

Hydrologické posúdenie zdrojov podzemných vôd

(Spracované v rámci Dokumentácie na územné rozhodnutie: „AREÁL VOĽNÉHO ČASU ZLATÉ PIESKY V BRATISLAVE“, ARCHITEKTI ateliér URBAN, s.r.o. & TVAR architekti, s.r.o., DÚR, 10/2024 – časť A.4.6.1 - Zdroje podzemnej vody)

Spracoval: RNDr. Martin Šujan, EQUIS spol. s r.o.

A.4.6.1. Zdroje podzemnej vody vody

Projekt predpokladá zásobovanie teplom a chladom využitím nízkopotenciálového tepla podzemných vôd tepelnými čerpadlami typu voda – voda. Budúce stavenisko poskytuje vhodné podmienky pre získanie dostatočného prítoku vôd pre energetické využitie, nakoľko v profile základových pôd vystupuje súvrstvie štrkopieskov so súvislou akumuláciou podzemných vôd. Určitým limitom pre návrh systému čerpacích vrtov je relatívne menšia hrúbka (mocnosť) zvodnenca, z ktorej bude vyplývať možné zníženie hladiny vplyvom čerpania. Druhým dôležitým faktorom bude dosah depresných kuželov, vyvolaných čerpaním v okolí vrtov, resp. vzájomné ovplyvňovanie (interferencia) medzi vrtmi. Vzhľadom k pomerne veľkej ploche dotknutých pozemkov existujú alternatívy optimálneho umiestnenia čerpacích vrtov.

Problematika návrhu systému čerpania podzemných vôd pre účely zásobovania teplom a chladom je na úrovni dokumentácie pre územné konanie riešená na základe výsledkov inžiniersko-geologického prieskumu budúceho staveniska, údajov dlhodobého monitoringu na vrte HGV-1 [Zlaté piesky], údajov dlhodobo sledovaných pozorovacích objektov siete SHMÚ a archívnych údajov hydrogeologického prieskumu z blízkosti lokality na úrovni geologickej štúdie. Pre účely spracovania dokumentácie pre stavebné konanie bude na lokalite vykonaný hydrogeologický prieskum s cieľom overenia predpokladov aktuálnej dokumentácie. Súčasťou riešenia bude numerický model prúdenia podzemných vôd. Finálny návrh pozície a para-metrov čerpacích vrtov bude vyplývať z výsledkov modelového riešenia.

Návrh predpokladá utrácanie energeticky využitých podzemných vôd do jazera Zlaté piesky. V zmysle §3 ods. (2) Zákona č. 364/2004 Z.z. o vodách (vodný zákon) v platnom znení sú vody jazera odkrytými podzemnými vodami a odvádzanie využitých vôd do jazera je v danom zmysle (legislatívne aj technicky) identickým procesom ako spätná infiltrácia vôd do podlažia v rámci staveniska. Nakoľko je jazero umelou vodnou plochou v súvrství štrkopieskov, ktoré sú zároveň perspektívnym zvodnencom pre odber podzemných vôd, ide o totožný hydrogeologický kolektor. Geologická stavba lokality zároveň vytvára vhodné podmienky pre odvádzanie vôd z povrchového odtoku do podzemných vôd.

Všeobecná charakteristika prírodných pomerov

Hodnotená lokalita sa nachádza medzi Studenou ul. a západným brehom umelého jazera Zlaté piesky. Lokalita je súčasťou k. ú. Trnávka obec Bratislava – Ružinov. Úroveň upraveného povrchu terénu sa pohybuje medzi cca 132.0 ~ 132.5 m n.m. V súčasnosti ide prevažne o voľné plochy s náletovou vegetáciou. Na lokalite sa v predchádzajúcom období nachádzala paneláreň, využívajúca ako zdroj suroviny ťažbu štrkopieskov, ktorej pozostatkom je súčasné umelé jazero Zlaté piesky.

Z hľadiska geomorfologického členenia Slovenska [1] je skúmané územie súčasťou severozápadného okraja celku Podunajská rovina, ktorý je príslušný geomorfologickej oblasti Podunajská nížina a subprovincii Malá Dunajská kotlina. Podľa regionálne-geologického členenia Západných Karpát [2] sa hodnotená lokalita nachádza na severozápadnom okraji jednotky gabčíkovská panva, ktorá je súčasťou podunajskej panvy. Podľa inžiniersko-geologickej regionalizácie Slovenska [3] je skúmané územie súčasťou regiónu neogénnych tektonických vkleslín, oblasť vnútrokarpatských nížin. V detailnejšom členení je lokalita súčasťou inžiniersko-geologického rajónu pleistocénnych riečnych terás vo formácii kvartérnych sedimentov [4].

Geologická stavba

Záujmové územie sa nachádza na západnom okraji gabčíkovskej depresie, budovanej neogénou sedimentárnou výplňou a povrchovým úsekom sedimentov kvartéru. Z hľadiska geologickej stavby sú vo vzťahu k riešenej úlohe podstatné polohy fluvialných štrkopiesčitých sedimentov Dunaja, tvoriace prvý zvodnený kolektor a izolátorské horniny neogénneho veku v podlaží štrkopieskov. Prehľadná geológia lokality je charakterizovaná na základe publikovaných mapových diel a ich vysvetliviek [5; 6], detaily hodnotenej lokality sú uvedené podľa výsledkov inžiniersko-geologického prieskumu [7].

Neogénne sedimenty

tvoria priame podlažie sedimentov kvartéru. Neogénna sedimentácia v oblasti začala v období panónu v brakickom vodnom prostredí. Priamo na granitoidy bratislavského masívu sedimentovali sivé sľudnaté slabovápnné piesky, ktoré sa striedajú so siltmi s premenlivým obsahom fľovitej zložky. V ich nadloží sú sivé až sivozelené sľudnaté piesky, silty a íly, predstavujúce sladkovodný vývoj v jazerno-močiarnych podmienkach, čo potvrdzujú aj časté vločky so zuhoľnatenou rastlinnou sečkou a uhoľný íl s lignitovými polohami, ktoré sú stratigraficky radené do stupňa vrchný panón (resp. pont). V povrchových úsekoch neogénneho podlažia sú na kontakte s nadložnými kvartérnymi štrkami často vyvinuté polohy jemných zahľinených pieskov (pliocén).

Povrch sedimentov panónu vystupuje na lokalite v hĺbkach cca 8.1 ~ 9.8 mp.t. resp. na úrovni cca 122 ~ 124 mn.m. Z pohľadu litológie sú v úseku podložia vo vrtoch zastúpené prakticky výlučne íly so

strednou plasticitou [7], ktoré vytvárajú kontinuálne vyvinutý hydrogeologický izolátor. Rovnaké údaje poskytujú aj vrty z okolia lokality [Obr. 5]. Polohy pieskov boli v širšom okolí lokality overené až v hlbších úsekoch profilu neogénneho podložia.

Kvartérne sedimenty

v nadloží miocénnych a pliocénnych prevažne ílov vystupujú v celej oblasti sedimenty kvartéru, reprezentované najmä fluvialnými štrkopieskami. Záujmová oblasť leží na plošne rozsiahlom telese sedimentov deponovaných tokom Dunaja, ktoré je charakterizované ako vnútrozemská delta pleistocénneho veku. Hrúbka sedimentov kvartéru narastá v smere od pohoria do panvy, pričom v širšom území sa pohybuje prevažne v intervale 7 ~ 18 m. V zrnitostnom zložení štrkov je spravidla pozorovateľná normálna gradácia smerom do podložia s výskytom akumulácií balvanov na báze. Štrkovité zeminy boli podľa zrnitostného zloženia klasifikované prevažne ako štrk zle zrnitý.

Priame nadložie štrkov je spravidla tvorené zahlienenými pieskami mocnosti do 1 m, prevažne klasifikovanými ako piesok ílovitý. Na povrchu terénu sú vyvinuté holocénne nivné (povodňové) sedimenty (inundačné kaly), zastúpené rôznymi varietami ílov a siltov (hlín) premenlivej mocnosti cca 1 ~ 2 m. Nepravidelne sa vyskytujú organické výplne pochovaných ramien Dunaja (slatiny) až hnílokaly (sapropely). Vzhľadom k predchádzajúcemu využívaniu lokality sú v povrchovom úseku zastúpené akumulácie antropogénnych sedimentov (navážky), ktoré môžu lokálne v profile nahrádzať pôvodné nivné sedimenty.

Hydrogeológia územia

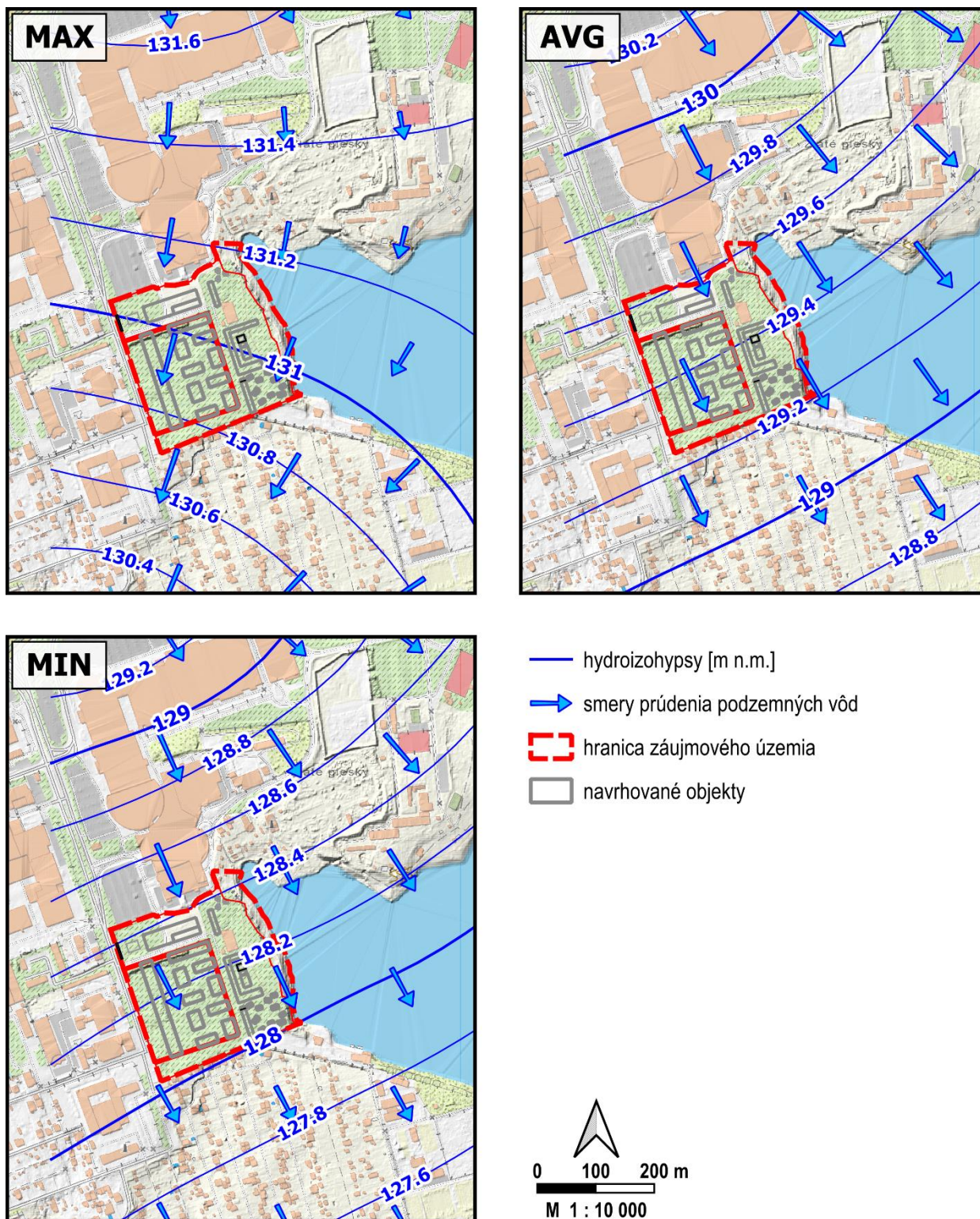
Skúmané územie sa nachádza na okraji širšej pri riečnej zóny, kde je režim hladiny podzemnej vody ovplyvňovaný najmä stavmi v povrchovom toku Dunaja, menej sa uplatňuje vplyv zrážkovej činnosti a prestupov vôd cez prolúvalne kužele Malých Karpát. Príspevok zostupných vôd zo svahov Malých Karpát narastá v obdobiach výrazných atmosférických zrážok, resp. po topení snehu. Generálny smer prúdenia podzemných vôd je zo severu na juh s variáciami ovplyvňovanými stavom hladín [Obr. 1]. Lokálne sú smery prúdenia ovplyvnené variabilitou hydraulických parametrov zvodneného kolektora a najmä umelými zásahmi do prirodzeného režimu podzemných vôd.

Územie patrí do hydrogeologického rajónu Q 051 Kvartér západného okraja Podunajskej roviny, subrajón povodia Váhu (VH00) [8]. Podľa Nariadenia vlády SR č. 282/2010 Z.z. ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd sa hodnotená lokalita nachádza v kvartérnom útvare SK1000300P Medzizrnové podzemné vody kvartérnych náplavov Podunajskej panvy oblasti povodia Váh a súčasne v predkvartérnom útvare Medzi-zrnové podzemné vody Podunajskej panvy a jej výbežkov oblasti povodia Váh SK2001000P.

Podľa vodohospodárskej bilancie množstva podzemných vôd [9] sú v danom subrajóne (Q 051; VH00) uvádzané využiteľné množstvá vôd na úrovni 555.31 ls⁻¹ pri odberoch 32.73 ls⁻¹ s dobrým bilančným stavom. Bilancia uvádza sumárne údaje pre okresy Bratislava II, III s využiteľnými množstvami 77.21 ls⁻¹ v kategórii B pri evidovaných odberoch 15.12 ls⁻¹ s dobrým bilančným stavom.

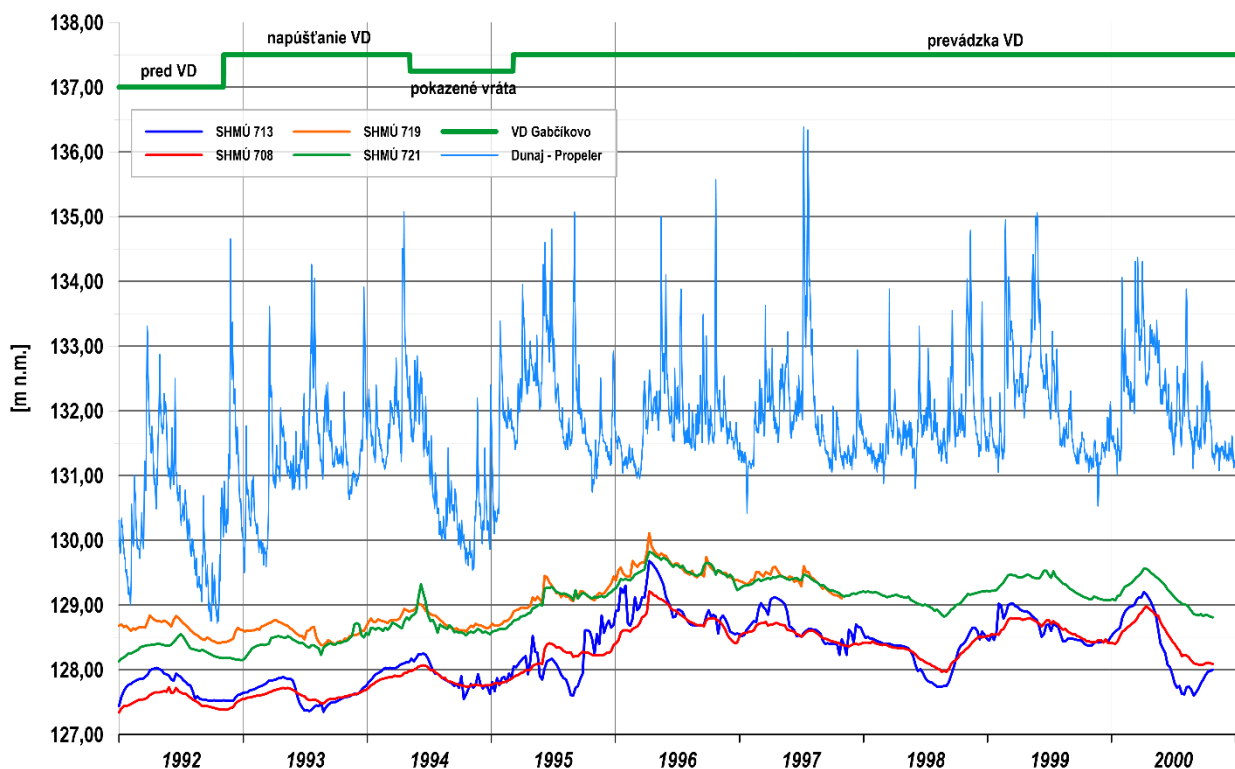
Základnou hydrogeologickou charakteristikou skúmanej lokality je prítomnosť rozsiahleho rajónu fluvialných štrkopieskov, ktoré sú dobre zvodnené, s voľnou hladinou podzemných vôd a prevažne vysokou transmisivitou. Režim hladiny podzemných vôd je v danom území závislý najmä na režime hladiny v povrchových tokoch. Z vodohospodárskeho hľadiska je daná časť rajónu bez podstatnejšieho významu, najmä z dôvodu výraznej urbanizácie územia a častej antropogénnej kontaminácie podzemných vôd. Zdroje podzemných vôd sú využívané najmä pre úžitkové účely.

Súvrstvie *kvartérnych sedimentov* vytvára prvý zvodnený kolektor, charakterizovaný pórovou (medzizrnovou) priepustnosťou a voľnou hladinou podzemnej vody. Typickou vlastnosťou štrkopiesčitého súvrstvia pleistocénnych náplavov Dunaja je vrstevná heterogenita, ktorá podmieňuje časté striedanie relatívne priepustnejších a menej priepustných vrstiev. Filtračnú heterogenitu spôsobuje vnútorná anizotropia prostredia štrkopieskov, vyplývajúca zo smerovej orientácie sedimentárnych zŕn (imbrikácia). Horizontálna priepustnosť prostredia je spravidla o rád vyššia v porovnaní s vertikálnou. Ďalším faktorom je podiel jemnozrnej a piesčitej frakcie v matrix štrkov.



Obr. 1 : Dokumentácia hladinového režimu podzemných vôd v okolí hodnotenej lokality (maximálny; priemerný a minimálny stav).

Vo všeobecnosti má komplex kvartérnych sedimentov stredný až vysoký stupeň prietochnosti s hodnotami transmisivity v intervale $n \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a pomerne vysoké hodnoty koeficientov filtrácie rádovalo $5 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Veľmi dobré zvodnenie štrkového kolektora a vysoké hodnoty priepustnosti a prietochnosti vytvárajú vhodné predpoklady pre možnosť získania zdrojov podzemných vôd značnej výdatnosti, avšak vzhľadom k využívaniu územia len pre úžitkové účely (napr. energetické využitie). Podľa uvedených všeobecných charakteristík a z dôvodu absencie dostatočného povrchového krytia sú podzemné vody prvého zvodneného kolektora vysoko zraniteľné.



Obr. 2 : Hladinový režim v toku Dunaja a vo vybraných pozorovacích objektoch SHMÚ v okolí lokality.

Komplex podložných *neogénnych sedimentov* prevažne v jemnozrnnom vývoji predstavuje z hydrogeologického hľadiska izolátor (lokálne poloizolátor). Obeh podzemných vôd je značne spomalený, zvodnené kolektory (piesky a piesčité íly) menších mocností nevytvárajú výraznejšie akumulácie vôd, tvoria väčšinou uzavreté šošovky, resp. horizontálne vyklňujúce polohy. Zvodnené prostredie je charakteristické pórovou (medzizrnovou) priepustnosťou a nízkym stupňom prietochnosti s hodnotami $T < 1 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, orientačné hodnoty koeficientov filtrácie sa pohybujú v širokom spektre od rádo $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{ ms}^{-1}$ pri íloch, až po vyšší interval cca $5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ pri pieskoch. Hladina podzemnej vody je spravidla mierne napätá s negatívnou piezometrickou výškou.

Režim hladiny podzemných vôd je možné ilustrovať podľa dlhodobých meraní na pozorovacích objektoch siete SHMÚ. V širšom okolí lokality sa nachádzajú 4 objekty, pre ktoré sú dostupné základné údaje o dlhodobých maximálnych, priemerných a minimálnych stavoch [10]. Pozorovacie objekty sú charakterizované nasledovnými údajmi :

číslo pozor. objektu	lokalita	odmerný bod	výška nad terénom	hladina podzemnej vody [m n. m.]		
				maximum	minimum	priemer
		[m.n.m.]	[m]	dátum		obdobie
721	Pestovateľská	133.33	0.96	129.82 (10. apríl 1996)	127.47 (30. dec. 1964)	128.65 (1962 ~ 2021)
708	BA – Letisko	132.80	0.97	131.68 (10. apríl 1996)	126.94 (28. august 1991)	128.02 (1969 ~ 2021)
713	Vajnory – štrk.	131.14	1.08	129.71 (9. apríl 1996)	126.57 (5. sept. 1990)	128.02 (1976 ~ 2021)
2719	Vajnorská	134.77	0.98	131.89 (17. máj 2010)	129.68 (15. sept. 2017)	130.55 (1998 ~ 2021)

Podľa uvedených údajov boli skonštruované schémy pre maximálny, priemerný a minimálny stav hladín podzemnej vody v okolí hodnotenej lokality [Obr. 1]. V danom prípade ide o interpolácie extrémnych stavov, ktoré nastávali v rôznych obdobiach, čiže ide o ilustráciu hladinového režimu v prvom

priblížení. Podľa uvedených schém je na lokalite možné predpokladať vysoké stavy na kóte 130.7 ~ 131.2 mn.m., priemerné stavy 129.2 ~ 129.6 mn.m. a minimálne stavy hladín na úrovni 128.0 ~ 128.4 mn.m. Maximum oscilácie (rozkyv) hladín dosahuje v okolí lokality až 2.8 m. Súčasne je možné konštatovať, že pri vysokých stavoch hladín prevláda prúdenie v smere sever→juh až severovýchod→juhozápad, t.j. z oblasti obchodného centra a rekreačnej zóny pri severozápadnom brehu jazera. Pri stredných a nízkych stavoch prevláda smer odtoku zo severozápadu na juhovýchod.

Pri porovnaní dlhodobého záznamu hladinového režimu v toku Dunaja a v citovaných pozorovacích objektoch za vybrané obdobie [Obr. 2] je viditeľný určitý vplyv stavu v povrchovom toku na podzemné vody až na hodnotenom území. Vzdialenosť od toku a vplyv infiltrácie zo zrážok sa prejavuje utlmenou sezónnosťou oscilácií hladiny podzemných vôd. Zvýraznené sú najmä jarné maximá, pri ktorých ide o superpozíciu ovplyvnenia povrchovým tokom a prítokom zostupných vôd zo zrážok na juhovýchodných svahoch Malých Karpát.

Archívne hydrogeologické údaje

Pre účely návrhu systému odberu podzemných vôd pre energetické účely v etape spracovania dokumentácie pre územné rozhodnutie bola vykonaná archívna excerpcia údajov o hydrogeologickom prieskume v okolí lokality. Územie je možné považovať za relatívne dobre preskúmané, pričom kvalita a hustota pokrytia archívnymi údajmi umožňuje stanoviť okrajové podmienky riešenia.

Z archívov boli prevzaté údaje o hydrogeologických vrtoch so zabudovaným kolektorom kvartérnych štrkopieskov, na ktorých boli vykonané hydrodynamické skúšky. Pozíciu bodov prieskumných diel uvádza Obr. 3. Konečná hĺbka dokumentovaného súboru vrtov dosahovala 10.0 ~ 20.5 m, pričom báza štrkopieskového kolektora (resp. povrch hydrogeologického izolátora neogénnych ílov) sa pohybovala v intervale hĺbok 7.1 ~ 18.8 m. Z pohľadu geometrie povrchu podložného izolátora je možné konštatovať jeho postupný generálny pokles v smere na juh a juhovýchod. Na lokalite sa povrch podložia pohybuje v hĺbkach cca 8.1~9.8 mp.t. resp. na úrovni cca 122 ~ 124 mn.m. [7], t.j. budúce stavenisko sa nachádza na lokálnej miernej elevácii povrchu podložia. Uvedená skutočnosť je jedným z podstatných vstupných limitov návrhu systému pre odber podzemných vôd.

Súbor archívnych údajov uvádza čerpacie pokusy pri rôznych výdatnostiach v širokom intervale 2.0 ~ 20 ls⁻¹, pričom boli dosiahnuté zníženia hladiny v rozsahu 0.09 ~ 2.1 m. Statická hladina podzemných vôd pred čerpaním sa pohybovala v intervale 1.38 ~ 5.90 mp.t. Pri časti dokumentovaných pokusov boli vypočítané koeficienty filtrácie prostredia štrkopieskov v rozsahu $8.56 \times 10^{-4} \sim 9.42 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Prehľad základných archívnych údajov o hydrogeologickom prieskume v okolí lokality uvádza tabuľka na nasledujúcej strane.

Vypočítané hodnoty koeficientov filtrácie sa pohybujú prevažne v ráde 10^{-3} ms^{-1} . V rámci hraníc pozemkov projektovanej výstavby bol realizovaný vrt HVP-1 pre bývalú prevádzku panelárne. Vrtom bola overená výdatnosť 10 ls⁻¹ pri znížení hladiny 1.0 m, resp. 11.3 ls⁻¹ so znížením 2.1 m pri koeficiente filtrácie štrkopieskov $3.07 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$.

Parametre priepustnosti hydrogeologického kolektora priamo z hodnotenej lokality je možné získať výpočtom z kriviek zrnitosti zemín na vzorkách zo zvodneného úseku štrkopieskov. Pre výpočet boli použité krivky zrnitosti 4 vzoriek štrkov klasifikovaných ako štrk zle zrnitý [7] a Beyer – Schweigerov vzťah [11]:

$$k_f = 7.5 \times 10^6 \times C \times d_{10}^2 \quad [\text{ms}^{-1}]$$

kde $C = a \times (d_{60}/d_{10})^b$ a parametre a , b určené pre zeminy stredne uľahnuté.

Výpočtom boli získané nasledovné hodnoty:

označenie vrtu [7]	hĺbka odberu [m p. t.]	koeficient filtrácie [ms^{-1}]
V-1	8.8	4.44×10^{-3}
V-2	5.6	4.74×10^{-3}
V-4	6.5	5.49×10^{-3}
V-5	7.7	2.59×10^{-3}

Hodnoty koeficientov filtrácie výpočtom podľa zrnitostného zloženia štrkov sa pohybujú v ráde 10^{-3} ms^{-1} , rovnako ako údaje získané hydrodynamickými skúškami na zabudovaných vrtoch. Pre návrh systému čerpania podzemných vôd je v etape spracovania dokumentácie pre územné konanie možné v zmysle uvedeného prijať mierne konzervatívnu hodnotu koeficientu filtrácie štrkov $1 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$.

Prehľad výsledkov hydrogeologického prieskumu							
vrť	hĺbka	báza	HPV	s	Q	k_f	Geofond
kód	[m p. t.]			[m]	[l s ⁻¹]	[m s ⁻¹]	reg. č.
HB-4	12.3	12.3*	4.60	0.30	5.55	×	21176
VS-1	14.7	12.6	1.53	0.33	16.65	×	23068
VS-2	15.0	14.7	2.03	0.10	20.00	×	
VS-3	11.5	9.0	0.94	0.27	13.33	×	
HZ-1	15.2	15.0	3.78	0.14	18.18	9.42×10^{-3}	23151
HZ-2	20.5	18.8	3.18	0.16	22.0	7.68×10^{-3}	
HG-1	14.0	13.5	4.40	0.25	10	×	42431
			4.56	0.41	12	×	
HVP-1	10.0	7.1	3.65	1.0	10.0	3.07×10^{-3}	29563
				2.1	11.3	×	
HGA-3	9.5	8.0	1.93	0.06	3.0	4.66×10^{-3}	66951
				0.12	6.0	5.60×10^{-3}	
				0.22	9.0	5.17×10^{-3}	
HGE-5	9.5	8.0	3.07	0.50	3.0	9.38×10^{-4}	
				1.45	6.0	8.56×10^{-4}	
HVP-2	10.0	9.0	5.09	0.22	4.0	2.28×10^{-3}	63554
			5.43	0.56	8.0	2.24×10^{-3}	
			5.90	1.03	12.5	2.23×10^{-3}	
HVP-3	10.0	8.5	4.09	0.18	4.0	2.83×10^{-3}	70994
				0.37	8.0	3.34×10^{-3}	
				0.50	10.0	3.21×10^{-3}	
				0.59	12.0	3.36×10^{-3}	
HZP-1	10.5	10.4	1.38	0.09	2.0	7.10×10^{-3}	90593

Poznámky:

hĺbka – konečná hĺbka vrtu; báza – hĺbka povrchu podložia (* podložie nebolo overené)

HPV – hĺbka hladiny podzemnej vody pred čerpacím pokusom (statická hladina)

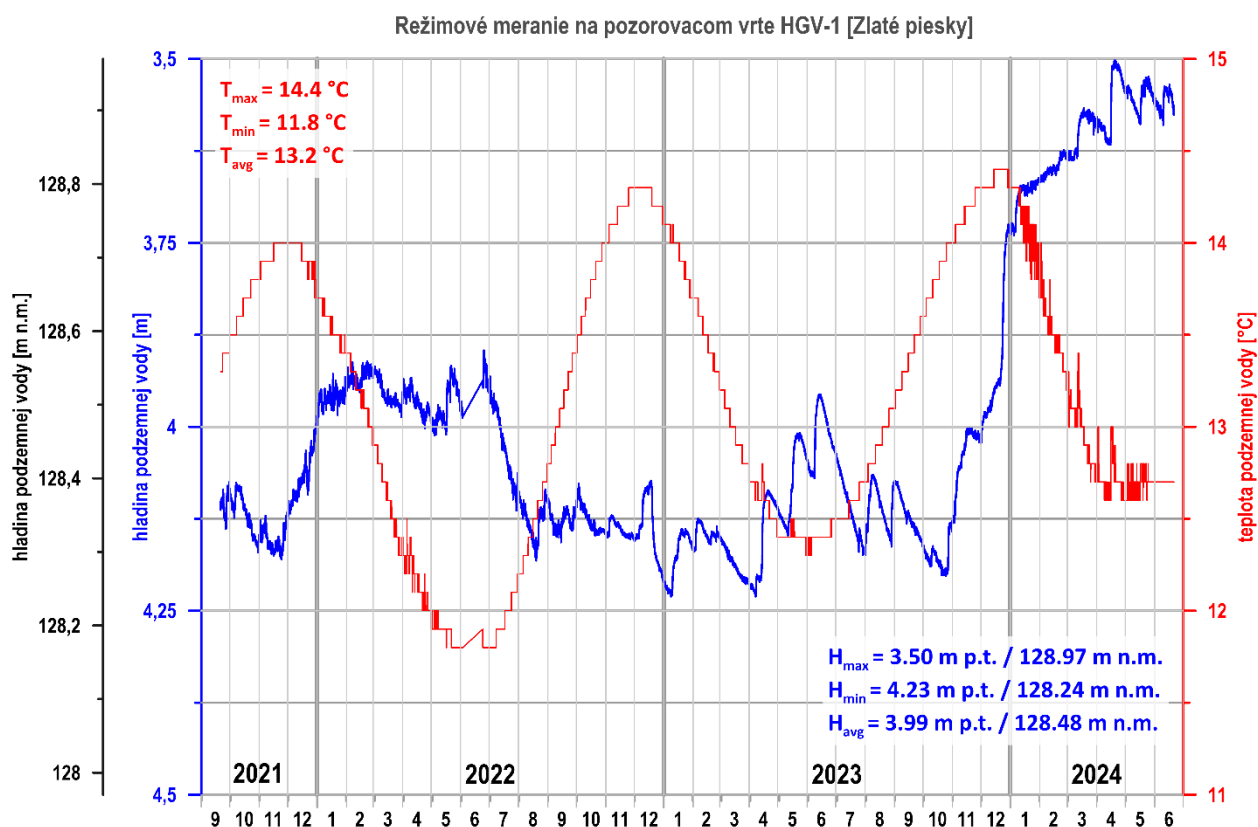
s – zníženie hladiny čerpaním; Q – výdatnosť čerpania

k_f – vypočítaný koeficient filtrácie; Geofond – registračné číslo archívneho zdroja

Režimové merania na vrte HGV-1 [Zlaté piesky]

Na hodnotenej lokalite bol v období 21. sept. 2021 až 21. jún 2024 vykonávaný monitoring hladinového režimu a teploty podzemných vôd. Do pozorovacieho vrtu HGV-1 [Obr. 3] bola inštalovaná sonda (dataloger) typu Solinst Levellogger® 5 s programovaným záznamom v intervale 1 hod. Spolu bolo dokumentovaných 23590 zámer hladiny a teploty podzemných vôd. Získaný súbor údajov tvorí dostatočnú bázu dát pre prípravu dokumentácie v etape územného konania.

Pre účely stanovenia okrajových podmienok návrhu tepelno-čerpádlového cyklu typu voda – voda je podstatný priebeh teplôt (interval $t \approx 11.8 \sim 14.4^\circ\text{C}$; $\bar{t} = 13.2^\circ\text{C}$) a úroveň hladiny podzemných vôd pri minimálnom stave ($\text{HPV}_{\min} = 4.23 \text{ m p. t.} \equiv 128.24 \text{ m n. m.}$). Zistené maximálne, priemerné a minimálne stavy podľa režimového merania na vrte HGV-1 [Obr. 4] sa nachádzajú v intervaloch určených podľa dlhodobých pozorovaní na objektoch siete SHMÚ [Obr. 1]. Oscilácia medzi maximom a minimom dosahuje za merané obdobie 0.73 m. Nárast hladín v poslednom úseku merania je spôsobený výrazne vyššou vodnosťou v toku Dunaja vrátane vyšších zrážkových úhrnov, približne od poslednej tretiny decembra 2023 do súčasného obdobia

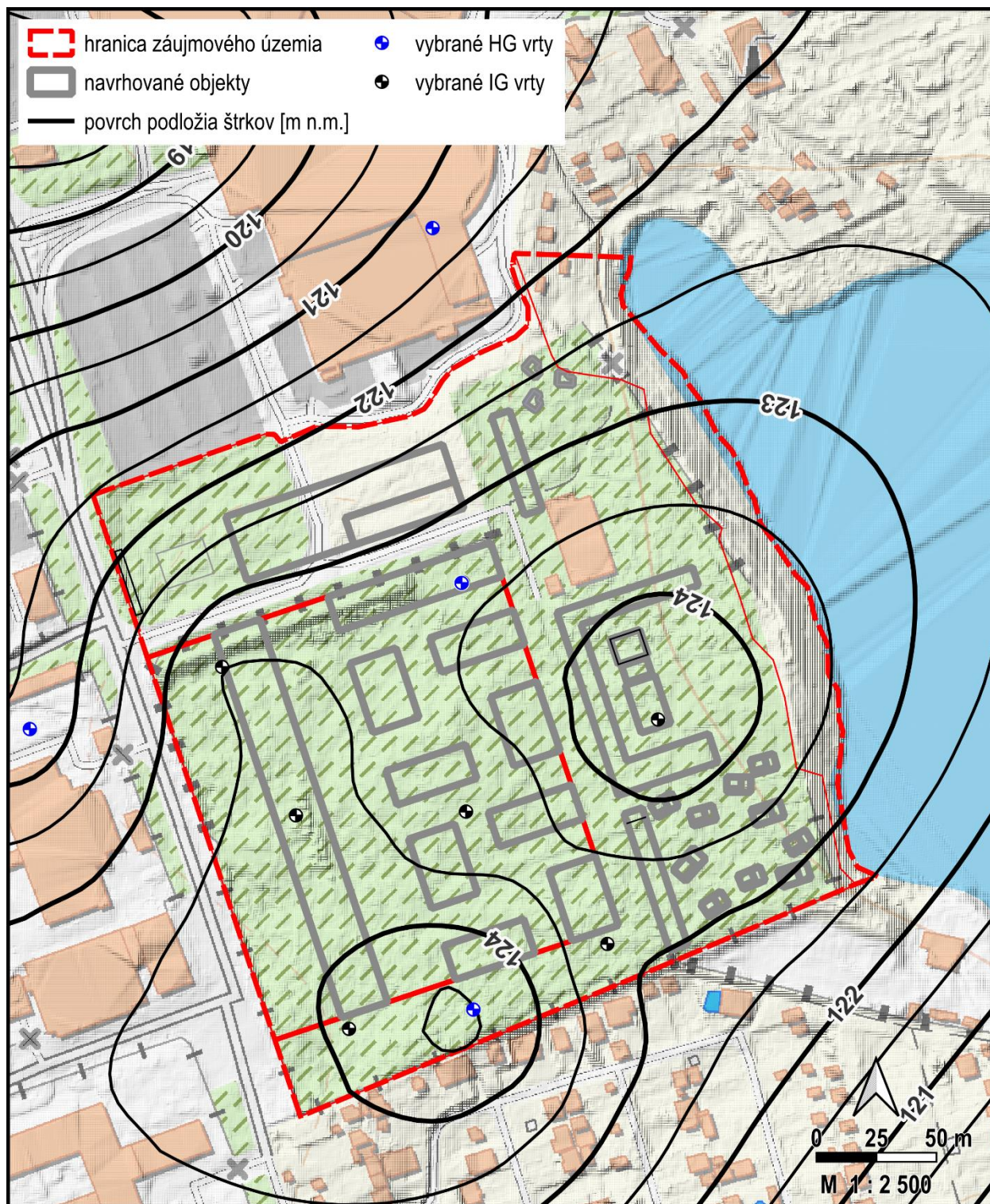


Obr. 4 : Hladinový a teplotný režim podzemnej vody v pozorovacom vrte HGV-1.

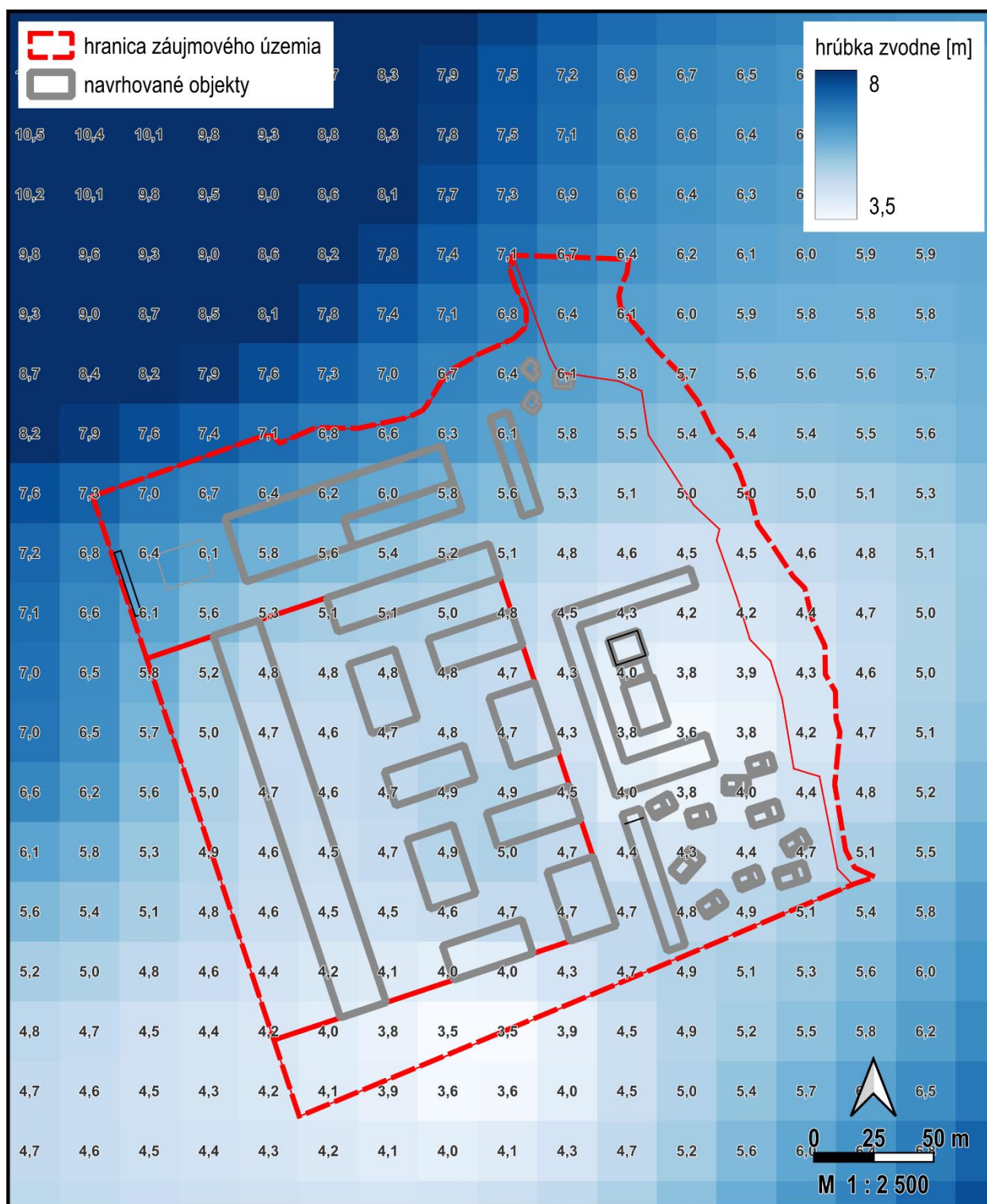
Hladina odkrytej podzemnej vody v jazere sa pohybuje okolo kóty $\pm 128\text{ m n.m.}$ Nakoľko merania úrovne hladiny v jazere nie sú vykonávané, bola hodnota odčítaná podľa zobrazenia digitálneho modelu reliéfu DMR5.0 [ZBGIS® ÚGKK SR] pre obdobie výkonu leteckého laserového skenovania XI/2017 až III/2018. Podľa existujúcich údajov nie je možné vplyv jazera na stavy hladín podzemných vôd jednoznačne posúdiť. Vo všeobecnosti bude voľná akumulácia vody v jazere do určitej miery stabilizovať oscilácie hladiny podzemných vôd. Miera vplyvu bude výrazne determinovaná kolmatáciou dna jazera, ktorá môže obmedzovať hydraulický kontakt s kolektorom.

Pre návrh systému čerpania podzemných vôd v etape spracovania dokumentácie pre územné konanie je podstatná hodnota mocnosti zvodneného úseku štrkopieskov. Podľa údajov vrtov na lokalite [7] je priemerná úroveň povrchu neogénneho ílovitého podložia (hydrogeologický izolátor) 123.7 m n.m. resp. hĺbka 8.7 m p.t. Nízky stav hladín podzemných vôd sa pohybuje v intervale $128.0 \sim 128.4\text{ m n.m.}$, t. j. mocnosť (hrúbka) zvodnenca dosahuje v rámci obvodu budúceho staveniska cca $3.5 \sim 7.0\text{ m}$ pri priemernej hodnote 4.9 m . Uvedená hodnota bude tvoriť limit pre možné zníženie neporušenej hladiny podzemných vôd čerpaním. Pribeh povrchu podložného izolátora na hodnotenej lokalite uvádza izolíniová schéma na Obr. 5. Vypočítané mocnosti zvodnenca pre nízke stavy hladín podľa existujúcich údajov zobrazuje rastrová schéma na Obr. 6.

Teplota podzemných vôd sa vo vrte HGV-1 pohybovala v intervale $11.8 \sim 14.4\text{ °C}$. Ide o hodnoty mierne vyššie v porovnaní s hodnotami v porovnateľnom území vo voľnom teréne mimo intravilánu, ktorá obvykle osciluje medzi $11 \sim 12\text{ °C}$. Hodnotená lokalita je pravdepodobne ovplyvnená najmä prítokom podzemných vôd so zvýšenou teplotou z prostredia intravilánu. Na túto skutočnosť môžu poukazovať najmä dokumentované hodnoty minimálnej teploty podzemných vôd, ako aj fázový posun cca 5 mesiacov voči atmosférickým teplotám, ktorý je porovnateľný s priebehom teplôt na vybraných pozorovacích objektoch SHMÚ s meraním teploty vody. Podobný fázový posun voči teplote vzduchu je predpokladaný aj pri ovplyvnení teploty podzemnej vody prvého zvodneného kolektora prestupom tepla z povrchu terénu. Súčasne nemožno vylúčiť vplyv odkrytej podzemnej vody v jazere, avšak fázový posun by v danom prípade mal byť (vzhľadom na vzdialenosť) výrazne menší. Priebeh teplôt podzemných vôd za monitorované obdobie uvádza diagram na Obr. 4.



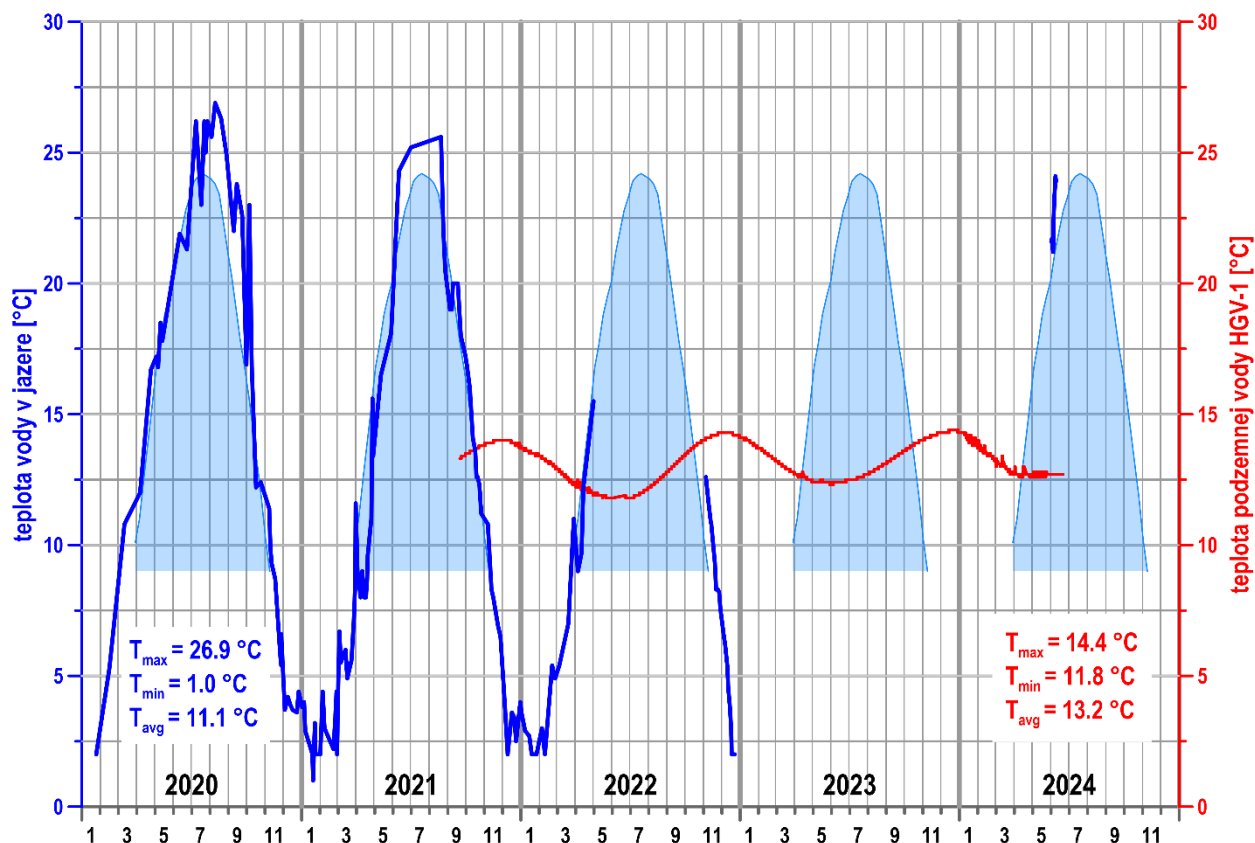
Obr. 5 : Izolíniová schéma povrchu neogénneho podložia (hydrogeologický izolátor) resp. bázy súvrstvia štrkopieskov (hydrogeologický kolektor).



Obr. 6 : Schéma variability mocnosti zvodneného úseku kolektora štrkopieskov pri nízkych stavoch hladín podzemných vôd.

Na Obr. 7 je znázornený priebeh teplôt vody v jazere (modrá línia, rôzne zdroje údajov) a odhad dlhodobého teplotného normálu za jarnú až jesennú sezónu (bledomodrá plocha) [12]. Fázový posun amplitúd poukazuje na významnejší teplotný vplyv podzemných vôd s prítokom od zastavaných oblastí.

Interval teplôt podzemných vôd 11.8 ~ 14.4 °C bol získaný meraním za takmer 3 roky, t. j. jeho overenie je možné považovať pre účely projektu za spoľahlivé. Hodnoty zároveň vysoko prekračujú spodný limit cca 7 °C, pri ktorom významne klesá účinnosť tepelného čerpadla. Teplota podzemných vôd zároveň vykazuje za merané obdobie mierne vzostupný trend, najmä pri minimách. Zistené kvalitatívne parametre podzemných vôd na lokalite [13] spĺňajú požiadavky pre ich použitie v tepelných čerpadlách.



Obr. 7 : Teplotný režim vody v jazere a podzemnej vody v pozorovacom objekte HGV-1 (modrá línia – merané teploty v jazere; bledomodrá plocha – „dlhodobý normál“ teploty v jazere; červená línia – teploty merané vo vrte HGV-1).

Vstupy pre návrh čerpaceho systému

Požiadavkou projektu je získanie celkového prítoku cca 140 ls⁻¹ podzemných vôd pre účely zásobovania navrhovaných objektov teplom a chladom. Okrajovými podmienkami pre návrh systému v etape spracovania dokumentácie pre územné konanie je úroveň nízkej hladiny podzemných vôd a povrchu podložia, z ktorej vyplýva konzervatívna hodnota mocnosti zvodnenca cca 4.5 m. Uvedená hodnota limituje možné zníženie hladiny podzemných vôd čerpaním na $s_{max} = 1.5$ m. Ďalším vstupom je mierne konzervatívna hodnota koeficientu filtrácie zvodneného úseku štrkopieskov $k_f = 1 \times 10^{-3}$ ms⁻¹. Pri zachovaní primeraného konzervativizmu návrhu je ako vstup použitá výdatnosť na modelovom čerpacom vrte $Q = 10$ ls⁻¹ pri znížení hladiny $s = 1$ m.

Pre dosiahnutie požadovaného celkového prítoku podzemných vôd je navrhovaný systém pozostávajúci zo 14 čerpacích vrtov. Primerané odstupy bodov vrtov budú vyplývať z modelového riešenia na základe výsledkov hydrogeologického prieskumu. V etape spracovania DÚR je použitá mierne konzervatívna hodnota dosahu depresného kužeľa cca 30 m, ktorá vyplýva z hydrotechnických výpočtov v archívnej dokumentácii. Schéma navrhovanej pozície čerpacích vrtov je znázornená na Obr. 8. Studňové rady sú navrhované v severnej časti hodnoteného územia, kde existuje predpoklad väčšej mocnosti zvodne [Obr. 6].

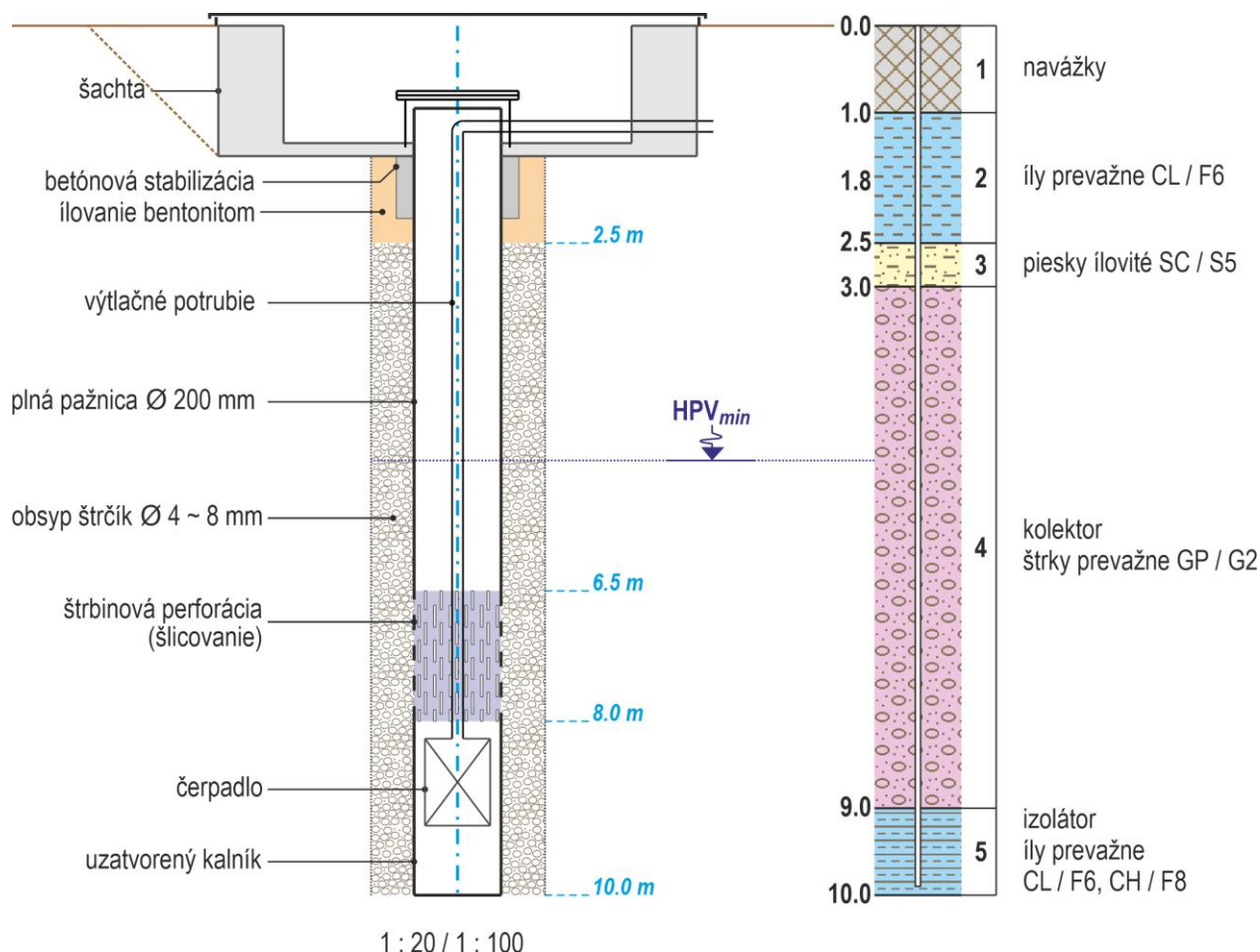
Vrty budú hĺbené na Ø 400 mm po hĺbku 10 m p. t. Zabudovanie vrtov bude pozostávať z pažnice Ø 200 mm z tlakového PVC. Filtračný úsek bude pozostávať zo štrbinovej perforácie (šlicovanie) v úseku 6.5 ~ 8.0 m p. t., v úseku nad filtrom bude po povrch terénu (resp. nad dno šachty) plná pažnica, pod filtrom bude po konečnú hĺbku uzatvorený kalník (sedimentačný priestor). Medzikružie bude v úseku od

počvy vrtu po cca 2.5 mp.t. obsypané triedeným štrčíkom frakcie 4~8 mm, úsek po povrch bude utesnený vodárenským ílom. Čerpadlo bude zapustené do úseku pod spodnou hranou filtra.

Formálnu schému zabudovania čerpaceho vrtu uvádza Obr. 9. Uvedené štandardné zabudovanie vrtov (bez šachty) bude použité pre hydrogeologický prieskum. Podrobnosti riešenia finálnych čerpacích objektov budú vyplývať z výsledkov prieskumu.



Obr. 8 : Návrh lokalizácie zdrojov podzemných vôd (hydrogeologické vrtý – studne) pre energetické účely.



Obr. 9 : Návrh zabudovania hydrogeologických vrtov (studní).

Záver pre etapu spracovania DÚR

Pri celkovom posúdení hydrogeologických charakteristík lokality a dodržaní primeraného konzervativizmu je možné považovať návrh zásobovania projektovaných objektov teplom a chladom využitím nízkopotenciálneho tepla podzemných vôd za reálny. Finálne parametre návrhu systému čerpacích vrtov (pozície a zabudovanie vrtov) v etape spracovania dokumentácie pre stavebné konanie budú vyplývať z výsledkov hydrogeologického prieskumu a modelového riešenia prúdenia a transportu tepla vo zvodnenom prostredí. Definitívne riešenie bude zohľadňovať overené hĺbky povrchu podložného izolátora, ktoré mierne narastajú najmä v severnej časti lokality. Väčšia mocnosť zvodneného úseku štrkopieskov umožňuje väčšie zníženia hladín pri čerpaní, t. j. predpokladané vyššie výdatnosti z jednotlivého čerpaceho vrtu. Spresnením vstupných parametrov na základe výsledkov hydrogeologického prieskumu a numerického modelovania bude veľmi pravdepodobne znížený konzervativizmus finálneho riešenia.

Zoznam použitých podkladov

- [1] Kočický D. & Ivanič B. 2011 : Geomorfologické členenie Slovenska. Št. geol. úst. D. Štúra Bratislava & Esprit Banská Štiavnica.
- [2] Vass D., Began A., Gross P., Kahan Š., Köhler E., Krystek I., Lexa J. & Nemčok J. 1988 : Regionálne geologické členenie Západných Karpát. Geol. úst. D. Štúra Bratislava.
- [3] Hrašna M. 1988 : List Bratislava. In : Matula M. [Ed.] : Atlas inžinierskogeologických máp SSR M 1 : 200 000. Kat. inž. geológie PF UK, SGÚ & Geol. úst. D. Štúra Bratislava.
- [4] Liščák P. 2017 : Mapa inžinierskogeologických rajónov M 1 : 50 000 [online]. Št. geol. úst. D. Štúra Bratislava.
- [5] Vaškovský I., Kohút M., Nagy A., Plašienka D., Putiš M., Vaškovská E. & Vozár J. 1988 : Geologická mapa Bratislavy a okolia. SGÚ & Geol. úst. D. Štúra Bratislava.
- [6] Káčer Š., Antalík M., Lexa J., Zvara I., Fritzman R., Vlachovič J., Bystrická G., Brodianska M., Potfaj M., Madarás J., Nagy A., Maglay J., Ivanička J., Gross P., Rakús M., Vozárová A., Buček S., Boorová D., Šimon L., Mello J., Polák M., Bezák V., Hók J., Teťák F., Konečný V., Kučera M., Žec B., Elečko M., Hraško L., Kováčik M. & Pristaš J. 2024 : Digitálna geologická mapa Slovenskej republiky v mierke 1 : 50 000 a 1 : 500 000 [online]. Št. geol. úst. D. Štúra Bratislava.
- [7] Vančík L. 2019 : Bratislava – Zlaté Piesky, RELAX. Podrobný inžinierskogeologický prieskum. RNDr. Ľubomír Vančík, INGEVA Bratislava.
- [8] Šuba J., Bujalka P., Cibulka L., Frankovič I., Hanzel V., Kullman E., Porubský A., Pospíšil P., Škvarka L., Šubová A., Tkáčik P. & Zakovič M. 1984 : Hydrogeologická rajonizácia Slovenska, 2. vyd. Hydrofond 14. Slov. hydromet. úst. Bratislava.
- [9] Brezianská K., Čaučík P., Kandrík R., Kurejová Stojkovová M., Lehotová D., Leitmann Š., Molnár L. & Slivová V. 2023 : Vodohospodárska bilancia SR. Vodohospodárska bilancia množstva podzemnej vody za rok 2022. Slov. hydromet. úst. Bratislava.
- [10] Kullmann E., Gavurník J., Molnár L., Paľušová Z., Slivová V., Lehotová D. & Palková M. 2023 : Hydrologická ročenka podzemnej vody 2022. Slov. hydromet. úst. Bratislava.
- [11] Mucha I. & Šestakov V. M. 1987 : Hydraulika podzemných vôd. ALFA/SNTL Bratislava.
- [12] <https://milanlapin.estranky.sk/clanky/teplota-vody-v-jazere-zlate-piesky/>
- [13] Vančík L. 2020 : Bratislava – Zlaté Piesky, RELAX. Doplnkový prieskum životného prostredia. RNDr. Ľubomír Vančík, INGEVA Bratislava.
- Archívne správy hydrogeologického prieskumu (arch. č. Geofondu) :
- 21176 Kršák M. 1969 : Vyhodnotenie hdg. prieskumného vrtu HB-4, Bratislava Zlaté piesky. Vodné zdroje n. p. Bratislava.
- 23068 Čech R. 1969 : Zpráva o výsledcích hydrogeologického a doplňujícího inženýrsko-geologického průzkumu pro mlékárnu v Bratislavě provedeném v měsících leden – květen 1969. Potravinoprojekt PIO Praha.
- 23151 Kršák M. 1970 : Hydrogeologické vyhodnotenie širokoprilových studní HZ-1, HZ-2 na lokalite Bratislava – Trnávka. Vodné zdroje n. p. Bratislava.
- 29563 Rajec M. 1973 : Bratislava – PREFA – hdg. prieskum. IGHP n.p. Žilina, závod Bratislava.
- 42431 Noruláková H. 1978 : Bratislava, Krajná hgp. Vyhľadávací prieskum. IGHP n. p. Žilina, závod Bratislava.
- 63554 Solymosiová E. & Bišťanová I. 1986 : Vyhodnotenie hydrogeologického prieskumného vrtu HVP-2 na lokalite Bratislava, Studená 9. Vodné zdroje n. p., závod Bratislava.
- 66951 Solymosiová E. 1987 : Vyhodnotenie hydrogeologického prieskumu na lokalite Bratislava – Zlaté piesky. Vodné zdroje n. p., závod Bratislava.
- 70994 Dulovičová K., Nádašský F. & Khírová K. 1988 : Vyhodnotenie hydrogeologického prieskumného vrtu HVP-3 na lokalite Bratislava, Studená ul. – TaSÚS. Vodné zdroje n. p., závod Bratislava.
- 90593 Šebesta I. 2010 : Bratislava – Zlaté piesky – chatová osada Studený dolec, hydrogeologický prieskum pre rekreačnú chatu – par. č. 16518/621. Mgr. Ivan Šebesta Bratislava.