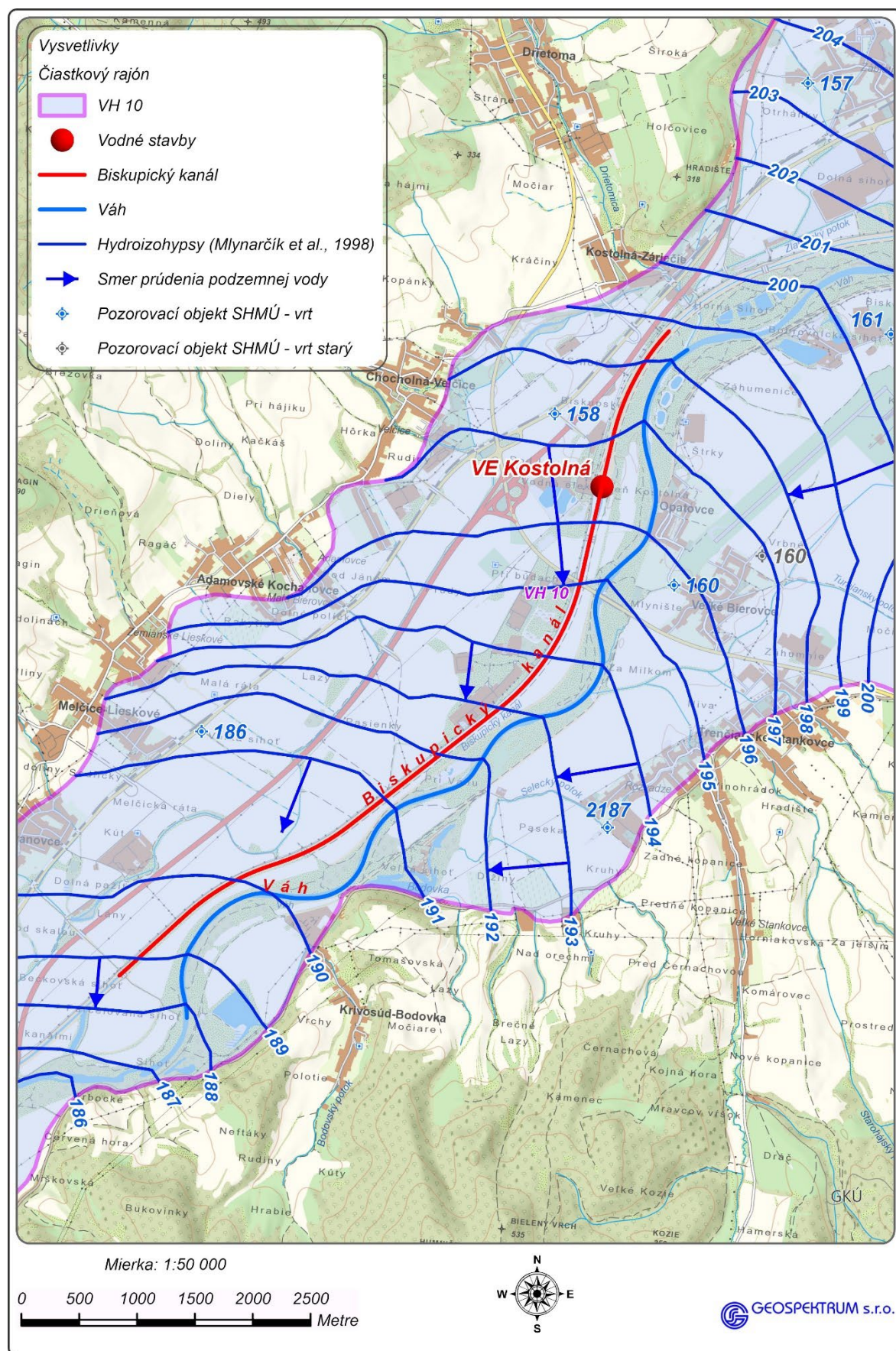
Obr. č. 18 Situácia rezov



Obr. č. 19 Rezy cez kanál a Váh v riečnych km kanála



Obr. č. 20 Hydroizohypsy ustáleného stavu (Mlynarčík, 1998)

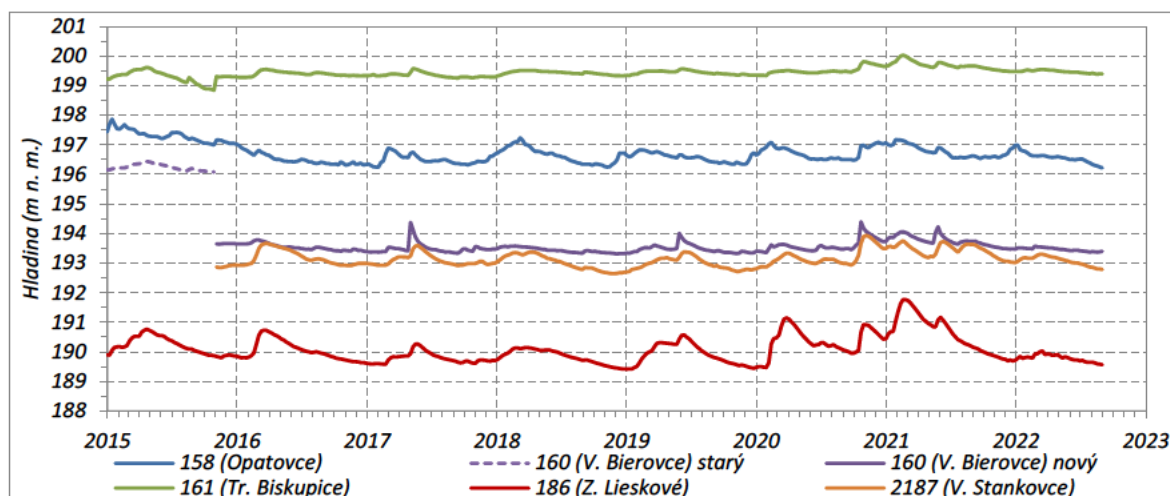


Režim podzemných vôd dokumentujeme 5 pozorovacími objektami SHMÚ Bratislava.

Tab. č. 6 Pozorovacie objekty SHMÚ

Objekt	Lokalita	X	Y	Odmerný bod (m n. m.)	Výška pažnice (m)
158	Opatovce	-1206891,78	-503194,96	201,16	1,10
160	Veľké Bierovce	-1208373,52	-502164,50	199,77	1,06
161	Trenčianske Biskupice	-1206203,39	-500288,97	204,78	0,91
186	Zemianske Lieskové	-1209637,64	-506247,84	197,26	1,11
2187	Veľké Stankovce	-1210468,43	-502739,25	200,65	1,09

Obr. č. 21 Režim podzemnej vody na pozorovacích objektoch SHMÚ



Tab. č. 7 Deskriptívna štatistika úrovne hladiny podzemnej vody (m n. m.)

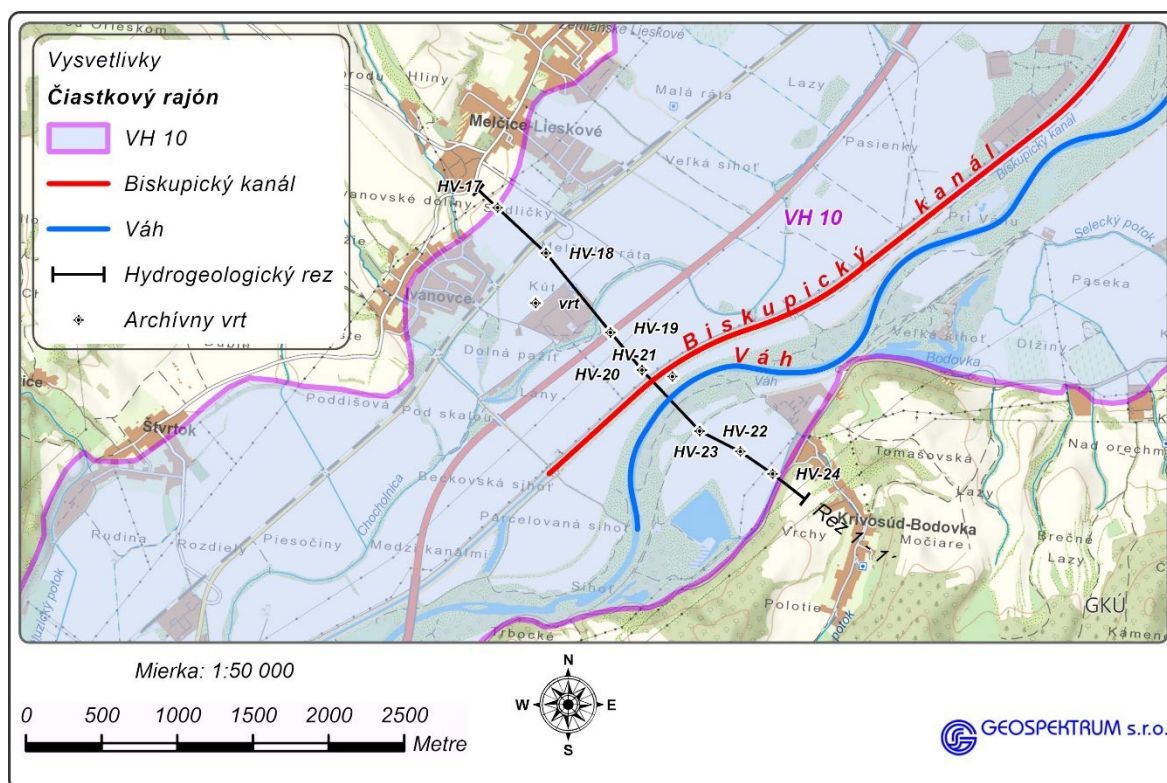
Parameter	158	160 starý	160 nový	161	186	2187
Počet	401	44	357	401	401	357
Minimum	196,22	196,08	193,31	198,84	189,41	192,64
Maximum	197,87	196,43	194,39	200,03	191,77	193,93
Priemer	196,70	196,24	193,54	199,45	190,08	193,14

Schematický rez hydrogeologickým kolektorom [⇒ obr. č. 22; obr. č. 23] charakterizuje zvodnené prostredie v dolnej časti záujmového územia na 9 vrtoch s priemernou hodnotou koeficienta filtrácie $k_f = 3,78 \cdot 10^{-3}$ (Mlynarčík, 1998).

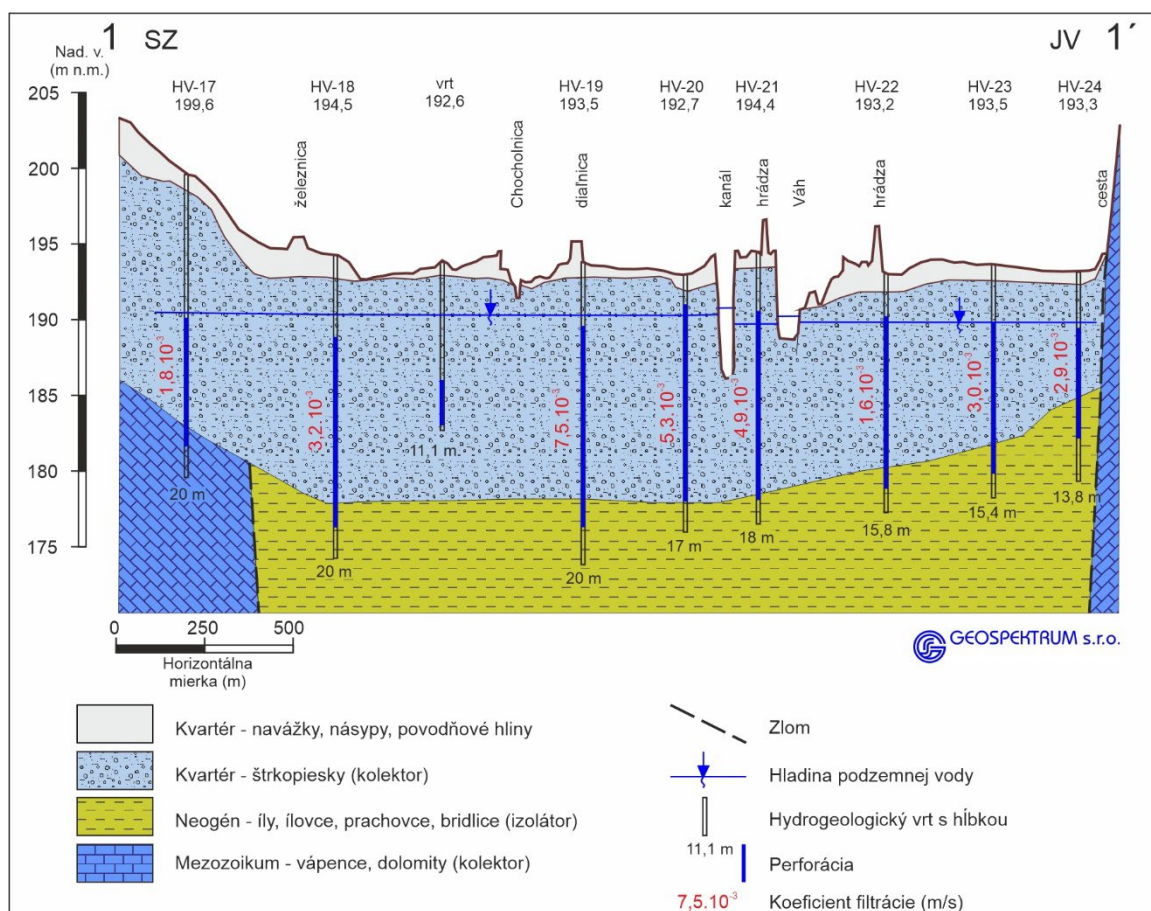
Tab. č. 8 Základné údaje o vrtoch v hydrogeologickom reze

Vrt	Terén (m n. m.)	Hĺbka (m)	Filter od – do (m)	Výdatnosť Q (l/s)	Zníženie s (m)	Špec. výd. q (l/s.m)	Koef. filtrácie k _f (m/s)
HV-17	199,6	20,0	9,5-18,0	19,20	3,00	6,40	$1,80 \cdot 10^{-3}$
HV-18	194,5	20,0	5,4-18,0	19,25	0,57	33,70	$3,20 \cdot 10^{-3}$
VRT	192,6	11,1	8,0-11,0	4,5	0,1	45,0	-
HV-19	193,5	20,0	4,2-17,5	17,80	0,26	68,00	$7,50 \cdot 10^{-3}$
HV-20	192,7	17,0	2,0-15,0	57,10	1,00	57,00	$5,30 \cdot 10^{-3}$
HV-21	194,4	18,0	4,0-16,5	8,70	0,17	51,00	$4,90 \cdot 10^{-3}$
HV-22	193,2	15,8	3,0-14,4	20,00	3,00	6,60	$1,60 \cdot 10^{-3}$
HV-23	193,5	15,4	4,0-14,0	32,70	1,75	18,70	$3,00 \cdot 10^{-3}$
HV-24	193,3	13,8	3,7-11,0	33,30	3,00	11,10	$2,90 \cdot 10^{-3}$

Obr. č. 22 Situácia hydrogeologického rezu



Obr. č. 23 Hydrogeologický rez 1 – 1'



V práci (Mlynarčík, 1998) je čiastkový rajón VH 10 charakterizovaný nasledovne: Kvartérne fluvialne štrky dnovej akumulácie Váhu v úseku od hate Biskupice po Beckov majú priemernú hrúbku 9,7 m a priemerná hrúbka zvodne je 7 m. Zo 78 archívnych dokumentačných bodov bola zistená špecifická výdatnosť vrtu od 0,04 do 68 l.s⁻¹.m⁻¹. Priemerná merná výdatnosť vrtu v danom území je 10,7 l.s⁻¹.m⁻¹. Bodové hodnoty koeficientu filtrácie sa pohybovali v rozmedzí od 1,1.10⁻⁴ po 3,2.10⁻² m.s⁻¹ s priemernou hodnotou k_f = 2,9.10⁻³ m.s⁻¹. Hodnota koeficientu prietochnosti bola stanovená len na 16 dokumentačných bodoch - v rozpätí 2,0-7,4.10⁻³ m².s⁻¹. V areáli Agrochemického podniku Trenčianske Bohuslavice bola stanovená hodnota účinnej pórovitosti 0,18 a rýchlosť prúdenia podzemnej vody na 0,8 - 1,3 m/deň. Priepustnosť štrkov v uvedenom kolektore je silná.

Z archívnych vrtov zo správy (Dzuriak, et al., 1982) doplnených o hydrogeologické vrty evidenčných listov Geofondu Bratislava sme zostavili izolínie podložia kvartérneho kolektora.

Tab. č. 9 Archívne vrty pre zostavenie izolínií podložia kolektora

Vrt	Terén (m n. m.)	Báza kolektora (m)	Báza kolektora (m n. m.)	Zdroj
S-3	205	6,8	198,2	Dzuriak, 1982
S-108	204,8	6,6	198,2	Dzuriak, 1982
40	205,06	7,6	197,46	Dzuriak, 1982
DZ-38	206	8	198	Dzuriak, 1982
S-2	203	5,3	197,7	Dzuriak, 1982
DTV-37	202,7	8,4	194,3	Dzuriak, 1982
S-1	202,5	7,4	195,1	Dzuriak, 1982
DTV-36	202,59	7,4	195,19	Dzuriak, 1982
K-10	217,6	13	204,6	Dzuriak, 1982
K-18	215,69	10	205,69	Dzuriak, 1982
K-7	215,44	3,8	211,64	Dzuriak, 1982
HV-28	202,5	10,5	192	Dzuriak, 1982
98	200	7	193	Dzuriak, 1982
HV-29	202,9	11,5	191,4	Dzuriak, 1982
HŠG-1	196,2	8	188,2	Dzuriak, 1982
DPV-20	196,48	14,4	182,08	Dzuriak, 1982
DPV-16	198,53	14,2	184,33	Dzuriak, 1982
DZ-34	200	14	186	Dzuriak, 1982
10	200	8	192	Dzuriak, 1982
DZ-35	195,5	14	181,5	Dzuriak, 1982
DPV-18	195,36	14	181,36	Dzuriak, 1982
DZ-33	197,5	13	184,5	Dzuriak, 1982
BM-4	227,41			Dzuriak, 1982
HV-17	199,5	16,4	183,1	Dzuriak, 1982
HV-18	194,5	17	177,5	Dzuriak, 1982
HV-20	192,7	15,5	177,2	Dzuriak, 1982
HV-21	194,4	16	178,4	Dzuriak, 1982
HV-22	193,2	13	180,2	Dzuriak, 1982
HV-23	193,5	12,6	180,9	Dzuriak, 1982
HV-24	193,3	7,5	185,8	Dzuriak, 1982
HO-1	201,5	8,5	193	EL Geofondu
č. 158	201	6	195	EL Geofondu
č. 160	201,2	7,5	193,7	EL Geofondu
M-1	222	17,3	204,7	EL Geofondu
vrt	202,5	26,5	176	EL Geofondu
999	201,2	16,3	184,9	EL Geofondu
999	197,5	9,5	188	EL Geofondu
K-1	211,22	9	202,22	EL Geofondu
ML-1	201	25	176	EL Geofondu
KŠ-1	212,48	8,5	203,98	EL Geofondu
KŠ-2	212,62	8,2	204,42	EL Geofondu
KŠ-3	213,93	8,3	205,63	EL Geofondu
KŠ-4	212,6	9,8	202,8	EL Geofondu
999	200,5	12,7	187,8	EL Geofondu
HP-1	201,5	9,4	192,1	EL Geofondu
999	209	27,5	181,5	EL Geofondu

Vrt	Terén (m n. m.)	Báza kolektora (m)	Báza kolektora (m n. m.)	Zdroj
999	201	7	194	EL Geofondu
K-1	211,22	12,4	198,82	EL Geofondu
K-2	212,44	6,7	205,74	EL Geofondu
K-3	217,73	9,4	208,33	EL Geofondu
K-4	216,74	6,8	209,94	EL Geofondu
K-5	201,45	3,9	197,55	EL Geofondu
K-6	211,2	5,6	205,6	EL Geofondu
K-10	217,05	13	204,05	EL Geofondu
K-12	212,79	8,4	204,39	EL Geofondu
K-13	212,27	9	203,27	EL Geofondu
K-18	215,39	10	205,39	EL Geofondu
č. 186	196,051	8	188,051	EL Geofondu
č. 187	198,349	15,8	182,549	EL Geofondu
HCH-1	210	22,5	187,5	EL Geofondu
HCH-2	205	23	182	EL Geofondu
HŠB-1	196,2	8	188,2	EL Geofondu
HVN-2	203,5	7,5	196	EL Geofondu
BK-1	223	15	208	EL Geofondu
ŠHV-1	200,1	8,2	191,9	EL Geofondu
ŠHV-2	200,3	8,5	191,8	EL Geofondu
HV-1	207,2	10	197,2	EL Geofondu
HV-1	200,1	6,5	193,6	EL Geofondu
HGT-7	204,56	8	196,56	EL Geofondu
HGT-9	204,45	7	197,45	EL Geofondu
HGT-12	204,41	7,8	196,61	EL Geofondu
HV-1	199,91	6,7	193,21	EL Geofondu
HV-2	199,94	7,8	192,14	EL Geofondu
HV-3	200,46	7,5	192,96	EL Geofondu
HV-4	200,36	7,8	192,56	EL Geofondu
HGV-1	203,5	11,5	192	EL Geofondu
ZV-1	196	15,8	180,2	EL Geofondu
č. 161	205,4	6,5	198,9	EL Geofondu
č. 159	206,5	11	195,5	EL Geofondu
HTB-1	205	11	194	EL Geofondu
999	206	7,6	198,4	EL Geofondu
vrt	213	10,4	202,6	EL Geofondu
HŠT-2	207	8	199	EL Geofondu
K-1	205,5	8,5	197	EL Geofondu
HGT-1	205	10	195	EL Geofondu
HGT-4	204,47	9,1	195,37	EL Geofondu
HGT-14	204,58	7,5	197,08	EL Geofondu
HGT-16	204,83	8,9	195,93	EL Geofondu
HV-2	206	8,7	197,3	EL Geofondu
V-1P	205,8	6,8	199	EL Geofondu
V-2P	205,8	6,6	199,2	EL Geofondu

3. Výsledky prieskumných prác

3.1. Vrtné práce

V rámci prieskumu boli zrealizované jadrové inžinierskogeologické vrty do hĺbky 10-13 m s označením VK-1/H, VK-2 a VK-3/H. Vrt bol realizovaný 2.9.2022 spoločnosťou Ing. Jozef Hajčik Geologicko-prieskumné práce, vrtnou súpravou HVS-455 pod vedením vrtmajstra Petra Bureja.

Vrty VK-1/H a VK-3/H boli po odvrtaní zabudované ako pozorovacie pre sledovanie režimu hladiny podzemnej vody. Geologicko-technický náčrt vrtov je súčasťou ⇒ príl. č. 2, geologická dokumentácia a fotodokumentácia vrtov je v ⇒ príl. č. 3.

Pozícia realizovaných vrtov je zrejmá zo situácie prieskumných diel v ⇒ príl. č. 1.

Foto. č. 2 Fotodokumentácia vrtných prác



3.2. Dynamické penetračné skúšky

Dynamické penetračné sondy s označením DPV-1 až DPV-4 boli realizované ťažkou dynamickou penetračnou súpravou typu MDP 50 (DPH). Penetračné sondy hĺbky 5,7-8 m boli realizované v blízkosti vrtov, pričom ich pozícia je zrejmá zo situácie v ⇒ príl. č. 1. Vyhodnotenie penetračných skúšok je v ⇒ príl. č. 6.

Foto. č. 3 Fotodokumentácia vrtných prác



3.3. Vzorkovacie práce

V rámci prieskumu bolo odobratých 13 ks porušených vzoriek zemín z jednotlivých vrtov a hĺbok uvedených v nasledovnej ⇒ tab. č. 10.

Tab. č. 10 Odbery vzoriek zemín

Názov vrtu	Hĺbka odberu vzorky (m)	Druh vzorky
VK-1/H	3,5 – 3,7 m	porušená
	5,5 – 5,7 m	porušená
	8,3 – 8,5 m	porušená
	9,8 – 10,0 m	porušená
VK-2	4,8 – 5,0 m	porušená
	6,9 – 7,1 m	porušená
	8,9 – 9,1 m	porušená
	9,5 – 9,7 m	porušená
VK-3/H	2,5 – 2,7 m	porušená
	4,6 – 4,8 m	porušená
	6,5 – 6,7 m	porušená
	9,1 – 9,3 m	porušená
	9,7 – 9,9 m	porušená

Z vrtov VK-1/H a VK-3/H boli odobraté vzorky podzemnej vody pre stanovenie agresívnych vlastností na betón.

3.4. Laboratórne práce

Odobraté vzorky zemín boli spracované v laboratóriu mechaniky zemín fy Terratest, s.r.o. Bratislava v zmysle platnej metodiky. Odobraté vzorky podzemnej vody boli spracované v laboratóriu fy ASL Bratislava v zmysle platnej metodiky. Výsledky rozborov sú uvedené v ⇒ príl. č. 5.

3.5. Geodetické zameranie vrtov a penetračných sond

Prieskumné diala boli geodeticky zamerané polohopisne v S-JTSK a výškopisne v Bpv spoločnosťou GK Skovajsík s.r.o.

Tab. č. 11 Zameranie vrtov

Objekt	Y	X	Z	Popis
VK-1/H	502 770,455	1 207 731,864	200,254	terén
			200,991	pažnica
VK-2	503 958,254	1 209 704,912	196,861	terén
VK-3/H	504 437,305	1 210 084,842	195,905	terén
			196,580	pažnica
DPV-1	502 785,530	1 207 728,575	193,882	terén
DPV-2	503 960,623	1 209 697,722	193,743	terén
DPV-3	504 450,390	1 210 078,913	193,791	terén
DPV-4	504 256,708	1 209 928,184	193,720	terén

3.6. Spôsob likvidácie prieskumných diel

Prieskumný inžinierskogeologický vrt VK-2 bol po jeho realizácii, dokumentácii a o vzorkovaní zlikvidovaný zahádzaním odvrátnym materiálom, prieskumné vrty VK-1/H a VK-3/H boli po ich realizácii, dokumentácii a o vzorkovaní zabudované ako pozorovacie vrty - sledovanie úrovne hladiny podzemnej vody.

4. Inžinierskogeologické a hydrogeologické pomery

4.1. Inžinierskogeologické pomery

Inžinierskogeologické pomery možno charakterizovať na základe dokumentácie realizovaných a archívnych vrtov a vyhodnotení laboratórnych a poľných (penetračné sondy) skúšok.

Povrchovú vrstvu tvoria humusová vrstva hrúbky do 0,2 m a štrkovou navážkou (konštrukcia poľnej cesty) mocnosti do 1 m. Navážky prechádzajú na fluvialne sedimenty, ktoré sú zastúpené fáciou povodňových holocénných náplavov zastúpených jemnozrnnými zeminami hrúbky do 1,5 m (boli dokumentované len vo vrte VK-1/H, v ostatných vrtoch poloha absentuje). Podľa STN 72 1001 ich možno klasifikovať ako silt piesčitý so symbolom MS. Zeminy sú tuhej konzistencie, svetlohnedej farby.

Odporúčané fyzikálno-mechanické vlastnosti nivných sedimentov uvádza nasledujúca $\Rightarrow$ tab. č. 12.

Tab. č. 12 *Odporúčané fyzikálno-mechanické vlastnosti nivných jemnozrnných sedimentov*

Parameter/ symbol	F3 MS
objemová tiaž (kNm^{-3})	18,5
uhol vn. trenia efektívny ($^{\circ}$)	24
súdržnosť efektívna (kPa)	10
modul deformácie (MPa)	8
Poissonovo číslo ν	0,35
β	0,62

Od hĺbky 0,5-2,6 m nasadzuje poloha fluvialných štrkov korytovej fácie. Štrky sú strednozrnné s veľkosťou dobre opracovaných valúnov do 5-7 cm, ojedinile sa vyskytujú zrná do 10-15 cm. Podľa STN 72 1001 ich možno klasifikovať prevažne ako štrk zle zrnený so symbolom GP až štrk s prímiesou jemnozrnej zeminy so symbolom G-F, miestami sa vyskytujú štrky dobre zrnené so symbolom GW. Štrky sú podľa výsledkov dynamických penetračných skúšok stredne uľahnuté až uľahnuté, pričom v polohách porušených sufóziou sú nakyprené [$\Rightarrow$ príl. č. 6]. Odporúčané fyzikálno-mechanické vlastnosti fluvialných štrkov uvádza nasledujúce $\Rightarrow$ tab. č. 13 a tab. č. 14.

Tab. č. 13 *Odporúčané fyzikálno-mechanické vlastnosti stredne uľahnutých až uľahnutých fluvialných štrkov*

Parameter/ symbol	G1 GW, G2 GP	G3 G-F
objemová tiaž (kNm^{-3})	21	21
uhol vn. trenia efektívny ($^{\circ}$)	38	34
súdržnosť efektívna (kPa)	0	0
modul deformácie (MPa)	400	100
Poissonovo číslo ν	0,20	0,25
β	0,90	0,83

Tab. č. 14 Odporúčané fyzikálno-mechanické vlastnosti nakyprených fluviálnych štrkov

Parameter/ symbol	G1 GW, G2 GP	G3 G-F
objemová tiaž (kNm^{-3})	19	19
uhol vn. trenia efektívny ($^{\circ}$)	32	28
súdržnosť efektívna (kPa)	0	0
modul deformácie (MPa)	150	30
Poissonovo číslo ν	0,20	0,25
β	0,90	0,83

Priemerný koeficient filtrácie štrkov stanovený výpočtom (Carman-Kozeny) z kriviek zrnitosti pre dobre až zle zrenené štrky GW, GP je $k_f = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ a pre štrky s prímiesou jemnozrnej zeminy G-F je $k_f = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$.

Báza štrkov sa nachádza v úrovni 9-14,5 m.

Predkvartérne podložie tvoria sedimenty neogénu zastúpené jemnozrnnými zeminami, miestami charakteru ílov až siltov, ktoré podľa STN 72 1001 možno klasifikovať ako íl s nízkou až so strednou plasticitou so symbolom CL, CI až silt s nízkou plasticitou so symbolom ML. Zeminy sú pevnej až tvrdej konzistencie, miestami až slabo spevnené charakteru ílovcov až siltovcov.

Odporúčané fyzikálno-mechanické vlastnosti neogénnych sedimentov uvádza nasledujúca $\Rightarrow$ tab. č. 15.

Tab. č. 15 Odporúčané fyzikálno-mechanické vlastnosti neogénnych sedimentov

Parameter/ symbol	F6 CL, CI	F5 ML
objemová tiaž (kNm^{-3})	20,5	19,5
uhol vn. trenia efektívny ($^{\circ}$)	18	20
súdržnosť efektívna (kPa)	22	25
modul deformácie (MPa)	8	10
Poissonovo číslo ν	0,40	0,40
β	0,47	0,47

Koeficient filtrácie neogénnych ílov stanovený výpočtom (Carman-Kozeny) z krivky zrnitosti je $k_f = 2 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$.

Ťažiteľnosť zemín možno podľa STN 73 3050 klasifikovať nasledovne:

- $\Rightarrow$ navážky tr. 3,
- $\Rightarrow$ fluviálne silty tr. 2,
- $\Rightarrow$ fluviálne štrky tr. 3-4.

Vítateľnosť zemín možno klasifikovať nasledovne:

- $\Rightarrow$ navážky tr. 1,
- $\Rightarrow$ fluviálne silty tr. 1,
- $\Rightarrow$ fluviálne štrky tr. 2-3,
- $\Rightarrow$ neogénne íly tr. 1-2.

4.2. Hydrogeologické pomery

Realizovanými vrtmi bola počas vŕtania narazená podzemná voda v polohe fluviaálnych štrkov. Údaje o narazenej hladine podzemnej vody uvádzame v nasledujúcej tabuľke.

Tab. č. 16 Údaje o narazenej hladine podzemnej vody

Vrt	Hladina narazená	
	(m)	(m n. m.)
VK-1/H	7,9	192,35
VK-2	6,0	190,86
VK-3/H	5,5	190,41

Do vrtov VK-1/H a VK-3/H boli dňa 6.9.2022 zapustené sondy Levellogger® Junior od firmy Solinst so záznamom stavu hladiny v hodinových intervaloch. Sonda si uchováva dáta v pamäti a po pripojení prenosného PC je ich možné stiahnuť a spracovať. Monitorovanie úrovne hladiny podzemnej vody prebiehalo od 6.9.2022 do 13.10.2022 (t. j. 37 dní).

Foto. č. 4 Fotodokumentácia pozorovacích nových objektov

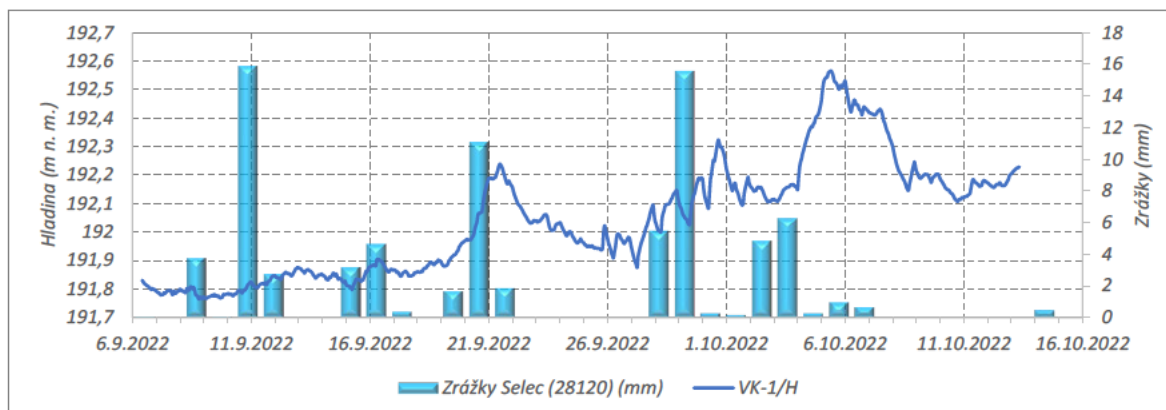
VK-1/H



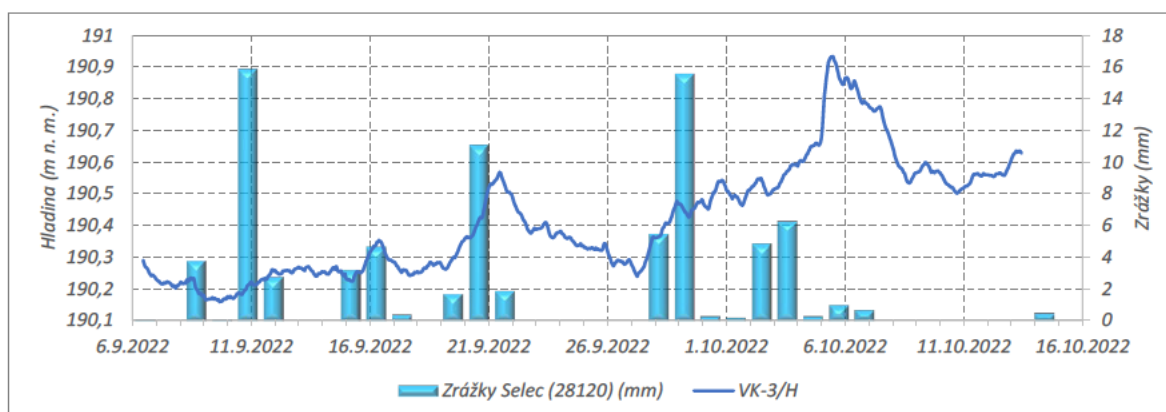
VH-3/H



Obr. č. 25 Režimové zmeny podzemnej vody vo vrte VK-1/H



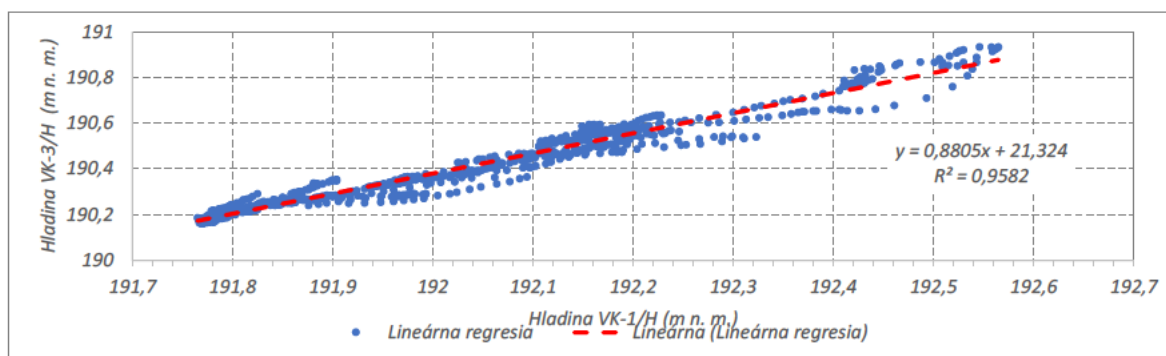
Obr. č. 26 Režimové zmeny podzemnej vody vo vrte VK-3/H



Tab. č. 17 Deskriptívna štatistika režimu podzemnej vody

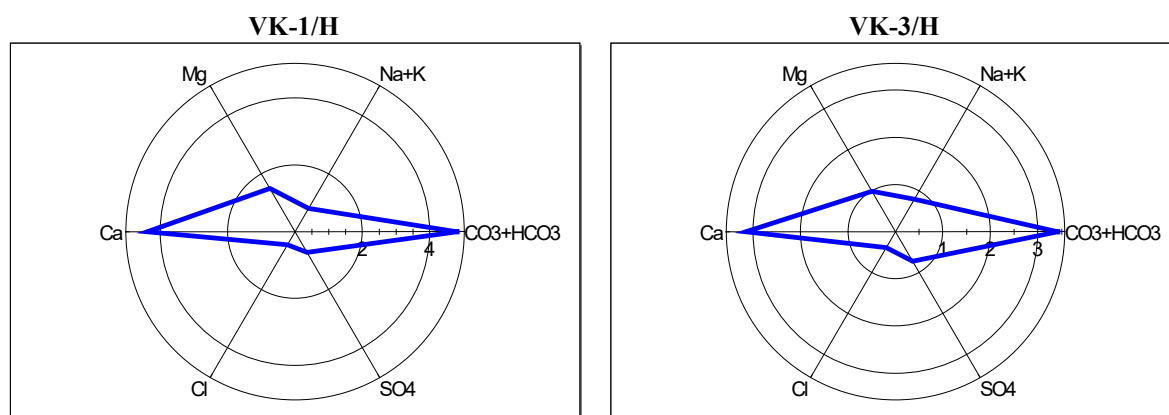
Parameter	VK-1/H	VK-3/H	VK-1/H	VK-3/H
	Hladina od OB (m)		Hladina (m n. m.)	
Počet	887	888	887	888
Maximum	9,23	6,38	192,57	190,93
Minimum	8,43	5,61	191,77	190,16
Rozkyv	0,8	0,774	0,8	0,774
Priemer	8,95	6,12	192,04	190,42
Koeficient korelácie			0,98	
Koeficient determinácie			0,96	

Obr. č. 27 Lineárna regresia úrovne hladín podzemnej vody vo vrtoch VK-1/H a VK-3/H



Z vrtov VK-1/H a VK-3/H boli odobraté vzorky podzemnej vody na fyzikálno-chemický rozbor. V zmysle STN EN 206+A1 (732403) podzemná voda nevytvára pre betón agresívne chemické prostredie.

Z výsledkov vzoriek vody odobratých z pozorovacích vrtov VK-1/H a VK-3/H dňa 6.9.2022 sa dá konštatovať, že sa jedná o obyčajnú podzemnú vodu (s celkovou mineralizáciou 478 mg.l⁻¹, resp. 353 mg.l⁻¹), mierne alkalickú (pH 7,64, resp. 7,77), kde v kationoch dominuje vápnik, v aniónoch hydrogénuhličitaný ⇒ obr. č. 28. Z genetického hľadiska sa jedná o typické podzemné vody z kvartérneho zvodneného kolektora s tzv. potamogénnou mineralizáciou. Platí, že na výslednom chemickom zložení podzemnej vody má výrazný podiel povrchový tok. Toto konštatovanie potvrdzuje aj relatívne nízka celková mineralizácia, najmä v prípade vrtu VK-3/H (353 mg.l⁻¹), čo nasvedčuje o krátkom časovom úseku obehu podzemnej vody v hominovom prostredí. V zmysle Palmer-Gazdovej klasifikácie sa jedná o základný výrazný Ca-HCO₃ typ podzemnej vody.

Obr. č. 28 *Lúčové grafy (c.z.)*


Dňa 13.10.2022 bol ukončený účelový monitoring na nových vrtoch a tiež bolo vykonané v tento deň expedičné zameranie úrovne hladín v povrchových tokoch, štrkoviskách, podzemnej vody vo vrtoch a studniach v širšom okolí Biskupického kanála. Výber bol zameraný na plošné rovnomerné pokrytie územia s cieľom zostrojenia hydroizohýps a smerov prúdenia podzemnej vody prvého zvodneného kolektora. Okrem zámeru úrovne hladiny podzemnej vody boli všetky objekty polohopisne (S-JTSK) a výškopisne (Bpv) zamerané. Výsledky expedičného merania stavu hladín povrchových a podzemných vôd sú uvedené v ⇒ tab. č. 18.

Tab. č. 18 *Expedičné meranie zo dňa 13.10.2022*

Číslo	Názov	X	Y	Z OB (m n. m.)	OB od ter. (m)	Hpv od OB (m)	Typ vody	Hladina vody (m n. m.)
1	BK-1	1 205 933,45	501 901,15	207,36			povrchová	207,36
2	BK-2	1 207 348,61	502 707,30	209,17		1,84	povrchová	207,33
3	BK-3	1 207 724,11	502 790,52	191,48			povrchová	191,48
4	BK-4	1 208 388,81	502 963,70	191,40			povrchová	191,4
5	BK-5	1 210 074,61	504 453,22	191,26			povrchová	191,26
6	BK-6	1 211 166,74	506 286,35	191,14			povrchová	191,14
7	Váh-1	1 206 337,96	502 069,74	195,27			povrchová	195,27
8	Váh-2	1 207 642,86	502 310,51	193,70			povrchová	193,7
9	Váh-3	1 208 494,76	502 827,67	191,83			povrchová	191,83
10	Váh-4	1 210 174,61	504 311,92	190,13			povrchová	190,13
11	Váh-5	1 211 195,59	506 120,82	187,49			povrchová	187,49
12	Drietomica	1 206 023,11	501 941,77	198,45			povrchová	198,45
13	Štrk-1	1 210 957,78	504 839,77	193,61			povrchová	193,61
14	Štrk-2	1 212 099,82	506 189,04	186,72			povrchová	186,72
15	LH-3 (3,000)	1 206 019,44	501 984,68	204,92	0,36	6,69	podzemná	198,23
16	LH-2 (3,000)	1 206 016,75	501 987,44	205,83	0,3	7,61	podzemná	198,22
17	LH-3 (3,500)	1 206 359,46	502 305,15	203,46	0,445	6,86	podzemná	196,6
18	LH-2 (3,500)	1 206 354,84	502 311,85	205,98	0,415	9,35	podzemná	196,63

Číslo	Názov	X	Y	Z OB (m n. m.)	OB od ter. (m)	Hpv od OB (m)	Typ vody	Hladina vody (m n. m.)
19	LH-1 (3,500)	1 206 350,64	502 318,99	209,36	0	12,6	podzemná	196,76
20	LH-3 (4,100)	1 206 861,27	502 576,33	202,57	0,37	6,43	podzemná	196,14
21	LH-2 (4,100)	1 206 859,30	502 582,55	204,52	0,48	8,39	podzemná	196,13
22	LH-1 (4,100)	1 206 855,82	502 594,62	209,29	0	12,94	podzemná	196,35
23	LH-3 (4,525)	1 207 275,98	502 680,54	203,73	0,385	7,93	podzemná	195,8
24	LH-2 (4,525)	1 207 276,08	502 686,56	205,28	0,47	8,2	podzemná	197,08
25	LH-1 (4,525)	1 207 274,04	502 696,46	209,17	0	12,82	podzemná	196,35
26	LH-2 (4,600)	1 207 354,74	502 687,56	204,39	0,92	9,36	podzemná	195,03
27	LH-1 (4,600)	1 207 351,81	502 699,34	209,40	1,04	14,31	podzemná	195,09
28	LH-3 (4,680)	1 207 407,40	502 696,20	202,58	0,1	7,96	podzemná	194,62
29	LH-2 (4,680)	1 207 406,27	502 704,24	205,90	0,73	>10,66		
30	LH-1 (4,680)	1 207 404,97	502 716,19	210,04	0,92	15,35	podzemná	194,69
31	VK-1/H	1 207 731,90	502 770,46	200,99	0,735	6,08	podzemná	194,91
32	VK-3/H	1 210 084,72	504 437,27	196,58	0,635	6,22	podzemná	190,36
33	Vrt v poli	1 211 230,50	506 247,23	195,09	0,87	7,48	podzemná	187,61
34	SHMÚ 161	1 206 203,39	500 288,97	204,78		5,43	podzemná	199,35
35	Vrt ČSPH	1 206 417,14	503 733,23	200,86	0,67	3,64	podzemná	197,22
36	SHMÚ 158	1 206 891,78	503 194,96	201,16		4,97	podzemná	196,19
37	HŠB-1	1 208 191,45	503 720,10	196,22		2,87	podzemná	193,35
38	SHMÚ 160	1 208 373,52	502 164,50	199,77		6,40	podzemná	193,37
39	St. 49	1 208 530,63	505 026,27	199,26	0,67	7,05	podzemná	192,21
40	St. záhr.	1 208 510,34	503 340,46	198,70	0,1	6,28	podzemná	192,42
41	HGE-2	1 208 603,23	503 108,54	199,42	0,9	7,9	podzemná	191,52
42	HGE-3	1 208 654,00	503 135,02	199,38	0,6	7,92	podzemná	191,46
43	SHMÚ 186	1 209 637,64	506 247,84	197,26		7,77	podzemná	189,49
44	SHMÚ 2187	1 210 468,43	502 739,25	200,65		7,96	podzemná	192,69

Vysvetlivky: OB – odmerný bod; Hpv – hladina podzemnej vody

Obr. č. 29 Situácia bodov expedičného merania zo dňa 13.10.2022



Expedičné merania sa realizovali za účelom kalibrácie hydraulického modelu prúdenia podzemných vôd. Cieľom bolo zameranie povrchových a podzemných vôd. Na Biskupickom kanáli sme zamerali 6 bodov (2 body na prívodnom kanáli a 4 body na odpadovom kanáli). Na Váhu sme zamerali 5 bodov. Zo zámerov sme vypočítali spády $\Rightarrow$ tab. č. 19.

Tab. č. 19 Spád povrchových vôd

Tok	Dĺžka (m)	Výška 1 (m)	Výška 2 (m)	Rozdiel (m)	Spád (m/m)
Biskupický k. úsek 1 (BK-1 - BK-2)	1693,60	207,36	207,33	0,03	0,000018
Biskupický k. úsek 1 (BK-1 - BK-VEK)	1860,68	207,36	207,33	0,03	0,000016
Biskupický k. (BK-VEK-hor.-VEK-dol.)	10	207,33	191,48	15,85	1,585000
Biskupický k. úsek 2 (BK-3 až BK-4)	684,03	191,48	191,40	0,08	0,000117
Biskupický k. úsek 2 (BK-VEK až BK-4)	854,76	191,48	191,40	0,08	0,000094
Biskupický k. úsek 3 (BK-4 až BK-5)	2290,06	191,40	191,26	0,14	0,000061
Biskupický k. úsek 4 (BK-5 až BK-6)	2154,62	191,26	191,14	0,12	0,000056
Biskupický k. úsek celý (BK-VEK až BK-6)	5299,44	191,48	191,14	0,34	0,000064
Váh úsek 1 (Váh-1 až Váh-2)	1447,45	195,27	193,70	1,57	0,001085
Váh úsek 2 (Váh-2 až Váh-3)	1031,06	193,70	191,83	1,87	0,001814
Váh úsek 3 (Váh-3 až Váh-4)	2597,11	191,83	190,13	1,70	0,000655
Váh úsek 2 (Váh-4 až Váh-5)	2269,37	190,13	187,49	2,64	0,001163
Váh úsek celý (Váh-1 až Váh-5)	7344,99	195,27	187,49	7,78	0,001059
Drietomica (Drietomica až Váh-1)	601,94	198,45	195,27	3,18	0,005283

Na prívodnom kanáli sú vybudované pozorovacie objekty, ktoré sú režimovo pozorované. Výsledky monitoringu ľavostrannej hrádze za obdobie január 2021 až august 2022 sú dokumentované na $\Rightarrow$ obr. č. 30.

Tab. č. 20 Deskriptívna štatistika pozorovacích objektov v rkm 3,000-4,100

Profil (rkm)	3,000	3,000	3,000	3,500	3,500	3,500	4,100	4,100	4,100
Sonda	LH1	LH2	LH3	LH1	LH2	LH3	LH1	LH2	LH3
Kóta sondy (m n. m.)	209,35	205,76	204,94	210,36	205,98	203,44	210,33	204,53	202,57
Hĺbka sondy (m)	12,40	9,09	8,01	13,04	10,27	7,94	15,02	9,52	7,83
Medzná hod. (m n. m.)	206,15	204,95	204,50	205,15	203,75	202,50	204,40	202,60	201,00
Maximum (m n. m.)	198,68	199,46	199,55	200,08	199,11	198,19	198,79	197,88	197,91
Maximum (m n. m.)	197,91	197,63	197,70	197,14	196,03	195,98	196,84	195,59	195,57
Rozkyv hladín (m)	0,77	1,83	1,85	2,94	3,08	2,21	1,95	2,29	2,34
Priemer (m n. m.)	198,30	198,13	198,21	197,83	196,73	196,64	197,51	196,26	196,26

Obr. č. 30 *Režim podzemnej vody v pozorovacích objektoch EH prírodného kanála*



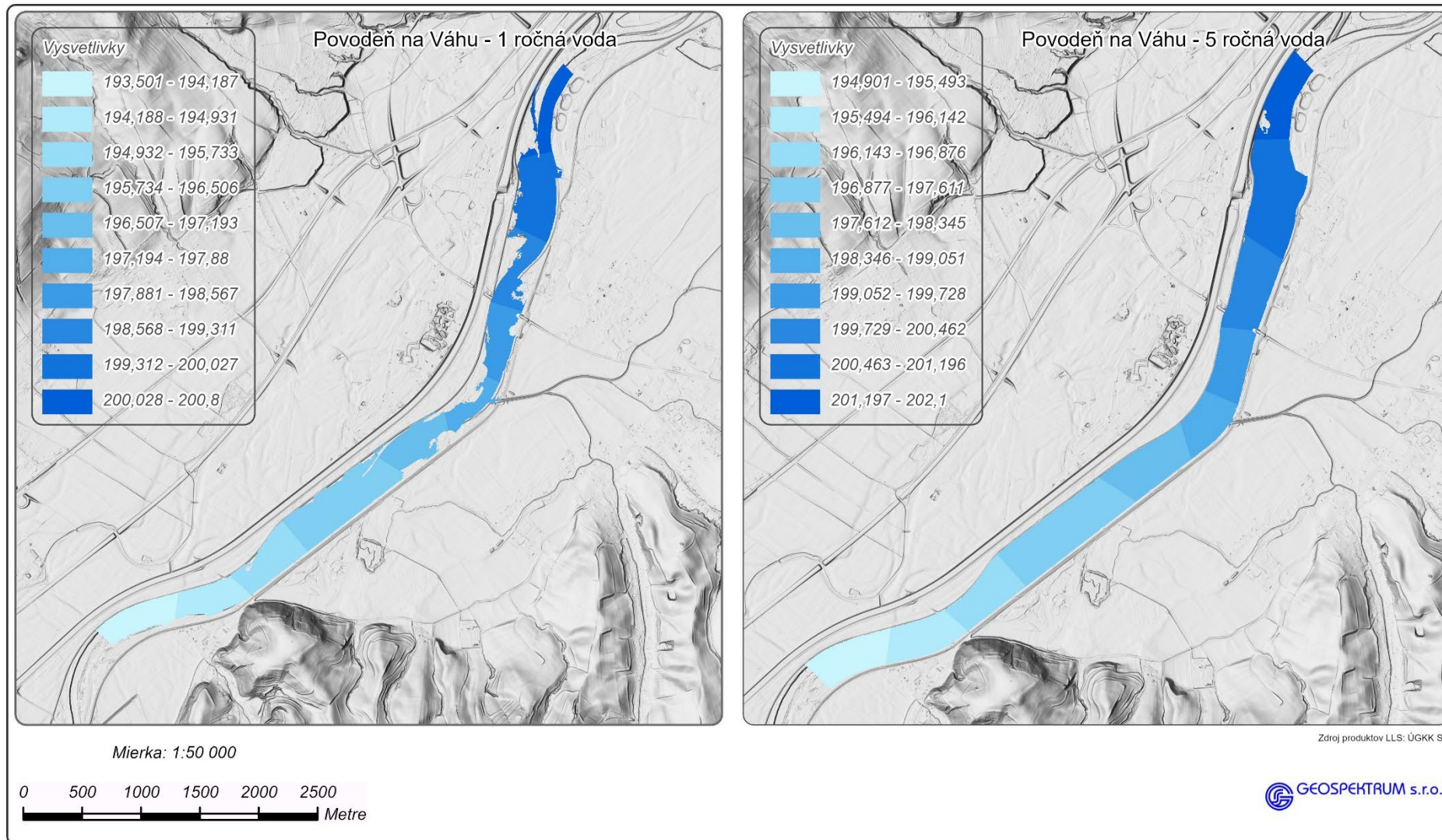
Tab. č. 21 Deskriptívna štatistika pozorovacích objektov v rkm 4,525-4,680

Profil (rkm)	4,525	4,525	4,525	4,600	4,600	4,680	4,680	4,680
Sonda	LH1	LH2	LH3	LH1	LH2	LH1	LH2	LH3
Kóta sondy (m n. m.)	210,23	205,28	203,74	209,43	204,46	208,99	205,63	202,55
Hĺbka sondy (m)	15,14	9,91	9,14			0,00	0,00	0,00
Medzná hod. (m n. m.)	203,90	201,80	200,00			203,65	201,45	199,50
Maximum (m n. m.)	196,94	198,72	196,69	196,38	196,31	194,99	195,68	195,90
Maximum (m n. m.)	196,94	195,81	195,44	194,58	194,58	193,09	194,64	194,08
Rozkyv hladín (m)	0,00*	2,91	1,25	1,80	1,73	1,90	1,04	1,82
Priemer (m n. m.)	196,94	196,48	195,80	195,23	195,20	193,76	195,09	194,75

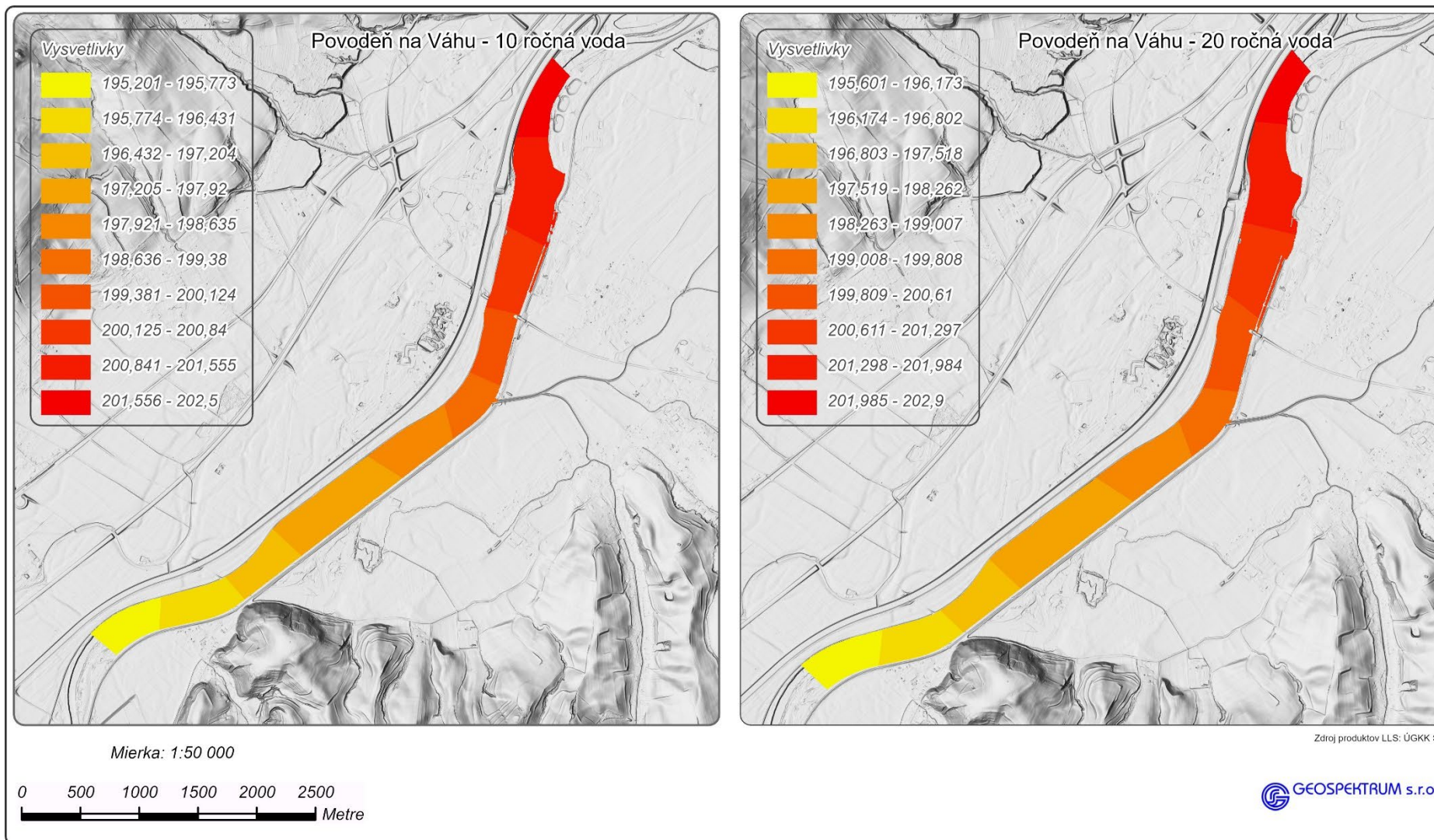
* Suchá sonda

K modelovaniu nám boli poskytnuté výpočty 1, 2, 5, 10, 20, 50 a 100 ročnej vody na Váhu od spoločnosti Cabex s.r.o. Výpočty nám boli poskytnuté vo vektore i rastrovom formáte (rastrový formát tif s výškovými atribútmi m n. m.). Výsledky sú dokumentované na ⇒ obr. č. 31; obr. č. 32; obr. č. 33 a zobrazujú rozsah (plochu) zaplavených území.

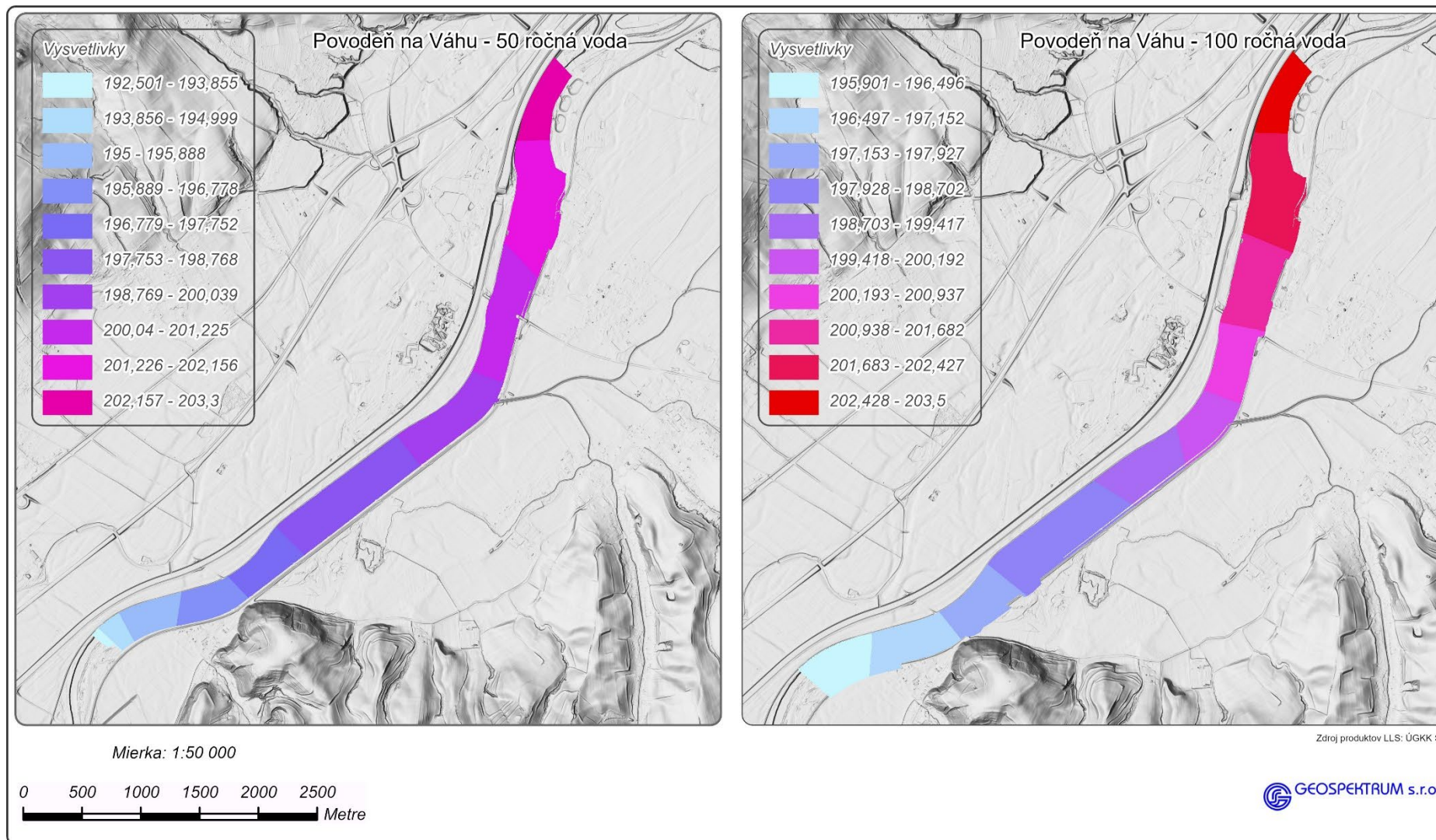
Obr. č. 31 Rozsah povodní na Váhu pri 1 a 5 ročnej vode (m n. m.)



Obr. č. 32 Rozsah povodní na Váhu pri 10 a 20 ročnej vode (m n. m.)



Obr. č. 33 Rozsah povodní na Váhu pri 50 a 100 ročnej vode (m n. m.)



5. Matematické modelovanie

Účelom modelu prúdenia podzemnej vody bolo čo najpresnejšie charakterizovať prúdenie podzemnej vody medzi riekou Váh a Biskupickým kanálom v úseku zistených porúch na ľavom svahu Biskupického kanála pod VE Kostolná. Metodika zostavenia modelu, koncepčný model a spôsob realizácie výpočtov boli navrhnuté vo firme NuSi s.r.o. Bratislava. Pracovníkmi firmy NuSi s.r.o. boli výpočty aj realizované, spracované a zhodnotené v rámci tejto kapitoly.

Zostavené modelové riešenie je potrebné chápať ako aproximáciu skutočného stavu prúdenia podzemnej vody v oblasti, ktorá bola získaná na základe dostupných existujúcich údajov o prúdení podzemnej a povrchovej vody. Ani najlepší model nemôže dosiahnuť úplnú zhodu medzi skutočnosťou a výpočtom, lebo vždy budú objektívne existovať neistoty spôsobené neúplnosťou údajov o zložitých procesoch vplývajúcich na zisťovaný stav. V hodnotenom prípade existovalo množstvo nižšie popísaných parametrov výpočtov, ktoré bolo potrebné stanoviť bez možnosti ich overenia terénnymi meraniami. Napriek tomu je modelové riešenie v dnešnej dobe najlepším nástrojom umožňujúcim syntetizovať a efektívne využiť existujúce znalosti o skúmanej oblasti na vytváranie predpovedí vývoja prúdenia podzemných vôd v priestore aj v čase a to pri rôznych zmenách hladinového režimu v kanáli, vo Váhu a v záplavovej oblasti Váhu.

Model bol zostavený na základe archívnych a nových hydrogeologických poznatkov z oblasti. Model bol kalibrovaný na stav prúdenia z 13.10.2022, zistenom pri expedičnom meraní hladín povrchových a podzemných vôd. V tomto stave boli hladiny v Biskupickom kanáli v rozsahu prevádzkových výšok a boli vyššie ako hladiny vo Váhu. Prúdenie podzemnej vody v skúmanom úseku pod VE Kostolná bolo teda v smere od Biskupického kanála do Váhu. Úlohou modelového riešenia bolo odhadnúť prúdenie podzemnej vody pri zvýšených hladinách v koryte Váhu, keď bude hladina vo Váhu vyššia ako v Biskupickom kanáli. Vtedy bude prúdenie podzemnej vody oproti stavu z 13.10.2022 opačné, teda bude smerovať z oblasti Váhu do oblasti Biskupického kanála. Takýto stav prúdenia podzemnej vody vznikal a bude vznikať vždy, keď stúpne hladina vo Váhu nad hladinu v Biskupickom kanáli. V podmienkach zvýšených hladín vo Váhu môže po prekročení hraničných gradientov hladiny podzemnej vody voči hladine v kanáli nastať v dôsledku sufózie bočné poškodenie brehov Biskupického kanála. Stalo sa to aj v roku 2017 pri 1-ročnej vode vo Váhu, keď bola zároveň znížená hladina v Biskupickom kanáli. Stav prúdenia podzemných vôd počas vysokých hladín vo Váhu v záujmovej oblasti doteraz nebol dokumentovaný podrobnými meraniami výšok podzemných vôd. Cieľom modelového riešenia bolo extrapolovať a odhadnúť parametre prúdenia podzemnej vody v nestacionárnych stavoch vysokých hladín vo Váhu po vybudovaní podzemných stien. Podzemné steny boli navrhované ako nápravné opatrenia s cieľom zabrániť poškodzovaniu brehov Biskupického kanála. Modelovali sme zmeny prúdenia podzemnej vody pri rôznych stavoch hladín vo Váhu a pri rôznych počtoch a rôznych hĺbkach podzemných stien. Na dokumentovanie výsledkov sme do tejto správy vybrali výsledky modelových riešení nestacionárneho prúdenia podzemných vôd pri prechode vlny 1-ročnej a 100-ročnej vody vo Váhu.

5.1. Použité programové nástroje na modelovanie

Počas spracovania údajov a pri zostavovaní modelového riešenia sme pracovali s rozsiahlymi databázami alfanumerických a priestorových geografických údajov. Jednalo sa o analýzy priestorových vzťahov medzi plochami ohraničujúcimi zvodnené prostredie, hladiny podzemnej vody, terén, záplavové územia, dna a hladiny Biskupického kanála a Váhu a tak isto transformácie týchto vzťahov do konečno diferenčnej aproximácie zvodnenej vrstvy a hladiny podzemnej vody v trojrozmernom modelovom riešení. Okrem priestorovej analýzy boli pre výpočty a spracovanie neustáleného prúdenia podzemnej vody potrebné aj aproximácie v čase. Využívali sme pritom komerčne dostupný software a aj s vlastné programové vybavenie. Dáta sme upravovali a transformovali v tabuľkových procesoroch. Údaje sme zobrazovali, analyzovali a kombinovali v geografickom informačnom systéme QGIS, v programoch na tvorbu grafov, máp a tvorbu máp izolínií. V ďalšom texte sme uviedli podrobnejší popis programov MODFLOW a PEST, ktoré boli najdôležitejšie pri zostavovaní a kalibrácii modelu prúdenia podzemnej vody v oblasti.

5.1.1. Program MODFLOW

Program MODFLOW (Harbaugh, 2005) slúži na simuláciu dvojrozmerného alebo trojrozmerného prúdenia podzemných vôd v anizotropnom, heterogénnom systéme zvodnených vrstiev. Je možný prístup cez voľnú aj napätú hladinu. Model umožňuje analýzu vplyvu externých zdrojov, ako sú studne, plošný priesak, drény, evapotranspirácia, zrážky. Je možné použitie okrajových podmienok prvého až tretieho druhu. Sústava nelineárnych diferenciálnych rovníc matematicky popisujúcich prúdenie je numericky riešená metódou konečných diferencií. Pre výpočet vzniknutej sústavy rovníc sú v programe použité rôzne iteračné metódy. Program je odbornej verejnosti dostatočne známy a pomocou neho je riešených mnoho hydrogeologických problémov popísaných v odbornej literatúre.

5.1.2. Program PEST

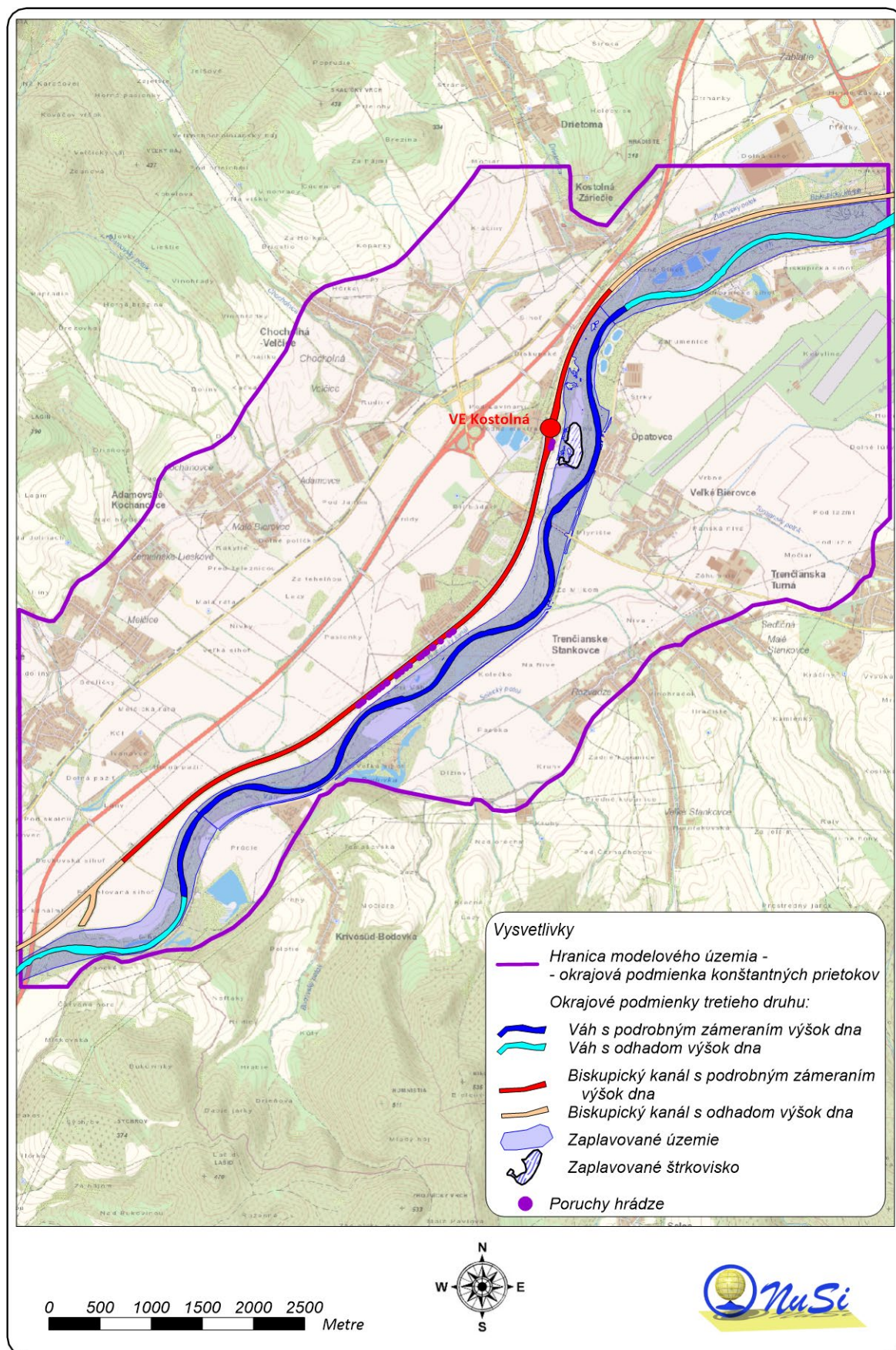
Program PEST (Model-Independent Parameter Estimation) (Doherty, 2015) je nástroj na nelineárny odhad hodnôt parametrov numerických modelov. PEST v procese inverzného modelovania vyhladáva využitím objektívnej funkcie štatisticky najoptimálnejšie hodnoty parametrov tak, aby výsledky matematických modelov čo najlepšie zodpovedali skutočne nameraným údajom.

Program PEST sme pri modelovaní prúdenia podzemnej vody použili v procese kalibrácie na vyhladávanie najpravdepodobnejších hodnôt hydraulických vodivosti dna Váhu a Biskupického kanála.

5.2. Vymedzenie modelového územia a výpočtová sieť

Rozsah modelového územia je znázornený na ⇨ obr. č. 34.

Obr. č. 34 Situácia modelovaného územia

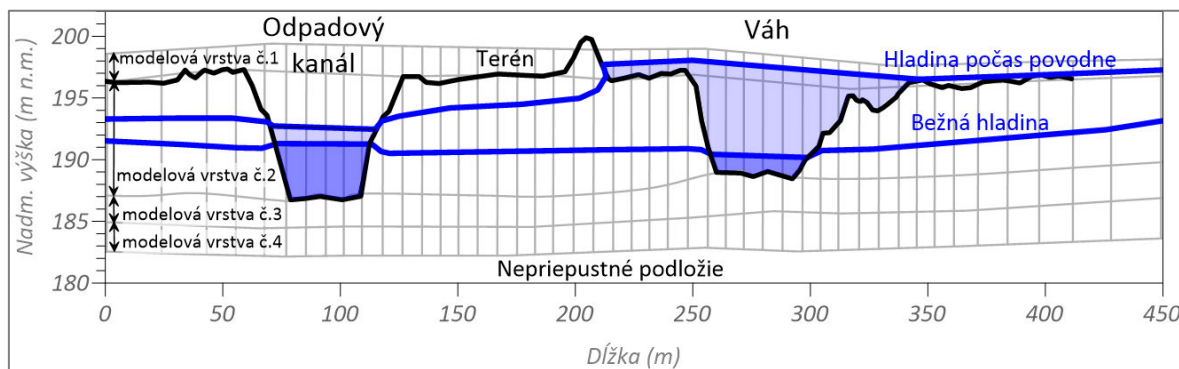


Modelovaný kolektor podzemných vôd tvoria riečne štrkopiesčité sedimenty nivy Váhu. Bočné prítoky podzemnej vody zo susedných štruktúr sme vyjadrili okrajovými podmienkami konštantných prietokov. Rovnakým typom okrajovej podmienky sme vyjadrili aj prítoky z vyššie položených území nivy Váhu na severovýchodnej hranici modelovaného územia a odtoky do nižšie položených území nivy Váhu na juhozápadnej hranici modelovaného územia. Vzďalenosť týchto dvoch okrajových podmienok od záujmovej oblasti bola dostatočná na to, aby svojou umelosťou neovplyvňovali presnosť výpočtov. Rieku Váh a Biskupický kanál sme modelovali okrajovými podmienkami tretieho druhu, keď hydraulická komunikácia ich povrchovej vody s podzemnou vodou záležala na výške hladiny v toku, výške hladiny podzemnej vody a vodivosti materiálov na dne tokov. Váh aj Biskupický kanál boli modelované v rámci trojrozsmernej výpočtovej siete tak, aby ich dna výškovo presne zodpovedali spodnej hranici príslušnej modelovej vrstvy. Územie zaplavené počas vysokých hladín vo Váhu sme modelovali tiež ako okrajovú podmienku tretieho druhu. Veľkosti prietokov v okrajových podmienkach a vodivosti dna riek sme určovali v procese kalibrácie modelového riešenia.

Horizontálne sme modelové územie rozčlenili do konečno diferenčnej siete, ktorá mala 228 riadkov a 255 stĺpcov. Aby sme mohli detailne modelovať prúdenie v záujmovej oblasti, plošne sme výpočtovú sieť v oblasti Váhu a Biskupického kanála zahustili na rozmery výpočtových blokov 10 x 10 m. Smerom ku vzdialeným okrajom výpočtovej siete sme rozmery výpočtových blokov zväčšovali. Vertikálne sme zvodnenú vrstvu rozčlenili do štyroch výpočtových vrstiev. Zdola sme modelovaný priestor ohraničili plochou podložia kvartérneho kolektora [⇒ obr. č. 24]. Hornú hranicu výpočtovej siete tvoril terén. Dno prvej výpočtovej vrstvy bolo stanovené tak, aby zodpovedalo dnu v časti Biskupického kanála nad VE Kostolná. Dno druhej vrstvy bolo v oblasti Váhu a kanála modelované dnom Váhu a dnom Biskupického kanála pod VE Kostolná. Tým bolo zabezpečené numerické stabilné modelovanie hladinového skoku pod VE Kostolná. Dna Váhu a kanála boli presne zmerané v úseku znázornenom na ⇒ obr. č. 34. Zvyšok dna bol aproximovaný priemernou hĺbkou Váhu a kanála od plochy hladín zistených leteckým laserovým skenovaním povrchu (LLS), ktorého výsledky sú uverejnené na portáli ZBGIS.sk (Zdroj produktov LLS: ÚGKK SR). Dno tretej vrstvy sme modelovali v polovici hĺbky medzi podložím kvartérneho kolektora a dnom druhej modelovej vrstvy. Schematický vertikálny rez výpočtovou sieťou je znázornený na ⇒ obr. č. 35.

Prúdenie podzemnej vody sme v záujmovej oblasti modelovali ako priestorové. Kalibráciu modelu sme realizovali v stacionárnom modelovom riešení. Časové zmeny v prúdení podzemnej vody v dôsledku náhleho výskytu zvýšeného stavu hladiny vo Váhu sme modelovali ako nestacionárne.

Obr. č. 35 Schematický vertikálny rez výpočtovou sieťou



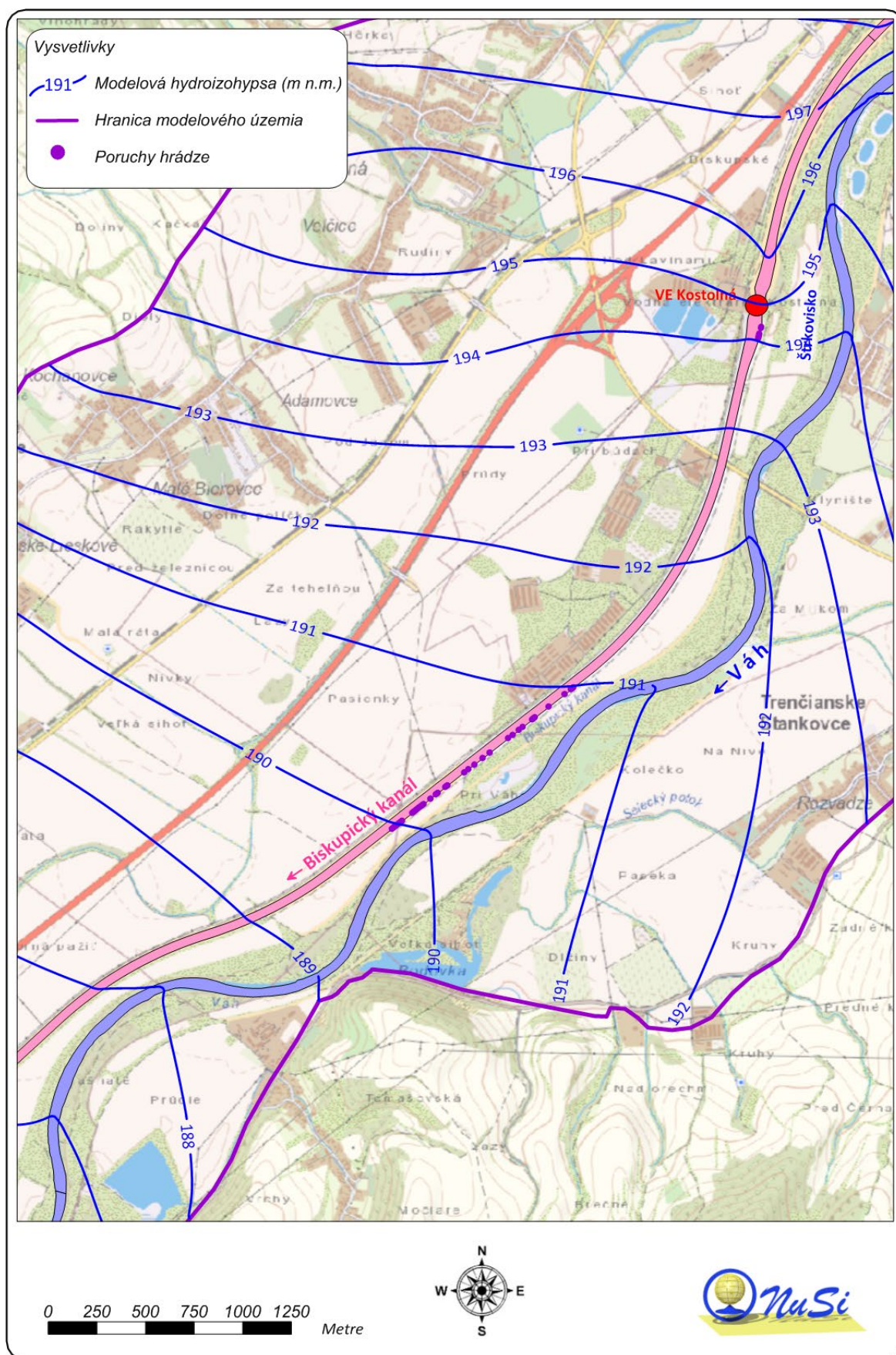
5.3. Kalibrácia modelového riešenia

Aby bolo možné výsledky modelovania použiť na predpoveď účinku navrhovaných podzemných stien na prúdenie podzemnej vody, bola potrebná kalibrácia modelu. Model bol kalibrovaný na stav prúdenia podzemnej vody zistený expedičným meraním zo dňa 13.10.2022. V rámci neho boli zamerané hladiny zo širšieho okolia záujmovej oblasti v celej ploche modelového riešenia [$\Rightarrow$ obr. č. 18; obr. č. 29]. Merania potvrdili charakter prúdenia podzemnej vody v oblasti zistený v práci (Mlynarčík, 1998) $\Rightarrow$ obr. č. 20. Hustota meraní neumožňovala vyhľadávanie lokálnych anomálií v hydraulických parametroch zvodneného prostredia. Preto bol koeficient filtrácie v celej oblasti modelovaný hodnotou $2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, čo je priemerná hodnota tohto parametra zistená z archívnych údajov zo záujmovej oblasti. Z priestoru medzi Váhom a kanálom v úseku porúch brehu kanála neexistoval terénymi skúškami overený údaj o hodnote koeficientu filtrácie. Podobne neexistovali ani skúšky zisťujúce zásobnosť pôsobiacu pri neustálenom prúdení podzemnej vody. Špecifickú pružnú zásobnosť sme modelovali tabuľkovou hodnotou $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-1}$ a koeficient zásobnosti voľnej hladiny hodnotou 0,1.

V priebehu kalibrácie modelu sme spresňovali vodivostné charakteristiky dna Váhu, vodivostné charakteristiky dna Biskupického kanála a hodnoty prietokov cez línie okrajových podmienok modelového riešenia. To bolo možné približovaním modelových výsledkov nameraným výškam hladín podzemnej vody a to hlavne v oblasti medzi kanálom a Váhom. Zjednodušene sme zvolili jednu konštantnú hodnotu vodivosti dna Váhu a jednu konštantnú hodnotu vodivosti dna Biskupického kanála. Kalibrácia modelu potvrdila, že hladiny vo Váhu majú pomerne výraznú spojitosť s hladinami podzemnej vody. Váh v celej záujmovej oblasti podzemnú vodu výrazne drénuje, teda znižuje jej hladinu. Biskupický kanál komunikuje s podzemnou vodou menej výrazne ako Váh, teda má viac zakolmatované svoje dno. Priamo to potvrdzujú aj namerané výšky hladín podzemnej vody medzi kanálom a Váhom, ktoré sú výraznejšie bližšie k hladinám Váhu ako k hladinám Biskupického kanála. Kalibrovaním modelového riešenia na namerané hladiny podzemnej vody pri stave hladín povrchových vôd vo Váhu a v Biskupickom kanáli sme pre Váh získali hodnotu vodivosti dna $2,43 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ a pre Biskupický kanál hodnotu $1,67 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$. Modelové riešenie dosiahlo pomerne dobrú zhodu z nameranými hodnotami. Výsledné modelové hydroizohypsy pri stave hladín v povrchových tokoch zo dňa 13.10.2022 sú uvedené na $\Rightarrow$ obr. č. 36.

Tak ako to bolo spomenuté vyššie, v prípade kalibračného stavu prúdenia podzemných vôd zo dňa 13.10.2022 sa jednalo o stav, pri ktorom boli hladiny v Biskupickom kanáli vyššie ako vo Váhu a prúdenie podzemnej vody smerovalo od kanála do Váhu. Je to bežný, najviac početný stav prúdenia podzemnej vody v sledovanej oblasti. Poruchy brehu Biskupického kanála nastali pri prechode vlny vysokého stavu vo Váhu, keď Váh začal dotovať podzemnú vodu a prúdenie sa otočilo do smeru od Váhu do Biskupického kanála. Pri väčšom zvýšení hladiny vo Váhu sa navyše zaplavuje aj územie medzi Váhom a jeho hrádzou. Jedná sa o úplne iný hydraulický stav prúdenia podzemnej vody v oblasti, ako bol stav dňa 13.10.2022, na ktorý bol model kalibrovaný. Teda modelovaním boli potrebné určovať pomerne odľahlé extrapolácie od v teréne nameraných stavov. To znamenalo zvýšenie nejednoznačnosti modelových výsledkov. Aj napriek tomu sme mohli výsledky považovať v princípe za správne, dobre vystihujúce zmeny v prúdení podzemnej vody. Potvrdil to aj fakt, že z hľadiska veľkosti hydraulických gradientov medzi hladinou podzemnej vody a hladinou v Biskupickom kanáli sa v modelovaní ako najohrozenejšie prejavili tie úseky hrádze, kde aj reálne nastali v roku 2017 poruchy hrádze.

Obr. č. 36 Hydroizohypsy pri bežnom stave z dňa 13.10.2022



Mieru neistoty zvyšovala aj neznalosť hydraulických parametrov prepojenia povrchovej vody s podzemnou vodou na ploche zaplaveného územia v okolí Váhu. Neexistujú merania charakterizujúce postupné presakovanie povrchovej vody cez menej priepustné povrchové vrstvy a postupné nasycovanie prostredia priesakovou vodou vertikálnym smerom do podzemnej vody. V skutočnosti sa jedná o zložité prúdenie cez nenasýtené prostredie, kde sa priepustnosť prostredia mení v čase, lebo je závislá na nasýtenosti medzizrnového prostredia vodou. Proces presakovania v tomto prípade menej priepustnej pokryvnej vrstvy trvá pomerne dlho. Modelovali sme ho len hrubou aproximáciou prúdenia v nasýtenom prostredí s pomerne nízkou odhadovanou hodnotou koeficientu filtrácie $6,67 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$. Výnimku tvorili zaplavované štrkoviská tesne pod VE Kostolná [$\Rightarrow$ obr. č. 34]. Tu býva rozliata voda z Váhu v priamom kontakte v priehlbínach s veľmi vodivými štrkopieskami a teda aj dotácia podzemnej vody je intenzívnejšia. To počas vysokej vody vo Váhu významne zvyšuje gradient medzi podzemnou vodou a vodou v Biskupickom kanáli a vystavuje to blízke brehy kanála hrozbe poškodenia. Tento jav nastal aj v roku 2017. Preto sme na ploche štrkovísk zvolili pre kontakt záplavovej vody s podzemnou vodou rovnaké - vyššie vodivosti - ako v prípade Váhu.

5.4. Výpočty kalibrovaným modelom

Kalibrovaný model sme použili na výpočet prúdenia podzemnej vody v oblasti v dobe pri prechode vlny zvýšenej hladiny vo Váhu. Výšky hladín v Biskupickom kanáli sme zachovali na úrovni prevádzkových hladín tak, ako boli namerané 13.10.2022. Modelovali sme aj stav pri znížení hladiny v Biskupickom kanáli do výšky približne 2 m nad dnom kanála tak, ako tomu bolo v roku 2017, počas hladiny 1 ročnej vody vo Váhu. Bol to stav, keď vznikli poruchy na brehu Biskupického kanála. Prúdenie podzemnej vody sme modelovali bez podzemných stien a s podzemnými stenami. Cieľom bolo určiť účinok stien v bežnom stave bez vysokej vody vo Váhu a v stave počas vysokej vody vo Váhu. Modelovali sme množstvo variant veľkosti zvýšenia hladiny vo Váhu a počtov a rozsahu podzemných stien. Na základe týchto výpočtov boli postupne limitované možnosti vybudovania podzemných stien na navodenie takej hydraulickej situácie v podzemných vodách, ktorá by počas vysokých stavov vo Váhu zamedzila vzniku porúch brehov Biskupického kanála. Ukázalo sa, že na tento účel nestačí vybudovať podzemné steny zapustené do hĺbok 2-3 nad podlažie (neúplné steny), lebo tie nespôsobia počas vysokých stavov vo Váhu dostatočné zamedzenie zvýšenia hladín pri Biskupickom kanáli. Zároveň situáciu nevyriešia ani dlhé úseky stien zapustené až po neogénne podlažie (úplné steny), lebo tie ešte za stavov pred zvýšením hladiny vo Váhu obmedzia prítok podzemných vôd do drénujúceho Váhu natoľko, že sa hladiny podzemnej vody nežiadúco vzdujú. Príliš dlhé podzemné steny môžu vzduť hladiny podzemnej vody na úroveň spôsobujúcu poruchy brehov Biskupického kanála už za normálneho stavu bez povodne. Teda následný účinok príliš dlhých úplných stien zamedzenia dodatočného zvýšenia povodňovej vlny v podzemnej vode vyvolanej vysokými stavmi vo Váhu už situáciu nevyrieši.

Na základe výsledkov modelovania bolo rozhodnuté, že modelom bude odhadnutý vplyv kompromisného riešenia. To spočívalo v tom, že v záujmovom úseku kanála budú navrhnuté len dve podzemné steny v oblasti porúch brehov vzniknutých v roku 2017, oproti pôvodnému návrhu zo štyrmi stenami. Ako sme preukázali vo výpočtoch, skrátenie sumárnej dĺžky stien čiastočne zníži vzdutie hladiny v oblasti Biskupického kanála, nie však dostatočne na to, aby bola bezpečná prevádzka kanála pri normálnych stavoch prúdenia podzemnej vody. Preto boli navrhnuté striedavo úplne a neúplne zapustené steny do rôznych hĺbok. V najohrozenejších úsekoch tam, kde sa Váh najviac približuje ku kanálu, budú steny úplné. V miestach kde sa Váh vzdďaľuje od kanála bude hĺbka stien

klesať. Dĺžky stien budú také, aby končili v oblastiach s dostatočnou vzdialenosťou od Biskupického kanála. Ak to bude možné, návrh spôsobu vybudovania stien musí zabezpečiť, aby vzduť hladín podzemnej vody v oblasti kanála nespôsobovalo vysoké gradienty medzi podzemnou vodou a povrchovou vodou v Biskupickom kanáli ani v normálnom stave a ani v stave pri zvýšených hladinách vody vo Váhu.

V ďalších častiach práce spomenuté javy dokumentujeme na konkrétnych výsledkoch modelovania s overením kompromisného riešenia vybudovania podzemných stien.

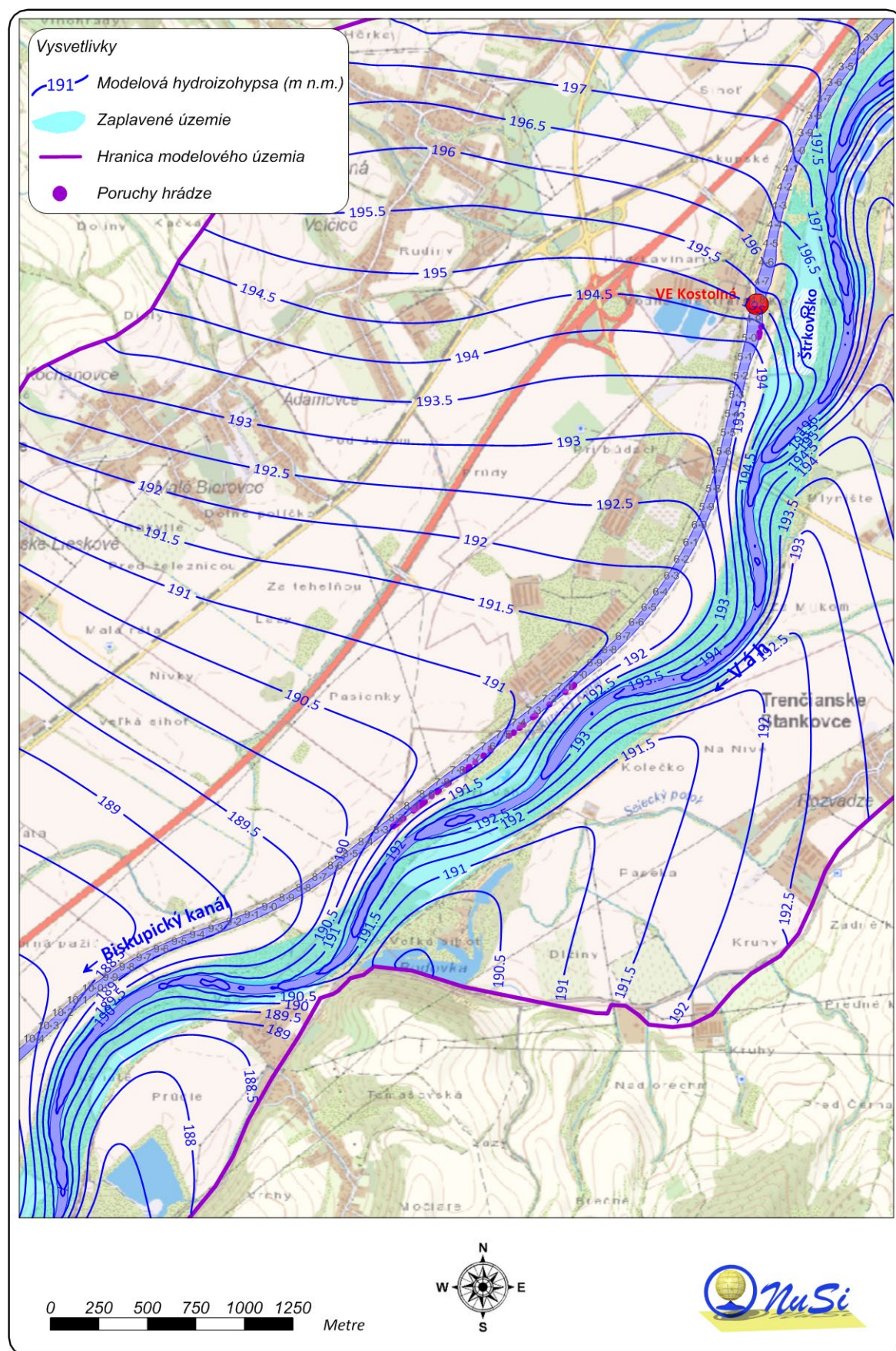
5.4.1. Modelovanie účinku štyroch úplne zapustených podzemných stien - po zvýšení hladiny vo Váhu na 100 ročnú vodu

Z množstva výpočtov sme v tejto podkapitole najprv uviedli výsledky modelovania prúdenia podzemnej vody pri 100 ročnej vode vo Váhu a to pri pôvodnom návrhu 4 úplných podzemných stien. Výpočtom bolo dokumentovaných niekoľko vyššie spomenutých účinkov podzemných stien.

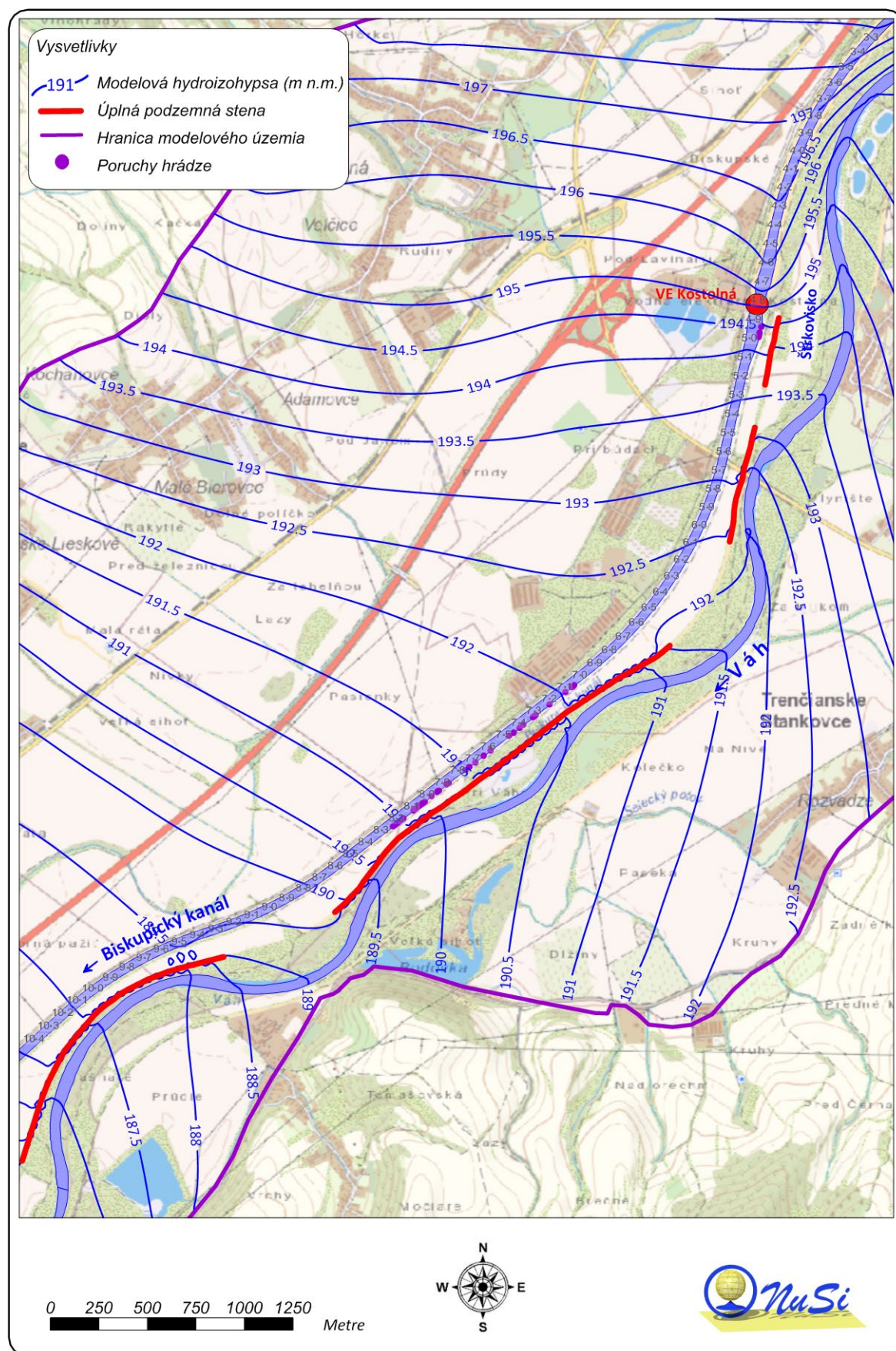
Vysokú vodu vo Váhu sme modelovali pri počiatočnom priemernom stave prúdenia podzemnej vody (stavu zo dňa 13.10.2022), keď nasledovalo náhle zvýšenie hladiny vo Váhu na úroveň 100-ročnej vody. Zároveň sa zaplavili územia v záplavovej oblasti. Modelovali sme neustálené prúdenie podzemnej vody pri dĺžke trvania vysokého stavu hladín vo Váhu a v zaplavenej oblasti v časovom intervale 24 hodín.

Aby bola možnosť posúdiť účinok podzemných stien, modelovali sme najprv prúdenie podzemnej vody bez existencie podzemných stien. Modelové prúdenie podzemnej vody pred vlnou vysokej hladiny vo Váhu bez podzemných stien je znázornené na ⇒ obr. č. 36. Po vzduť hladiny vo Váhu a zaplavení územia okolo Váhu začne hladina podzemnej vody v okolí Váhu výrazne stúpať. Modelový stav stúpnutia hladiny podzemnej vody bez existencie podzemných stien po 24 hodinách je znázornený na ⇒ obr. č. 37. Stúpnutie hladín podzemnej vody sa podľa modelového odhadu v tomto čase začne výrazne prejavovať aj v oblasti Biskupického kanála a to vo významnej miere v oblasti meandrov Váhu približujúcich sa ku kanálu. Tu len pripomenieme, že v koryte Váhu a v oblasti štrkovísk pri VE Kostolná bol modelovaný nižší odpor dna ako v zaplavovanej oblasti a preto sa vlna vysokých hladín podzemnej vody šíri hlavne z oblasti Váhu a štrkovísk a menej zo zaplavovanej oblasti.

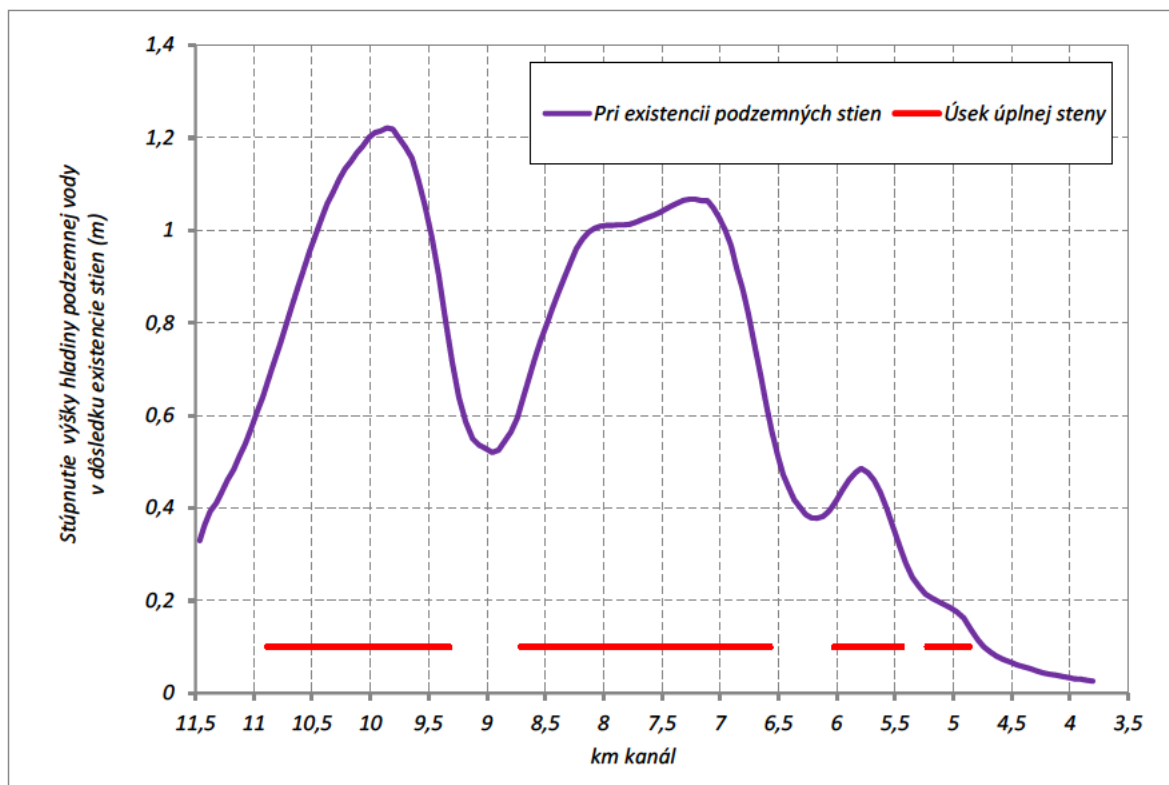
Obr. č. 37 Hydroizohypsy pri 100 ročnej vode vo Váhu bez existencie podzemných stien



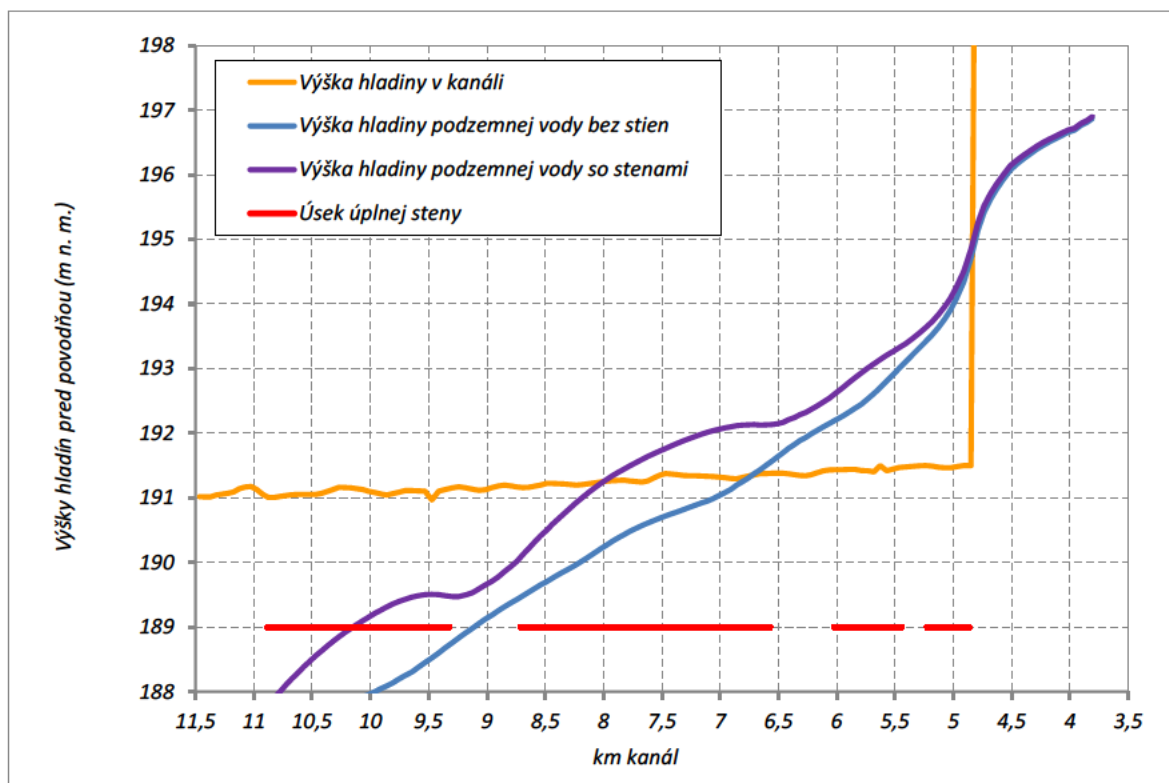
Obr. č. 38 Hydroizohypsy pri bežnom stave pri existencii 4 úplných podzemných stien



Obr. č. 39 Stúpnutie hladiny podzemnej vody v oblasti kanála v dôsledku existencie 4 úplných podzemných stien pri bežnom stave



Obr. č. 40 Výšky hladiny podzemnej vody v oblasti kanála v dôsledku existencie 4 úplných podzemných stien pri bežnom stave

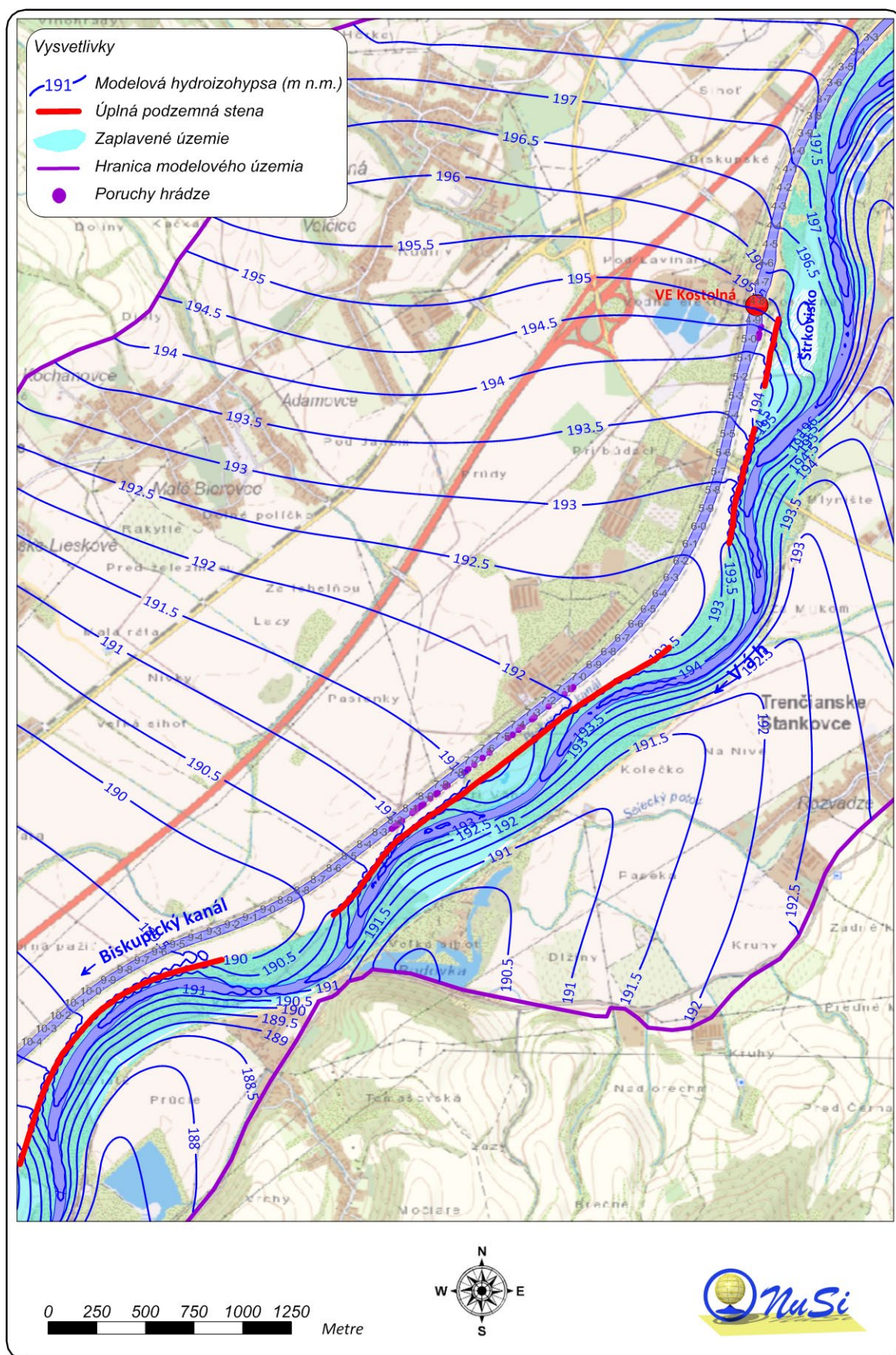


V ďalšom výpočte sme modelovali ustálený stav prúdenia podzemnej vody pred zvýšením hladín vo Váhu, pri existencii podzemných stien. Výsledné hydroizohypsy sú znázornené na ⇒ obr. č. 38. Tak ako to dokumentuje ⇒ obr. č. 39, steny by už pri normálnom stave prúdenia podzemnej vody zvýšili hladiny podzemných vôd v oblasti kanála aj o viac ako 1 m. Je to preto, lebo Váh v normálnom stave drénuje podzemné vody a teda znižuje hladiny podzemných vôd. Drénovanie podzemných vôd Váhom je zrejmé napr. na ⇒ obr. č. 36. Navrhnuté steny by obmedzovali drenážny účinok Váhu na jeho pravom brehu, čím by sa hladiny podzemnej vody zvýšili. Hodnota zvýšenia hladín už pri bežných stavoch o viac ako 1 m je príliš vysoká. Takéto zvýšenie je na úrovni zvyšovania hladín v oblasti kanála, ktorú by spôsobovali vlny vysokých hladín vo Váhu. To znamená, že takto vybudované steny by navodili stav spôsobujúci poruchy brehov kanála aj v normálnom stave prúdenia podzemnej vody. Je to dokumentované na ⇒ obr. č. 40, kde sú znázornené modelové výšky hladiny podzemnej vody v línii pravého brehu Biskupického kanála bez podzemných stien v normálnom stave prúdenia podzemnej vody v porovnaní s hladinou v Biskupickom kanáli. V stave bez stien je v problematickom úseku porúch brehov Váhu (v úseku približne od 7,0 km do 8,3 km) hladina podzemnej vody pod hladinou v kanáli, teda podzemná voda nemôže prúdiť do kanála. Po vybudovaní stien by sa aj podľa ⇒ obr. č. 40 v problematickom úseku hladina podzemnej vody zvýšila nad hladinu v kanáli už počas normálneho stavu bez povodňovej situácie, čo by už mohlo byť problematické z ohľadom na možný vznik porúch na brehoch kanála.

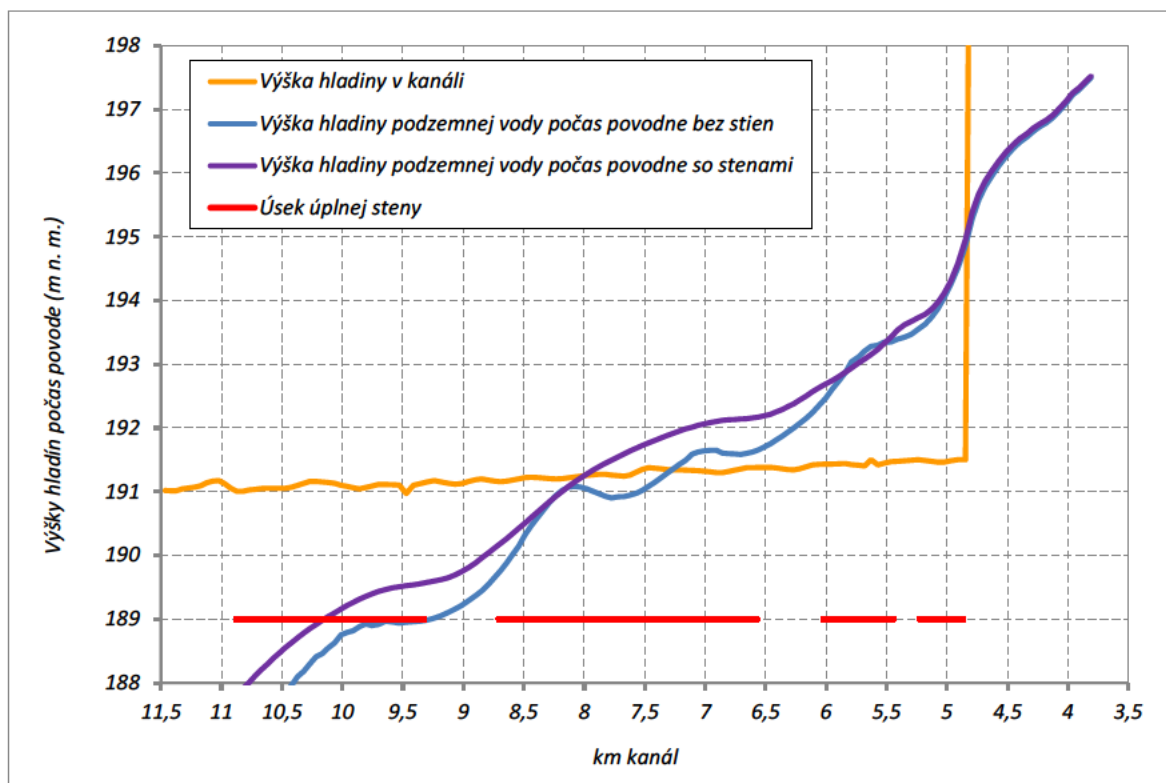
Ten istý obrázok dokumentuje, že v meandri Váhu približujúcim sa ku kanálu pod úsekom porúch približne v úseku 9,4 až 10,4 km, je už hladina podzemnej vody tak nízko, že ani vzduť hladiny podzemnej vody stenami (a ako nižšie ukážeme ani povodňová situácia), nemôže v tejto oblasti spôsobiť vzduť hladín podzemnej vody do výšok spôsobujúcich poruchy na brehu kanála. Aj preto v tomto úseku nevznikli poruchy ani v roku 2017 a aj preto nebude v tomto úseku potrebná podzemná stena.

Na ⇒ obr. č. 41 je znázornený modelový stav prúdenia pri existencii 4 stien 24 hodín po zvýšení hladiny vo Váhu na úroveň 100 ročnej vody. Steny síce vo veľkej miere zamedzili ďalšiemu stúpnutiu hladín v dôsledku vysokého stavu v problematických oblastiach kanála, ale vzduť hladín podzemných vôd už pred povodňou tento priaznivý účinok stien neguje. Ako to znázorňuje ⇒ obr. č. 42 a obr. č. 43, hladiny podzemnej vody v oblasti kanála v povodňovom stave pri existencii štyroch stien by boli dokonca vyššie, ako v stave bez stien.

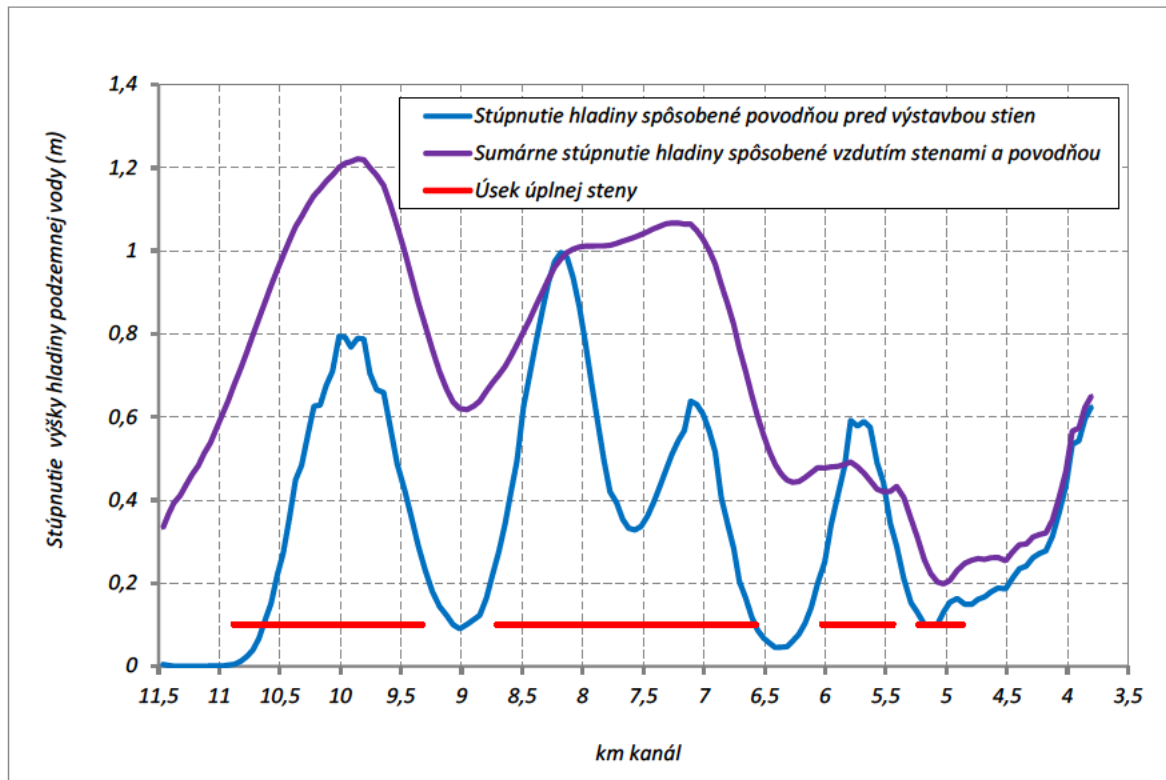
Obr. č. 41 Hydroizohypsy počas 100 ročnej vody vo Váhu pri existencii 4 podzemných stien



Obr. č. 42 Výšky hladiny podzemnej vody v oblasti kanála počas 100 ročnej vody vo Váhu



Obr. č. 43 Stúpnutie hladiny podzemnej vody v oblasti kanála počas 100 ročnej vody vo Váhu



Aj $\Rightarrow$ obr. č. 42 potvrdzuje veľkú pravdepodobnosť predpokladu, že hladina podzemnej vody by približne v úseku od 8,5 km nevystúpila nad strednú prevádzkovú hladinu v kanáli ani pri 100 ročnej vode vo Váhu.

Intenzívny prúd podzemnej vody dotovaný zo zvýšeného Váhu bude musieť podzemné steny obtekať. To spôsobí veľké gradienty výšok hladín a teda aj veľké rýchlosti prúdenia podzemnej vody na okrajoch stien. Dokumentuje to aj zahustenie hydroizohýps na okrajoch stien na $\Rightarrow$ obr. č. 41. Preto bude v prípade vybudovania úplných podzemných stien potrebné ich ukončenie v dostatočnej vzdialenosti od Biskupického kanála.

Z výpočtov dokumentovaných v tejto kapitole vyplýva, že budovanie úplných podzemných stien vo veľkom rozsahu riešenú situáciu ešte zhorší. Zároveň iné výpočty preukázali, že neúplné podzemné steny by mali len malý vplyv na hladiny podzemných vôd v oblasti Biskupického kanála. Zároveň sa dokumentovalo, že v nižších úsekoch je hladina vody v kanáli dostatočná na to, aby problémové situácie nevznikali ani pri povodňových stavoch.

5.4.2. Modelovanie účinku dvoch podzemných stien po zvýšení hladiny vo Váhu

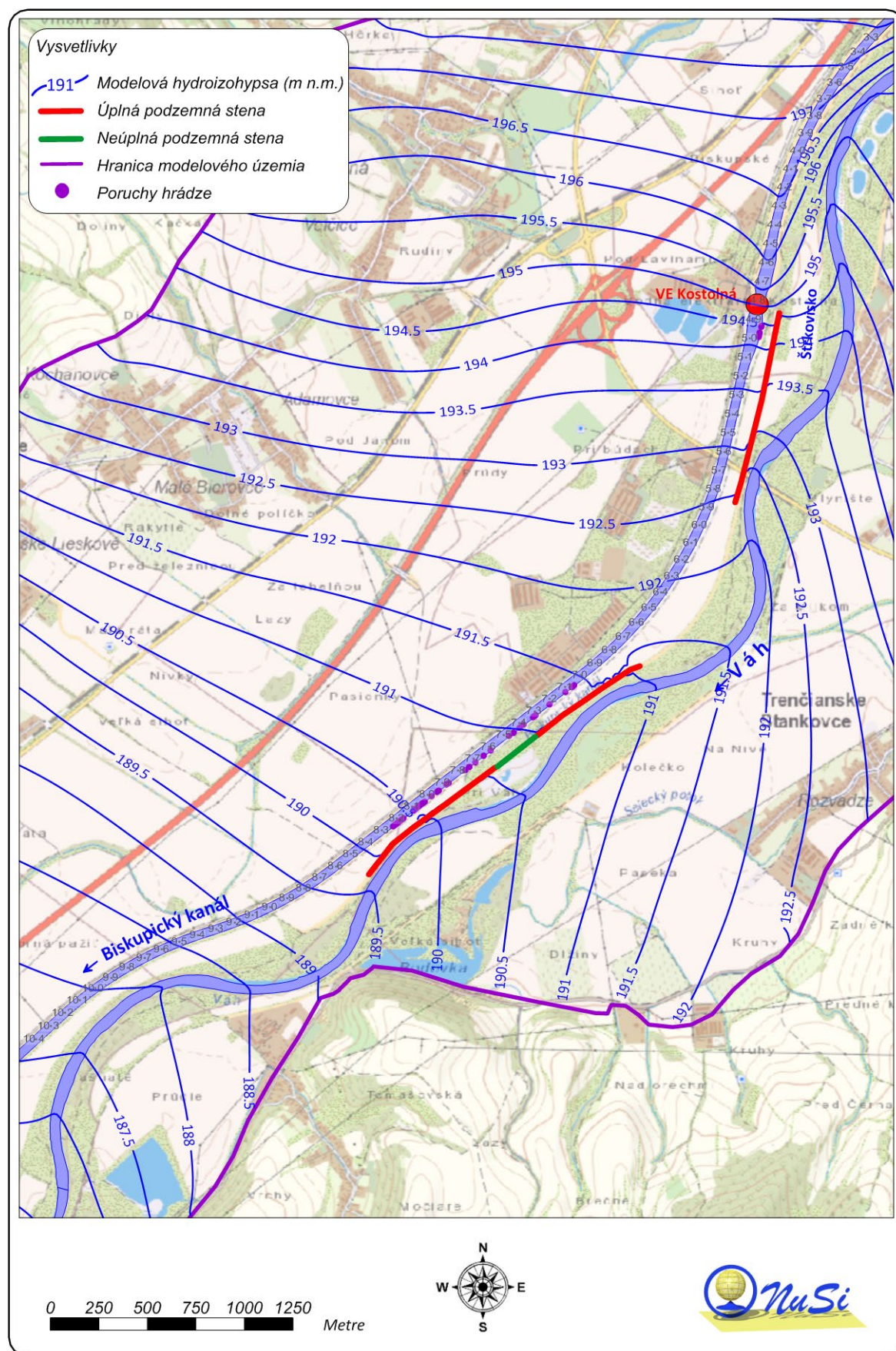
Aj na základe výpočtov dokumentovaných v prechádzajúcej časti sme prehodnotili možnosť vybudovania 4 úplných stien na 2 steny, z ktorých by bola jedna úplná (v úseku 4,85 km až 5,85 km) a druhá by bola kombináciou úplnej a neúplnej steny (v úseku 6,70 km až 8,50 km). Úsek neúplnej steny by bol v rozsahu riečnych km Biskupického kanála od 7,4 km do 6,7 km. Účinok takejto steny sme modelovo overovali pri prechode vlny vysokých stavov vo Váhu pri 100 ročnej a 1 ročnej vode. Pritom sme pri 1 ročnej vode modelovali stav pri znížení hladiny v Biskupickom kanáli do výšky približne 2 m nad dnom kanála tak, ako tomu bolo v roku 2017. Bol to stav, keď vznikli poruchy na brehu Biskupického kanála. Podobne ako v predchádzajúcom prípade, kvôli možnosti zhodnotenia zmien vyvolaných podzemnými stenami, sme modelovali prúdenie podzemnej vody bez stien a s podzemnými stenami pri prúdení pred povodňovou situáciou a počas povodňovej situácie.

5.4.2.1. Modelovanie účinku dvoch podzemných stien po zvýšení hladiny vo Váhu na 100 ročnú vodu

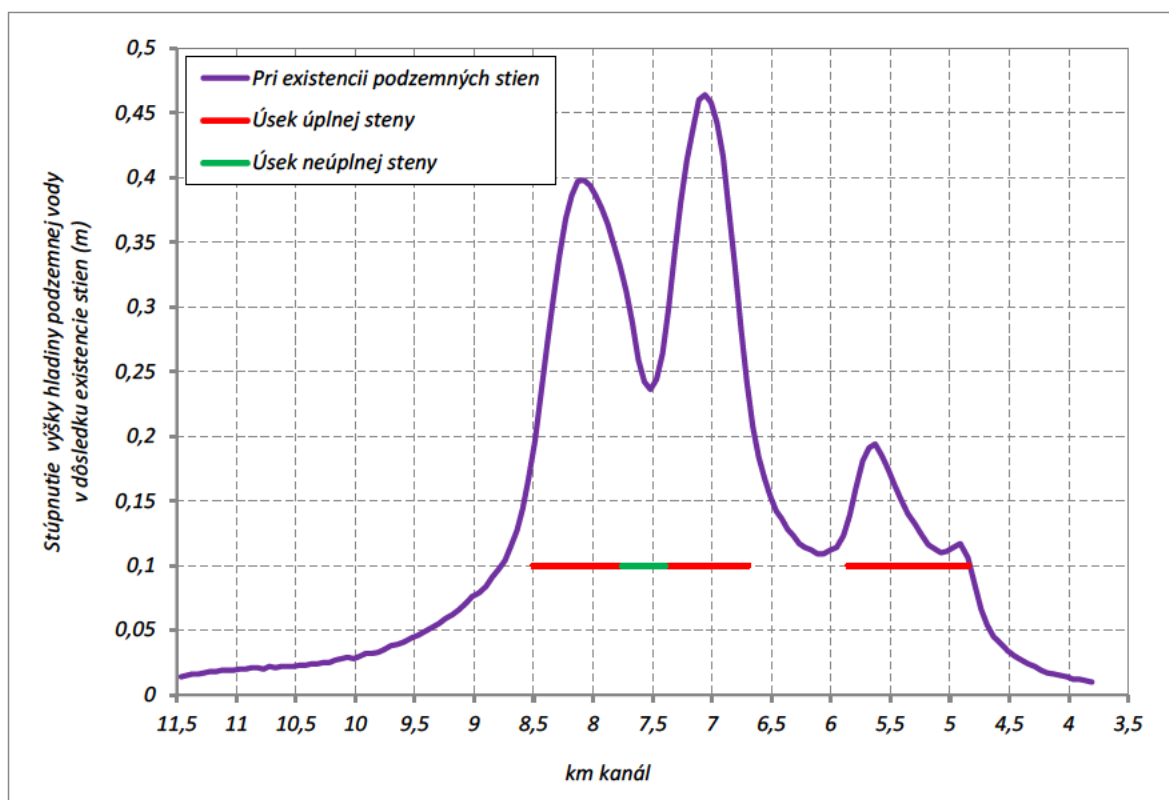
V prvom prípade sme pre návrh realizácie dvoch podzemných stien modelovali prúdenie pred a po zvýšení hladiny vody vo Váhu na úroveň 100 ročnej vody.

Modelové hladiny podzemnej vody pri existencii dvoch navrhovaných stien pred povodňou pri normálnom stave prúdenia podzemnej vody zo dňa 13.10.2022 sú znázornené na $\Rightarrow$ obr. č. 44. Tak ako to dokumentujú aj $\Rightarrow$ obr. č. 45 a obr. č. 46, vzduťie hladín podzemných vôd pred povodňou v dôsledku existencie podzemných stien sa v oblasti kanála znížilo na hodnoty pod 0,45 m. To je značné zníženie oproti stavu pri existencii 4 úplných stien, keď sa hladina podzemnej vody v bežnom stave bez povodne vzdula až do úrovne 1,2 m.

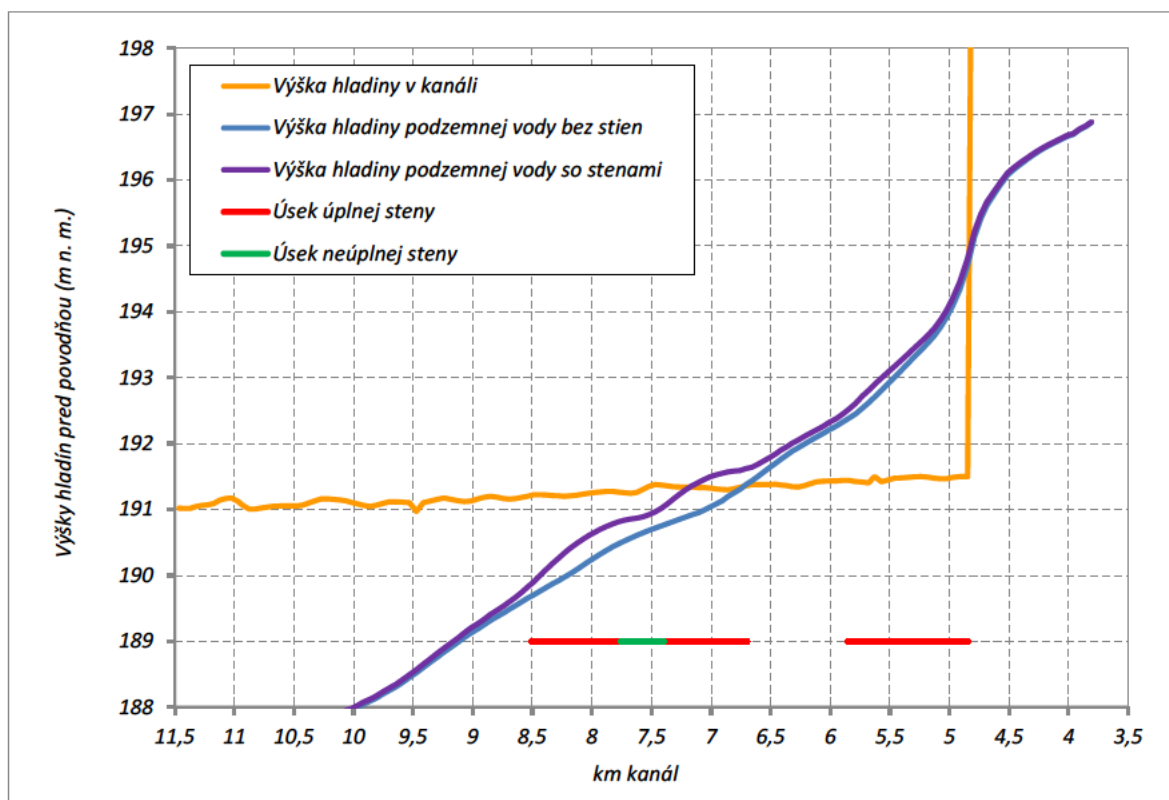
Obr. č. 44 Hydroizohypsy pri bežnom stave pri existencii 2 stien



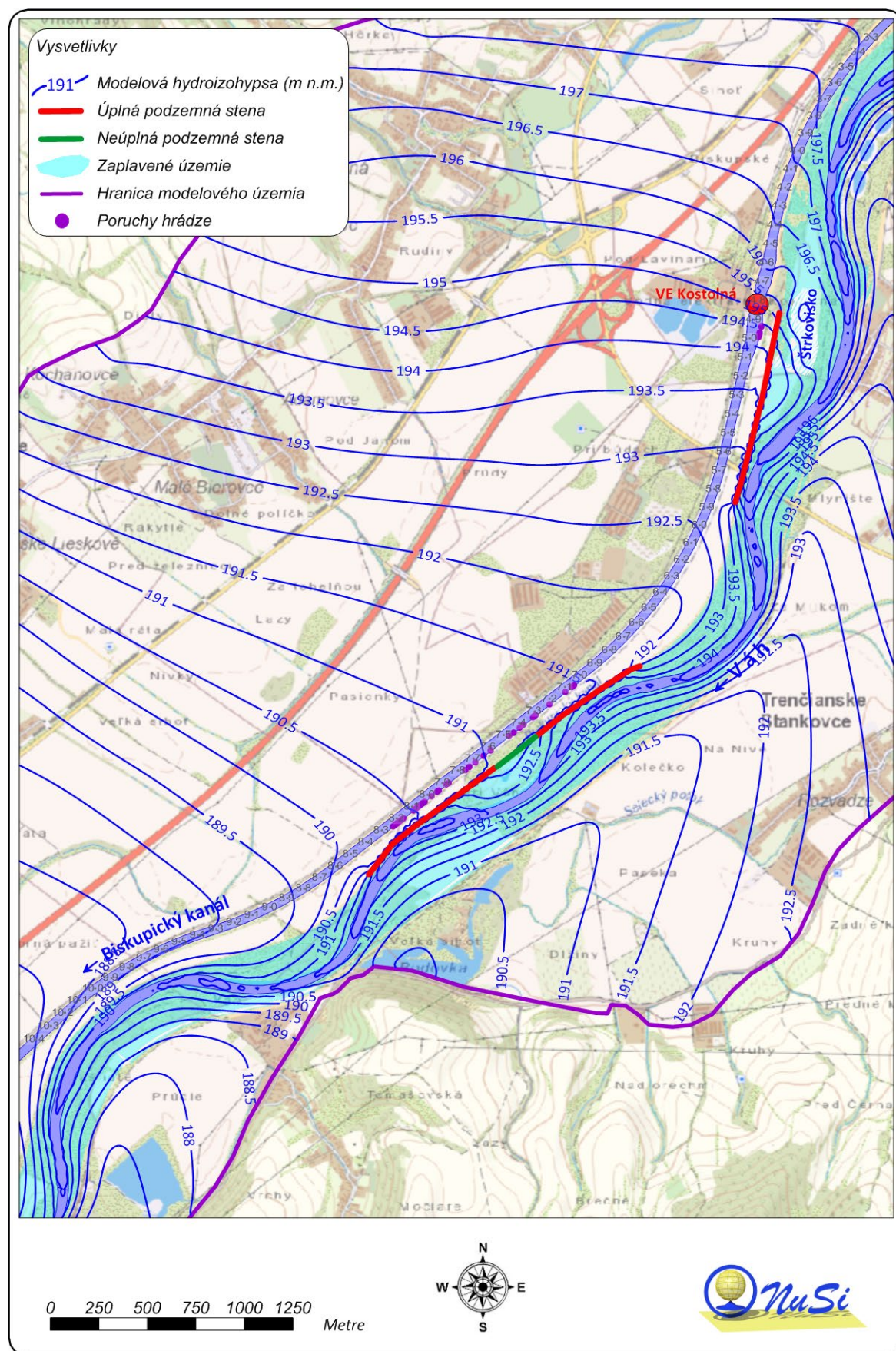
Obr. č. 45 Stúpnutie výšky hladiny podzemnej vody v oblasti kanála v dôsledku existencie 2 podzemných stien pri bežnom stave



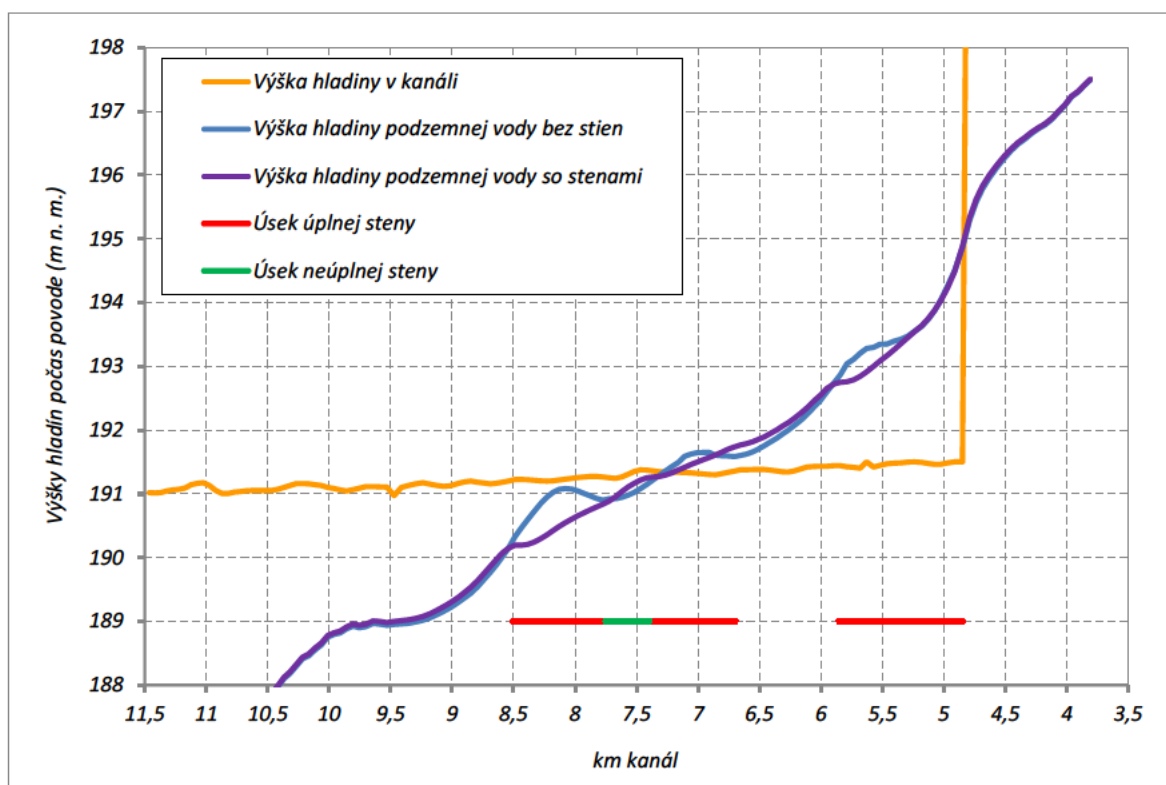
Obr. č. 46 Výšky hladiny podzemnej vody v oblasti kanála v dôsledku existencie 2 podzemných stien pri bežnom stave



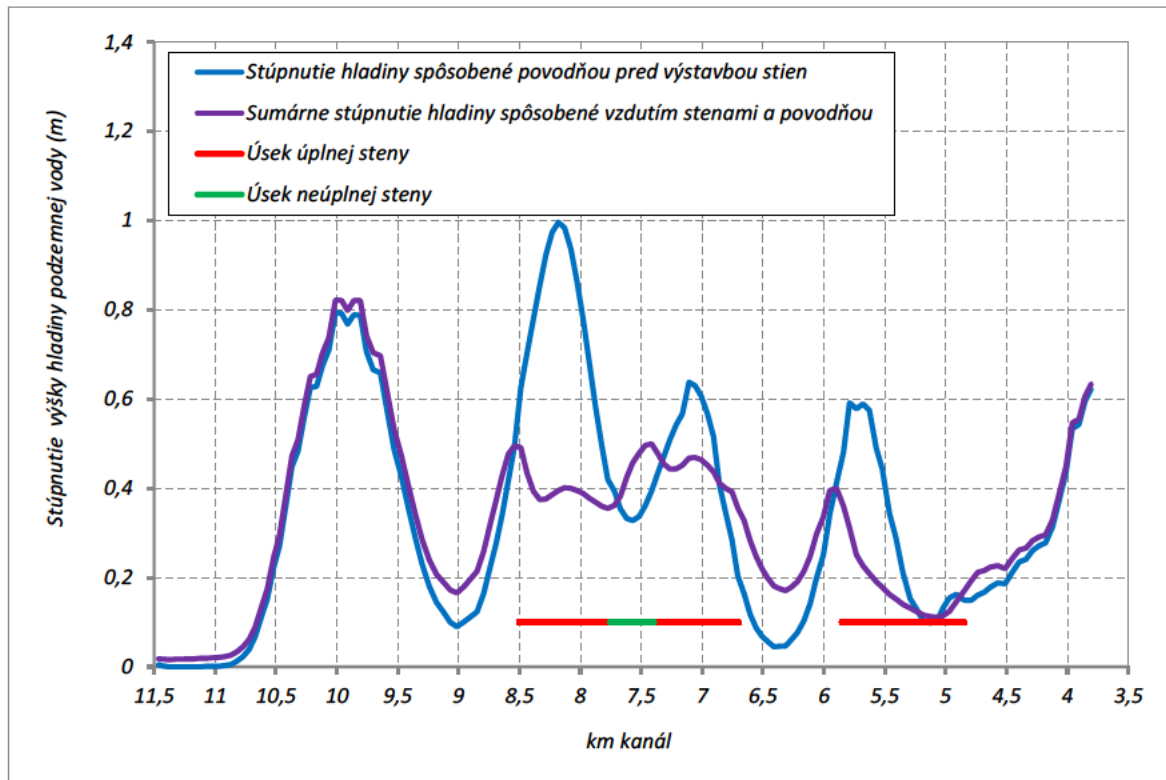
Obr. č. 47 Hydroizohypsy pri 100 ročnej vode vo Váhu pri existencii 2 podzemných stien



Obr. č. 48 Výšky hladiny podzemnej vody v oblasti kanála počas 100 ročnej vody vo Váhu



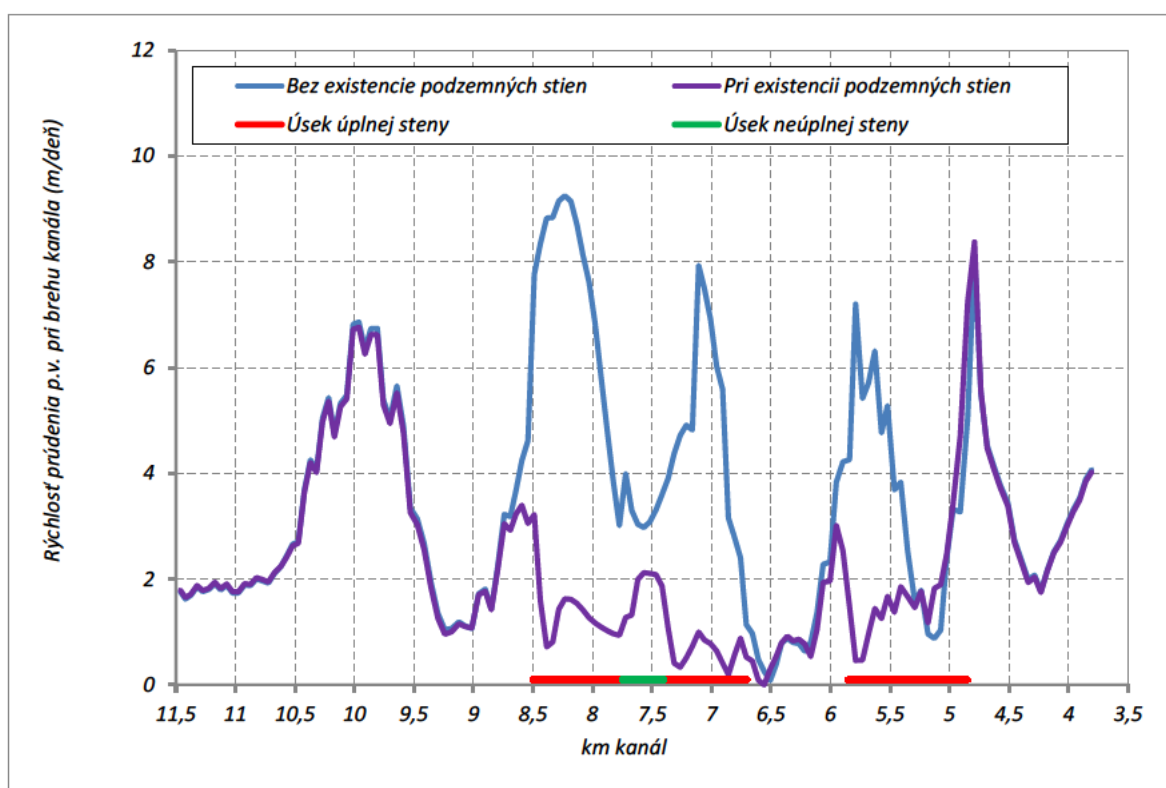
Obr. č. 49 Stúpnutie hladiny podzemnej vody v oblasti kanála počas 100 ročnej vody vo Váhu



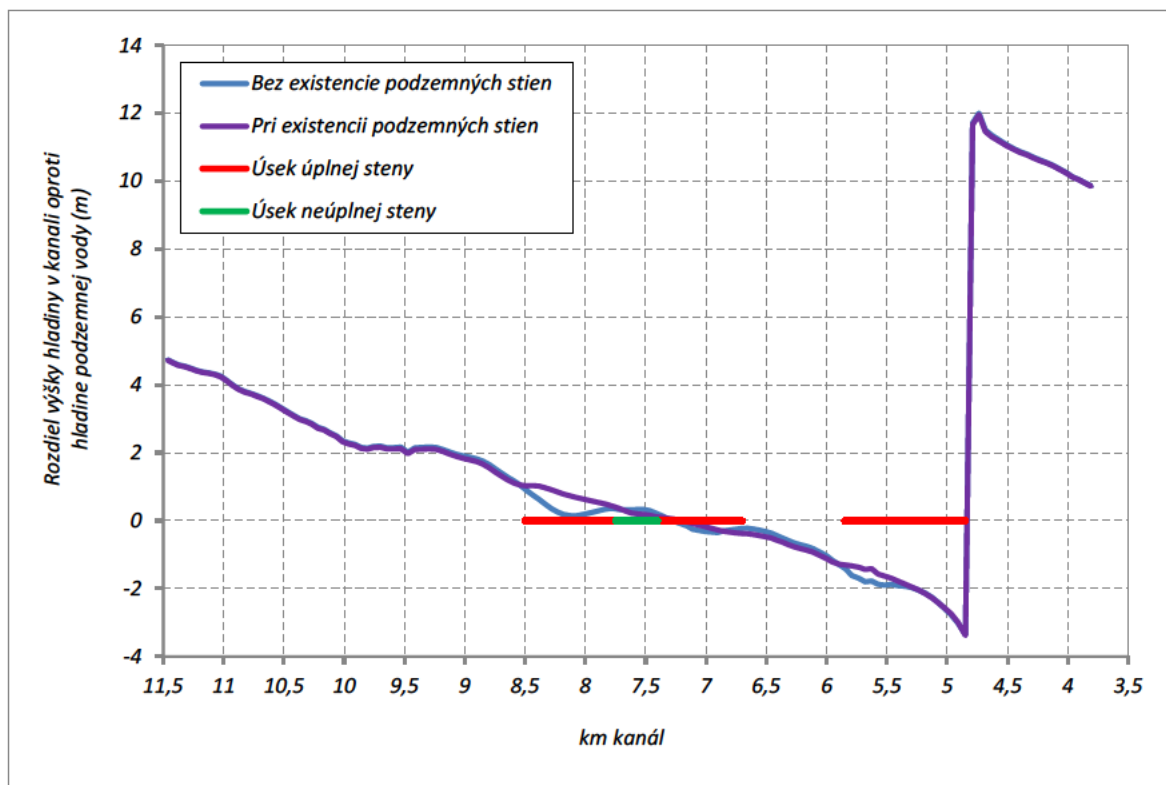
Na $\Rightarrow$ obr. č. 47 je znázornený modelový stav prúdenia pri existencii dvoch stien 24 hodín po zvýšení hladiny vo Váhu na úroveň 100 ročnej vody. Obr. č. 48 a $\Rightarrow$ obr. č. 49 dokumentujú výsledný stav hladín podzemných vôd počas zvýšenia hladiny vo Váhu na úroveň 100 ročnej vody, pri existencii stien a bez stien. Podľa modelového odhadu steny znížia hladinu v problematických úsekoch o 0,2 až 0,6 m.

Obr. č. 50 znázorňuje zmeny rýchlosti podzemných vôd na brehu kanála počas povodňovej situácie v dôsledku vybudovania stien. Rýchlosti v problematických úsekoch výrazne klesnú. Nejedná sa však o rýchlosti prúdenia podzemnej vody do kanála. Tie by bolo možné odvodiť od vypočítaných rozdielov výšok hladín podzemných vôd v oblasti kanála a hladín kanála a to pri znalosti vodivostných parametrov dna kanála. Rozdiely hladín podzemnej vody a hladín v kanáli počas povodne sú počas povodne znázornené na $\Rightarrow$ obr. č. 51.

Obr. č. 50 Rýchlosti prúdenia podzemnej vody v oblasti kanála počas 100 ročnej vody vo Váhu



Obr. č. 51 Rozdiely hladiny v kanáli a hladiny podzemnej vody v oblasti kanála počas 100 ročnej vody vo Váhu

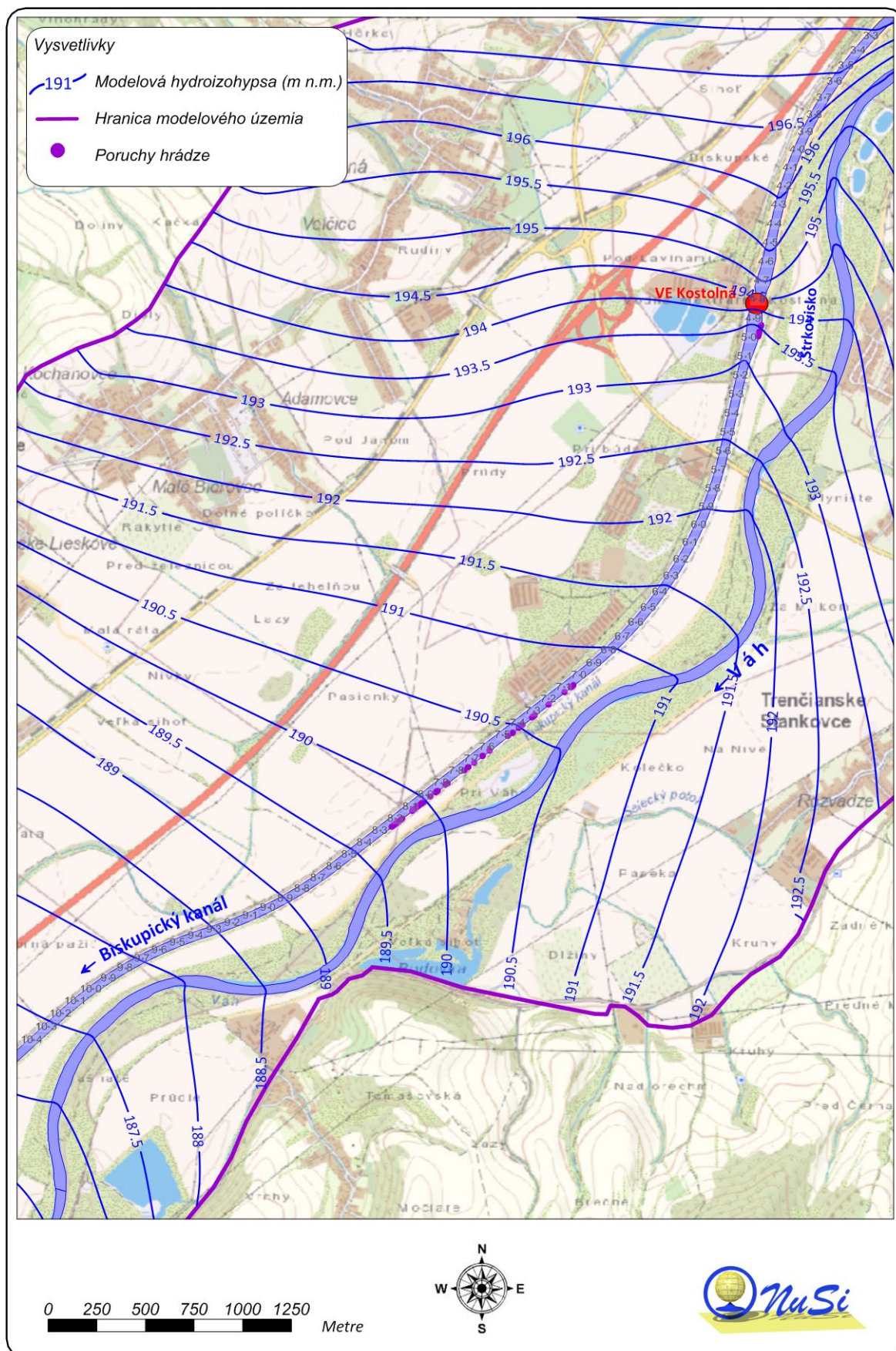


5.4.2.2. Modelovanie účinku dvoch podzemných stien, po zvýšení hladiny vo Váhu na 1 ročnú vodu pri zníženej hladine v Biskupickom kanáli

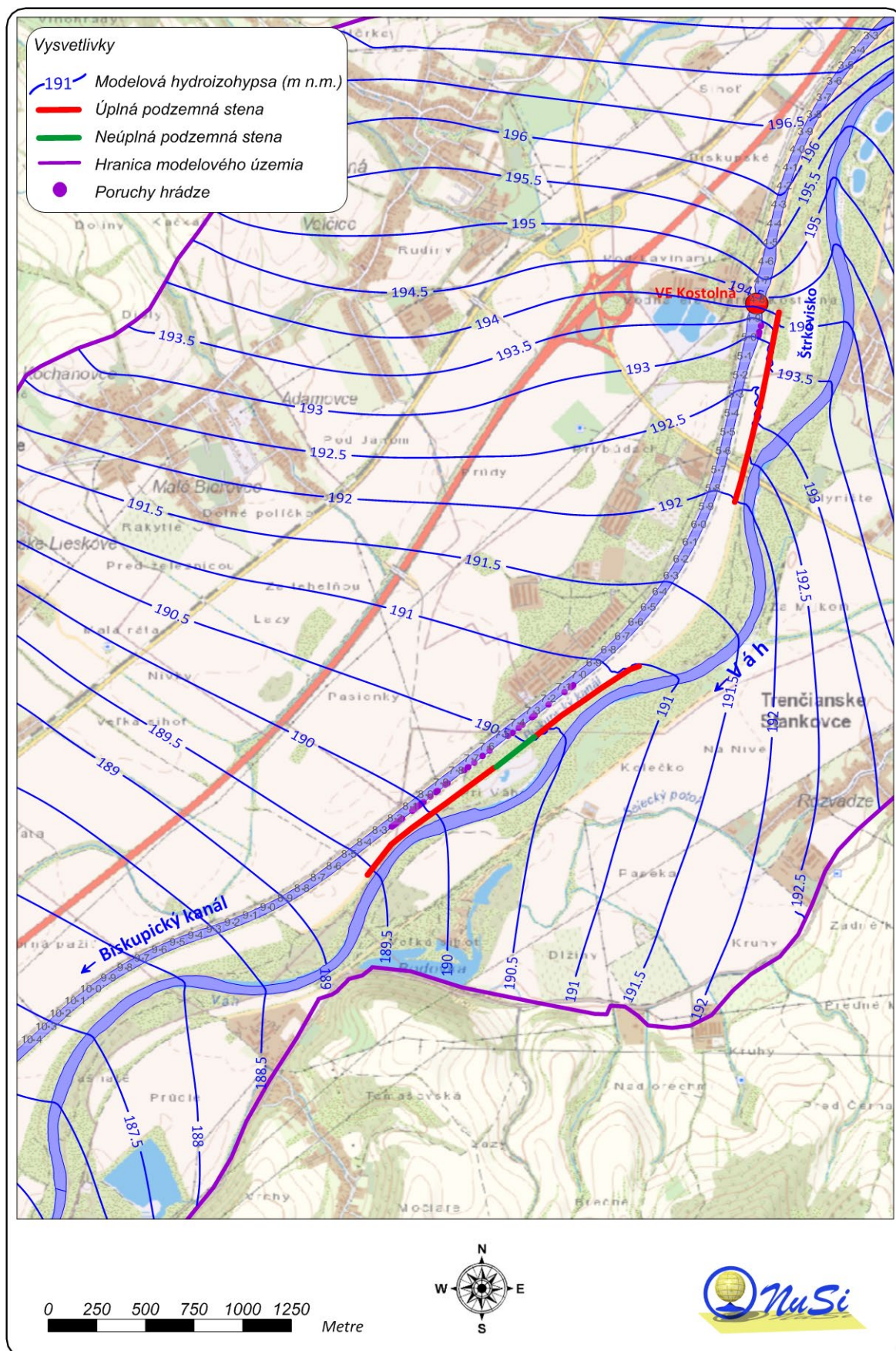
Poruchy brehov kanála nastali v roku 2017, keď bola vo Váhu výška hladiny vody na úrovni 1 ročnej vody a zároveň bola z technických príčin znížená hladina vody v Biskupickom kanáli pod prevádzkovú hladinu. V nasledujúcom výpočte sme modelovali účinok realizácie dvoch podzemných stien na prúdenie pred a po zvýšení hladiny vody vo Váhu na úroveň 1 ročnej vody a to pri zníženom stave vody v Biskupickom kanáli. Hladina v kanáli bola znížená na výškovú úroveň približne 2 m nad jeho dno.

Na ⇒ obr. č. 52 sú znázornené modelové hydroizohypsy pri takto zníženej hladine v Biskupickom kanáli bez stien pri normálnej hladine vo Váhu. Zníženie hladiny v kanáli spôsobilo v jeho okolí pozorovateľné zníženie podzemnej vody o 0,3 m až 0,4 m oproti stavu z prevádzkovou hladinou v kanáli [⇒ obr. č. 36] a to napriek modelovanej veľmi zníženej priepustnosti dna Biskupického kanála. Po vybudovaní dvoch stien by sa hladiny podzemnej vody na strane Biskupického kanála zmenili tak, ako to je znázornené na ⇒ obr. č. 53, obr. č. 54, obr. č. 55. V časti pod VE Kostolná, kde Váh pri zníženej hladine v kanáli podzemnú vodu dotuje, by sa hladiny v oblasti kanála znížili o hodnoty približne do 0,35 m. Nižšie v smere toku by steny znížili mieru drénovania podzemnej vody Váhom na strane kanála a hladiny by sa v oblasti kanála zvýšili asi do hodnoty 0,1 m.

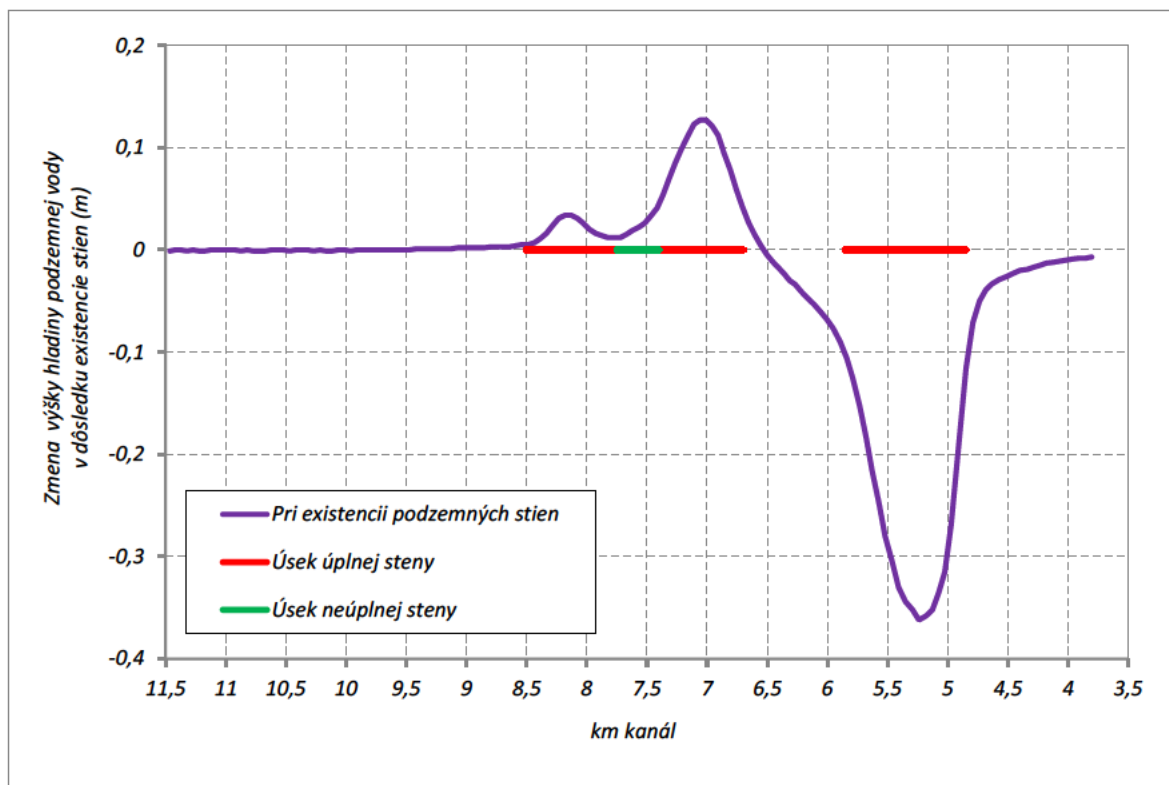
Obr. č. 52 *Hydroizohypsy pri zníženej hladine v kanáli pri bežnej hladine vo Váhu bez existencie stien*



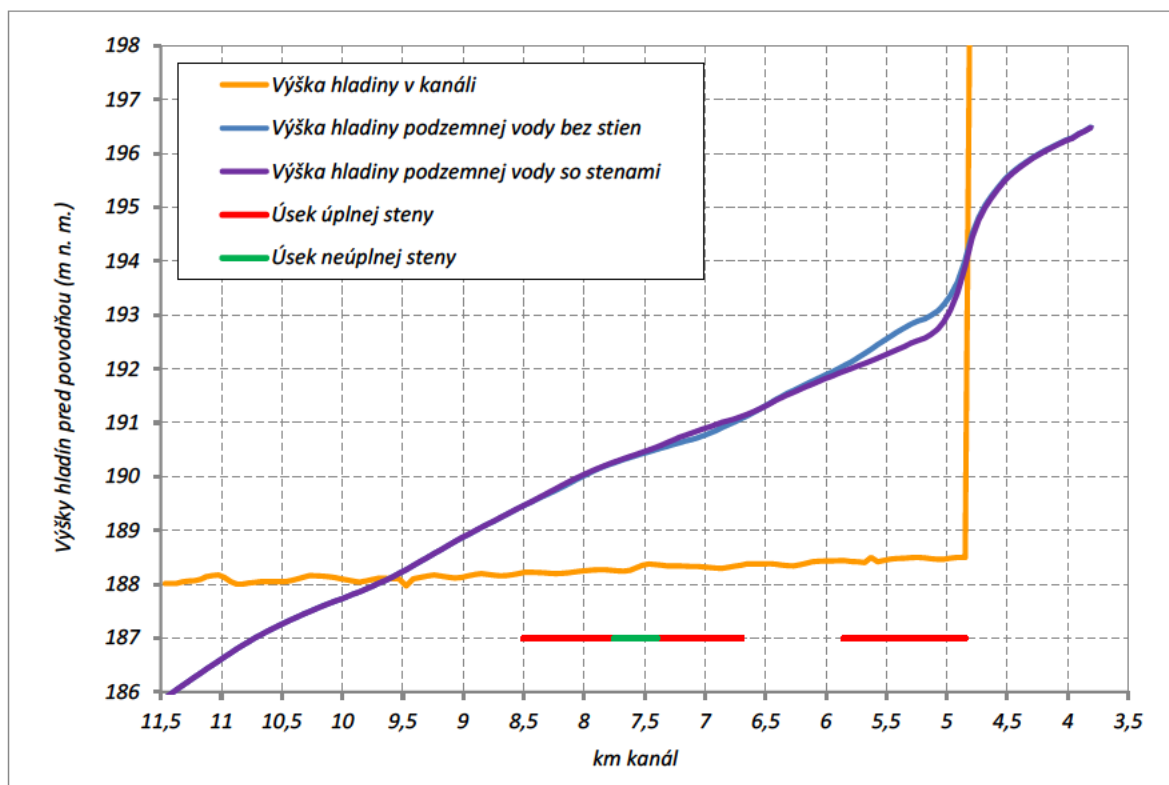
Obr. č. 53 Hydroizohypsy pri zníženej hladine v kanáli pri bežnej hladine vo Váhu a pri existencii 2 stien



Obr. č. 54 Zmeny výšky hladiny podzemnej vody v oblasti kanála v dôsledku existencie 2 podzemných stien pri zníženej hladine v kanáli a pri bežnej hladine vo Váhu



Obr. č. 55 Výšky hladiny podzemnej vody v oblasti kanála v dôsledku existencie 2 podzemných stien pri zníženej hladine v kanáli a pri bežnej hladine vo Váhu

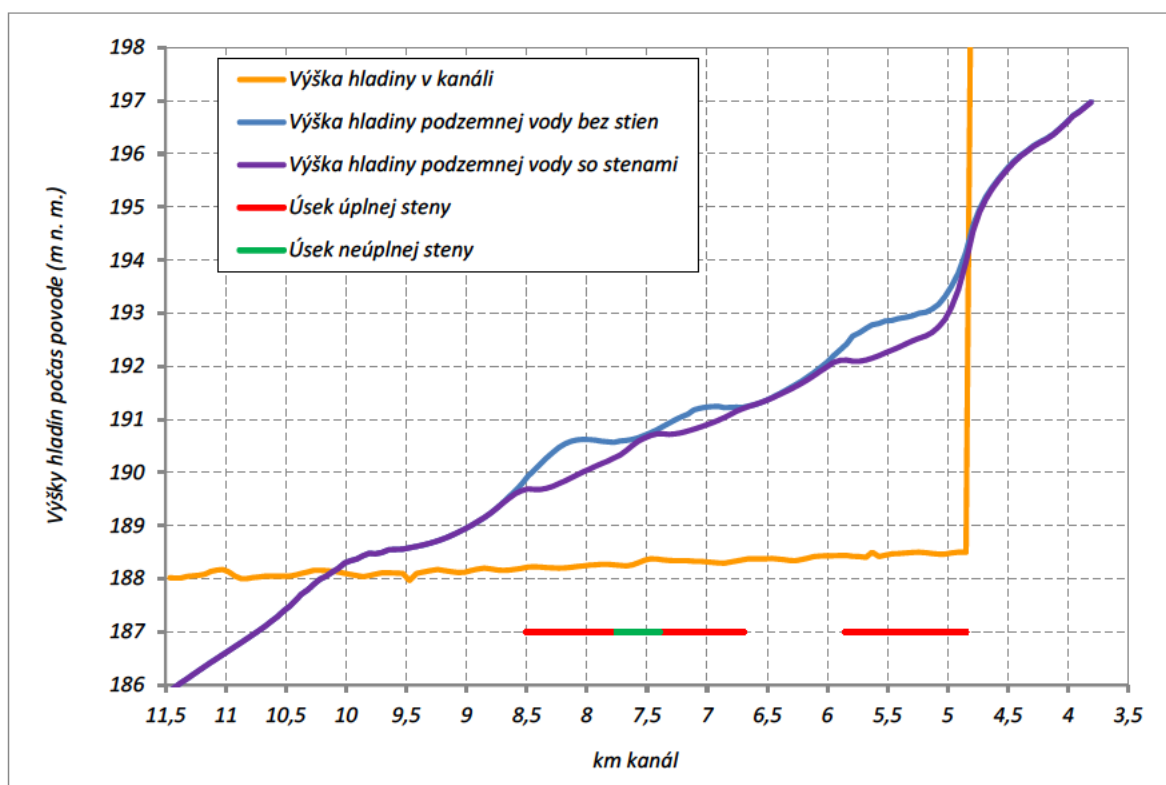


Vysvetlivky

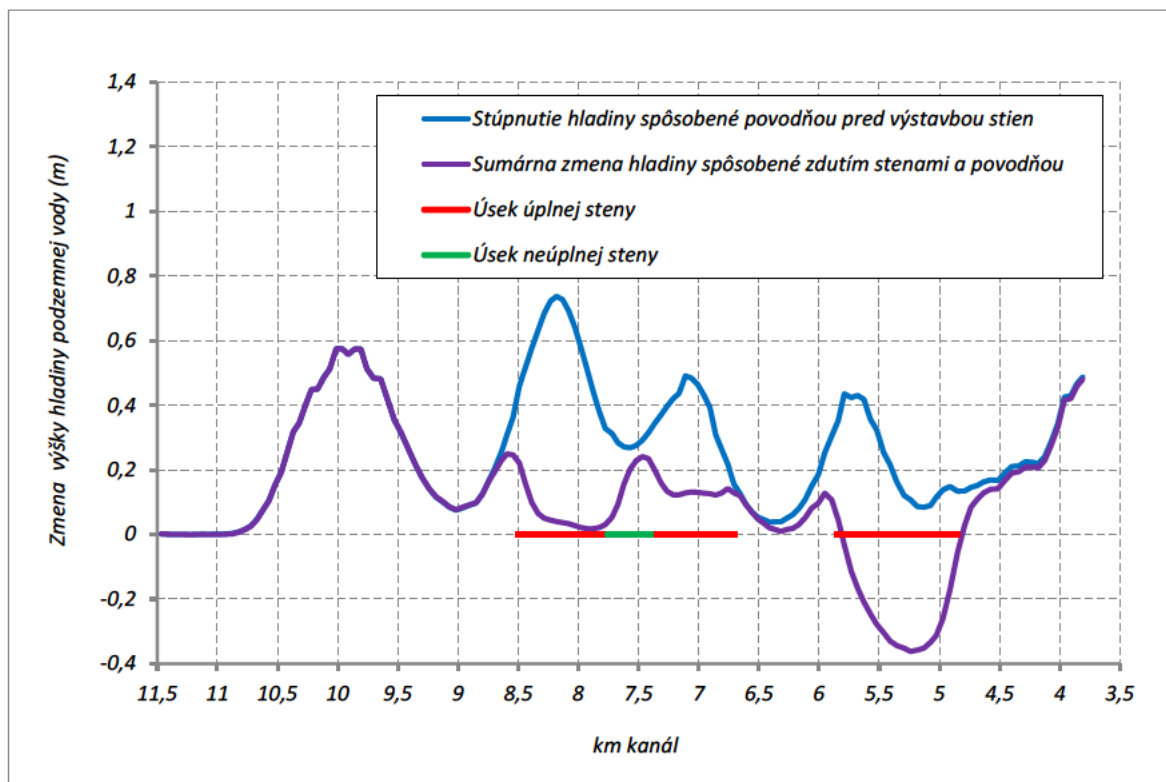
- 191 Modelová hydroizohypsa (m n.m.)
- Úplná podzemná stena
- Neúplná podzemná stena
- Zaplavené územie
- Hranica modelového územia
- Poruchy hrádze

Map showing the Váh river area, including locations like Adamovce, Malé Bieľovce, and Trenčianske Mankovce. The map displays model hydrotopography (191), groundwater levels (196.5, 196, 195.5, 195, 194.5, 194, 193.5, 193, 192.5, 192, 191.5, 190.5, 190, 189.5, 189, 188.5, 188), and flood zones (Zaplavené územie). The map also shows the Biskupický kanál and the Váh river. The map includes a scale bar (0 to 1250 Metre) and a compass rose.

Obr. č. 57 Výšky hladiny podzemnej vody v oblasti zníženého kanála počas 1 ročnej vody vo Váhu



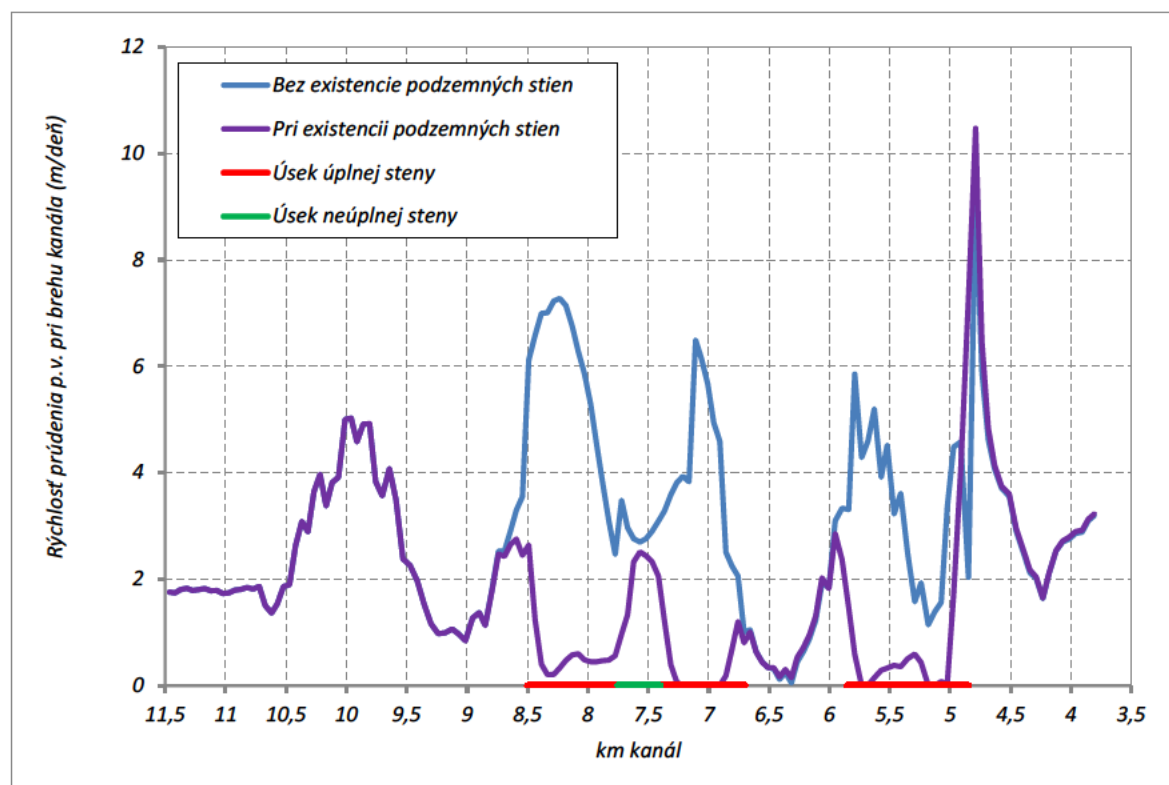
Obr. č. 58 Stúpnutie hladiny podzemnej vody v oblasti zníženého kanála počas 1 ročnej vody vo Váhu



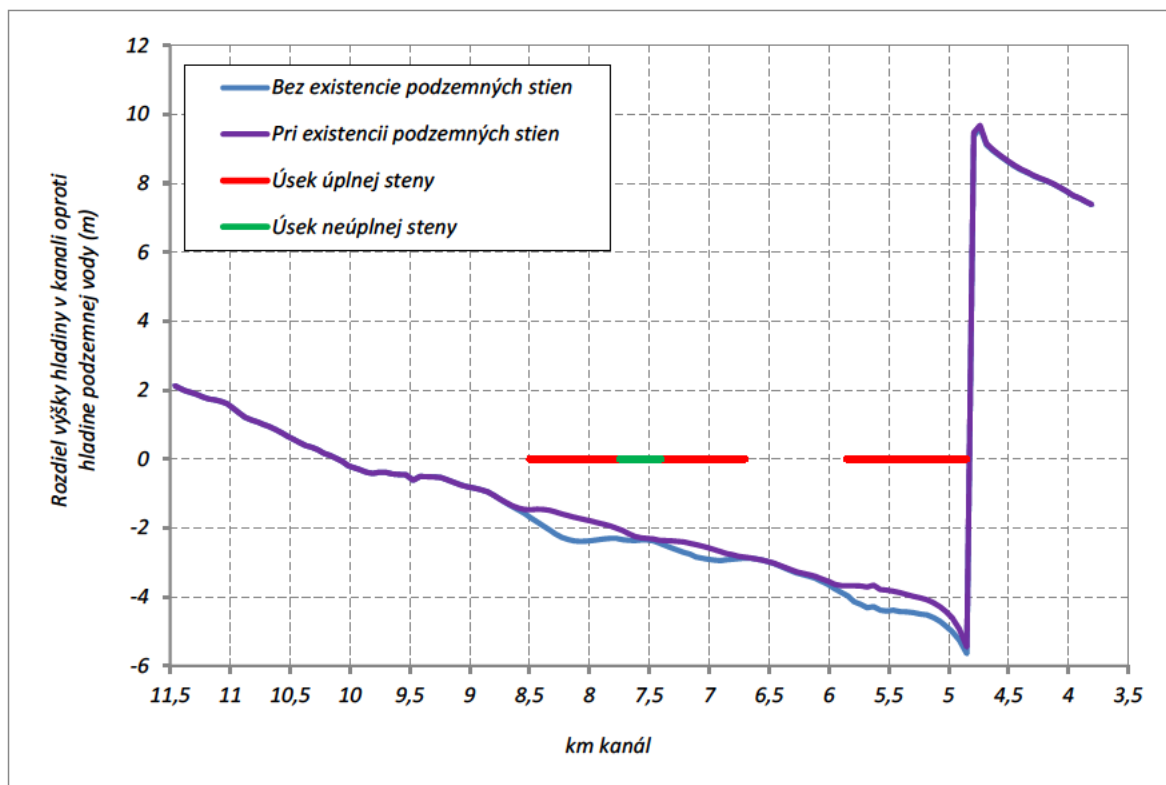
Na $\Rightarrow$ obr. č. 56 sú znázornené modelové hydroizohypsy pri zníženej hladine v kanáli pri existencii dvoch stien 24 hodín po zvýšení hladiny vo Váhu na úroveň 1 ročnej vody. Hladiny podzemnej vody by sa v úsekoch stien v oblasti kanála oproti stavu bez stien znížili rádovo až do hodnôt niekoľko desiatok cm. Najväčšie zmeny by nastali v úseku steny v oblasti VE Kostolná [$\Rightarrow$ obr. č. 57; obr. č. 58]. Obr. č. 57 dokumentuje, že pri zníženej hladine v kanáli v roku 2017 a v stave 1 ročnej vody vo Váhu boli hladiny podzemnej vody vysoko nad hladinami v kanáli, čo bolo príčinou vzniknutých porúch na brehoch kanála. V úseku najhorších porúch kanála (7,0 až 8,3 km), by steny znížili vzdutie hladín podzemnej vody počas povodne aj o 0,75 m oproti stavu bez stien.

V dôsledku vybudovania stien by rýchlosti prúdenia podzemnej vody v oblasti kanála výrazne klesli [$\Rightarrow$ obr. č. 59]. Rýchlosti prúdenia podzemnej vody do kanála by bolo možné vypočítať z vypočítaných rozdielov výšok hladín podzemných vôd v oblasti kanála a výšok hladín v kanáli [$\Rightarrow$ obr. č. 60] a to pri znalosti vodivostných parametrov dna kanála.

Obr. č. 59 Rýchlosti prúdenia podzemnej vody v oblasti zníženého kanála počas 1 ročnej vody vo Váhu



Obr. č. 60 Rozdiely hladiny v zníženom kanáli a hladiny podzemnej vody v oblasti kanála počas 1 ročnej vody vo Váhu



6. Záver

V rámci tejto práce bol zostavený a kalibrovaný trojrozmerný model prúdenia podzemnej vody širšieho okolia Váhu v úseku porúch brehov Biskupického kanála pod VE Kostolná. Modelom sme predpovedali spôsob prúdenia podzemnej vody v záujmovej oblasti počas vysokých stavov Váhu. V roku 2017 práve počas zvýšenia hladiny vo Váhu nastali poruchy brehov Biskupického kanála. Cieľom prác realizovaných v dobe vzniku tejto správy bolo nájsť technické opatrenia, ktoré by vzniku porúch brehov kanála v budúcnosti zabránili. Predkladané modelové výpočty boli súčasťou týchto prác. Modelom sme overovali účinok vybudovania podzemných stien v rôznych rozsahoch a v rôznych hydraulických situáciách. Sledovali sme pri tom predpokladané zmeny výšok hladín podzemných vôd, zmeny rýchlosti prúdenia podzemných vôd a vzťahy hladín podzemných vôd k hladinám v Biskupickom kanáli počas bežných aj vysokých stavov hladín vo Váhu. Vysoké hladiny vo Váhu sme modelovali aj s príľahlými zaplavenými územiami, siahajúcimi až po hrádzu medzi Váhom a Biskupickým kanálom. Cieľom bolo posúdiť, či navrhované alternatívy vybudovania stien môžu napomôcť riešeniu situácie. Modelovanie prinieslo z hľadiska poznania účinkov stien niekoľko zásadných záverov:

- ⇒ Podzemné steny zapustené do hĺbok 2-3 nad podlažie (neúplné steny) umožnia pomerne veľké prietoky podzemnej vody pod nimi a počas vlny vysokej hladiny vo Váhu by nezabezpečili dostatočné obmedzenie zvýšenia hladín podzemnej vody zamedzujúce javy spôsobujúce poruchy hrádze.
- ⇒ Steny zapustené až do neogénneho podlažia (úplné steny) budú mať dvojitý efekt. Síce zabránia vzdutiu hladiny podzemnej vody v oblasti Biskupického kanála za

povodňových stavov, čo by malo byť ich účelom, ale zároveň už v bežnom stave bez povodne obmedzia drénovanie podzemnej vody Váhom na strane Biskupického kanála. Tým spôsobia vzduť hladiny podzemnej vody v oblasti Biskupického kanála na úroveň, ktorá by znamenala vyvolanie poruchových javov aj za normálnych stavov hladiny vo Váhu. Tieto dva protichodné hydraulické účinky podzemných stien pred povodňou a počas povodňovej situácie umožnia ich použitie len po precíznom plánovaní spôsobu ich realizácie a overení ich účinku.

- ⇒ Podzemná voda bude steny obtekať, čo spôsobí na ich okrajoch existenciu vysokých gradientov hladín podzemných vôd a teda aj vysokých rýchlostí prúdenia podzemných vôd. To znamená, že okraje stien musia byť dostatočne vzdialené od Biskupického kanála, aby tento jav nemohol spôsobovať zvýšenú sufóziu na brehoch kanála.
- ⇒ Analýza dosahovaných výšok hladín podzemných vôd oproti výškam hladín v Biskupickom kanáli potvrdila, že v úseku nad 9,0 km je prevádzková hladina vody v kanáli dostatočne vysoká na to, aby problémové situácie nevznikali ani pri povodňových stavoch.

Aj na základe týchto zistení bolo navrhnuté a modelom overované kompromisné riešenie. Hodnotila sa možnosť vybudovania dvoch podzemných stien. Z nich by bola jedna úplná (v úseku 4,85 km až 5,85 km) a druhá by bola kombináciou úplnej a neúplnej steny (v úseku 6,70 km až 8,50 km). Úsek neúplnej steny by bol v rozsahu riečnych km Biskupického kanála od 7,4 km do 6,7 km. Modelové výpočty prúdenia podzemných vôd pri existencii takýchto stien boli realizované pri normálnych stavoch vo Váhu a pri stavoch vysokej hladiny vo Váhu. Modelovaním bol odhadnuté, že steny budú spôsobovať za normálnych stavov hladín vo Váhu vzduť hladín podzemnej vody v oblasti Biskupického kanálu do prijateľných 0,45 m. Zároveň počas 100 ročnej vody vo Váhu môžu podľa modelového odhadu znížiť výšky hladín podzemných vôd v problematických úsekoch porúch brehov Biskupického kanála aj o 0,6 m oproti stavu bez stien.

7. Údaje o uložení geologickej dokumentácie

Prvotná a súhrnná geologická dokumentácia je uložená v sídle spoločnosti GEOSPEKTRUM s.r.o., Mliekárenská 10, 821 09 Bratislava, v zmysle § 35 vyhlášky MŽP SR č. 51/2008 Z.z.

8. Zoznam použitej literatúry

- Began, A., Hanáček, J., Mello, J., & Salaj, J. (1990). *Geologická mapa Myjavskej pahorkatiny, Brezovských a Čachtických Karpát v mierke 1:50 000*. GÚDŠ Bratislava.
- Čepčeková, E., Faško, P., Hlavatá, H., Jančovičová, L., Kajaba, P., Labudová, L., Mikulová, K., Pecho, J., Pribullová, A., Šťastný, P., & Tomková, M. (2016). *Klimatologické normály na Slovensku za obdobie 1981-2010*. SHMÚ Bratislava, 216 s.
- Doherty, J. (2015). *Calibration and uncertainty analysis for complex environmental models*. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia. 227pp. ISBN: 978-0-9943786-0-6 Downloadable from www.pesthomepage.org.
- Dzuriak, M., Gomolčák, F., Rosina, V., & Sečík, J. (1982). *Kostolná - Nové Mesto nad Váhom - Horná Streda - igp*. Archív Geofondu Bratislava.
- Harbaugh, A. (2005). *MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular groundwater model - the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6A16, variously p., USA.
- Horecká, V., & Valovič, Š. (1991). in *Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu Bratislava, zväzok 33/I*. SHMÚ Bratislava, 239 s.
- Kočický, D., & Ivanič, B. (2011). *Geomorfologické členenie Slovenska [online]*. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/tmapy>: ŠGÚDŠ Bratislava.
- Lipták, J., & Klčo, M. (2015). *Manipulačný poriadok pre vodnú stavbu II. Vážska kaskáda - Trenčianske Biskupice, Kostolná, Nové Mesto N/V, Horná Streda na rieke Váh od rkm 161,905 hať Trenčianske Biskupice po rkm 119,115 sútok odpadového kanála VE Horná Streda s Váhom*. Hydroconsult Bratislava & SVP š. p. Piešťany.
- Maglay, J., Pristaš, J., Kučera, M., & Ábelová, M. (2009). *Geologická mapa kvartéru Slovenska. Hrúbka kvartérneho pokryvu 1: 500 000*. MŽP SR & ŠGÚDŠ Bratislava.
- Mahel', M. (1964). *Zhodnotenie vrtov pri západnom okraji Inovca v širšom okolí Beckova*. Archív Geofondu Bratislava.
- Majerčáková, O., Škoda, P., & Danáčová, Z. (2007). *Vybrané hydrologické a zrážkové charakteristiky obdobia 1961 – 2000 a 2000 – 2006 v oblasti Vysokých Tatier*. Meteorologický časopis, roč. 14, SHMÚ, Bratislava, č. 4, s. 205-210.
- Mazúr, E., & Lukniš, M. (1986). *Geomorfologické členenie SSR a ČSSR, časť Slovensko in Atlas krajiny Slovenskej republiky (2002)*. Slovenská kartografia.
- Mlynarčík, M. (1998). *Kvartér Trenčianskej kotliny a priľahlé mezozoikum, Q-m 038*. Archív Geofondu Bratislava.
- Petrovič, Š., & Šoltýs, J. (1991). in *Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu Bratislava, zväzok 33/I*. SHMÚ Bratislava, 239 s.
- Pospíšil, Z., Chrobok, J., Loupanec, M., Mašek, F., Novák, P., Plesník, K., & Řežníček, V. (1970). *Zpráva o výpočtu zásob podzemních vod v kvartéru středního toku Váhu*. Archív Geofondu Bratislava.
- Salaj, J., Began, A., Hanáček, J., Mello, J., Kullman, E., Čechová, A., & Šucha, P. (1987). *Vysvetlivky ku geologickej mape Myjavskej pahorkatiny, Brezovských a Čachtických Karpát 1:50 000*. GÚDŠ Bratislava, 181 s.
- ŠGÚDŠ. (2019). *Geologická mapa SR v mierke 1:50 000 [online]*. <https://gis.geology.sk/arcgis/rest/services/GeologickeMapy/GeologickaMapaSR50/MapServer/WMTS/1.0.0/WMTSCapabilities.xml>.
- Šťastný, P., Bochníček, O., Faško, P., Nejedlík, P., Snopková, Z., Borsányi, P., Čepčeková, E., Chmelík, M., Jančovičová, M., Kapolková, H., Labudová, L., Mikulová, K.,

- Mišaga, O., Pribullová, A., Švec, M., & Turňa, M. (2015). *Klimatický atlas Slovenska*. SHMÚ Bratislava.
- Šuba, J., Bujalka, P., Cibulka, L., Frankovič, J., Hanzel, V., Kullman, E., Porubský, A., Pospíšil, P., Škvarka, L., Šubová, A., Tkáčik, P., & Zakovič, M. (1984). *Hydrogeologická rajonizácia Slovenska, 2. vydanie*. SHMÚ Bratislava, 310 s.
- Vass, D., Began, A., Gross, P., Kahan, Š., Krystek, I., Köhler, E., Lexa, J., Nemčok, J., Růžička, M., & Vaškovský, I. (1988). *Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov Panónskej panvy na území ČSSR. Mapa 1:500 000*. GÚDŠ Bratislava.