

## A) Časť všeobecná

### 1. Úvod

Na základe objednávky Trenčianskej univerzity Alexandra Dubčeka v Trenčíne (TnUAD), Študentská 2, 911 50 Trenčín, vykonali sme na pozemku CKN č. p. 1627/624, k.ú. Trenčín, vyhľadávaci hydrogeologický prieskum, ktorého úlohou bolo overiť pomery podzemnej vody a jej potenciálne využitie pre tepelné čerpadlá voda-voda pre stavbu „Dobudovanie univerzitného kampusu TnUAD“. Navrhovaná stavba je situovaná v univerzitnom areáli (campuse) na Ul. Študentská v Trenčíne a pozostáva z parkovacieho domu, vysokoškolských internátov a univerzitnej knižnice. Situovanie záujmového pozemku je zobrazené v príl. č. 1.

Prieskumné práce boli vykonané po odsúhlasení Projektu geologickej úlohy, zmluvy o dielo a po vyriešení stretov záujmov (záujmov chránených osobitnými predpismi). Geologické práce boli ohlásené v GEOFONDe, kde sú evidované pod číslom 646/2023.

Súbežne s vyhľadávacím hydrogeologickým prieskumom lokality prebiehal aj podrobný inžinierskogeologický prieskum. Výsledky inžinierskogeologického prieskumu boli spracované v samostatnej záverečnej správe (J. Bulko, 2023).

Predbežné výsledky vyhľadávacieho hydrogeologického prieskumu a podrobného inžinierskogeologického odprezentoval zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy pri spoločnom pracovnom stretnutí objednávateľa (TNUNI), projekčnej organizácie (DeBondt, s.r.o.) a spoločnosti zabezpečujúcej inžiniering (SGT, s.r.o.) dňa 27.10.2023.

### 2. Podklady

Ako projekčný a topografický podklad nám obstarávateľ poskytol zastavovací plán lokality a výkresovú dokumentáciu projektovanej stavby v elektronickej forme, spracovanú spoločnosťou DeBondt, s.r.o., Trenčín, v ktorej boli vyznačené miesta pre lokalizáciu geologických sond.

Geologické podklady sú uvedené v zozname použitej literatúry - kap. č. 15.

### 3. Doterajšia geologická preskúmanosť záujmového územia

Územie nebolo doposiaľ hydrogeologicky preskúmané, najbližšie archívne geologické sondy sa nachádzajú v oblasti susedného futbalového štadióna na Sihoti (J. Minárik, 2017), odkiaľ boli do rezov B-B' a C-C' prevzaté sondy V-5 a DP-4. Situovanie prevzatých sond je na obr. č. 1, dokumentácia prevzatých geologických sond je v prílohe č. 5.



Obrázok č. 1 – Situovanie prevzatých geologických sond DP-4 a V-5 (J. Minárik, 2017)

Severná časť mesta Trenčín, kde sú vybudované nové podchody a podjazdy pod traťou ŽSR (železníc Slovenskej republiky), bola v 3 vybraných lokalitách hydrogeologicky preskúmaná a monitorovaná v období rokov 2007 až 2016. Monitorovacie sondy HV-501 až HV-505 (J. Bulko, 2008) v okolí Železničnej stanice Trenčín boli monitorované aj v rámci HG prieskumu pre TNUNI, čo nám umožnilo doplniť mapu hydroizohyps aj o územie TNUNI.

Stavebný zámer „Dobudovanie univerzitného kampusu TnUAD“ vo vzťahu k vodárenskému zdroju Trenčín-Sihoť, ktorého hranice ochranných pásiem sú zakreslené v príl. č. 1, odborne posúdil J. Minárik (2022) z hľadiska hľbenia stavebných jám a možného ohrozenia podzemných vôd počas výstavby, ako aj z hľadiska vsakovania vôd z povrchového odtoku do horninového prostredia a podzemných vôd a z hľadiska čerpania a vsakovania podzemnej vody pre systém tepelného čerpadla voda-voda. Pre systém tepelného čerpadla J. Minárik (2022) odporúča:

- množstvo vody z čerpaceho vrtu by nemalo presiahnuť 4,4 l/s
- vzdialenosť medzi čerpacím a vsakovacím vrtom by mala byť dostatočná na to, aby sa vsakovaná voda nedostala späť do čerpaceho vrtu
- dosah depresného kužela  $R_s$  nemá zasahovať do podzákladia budov univerzity ani obytných domov v susedstve univerzity na Ul. Študentská.

#### **4. Cieľ geologických prác**

Cieľom geologických prác bolo:

- vybudovať hydrogeologické čerpace a vsakovacie vrty
- zistiť teplotu a kolísanie hladiny podzemnej vody
- zistiť priepustnosť horninových vrstiev
- zistiť podmienky čerpania a vsakovania podzemných vôd
- overiť pomery podzemnej vody a jej potenciálne využitie pre tepelné čerpadlá voda-voda

#### **5. Metodika prieskumných prác**

Geologický prieskum bol v teréne zabezpečený formou terénnych vrtných prác, vzorkovacích prác, hydrodynamických skúšok, laboratórnych skúšok, meračských prác a geologických činností.

##### **5.1. Vrtné a vystrojovacie práce**

Hydrogeologické vrty V-1, V-3, V-5 a V-2, V-4, V-6 boli realizované v období od 19.9.2023 do 5.10.2023. Vrty vyhlbila firma Ing. Jozef Hajčík - Geologické prieskumné práce, Brvnište, pomocou vrtnej súpravy HVS-497 na podvozku MAN, pod vedením vrtmajstra R. Hrnčíka. Vrty sú hlboké 12,0 m, ich celková metráž je 72 bm. Bolo použité jadrové vrtanie bez výplachu (na sucho) pomocou jadrovnic priemeru 275 a 245 mm a oceľovej pažnice priemeru 273 mm. Vrty boli vystrojené ako studne so zárubnicou priemeru 200 mm, s perforáciou vo zvodnenom úseku, štrčíkovým obsypom v úseku 3,5-12,0 m a ílovaním v pripovrchovej časti

Situovanie hydrogeologických vrtov je zakreslené v príl. č. 2, geologická dokumentácia hydrogeologických vrtov je v prílohe č. 4.

Okrem HG vrtov boli realizované aj IG vrty a DP sondy, ako súčasť IG prieskumu (J. Bulko, 2023), ich dokumentácia je v prílohe č. 5.

## 5.2. Vzorkovacie práce

Vzorky podzemnej vody (spolu 3 ks) boli do odobraté z vrtov V-1, V-3 a V-5 pomocou ponorného elektrického čerpadla do originálnych laboratóriom dodaných vzorkovníc za súčasného merania teploty vody i vzduchu. O každom odbere bol spísaný protokol.

Vzorkovanie zemín a laboratórne skúšky zemín v rámci IG prieskumu je podrobne popísané v samostatnej záverečnej správe (J. Bulko, 2023).

Odber vzoriek podzemných vôd (aj IG vzoriek) je vyznačený v profiloch vrtov v prílohe č. 4.

## 5.3. Laboratórne práce

Vzorky podzemnej vody (3ks) boli v akreditovanom laboratóriu INGEO-ENVILAB, s.r.o., Žilina analyzované v rozsahu základnej fyzikálno-chemickej analýze + agresivita.

Výsledky analýz sú v prílohe č. 6.

## 5.4. Hydrodynamické skúšky a režimové merania podzemných vôd

Hneď po ukončení vrtných a vystrojovacích prác sa realizovalo postupné prečerpávanie (prečistenie a odpískovanie) každého vrtu po dobu 1 až 3 dní.

Vo vrte V-3 bola vykonaná 3-dňová overovacia čerpacia skúška s konštantným čerpacím množstvom vody  $Q = 1,5 \text{ l/s}$ , pričom čerpaná podzemná voda bola vsakovaná do vrtov V-2, V-4 a V-6. Vzhľadom na to, že pokles hladiny v prvých minútach čerpania bol len 3 cm a v nasledujúcich dňoch hladina podzemnej vody aj napriek čerpaniu stúpala, ďalšie overovacie čerpacie skúšky boli vykonávané v trvaní niekoľkých hodín pri rôznych čerpaných množstvách  $Q = 1,0 \text{ l/s}$ ,  $1,3 \text{ l/s}$ ,  $1,8 \text{ l/s}$ ,  $2,3 \text{ l/s}$ ,  $2,5 \text{ l/s}$ . Pri čerpaní boli použité ponorné elektrické čerpadlá s čerpaným množstvom  $Q =$  od  $0,3 \text{ l/s}$  do  $1,5 \text{ l/s}$  a ich kombinácie.

Vo vrtoch V-2, V-4 a V-6 boli vykonané overovacie vsakovacie skúšky pri vsakovanom množstve  $1,5 \text{ l/s}$ . Vzhľadom na veľkú prepravnú vzdialenosť sa do vsakovacích vrtov dostala voda v množstve max.  $1,5 \text{ l/s}$  i keď sa čerpacom vrte V-3 použili čerpadlá s výkonom  $3,0 \text{ l/s}$ . Vsakovacia skúška do vrtu V-2 trvala 3 dni, vsakovacie skúšky do vrtov V-4 a V-6 trvali 4 hodiny v každom vrte. Na orientačné overenie vsakovania pri väčšom vsakovanom množstve sa čerpala podzemná voda z vrtu V-4 v množstve  $2,5 \text{ l/s}$ , ktorá bola odvedená do vsakovania sa do vrtov V-2 a V-6.

Režimové merania podzemných vôd vo vrtoch V-1 až V-6 a merania hladiny Váhu boli vykonávané v období od 4.10.2023 do 30.10.2023, automatický záznam hladín a teplôt vo vrtoch V-1 a V-2 bol v období od 25.10.2023 do 13.11.2023 (20-dní).

V dňoch 25.10.2023 až 29.10.2023 boli merania vykonávané aj v prevzatých vrtoch HV-501 až HV-505 v okolí železničnej stanice

Všetky merania hladín podzemnej a povrchovej vody boli vykonávané manuálne pomocou elektronického hladinomeru s presnosťou 0,1 cm. Záznam hladín a teplôt počas čerpacích a vsakovacích skúšok (3-dni) a v období od 25.10.2023 do 13.11.2023 (20-dní) bol vykonaný pomocou automatických detektorov zn. SOLINST. Množstvo čerpanej a vsakovanej vody bolo merané pomocou stopiek a nádoby s objemom 27,5 l.

Výsledky režimových meraní podzemných vôd sú graficky a tabelárne spracované v prílohe č. 7, výsledky čerpacích a vsakovacích skúšok sú v prílohe č. 8.

### 5.5. Meračské práce

Vytýčenie čerpacích a vsakovacích vrtov podľa zadaných súradníc (spolu 6 ks) bolo vykonané dňa 28.7.2023. Presné polohopisné a výškopisné zameranie realizovaných sond a dvoch línií profilov k rieke Váh pomocou profesionálnej GPS súpravy a totálnej stanice vykonal autorizovaný geodet, Ing. Jozef Orság dňa 21.9.2023 a 6.10.2023. Presné situovanie geologických sond je zakreslené v príl. č. 2, meračská správa je v prílohe č. 10.

Zoznam súradníc a výšok:

sonda	x	Y	terén	odmerný bod
V-1	-496772,14	-1203680,23	211,10	211,34
V-2	-496870,12	-1203734,56	211,28	211,55
V-3	-496794,55	-1203725,75	211,16	211,40
V-4	-496865,49	-1203745,37	211,23	211,39
V-5	-496755,74	-1203732,67	211,00	211,35
V-6	-496861,29	-1203756,15	211,17	211,25

### 5.6. Geologické činnosti

Predmetom geologických činností, ktoré zabezpečoval riešiteľ geologickej úlohy, bolo:

- projektovanie, príprava, sled, riadenie, koordinácia,
- terénna geologická dokumentácia vrtov, meraní a hydrodynamických skúšok in situ
- vyhodnotenie výsledkov analýz, skúšok a meraní
- vypracovanie Záverečnej správy

#### Zoznam často používaných skratiek:

TNUNI = Trenčianska univerzita

TnUAD = Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka

HG = hydrogeologický (vrt, prieskum)

IG = inžinierskogeologický (vrt, prieskum)

Žsr = železnice Slovenskej republiky

## **B) Časť geologická**

### **6. Geografické a klimatické pomery**

Z hľadiska geomorfologického členenia územia Slovenska (E. Mazúr a kol., 1980) je skúmaná lokalita súčasťou Považského podolia, nachádza sa v severnej časti Trenčianskej kotliny, pri jej hranici s Ilavskou kotlinou (za hranicu medzi oboma kotlinami sa považuje spojnica medzi Trenčianskym hradom a Skalkou).

Záujmová lokalita sa nachádza v ľavostrannej rovinnej nive rieky Váh, v Trenčíne, na ulici Študentská, v tesnom susedstve hrádze Váhu. Skúmaný terén je súčasťou areálu Trenčianskej univerzity, ide o rovinný, trávnatý školský dvor s nadmorskou výškou cca 211 m n.m.,

Z klimatického hľadiska podľa E. Mazúra a kol. (1980) je záujmové územie súčasťou oblasti teplej, podoblasti mierne vlhkej, okrsku s miernou zimou, s teplotou v januári nad - 3° C. Územie má mierne suchú až vlhkú, teplú kotlinovú klímu s veľkou inverziou teplôt: v januári -2 až 4 °C, v júli 18,5 až 20 °C. Podľa merania na stanici Trenčín počet dní so zrážkami viac ako 1 mm je 102, v chladnom polroku spadne 295 mm zrážok, v teplom polroku 375 mm zrážok, ročný úhrn zrážok dosahuje 670 mm, zrážkové obdobie trvá 19 dní, suché obdobie 47 dní.

### **7. Hydrogeologické pomery**

Z hľadiska hydrogeologického rajónovania územia Slovenska je záujmové územie súčasťou rajónu Q-M 038 - Kvartér Trenčianskej kotliny a priľahlé mezozoikum Trenčianskej vrchoviny, ktorého využiteľné množstvá podzemných vôd sú stanovené na 840 l/s (V. Slivová a kol., 2023). Lokalita prieskumu – areál TnUAD, sa nachádza v západnej okrajovej časti ochranného pásma 2. stupňa vodárenského zdroja Trenčín-Sihot' (príl. č. 1). Vzťah stavby projektovaného kampusu TnUAD a vodárenského zdroja odborne posúdil J. Minárik (2022) v samostatnom posudku.

Z hľadiska regionálneho geologického členenia Západných Karpát (D. Vass a kol., 1988) je záujmové územie súčasťou západného okraja jadrového pohoria Strážovské vrchy pri styku s Podbrančsko-trenčianskym úsekom Bradlového pásma (obr. č. 2).

Ako bolo zistené pri IG prieskume (J. Bulko, 2023), na geologickej stavbe záujmového územia sa podieľajú kvartérne antropogénne navážky, fluvialne piesčité a štrkovité sedimenty rieky Váh a podložné slieňovcovo-vápencové horniny mezozoika.

Podzemná voda sa nachádza v hĺbkovom intervale 3,5 m až 9,5 m, akumulovaná je v kvartérnom štrkovitom fluvialnom súvrství s medzizrnovou priepustnosťou, ktoré tvorí údolnú výplň Trenčianskej kotliny, s nízkopriepustným až nepriepustným slieňovcovým mezozoickým podložíom.

#### **7.1. Litologická charakteristika a priepustnosť horninových vrstiev**

Litologický a hydrogeologický popis a označenie jednotlivých horninových vrstiev (kvázihomogénnych celkov) v ďalšom texte je zhodné s ich označením v geologických rezoch A-A', B-B', C-C' v príl. č. 3.

### 7.1.1. Kvartér

#### Antropogénne sedimenty (vrstva č. 1 a 2)

Povrchová humózna piesčitá hlina s korienkami tráv - ornica (vrstva č. 1) má overenú hrúbku 0,2-0,4 m. V podloží ornice sa vyskytujú rôznorodé nezhutnené navážky (vrstva č. 2) tvorené zmesou hlíny, piesku, valúnov štrku a úlomkov betónu a tehál do veľkosti 3-30 cm lokálne aj kašovitého bieleho páleného vápna. Hrúbka navážok bola overená vo vrtoch V-1,4,6,8,11,13,14,15 v intervale 0,6 m až 1,7 m, vo vrte V-3 až 3,0 m.

#### Nezvodnené fluvialne sedimenty rieky Váh (vrstva č. 3)

Nezvodnená vrchná časť fluvialneho súvrstvia je tvorená nívnyimi siltovitými pieskami a s polohami piesčitých ílov (vrstva č. 3). Ide o pórovo stredne priepustné zeminy. Báza vrstvy je v hĺbke do 2,0 až 2,8 m. Podľa výsledkov dynamických penetračných skúšok ide o stredne uľahlé piesčité zeminy. Priepustnosť povrchovej nezvodnenej piesčitej vrstvy č. 3 bola určená z kriviek zrnitosti a tiež z výsledkov vsakovacieho pokusu vo vrte V-8 (J. Bulko, 2023). Podľa kriviek zrnitosti je koeficient filtrácie piesčitej vrstvy č. 3:

$$k = 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ až } 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

Podľa vsakovacej skúšky:

$$k = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

#### Zvodnené fluvialne sedimenty rieky Váh (vrstva č. 4 až 7)

Zvodnené vážske štrkové súvrstvie ako celok je pórovo vysokopriepustné, i keď jeho jednotlivé vrstvy sa vyznačujú rozdielnou priepustnosťou. Hodnoty koeficienta filtrácie jednotlivých vrstiev odvodené z kriviek zrnitosti (J. Bulko, 2023) poskytujú nižšie hodnoty priepustnosti ako výsledky získané pre celé súvrstvie z čerpacích skúšok.

Podľa výsledkov vykonaných čerpacích skúšok vo vrtoch V-1, V-3 a V-5 (príl. č. 8) a výpočtov v prílohe č. 9, je koeficient filtrácie tohto súvrstvia:

$$k = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ až } 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Čiastočne zvodnenú vrchnú časť štrkovitého súvrstvia (vrstva č. 4) tvorí 0,8 až 1,8 m mocná poloha uľahlých piesčitých štrkov, tvorená opracovanými valúnmi pieskovcov, kremencov, vápencov a granitoidov priemeru 2-5 cm, ojedinеле 8-12 cm až 15-20 cm. Medzernú výplň tvorí strednozrnný piesok, lokálne zahlinený, obsah asi 20-30%. Podľa výsledkov dynamických penetračných skúšok ide o uľahlé štrkovité zeminy. Vrchná časť súvrstvia, ktorá je vyčlenená ako samostatná vrstva č. 4, má priepustnosť podľa kriviek zrnitosti (J. Bulko, 2023):

$$k = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ až } 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Strednú časť zvodneného štrkovitého súvrstvia (vrstva č. 5) tvorí 2,6 až 4,0 m mocná poloha stredne uľahlých piesčitých štrkov, tvorené rovnakým valúnovým materiálom ako vrstva č. 4. Medzernú výplň tvorí strednozrnný piesok, lokálne zahlinený, obsah asi 20-30%. Podľa výsledkov dynamických penetračných skúšok ide o stredne uľahlé štrkovité zeminy. Vo vrstve č. 4 v sondách DP-12 (5,2-5,8 m) a DP-14 (5,0-5,8 m) boli zistené polohy s extrémne nízkym penetračným odporom  $q_d = 1,0$  až  $1,4$  MP a hodnotami relatívnej uľahlosti  $I_d = 0,13$  až  $0,17$ . Ide o 0,6-0,8 m hrubé šošovky kyprého štrku a piesku, ktoré J. Bulko (2023) vyznačil ako samostatnú vrstvu č. 6. Stredná časť súvrstvia, ktorá je vyčlenená ako samostatná vrstva č. 5, so šošovkami vrstvy č. 6, má priepustnosť podľa kriviek zrnitosti:

$$k = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ až } 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

**Spodnú časť zvodneného štrkovitého súvrstvia (vrstva č. 7)** tvorí 2,7 až 3,4 m mocná poloha uľahlých až stmelených siltovito-piesčitých štrkov, ktoré sú tvorené opracovanými valúnmi pieskovcov, kremencov, vápencov a granitoidov priemeru 2-5 cm, ojedinele 8-12 cm až 15-20 cm. Medzernú výplň tvorí piesčitý silt alebo siltovitý piesok, obsah asi 30-40%. Podľa výsledkov dynamických penetračných skúšok ide o uľahlé až stmelené štrkovité zeminy. Spodná časť súvrstvia, ktorá je vyčlenená ako samostatná vrstva č. 7, má priepustnosť podľa kriviek zrnitosti:

$$k = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ až } 4,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

### 7.1.2. Mezozoikum (vrstva č. 8 a 9)

V podloží štrkov v hĺbke 9,6-10,4 m bolo navŕtané poloskalné predkvartérne podložie, tvorené šedými slieňovcami a hľuzami a polohami čiernych vápencov. V povrchovej zóne hrúbky 0,3-0,4 m majú slieňovce v dôsledku intenzívneho zvetrania charakter súdržnej ílovitej zeminy tuhej až pevnej konzistencie (vrstva č. 8 - R6/CI), ktoré smerom do hĺbky prechádzajú v poloskalnú bridličnatú horninu tvorenú úlomkami slieňovcov a vápencov do veľkosti 3-10-12 cm (vrstva č. 9 - R3/R4).

Povrchová zvetrávacia ílovitá zóna (vrstva č. 8) je klasifikovaná ako ílovitá zemina so strednou a vysokou plasticitou (CI/CH), pórovo nízkopriepustná až nepriepustná, vytvára spodnú hydrogeologickú bariéru. Odhad koeficienta filtrácie:

$$k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ až } 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$$

Nižšie uložené úlomkovito zvetrané slieňovce sú klasifikované ako poloskalná hornina triedy R3/R4 s veľmi veľkou hustotou diskontinuit a plastickým typom procesu pretvárania a porušovania, puklinovo nízkopriepustná. Odhad koeficienta filtrácie:

$$k = 1 \cdot 10^{-6} \text{ až } 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

## 7.2. Rozkvyv hladiny podzemnej vody a rozkvyv hladiny Váhu

Hladina podzemnej vody je viazaná na pórovitopriepustné vážske štrky. Podložné slieňovce sú nepriepustné, vytvárajú spodnú hydrogeologickú bariéru. Počas vrtných prác bola hladina podzemnej vody zistená (narazená) v hĺbke 3,75-4,00 m pod terénom, ustálila sa v hĺbke 3,53-3,76 m pod terénom, t.j. na kóte 207,37-207,47 m n.m..

Rozkvyv hladiny podzemnej vody počas režimových našich meraní vo vrtoch V-1 až V-6 v októbri 2023 bol v intervale: 207,22 – 207,48 m n.m., t.j. 0,26 m. Pri meraní hladín Váhu boli zistené pomerne náhle zmeny v krátkom čase, čo bolo spôsobené režimom na neďalekej vodnej elektrárni Trenčín-Skalka a režimom na hati Trenčianske Biskupice. Rozkvyv hladiny Váhu bol v intervale 207,09 – 207,54 m n.m., t.j. 0,45 m.

Podľa výsledkov kontinuálnych meraní v období od 25.10.2023 do 13.11.2023 vo vrtoch V-1 a V-2, ktoré sú najbližšie ku korytu Váhu, dochádza prakticky denne k rozkvyvu hladiny podzemnej vody s jednou alebo dvomi amplitúdami. Z vykonaných meraní vyplýva, že dynamika hladiny podzemnej vody je taká intenzívna, že zastiera pohyby hladiny pri čerpaní z čerpacích vrtov a vsakovaní do vsakovacích vrtov.

### 7.3. Smer prúdenia podzemnej vody

Režimovými meraniami potvrdený generálny smer prúdenia podzemnej vody v tejto časti mesta Trenčín je od VSV k ZJZ, t.j. od úpätia svahov Breziny pri Zábraní ku korytu Váhu v oblasti mestskej časti Sihot' 1 (J. Bulko, 2008). Rozdiel hladín medzi okolím železničnej stanice a areálom TNUNI je 50-55 cm, rozdiel hladín medzi V-5 a V-1 je 4-5 cm (príl. č. 7).

### 7.4. Teplota podzemnej vody

Teplota podzemnej vody v oblasti čerpacích vrtov a v oblasti vsakovacích vrtoch

je rozdielna. V čerpacích vrtoch V-1, V-3 a V-5 bola pri vzorkovacích prácach pomocou ponorného elektrického čerpadla dňa 12.10.2023 zaznamenaná teplota podzemnej vody (na výtoku z hadice):

14,1 °C (V-1),

14,5 °C (V-5)

15,1 °C (V-3), priemerne 14,6 °C.

Pri automatickom zázname teploty vo vrte V-3 v období od 20.10.2023 do 23.10.2023 bola teplota podzemnej vody počas chodu ponorného čerpadla o 0,9 stupňa vyššia, ako pri jeho vypnutí (15,1 °C počas chodu, 14,2 °C pri vypnutí). Pri automatickom zázname teploty vo vrte V-1 v období od 25.10.2023 do 13.11.2023 bola teplota podzemnej vody 13,6 °C s ojedinelým krátkodobým stúpnutím na 14,1 až 14,5 °C .

Vo vsakovacích vrtoch V-2, V-4 a V-6 bola pri prečerpávaní a prečisťovaní vrtov pomocou ponorného elektrického čerpadla dňa 16.10.2023 zaznamenaná teplota podzemnej vody:

16,4 °C (V-2)

16,7 °C (V-4)

16,8 °C (V-6), priemerne 16,6 °C.

Pri automatickom zázname teploty vo vrte V-2 v období od 20.10.2023 do 23.10.2023 bola teplota podzemnej vody zmiešanej so vsakovanou vodou 15,3 °C až 15,6 °C, počas prerušenia vsakovania teplota podzemnej vody stúpala na 16,6 °C v priebehu nasledujúcich 18 hodín. Pri automatickom zázname teploty vo vrte V-2 v období od 25.10.2023 do 13.11.2023 bola teplota podzemnej vody 16,4 °C s častým poklesom na 15,7 až 15,5 °C .

Rozdiel priemernej teploty podzemnej vody medzi oblasťou čerpania a oblasťou vsakovania je 2,0 °C. Rozdiel priemernej teploty medzi vrtmi V-1 a V-2 je 2,8 °C.

### 8. Chemizmus podzemnej vody

Podľa analýz z vrtov V-1, V-3 a V-5 ide o podzemnú vodu základného kalcium-bikarbonátového typu, s mineralizáciou = 793 až 804 mg/l, pH = 7,24 až 7,38, špecifickou vodivosťou = 95,3 až 98,0 mS/m, obsahom síranov = 43,1 až 45,6 mg/l.

Výsledky analýzy podzemnej vody sú v prílohe č. 7, ich porovnanie s kritériami na agresivitu na betóny a pitnú vodu sú v tabuľke č. 1.



Tabuľka č. 1 - Výsledky analýzy vzorky podzemnej vody z vrtov V-1, V-3 a V-5 a ich porovnanie s kritériami Vyhl. MZ č 247/2017 Z.z. – Pitná voda sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

UKAZOVATEĽ	V-1	V-3	V-5	Kritérium pre	
				pitnú vodu	
				Vyhl. MZ č 247/2017 Z.z	
ChSK – Mn (mg/l)	0,96	1,12	1,12	3	Vyhovuje
Tvrdosť celková (mmol/l)	8,96	8,84	8,92		
pH :	7,38	7,24	7,28	6,5 - 8,5	Vyhovuje
Ca (mg/l)	135,0	131,0	134,0		Vyhovuje
K (mg/l)	6,5	7,5	7,0		
Mg (mg/l)	27,2	28,2	27,2	10,0 – 30,0	vyhovuje
Na (mg/l)	32,5	33,0	31,0	200	
NO <sub>3</sub> (mg/l)	31,2	32,2	29,7	50	Vyhovuje
SO <sub>4</sub> (mg/l)	45,3	43,1	43,6	250	Vyhovuje
PO <sub>4</sub> (mg/l)	<0,02	<0,02	<0,02		
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	446,0	454,0	450,0		
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,04	0,08	0,18	0,5	Vyhovuje
Konduktivita (mS/m)	95,8	95,8	95,3	125	vyhovuje
Cl (mg/l)	51,8	53,2	49,3	100	Vyhovuje
Fe (mg/l)	0,007	<0,005	0,014	0,20/0,50	Vyhovuje
Mn (mg/l)	0,044	0,502	0,592	0,05/0,20	Nevyhovuje 2x
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0,17	0,42	0,47	0,5	Vyhovuje
Mineralizácia (mg/l)	796,0	804,0	793,0	1000	Vyhovuje
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> (mg/l)	19,8	20,8	19,7		
Vofný CO <sub>2</sub> (mg/l)	52,8	39,6	39,6		
Agr. CO <sub>2</sub> Heyer (mg/l)	0,0	0,0	0,0		Vyhovuje
Agr. CO <sub>2</sub> na vápno (mg/l)	0,0	0,0	0,0		
Agr. CO <sub>2</sub> na železo (mg/l)	0,0	0,0	0,0		

Podzemná voda z hľadiska sledovaných ukazovateľov, s výnimkou mangánu, vyhovuje požiadavkám na pitnú vodu podľa Vyhl. MZ č 247/2017 Z.z..

### C) Časť technická

#### 9. Čerpacia kapacita vrtov

Čerpacími skúškami a výpočtami bolo zistené, že overená čerpacia kapacita vrtov je nasledovná (príl. č. 9):

##### Vrt V-1

Pri čerpaní  $Q = 2,3$  l/s došlo k zníženiu hladiny podzemnej vody (H-h) o 3 cm, polomer depresného kužeľa  $R_s = 8,6$  m, koeficient filtrácie  $k = 9,5 \cdot 10^{-3}$  m/s

##### Vrt V-3

Pri čerpaní  $Q = 2,3$  l/s došlo k zníženiu hladiny podzemnej vody (H-h) o 7 cm, polomer depresného kužeľa  $R_s = 14,8$  m, koeficient filtrácie  $k = 4,6 \cdot 10^{-3}$  m/s

**Vrt V-5**

Pri čerpaní  $Q = 1,8$  l/s došlo k zníženiu hladiny podzemnej vody (H-h) o 7 cm, polomer depresného kužeľa  $R_s = 12,2$  m, koeficient filtrácie  $k = 3,2 \cdot 10^{-3}$  m/s

Vzájomné vzdialenosti čerpacích vrtov a polomery depresných kužeľov  $R_s$  sú:

V-1 – V-3 = 50,74 m  $R_s = 8,6$  m (V-1)

V-1 – V-5 = 54,95 m  $R_s = 14,8$  m (V-3)

V-3 – V-5 = 39,42 m  $R_s = 12,2$  m (V-5)

Pri takomto čerpanom množstve sú depresné kužele okolo vrtov izolované a nedochádza k ich vzájomnému ovplyvňovaniu (príl. č. 2).

Overená sumárna čerpacia kapacita vrtov je:

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 2,3 + 2,3 + 1,8 = 6,4$  l/s.

**10. Vsakovacia kapacita vrtov**

Overovacími vsakovacími skúškami boli zistené nasledovné vsakovacie kapacity vrtov V-2, V-4 a V-6:

**Vrt V-2**

Pri vsakovaní  $Q = 1,0$  l/s došlo k zvýšeniu hladiny podzemnej vody o 1 cm

Pri vsakovaní  $Q = 1,5$  l/s došlo k zvýšeniu hladiny podzemnej vody o 1 cm

Pri vsakovaní  $Q = 2,0$  l/s došlo k zvýšeniu hladiny podzemnej vody o 1,5 cm

**Vrt V-4**

Pri vsakovaní  $Q = 1,0$  l/s došlo k zvýšeniu hladiny podzemnej vody o 0,1 cm

Pri vsakovaní  $Q = 1,5$  l/s došlo k zvýšeniu hladiny podzemnej vody o 0,8 cm

**Vrt V-6**

Pri vsakovaní  $Q = 1,0$  l/s došlo k zvýšeniu hladiny podzemnej vody o 1 cm

Pri vsakovaní  $Q = 1,5$  l/s došlo k zvýšeniu hladiny podzemnej vody o 3 cm

Pri vsakovaní  $Q = 2,0$  l/s došlo k zvýšeniu hladiny podzemnej vody o 5 cm

Stúpnutie hladiny podzemnej vody vo vsakovacích vrtoch je podľa vykonaných meraní veľmi nízke, len 1-5 cm. Dosah stúpnutia sa predpokladá vo vzdialenosti podobnej polomeru depresného kužeľa  $R_s$  pri čerpaní daného množstva vody, t.j. cca = 15,0 m. Vzájomná vzdialenosť vsakovacích vrtov V-2 a V-4 je 11,8 m a V-4 – V-6 11,6 m, čo je menej, než predpokladaný dosah vsakovania = 15,0 m, preto treba uvažovať 1,5-jnásobnú vzdialenosť, t.j., aspoň 22,0 m okolo každého vsakovacieho vrtu.

Ako je uvedené v kap. 7.2, z vykonaných meraní vyplýva, že dynamika hladiny podzemnej vody je ovplyvnená hladinou vody vo Váhu natoľko intenzívne, že môže zastierať pokles alebo stúpnutie hladiny pri čerpaní a vsakovaní malého množstva vody  $Q=1,0-2,0$  l/s.

**11. Odhad maximálnej čerpacej a vsakovacej kapacity vrtov**

V prílohe č. 2 sú zakreslené zóny s polomerom depresného kužeľa  $R_s$  okolo každého čerpacieho vrtu v závislosti od čerpaného množstva podľa výpočtov v príl.

č. 9. Depresné kužele okolo vrtov sú izolované a nedochádza k ich vzájomnému ovplyvňovaniu. Vzhľadom na to, že pri celkovej hrúbke zvodne 6,0 m sú hodnoty poklesu hladiny pri čerpaní ( $s = 3$  cm až 7 cm) a hodnoty stúpnutia hladiny pri vsakovaní ( $= 1$  cm až 5 cm) veľmi nízke, preto je možné urobiť odhad maximálnej čerpacej a vsakovacej kapacity vrtov za predpokladu, že celý systém čerpania vsakovania bude funkčný a nedôjde k jeho zacykleniu. Uvažuje sa 30% až 100% zvýšenie množstvo čerpanej vody:

#### Vrt V-1

Pri čerpaní  $Q = 4,6$  l/s dôjde k poklesu hladiny o 7,5 cm a depresný kužeľ bude mať polomer  $R_s = 21,0$  m.

#### Vrt V-3

Pri čerpaní  $Q = 3,3$  l/s dôjde k poklesu hladiny o 10 cm a depresný kužeľ bude mať polomer  $R_s = 22,3$  m.

#### Vrt V-5

Pri čerpaní 2,4 l/s dôjde k poklesu hladiny 10,5 cm a depresný kužeľ bude mať polomer  $R_s = 17,4$  m.

Pri takýchto podmienkach odberu podzemnej vody v celkovom množstve  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 4,6 + 3,3 + 2,4 = 10,3$  l/s budú zásoby podzemnej vody dopĺňané prirodzeným prítokom.

V mieste vsakovania (vrty V-2, V-4 a V-6) sa uvažuje so stúpnutím hladiny vody o dvojnásobok pôvodne nameranej hodnoty (stúpnutie z 1,5 cm až 5,0 m pri vsakovaní 2,0 l/s, na 3,0 až 10,0 cm pri vsakovaní 3,4 l vody do každého vrtu). Dosah vsakovania sa uvažuje dvojnásobný, ako pri čerpaní toho istého množstva vody

## 12. Tepelná kapacita čerpanej podzemnej vody

Pre správny chod tepelného čerpadla je nevyhnutné, aby teplota čerpanej podzemnej vody bola vyššia ako 7,0 °C. V čerpacích vrtoch V-1, V-3 a V-5 bola dňa 12.10.2023 zdokumentovaná teplota podzemnej vody v intervale 14,1 °C (V-1) až 15,1 °C (V-5), priemerne 14,6 °C, čím je viac ako dvojnásobne splnená podmienka požadovanej teploty. Podobná teplota bola nameraná aj pri automatizovaných meraniach v období 20.-23.10.2023 a 25.10.-13.11.2023. Teplota podzemnej vody sa môže v priebehu roka meniť, najnižšia teplota býva zaznamenaná spravidla v období jari.

Teplota podzemnej vody v mieste vsakovania (vrty V-2, V-4, V-6) je v priemere o 2-3 °C vyššia ako v mieste čerpania. To znamená, že aj po zmiešaní vsakujúcej vody (ktorá bola ochladená v tepelnom čerpadle o 3 stupne) s podzemnou vodou, bude teplota podzemnej vody v mieste vsakovania len o 1-2 stupeň nižšia.

## 13. Záver

Hydrogeologické pomery v skúmanej lokalite umožňujú využitie tepelných čerpadiel voda-voda. Čerpanie podzemnej vody bude potrebné obmedziť na také množstvo, pri ktorom bude zaručené ich dopĺňanie prirodzeným prítokom a dosah zníženia hladiny podzemnej vody v okolí čerpacích studní nebude negatívne

zasahovať do podzákladia existujúcich stavieb. Na danej lokalite je možné predbežne uvažovať s množstvom čerpanej podzemnej vody  $Q = 6,0-10,0$  l/s. Na upresnenie podmienok čerpania a vsakovania a na určenie optimálneho odberu podzemných vôd je potrebné vykonať v danom území etapu podrobného hydrogeologického prieskumu formou poloprevádzkových čerpacích a vsakovacích skúšok.

Vypracoval :

PROGEO TRENČÍN, s.r.o., RNDr. Ján Bulko

V Trenčíne 15.1.2024

#### 14. Zoznam použitej literatúry

- Mazúr, E. a kol. (1980): Atlas Slovenskej socialistickej republiky. - SAV, Bratislava.
- Vass, D. a kol. (1988): Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov Panónskej panvy na území ČSSR. - GÚDŠ, Bratislava
- Minárik, J. (2022): Trenčín – Dobudovanie univerzitného kampusu TnUAD. Odborný geologický posudok. – Manuskript, PROGEO, Trenčín.
- Kandera, K. (2021): Trenčín – Sihot', hydrogeologické pomery pre vybudovanie tepelného čerpadla. Hydrogeologický posudok. – Manuskript, PROGEO, Žilina.
- Minárik, J. (2017): Trenčín – Futbalový štadión AS Trenčín -podrobný IG prieskum. – Manuskript, PROGEO, Trenčín, Geofond 96220).
- Bulko, J. (2023): Trenčín – Dobudovanie univerzitného kampusu TnUAD . Podrobný IG prieskum. – Manuskript, PROGEO TRENČÍN.
- Bulko, J. (2008): Trenčín - Modernizácia železničnej trate pre traťovú rýchlosť do 160 km/h. Podrobný hydrogeologický prieskum. - Manuskript, PROGEO Trenčín.
- Slivová, V. a kol. (2023): VODOHOSPODÁRSKA BILANCIA MNOŽSTVA PODZEMNEJ VODY ZA ROK 2022. -Vydal Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava – Koliba (Riešitelia: Ing. K. Breziarská, PhD., Mgr. P. Čaučík, Ing. R. Kandrák, PhD., RNDr. M. Kurejová Stojkovová, PhD., Mgr. D. Lehotová, RNDr. Š. Leitmann, Mgr. Ľ. Molnár, RNDr. V. Slivová, PhD.) Dostupné online:  
[https://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Vodohospodarska\\_bilancia/VHB\\_kvanta\\_PzV/KnPzV\\_2022\\_VHB\\_text.pdf](https://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Vodohospodarska_bilancia/VHB_kvanta_PzV/KnPzV_2022_VHB_text.pdf)