



GEOLAB, Oliver Pavc s.p. / Jelenčeva ul. 1, 4000 Kranj / ID DDV: SI83982728
www.geolab.si / info@geolab.si / +386 (0)41 983 946

Datum: 22.3.2021

Šifra: hgp-1-21

**Hidrogeološko poročilo o raziskavi podzemne vode z vrtnami
na območju Kopališča Vevče v Ljubljani
(parcele št. 2543/3 in 2548, k.o. 1770-Kašelj in 571/3, k.o. 1773-Dobrunje)**

Naročnik:

Gužič Trplan Arhitekti d.o.o.

Ciril - Metodov trg 15

1000 Ljubljana

Oliver Pavc, u.d.i.geol.

GEOLAB
Oliver Pavc s.p.
Jelenčeva ulica 1
4000 Kranj

I. SPLOŠNE GEOLOŠKE IN HIDROGEOLOŠKE RAZMERE

1.1. Predmet vodnega dovoljenja

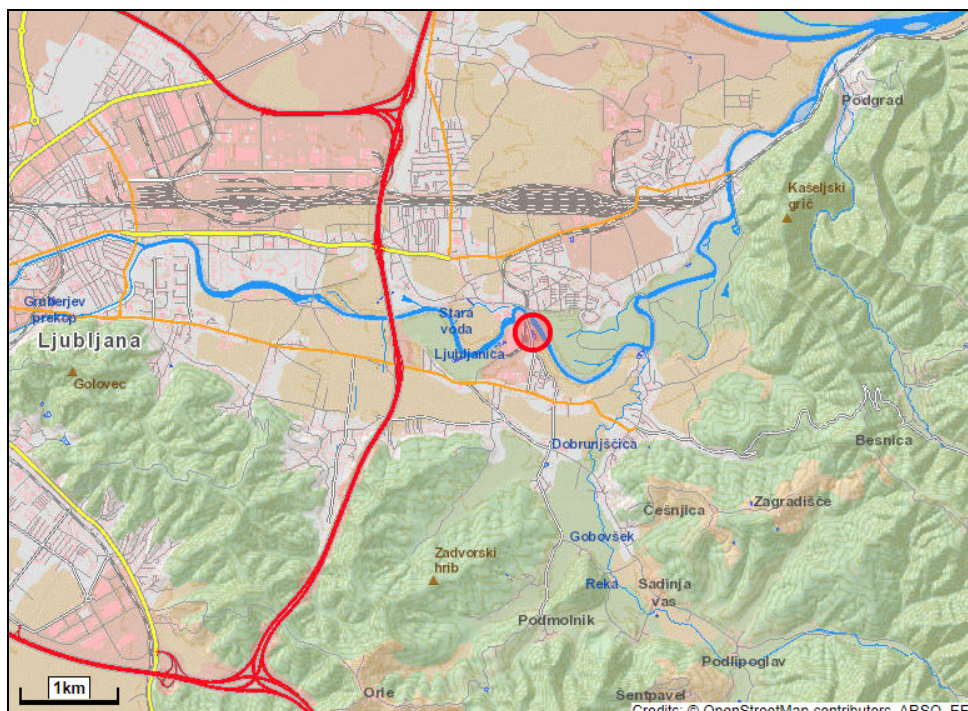
Kopališče Vevče v vzhodnem delu Ljubljane bo predmet celovite obnove, med drugim bo zdaj tam tudi zaprti bazen, za kar potrebno zagotoviti ustrezno ogrevanje. To pa predvideno s toplotno črpalko voda/voda, ki bi kot vir energije koristila toploto vode iz vodonosnika pod samim kopališčem. Zato bile izdelane raziskovalne vrtine – šest njih, poimenovanih LJV-1/21, LJV-2/21,.....LJV-6/21 -, na katerih opravljena raziskava s preizkusnim črpanjem in nalivanjem vode. Tako sama izdelava vrtin kot črpalni in nalivalni preizkusu bili opravljeni med 15. in 22. 2. 2021.

Iste vrtine pa bodo ob pridobljenem vodnem dovoljenju služile za rabo podzemne vode: LJV-1/21, LJV-2/21 in LJV-3/21 za črpanje, preostale tri pa za ponikanje te načrpane vode.

Iz posamezne črpalne vrtine se bo maksimalno črpalo s pretokom 15 l/s ($54 \text{ m}^3/\text{h}$), torej istočasno skupaj največ lahko 45 l/s ($162 \text{ m}^3/\text{h}$), kar bi pri ocenjenem letnem času obratovanja 2.000 ur zneslo skupno letno količino (pre)črpanja do 324.000 m^3 .

1.2. Opis obravnavanega območja

Območje raziskave se torej nahaja na območju ljubljanske četrti Vevče in sicer na urbaniziranih površinah na desnem bregu Ljubljanice nasproti Papirnice Vevče, ob cesti Ljubljana-Vevče – Ljubljana-Dobrunje. To območje je razvidno iz Slike 1.2.1.



Slika 1.2.1. Območje raziskave na topografski podlagi. Vir: Atlas Okolja, 2021.

Nadmorska višina območja kopališča je okvirno med 273 m na njegovi južni strani do 274 m na severni.

Lokacija posamezne raziskovalne vrtnice pa je razvidna iz zračnega posnetka na Sliki 1.2.2.:



Slika 1.2.2. Zračni posnetek območja kopališča z označenimi lokacijami vrtin. Vir: Atlas Okolja, 2021

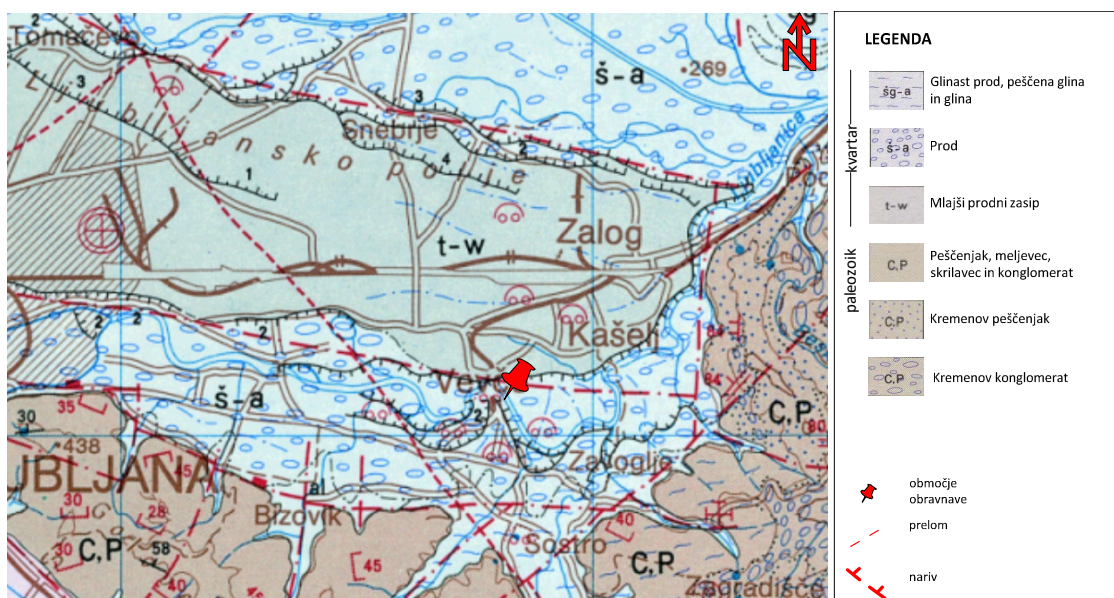
1.3. Historiat

Ni znano, da bi na samem ožjem območju Kopališča Vevče raba podzemne vode že potekala, je pa gotovo na širšem (na obeh bregovih Ljubljance) – znane razmeroma plitve vrtnice z veliko izdatnostjo vode, kar bila podlaga za dimenzioniranje vrtin tudi pri obravnavani raziskavi.

1.4. Geologija

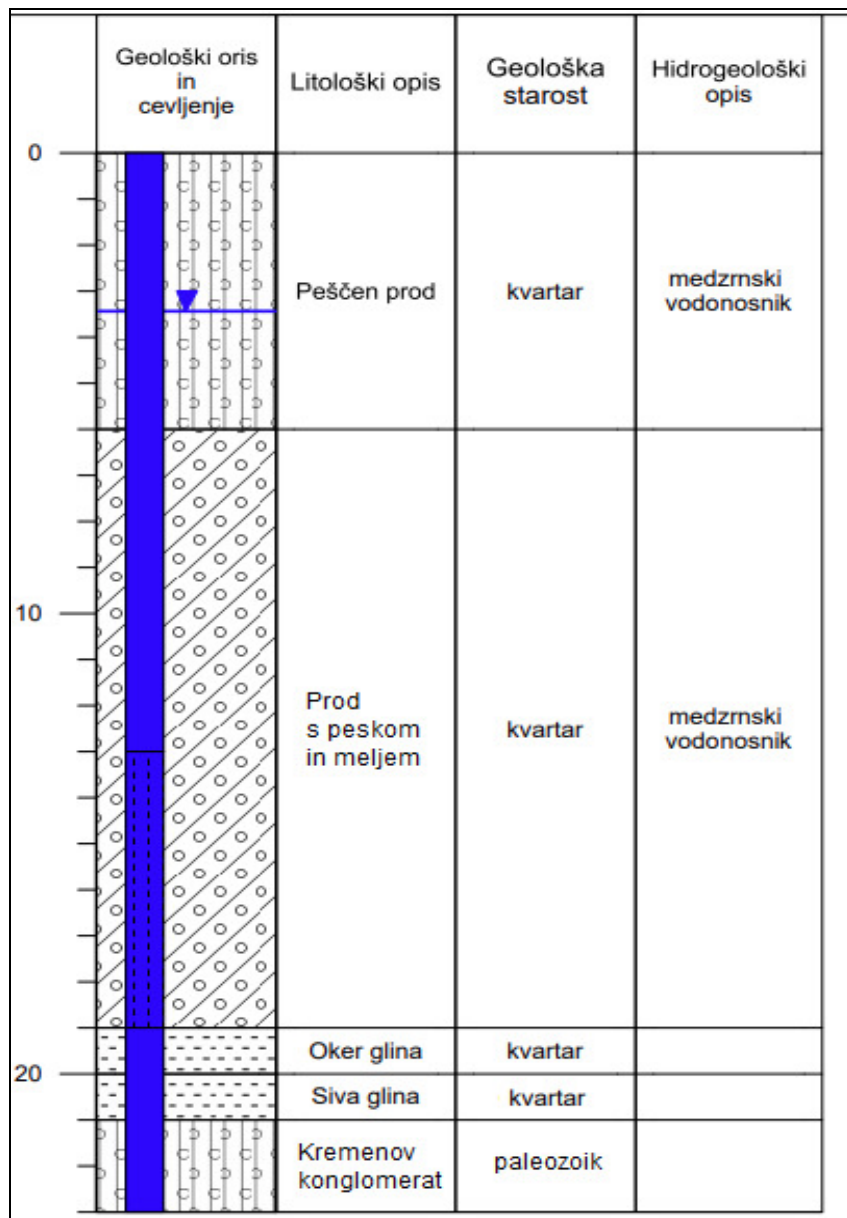
V tektonskem smislu območje obravnave spada v Ljubljansko kotlino in Ljubljansko polje. Slednje je nastalo ob spuščanju območja med pliocenom in pleistocenom, na širšem območju obravnave pa debelina kvartarnih sedimentov dosega do 50 m. Glede na Osnovno geološko karto Slovenije (Slika 1.4.1) na območju obravnave ležijo prodni nanosi Save in Ljubljance, severno pa prodni zasipi. Južno so odloženi še glinasti prodi, peščene gline in gline, vzhodno in južno pa izdanja paleozojska podlaga – kremenovi peščenjaki, konglomerati ter meljevci in skrilavci.

Žlebnik (1971) v bližini obravnavane lokacije opisuje erozijsko teraso, ki jo je Ljubljanka vrezala v pleistocensko teraso Save, višinska razlika med njima pa je 8 do 9 m. Omenja tudi plasti rjave gline s prodniki, ki pri silosu v Kašlju dosega debelino do 2 m in konglomerate, ki izdanjajo v neposredni bližini obravnavanega območja. Debeline pleistocenskih plasti so slabo znane, vendar na podlagi geoelektričnih raziskav omenja debeline od 5 do 15 m, kar velja za desni breg Save, kjer ta ni vrezala struge v permokarbonske kamnine.



Slika 1.4.1. Izrez iz geološke karte Slovenije z legendo (izrez ni v merilu). LIST LJUBLJANA 1:100 000.

Splošne geološke razmere za to območje so se potrdile tudi v vrtinah, le predkvartarna (paleozojska) podlaga je bila malo višje, kot bilo prvotno ocenjeno. Ta se, kot razvidno iz geološkega profila na Sliki 1.4.2., v vrtini LJV-1/21 pojavila na globini 21 m.



Slika 1.4.2. Geološki profil vrtine LJV-1/21

Torej je v tej 23 m globoki vrtini na naslednjih globinah določena sledeča litološka sestava:

- 0-6 m: peščen prod (obdobje kvartar)
- 6-19 m: prod s peskom in meljem (kvartar)
- 19-21 m: glina (kvartar)
- 21-23 m: kremenov konglomerat (paleozoik)

Dejansko je prvih 6 m *holocenski* zasip reke Ljubljanice, naprej prevladujoče prodne plasti pa so *pleistocenske*. Velika večina klastov znotraj prvih in drugih pa je karbonatnih. Prodniki dosežejo velikost do 5 cm.

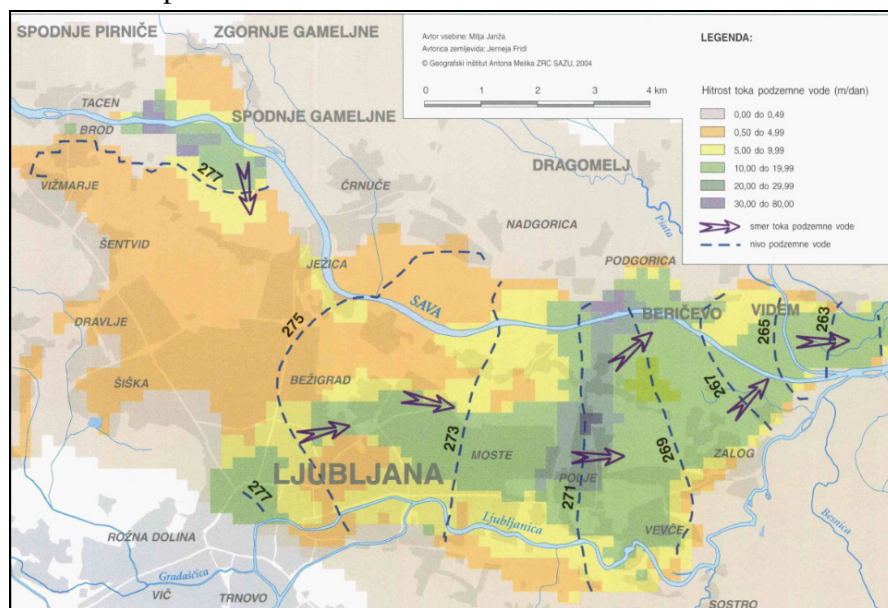
Pod prodom ležeča glina je vsaj delno posledica preprevanja nižje ležeče matične kamnine. Ta pa je iz t.i. permokarbonske, to je najmlajših obdobij paleozoika karbona in perma.

V preostalih vrtnah je ugotovljena zelo podobna litološka sestava: v 22-metrskih LJV-2/21 in LJV-3/21 praktično na enakih globinah prehodi med posameznimi litološkimi in stratigrafskimi enotami, v preostalih treh, tudi 22-m, pa zgolj prehod v glino na 20 m (paleozojske podalge ni bilo zaznati).

V obravnavanih vrtnah je omembe vreden torej le medzrnski vodonosnik (z nivojem vode na globini okrog 3 m) v kvartarnih prodih, ki je del širšega vodonosnika, po *IAH* poimenovanega: *Peščeno-prodni zasipi reke Save in njenih pritokov (medzrnski, aluvialni - obširni in lokalni srednje do visoko izdatni, mestoma nizko izdatni vodonosniki)*.

Vodonosnik Ljubljanskega polja je odprt in ga gradijo pretežno dobro prepustne plasti, le v jugozahodnem delu se pojavljajo slabše prepustne plasti, neprepustno podlago pa tvorijo permokarbonske plasti (Šram et al., 2012). Tok podzemne vode dosega hitrosti do 10 m/dan in pretoke do 3-4 m³/s (Nagode et al., 2020).

Kot razvidno iz Slike 1.4.3., je smer toka podzemne vode na Ljubljanskem polju v splošnem *proti vzhodu*, tako tudi na območju Vevč, kjer nivo v času nizkih vod na nadmorski višini okrog 270 m, kar dejansko potrjeno tudi v raziskovalnih vrtnah. V času visokih vod pa lahko zraste tudi za 2 m od teh vrednosti.



Slika 1.4.3. Smer toka podzemne vode na Ljubljanskem polju (v času nizkih vod). Vir: Geografija Slovenije

1.5. Opis izvedbe vrtin

Vrtanje potekalo z udarno (s pomočjo kompresorja) in rotacijsko metodo, vso globino vrtanja pa bile uporabljane jeklene obložne cevi, ki preprečevale sprotno zasipanje vrtine v sipkem sedimentu.

V vertikalno izdelane vrtine na koncu vgrajene PVC vodnjaške cevi zun./not. premera 188/166 mm, ki filtrske, t.j. z enakomerno in gosto posejanimi režami širine 2 mm, na odseku 6 m, ta odsek pri 23-m LJV-1/21 na globini 14-20 m, pri ostalih 22-m pa 13-19 m.

V črpalne vrtine se bodo vgradile *šestcolske* potopne črpalke in sicer z njihovim vrhnjim delom na globino 12 m.

1.6. Geodetska izmera ustij vrtin

V sledeči tabeli podane koordinate vrtin v projekciji D96 ter Gauss-Krügerjevi (GK) ter parcela, na kateri se posamezna nahaja.

Točka z (nadmorska višina v *metrih*) dejansko predstavlja koto površja ob posamezni vrtini v času raziskave.


Vrtina	x (D96)	y (D96)	y (GK)	x (GK)	z	parcela
LJV-1/21	468624	100895	468995	100409	273,82	2543/3, k.o. 1770-Kašelj
LJV-2/21	468645	100907	469016	100421	274,19	2543/3, k.o. 1770-Kašelj
LJV-3/21	468628	100870	468999	100384	274,03	2543/3, k.o. 1770-Kašelj
LJV-4/21	468692	100769	469063	100283	272,97	2548, k.o. 1770-Kašelj
LJV-5/21	468683	100783	469054	100297	273,43	2548, k.o. 1770-Kašelj
LJV-6/21	468669	100779	469040	100293	273,00	571/3, k.o. 1773-Dobrunje

Tabela 1.6. Koordinate posameznih vrtin in parcela, na kateri se nahajajo.

II. POTENCIAL VODNEGA VIRA

2.1. Primernost zajete podzemne vode

Temperatura črpane vode pri preizkusih iz vrtin je znašala **12,2 °C**, izmed kemijskih parametrov pa bila določena le vsebnost železa in mangana, kot potencialno škodljivih za toplotni izmenjevalec (rezultat na Sliki 2.1.), katerih vrednost sicer nizka.



NACIONALNI LABORATORIJ ZA
ZDRAVJE, OKOLJE IN HRANO

Evidenčna oznaka: 1004-17/32270-21/14942

Podatki o vzorcu

Vzorec: Vrtina VEVČE

Številka vzorca: 21/14942

Namen: Analiza po naročilu lastnika

Naročnik: VRTINA RAZISKAVE, TRGOVINA IN STORITVE D.O.O., VAŠE 43, 1215 Medvode

Vzorec odvzel: VRTINA RAZISKAVE, TRGOVINA IN STORITVE D.O.O.

Čas odvzema: 19.02.2021 16:00

Vzorec sprejel: Andreja Dremelj

Kraj in čas sprejema: KR, 22.02.2021 08:00

Ocena rezultatov

Prikazani so rezultati z določenimi kriteriji.

Parameter	Rezultat	Enota	Kriterij	Skladnost
Mangan	<10	µg/L	50	skladen
Železo	<10	µg/L	200	skladen

Kriteriji-mejne vrednosti so povzeti po:
Pravilnik o pitni vodi, Ur.list RS, št. 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006, 25/2009, 74/2015, 51/2017 , Priloga 1

Priloge poročila:
Poročilo o kemijskem preskušanju z evidenčno oznako 1004-17/32270-21/14942-K

Tabela 2.1. Koordinate posameznih vrtin in parcela, na kateri se nahajajo.

2.2. Ohranjanje telesa podzemne vode

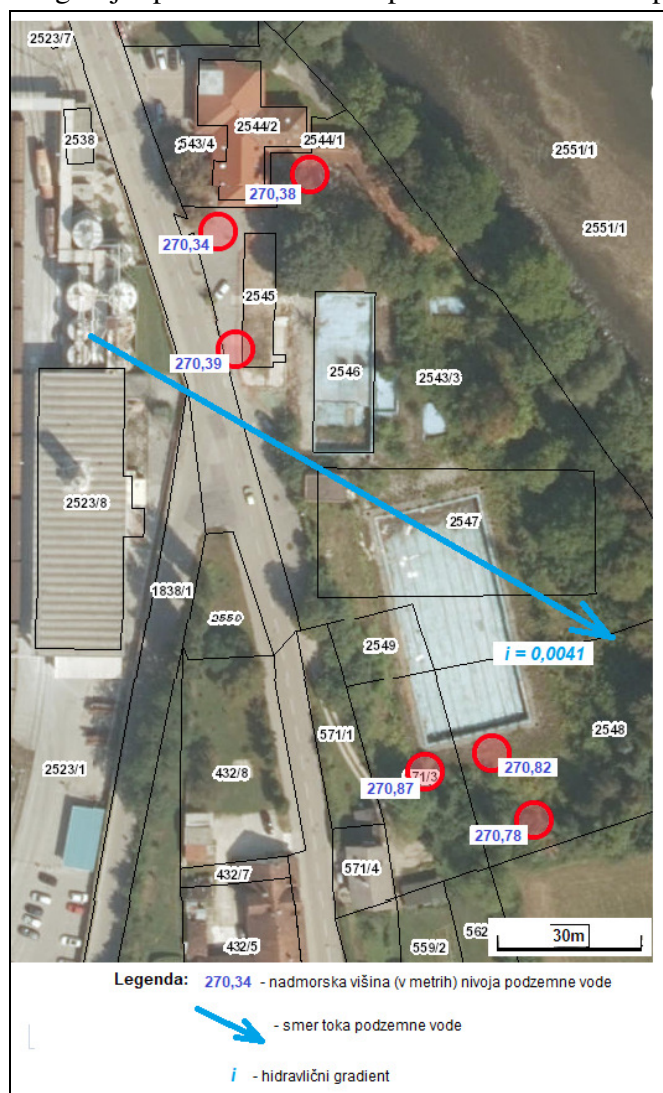
Sicer dne 16.2.2021, ko bila izdelana le vrtina LJV-1/21, **statični** nivo vode v njej zabeležen na globini **3,19 m**.

V vmesnem času (po koncu padavin), ko bile izdelane še ostale vrtine, nivo vode padal in dne 19.2.2021 **statični nivoji** v vseh vrtinah zabeleženi:

Vrtina	LJV-/21	LJV-2/21	LJV-3/21	LJV-4/21	LJV-5/21	LJV-6/21
Nadmorska višina površja (m)	273,82	274,19	274,03	272,97	273,43	273,00
Globina do nivoja vode (m)	3,48	3,81	3,64	2,19	2,61	2,13
Nadmorska višina globine vode (m)	270,34	270,38	270,39	270,78	270,82	270,87

Tabela 2.2. Višina ustij vrtin in gladine podzemne vode v posamezni vrtini.

Iz zgornjih podatkov moč sklepati na tok in naklon podzemne vode na tem območju:



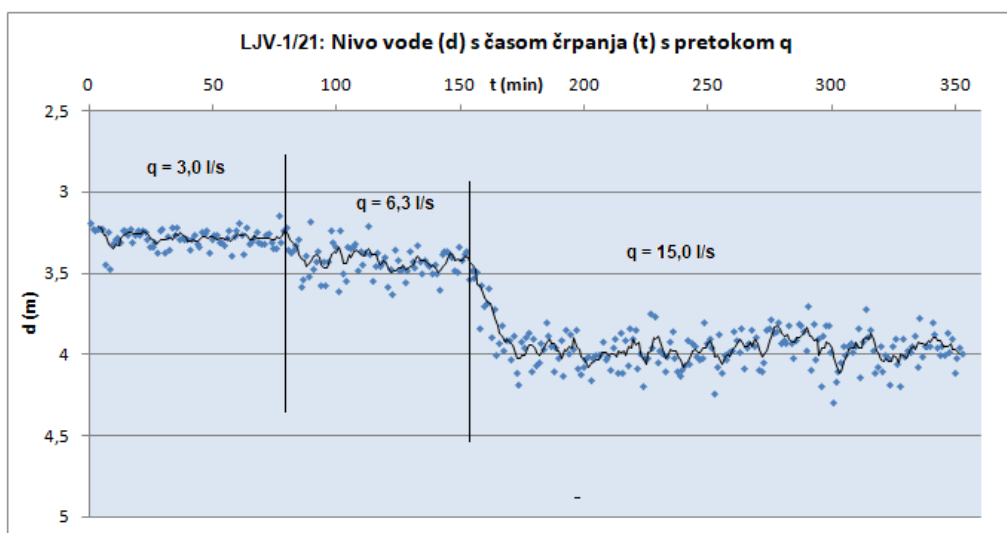
Slika 2.2.1. Podatki o nadmorski višini vode (m) v posamezni vrtini ter interpolirana smer toka vode

Tako dejansko ugotovljeno, da se tok v grobem ujema s splošno smerjo toka na tem območju ter da na razdalji 100 m voda vpade za približno 0,40 m ($i = 0,0041$).

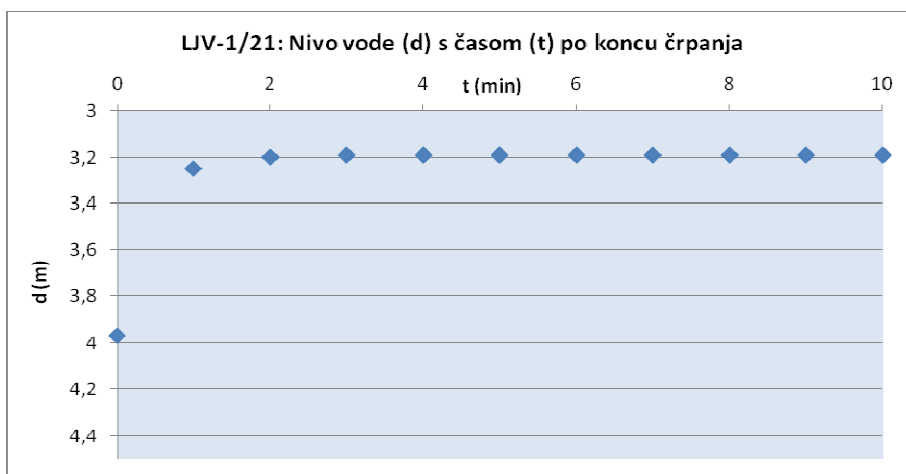
Sicer vodonosnik *medzrnski* (v produ in pesku) ter *odprt*, saj nivo vode prosto stoječ znotraj dobro prepustnih sedimentov. Glede na povprečno globino do nivoja vode cca 3 m in globina nahajanja podlage vodonosnika na 19 m, je tako smiselno podati debelino vodonosnika 16 m (niha za približno 2 skladno z nivojem vode, to pa odvisno od padavin).

Višina nivoja podzemne vode sicer v tesni zvezi tudi z višino nivoja vode v strugi Ljubljance, iz katere se oz. katero napaja.

Tako dne 16.2.2021 bilo najprej izvedeno preizkusno črpanje **iz LJV-1/21** in sicer s tremi različnimi pretoki v skupni dolžini šest ur:



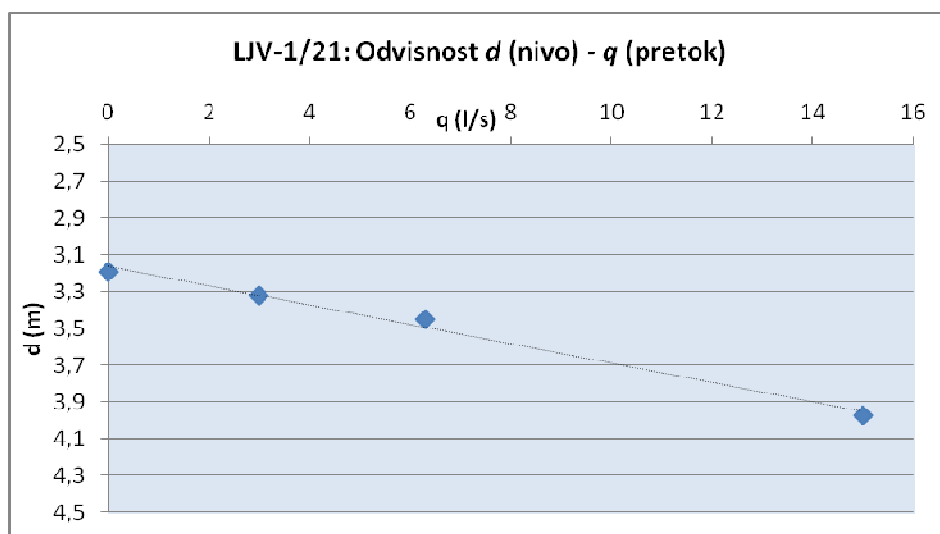
Tako kot hitro prišlo do stabilizacije nivoja pri črpanju, se nivo po koncu črpanja hitro ustalil na statični vrednosti:



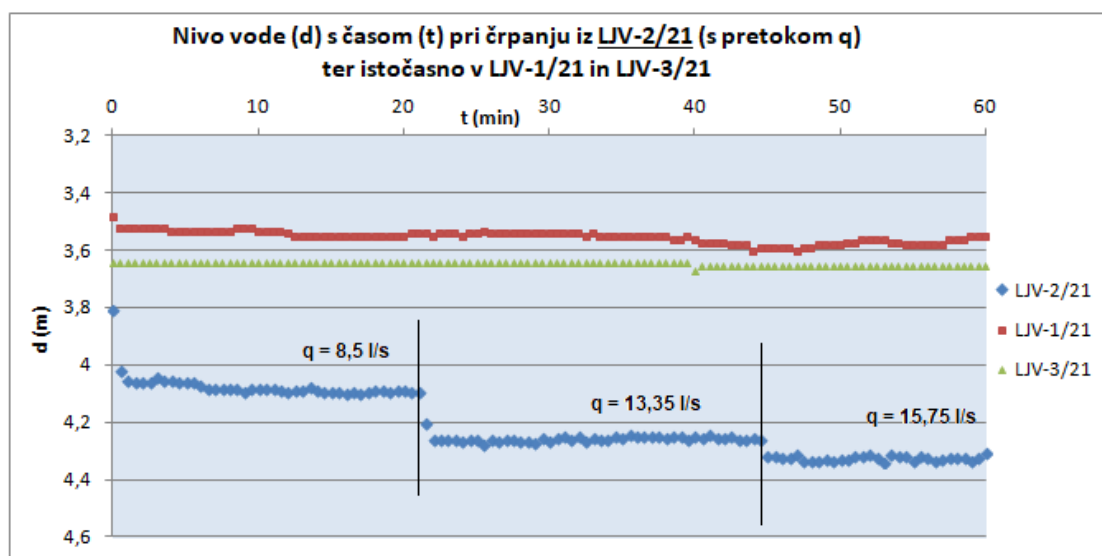
Tako dejansko ugotovljena naslednja odvisnost med nivojem in pretokom:

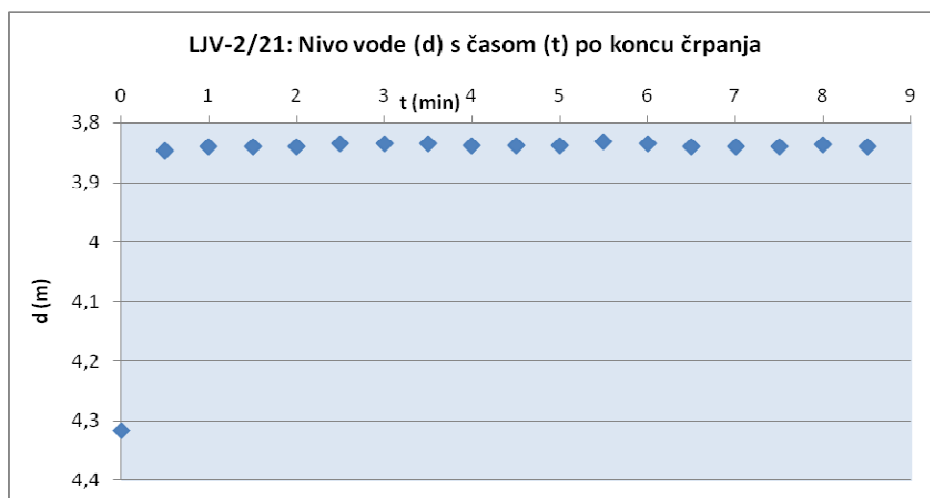
q (l/s)	d (m)	s (m)
0	3,19	0
3,0	3,32	0,13
6,3	3,45	0,26
15,0	3,97	0,78

LJV-1/21. Nivo vode (d) in pri tem nastalo znižanje (s) glede na statično vrednost v odvisnosti od pretoka črpanja (q).



Dne 19.2.2021 najprej potekalo črpanje iz **LJV-2/121**, zaradi večje preglednosti (nivoji spremljani tudi v bližnjih dveh vrtinah) pa prikazana le prva ura 6-urnega črpanja:

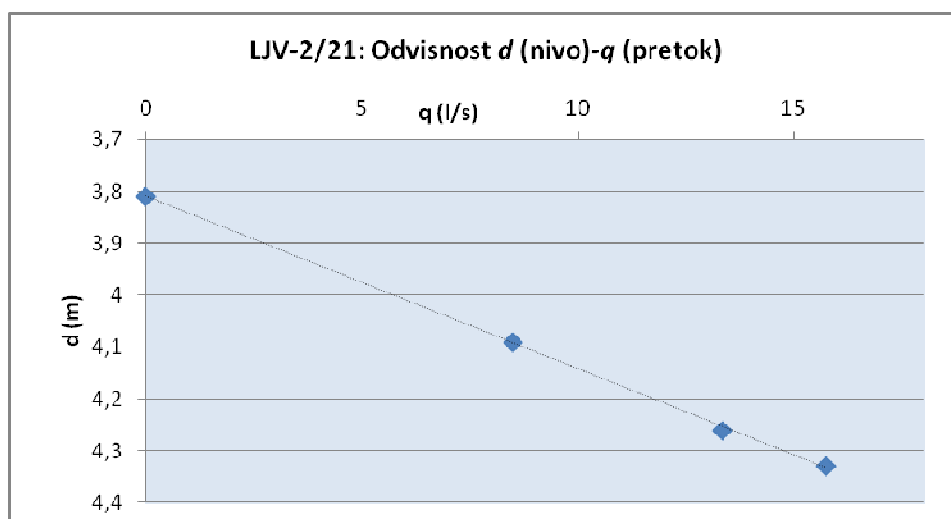




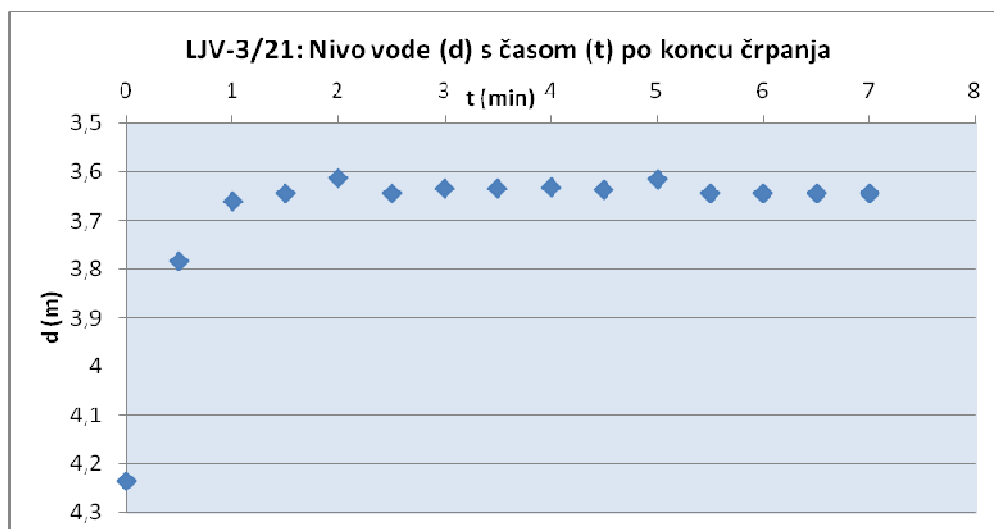
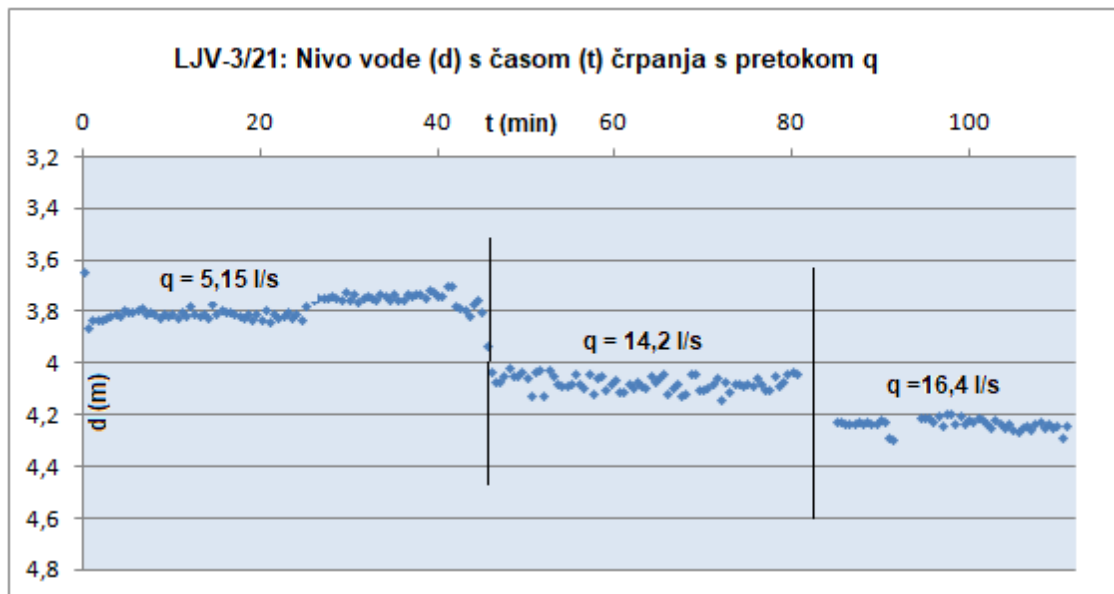
Dobljena odvisnost med parametroma:

q (l/s)	d (m)	s (m)
0	3,81	0
8,5	4,09	0,28
13,35	4,26	0,45
15,75	4,33	0,52

LJV-2/21. Nivo vode (d) in pri tem nastalo znižanje (s) glede na statično vrednost v odvisnosti od pretoka črpanja (q).



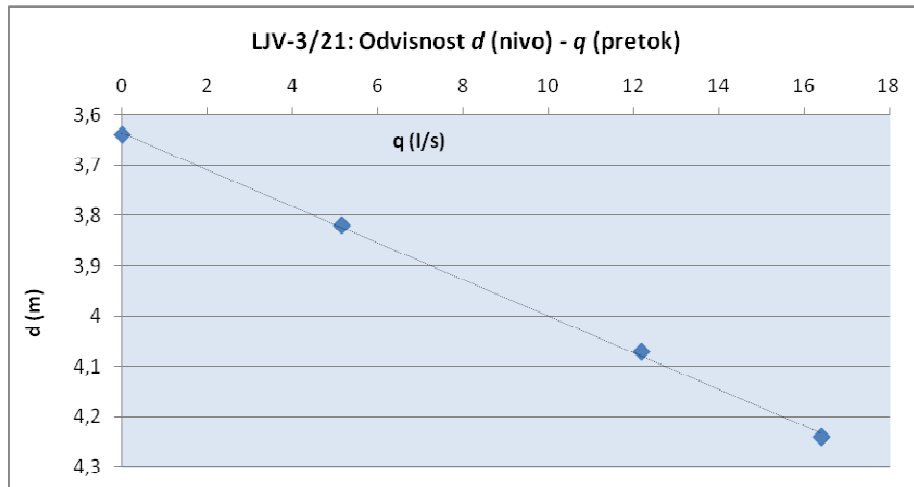
Potem še isti dan črpanje iz **LJV-3/21**:



Tako odvisnost med nivojem in pretokom:

q (l/s)	d (m)	s (m)
0	3,64	0
5,15	3,82	0,18
12,2	4,07	0,43
16,4	4,24	0,60

***LJV-3/21.** Nivo vode (d) in pri tem nastalo znižanje (s) glede na statično vrednost v odvisnosti od pretoka črpanja (q).*



Za izračun osnovnih parametrov vodonosnik bodo uporabljeni podatki pri črpanju iz LJV-2/21, ko bil nivo opazovan tudi v sosednjih vrtinah.

Tako bo uporabljena *Darcy-jeva* enačba za razmere, ki se ustvarijo pri radialnem toku v homogenem odprtem vodonosniku. V računu bosta tako upoštevani dve točki na nastali depresijski krivulji v vodnem telesu na različni oddaljenosti od točke črpanja – v bližji vrtini LJV-1/21 in oddaljenejši LJV-3/21.

Konkretno, pri največjem pretoku črpanja **15,75 l/s iz LJV-1/21** nivo vode v bližji opazovalni vrtini padel za **8 cm**, v bolj oddaljeni pa zgolj **1 cm**.

Koeficient prepustnosti K se tako izračuna po enačbi:

$$K = \frac{Q * (\ln r_1 - \ln r_2)}{\pi * (h_1^2 - h_2^2)}$$

, kjer posamezne oznake pomenijo:

Q – pretok črpanja

r_1 – daljša razdalja od točke črpanja (razdalja med LJV-2/21 in LJV-3/21)

r_2 – krajša razdalja od točke črpanja (razdalja med LJV-2/21 in LJV-1/21)

h_1 – debelina vodonosnika v času črpanja na mestu LJV-3/21

h_2 – debelina vodonosnika v času črpanja na mestu LJV-1/21

$$K = 1,17 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

Upošteva se *debelino vodonosnika (H)* je potemtakem **transmisivnost T** :

$$T = K * H$$

$$T = 1,87 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

Po sledeči enačbi se dobi tudi vplivno območje tega črpanja:

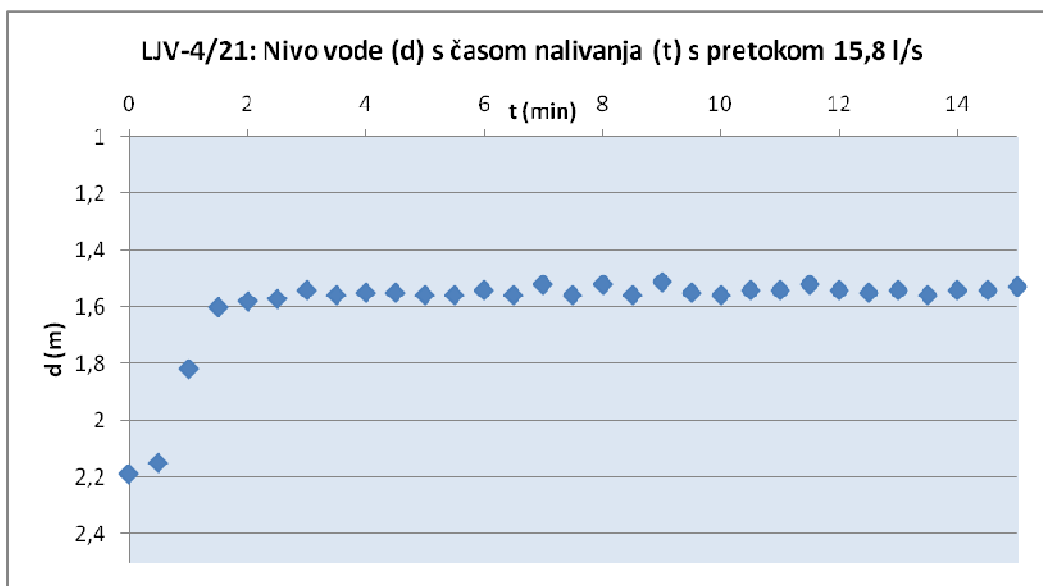
$$Re = \exp \left[\frac{(H^2 - h_1^2) * \pi * K}{Q} + \ln r_1 \right]$$

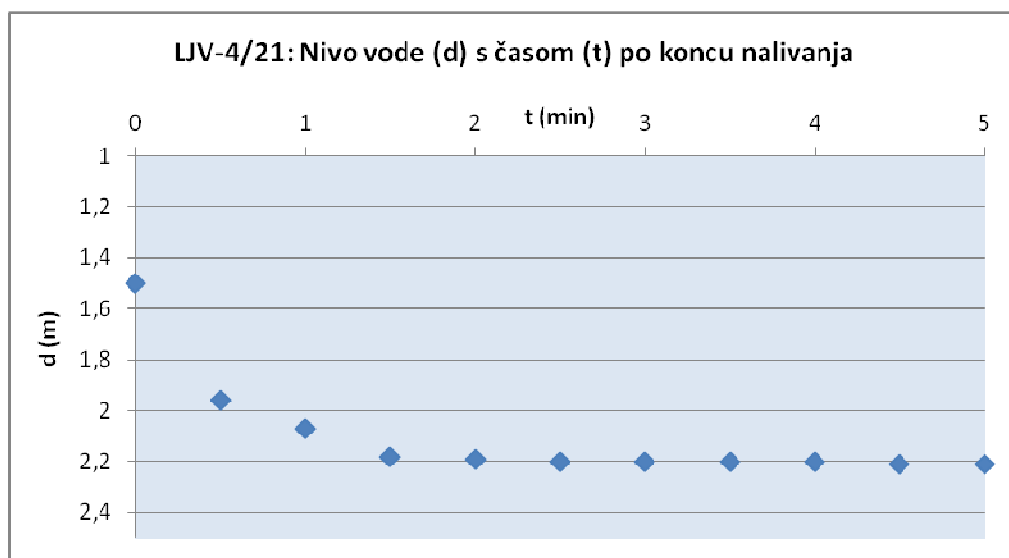
$$Re = 43,9 \text{ m}$$

Tudi pri istočasnem črpanju iz vseh treh črpalnih vrtin hkrati – iz posamezne s pretokom 15 l/s – bo vplivno območje tega skupnega črpanja sicer večje, še zmeraj pa majhno, gotovo ne bo preseglo 100 m, torej ***Re (skupno) < 100 m***.

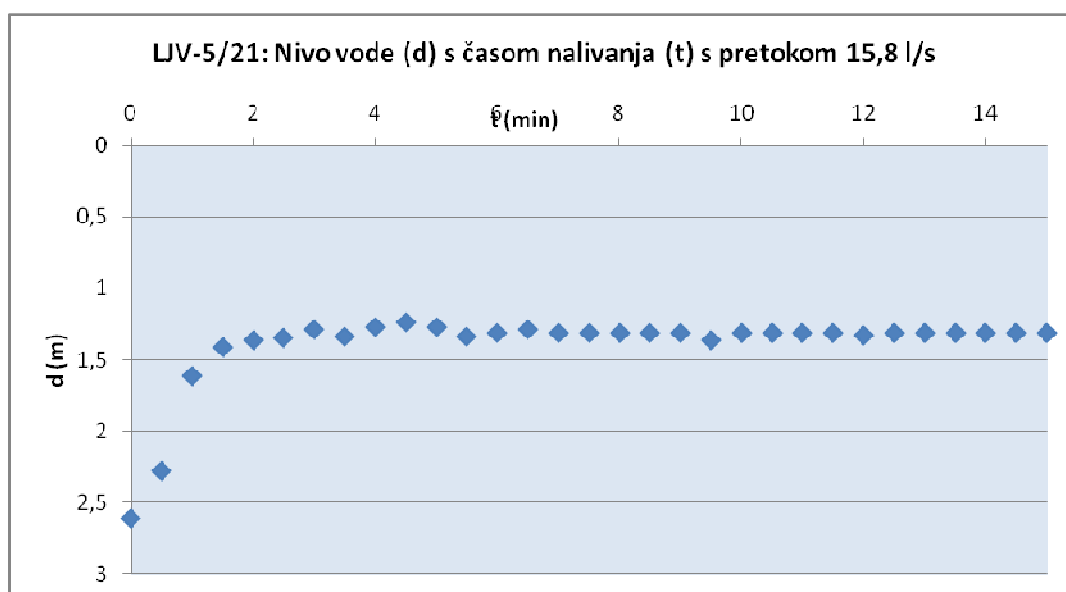
Pri nalivanjih v posamezno ponikalno vrtino, tudi s pretoki več kot 15 l/s, tudi pričakovano prišlo do razmeroma majhnega dviga nivoja ter hitre njegove stabilizacije:

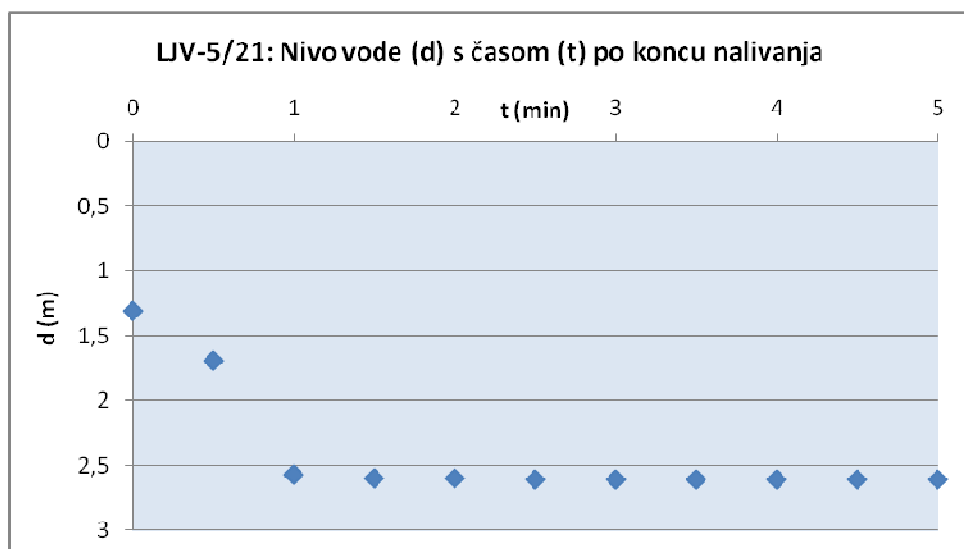
Tako se v **LJV-4/21** nivo pri pretoku **nalivanja 15,8 l/s** ustalil na globini **1,55 m**, kar **0,64 m** nad prvotno vrednostjo (2,19 m):



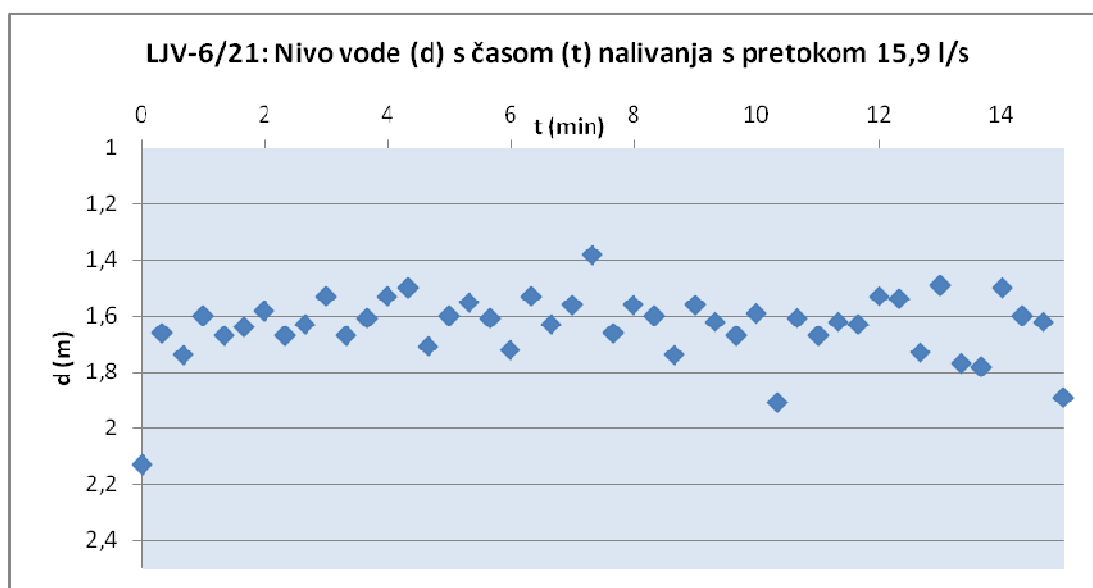


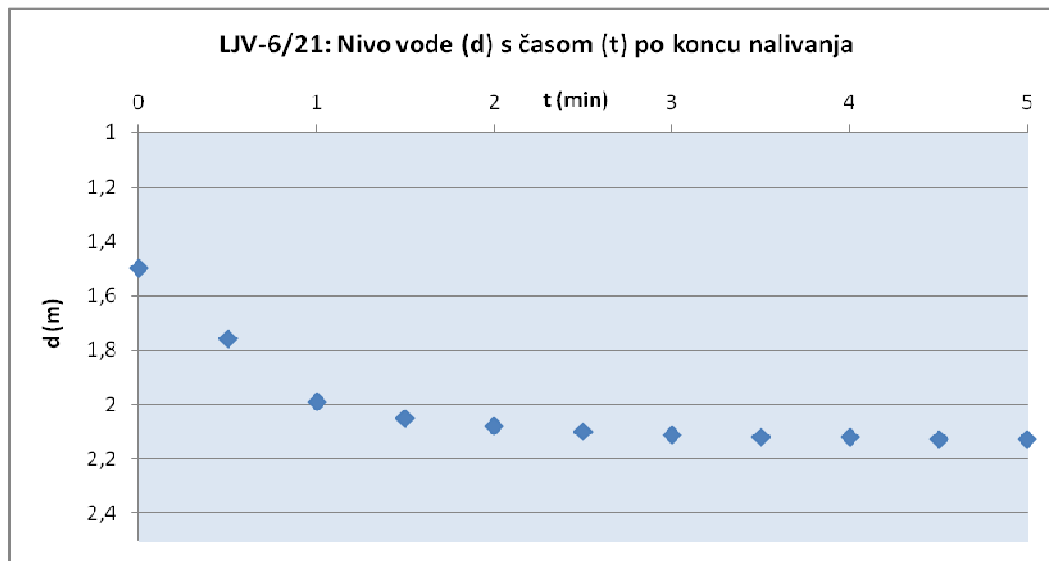
V **LJV-5/21** pri nalivanju s pretokom **15,8 l/s** nivo zrasel s prvotnih 2,61 m na **1,35 m**, torej za **1,26 m**.





V LJV-6/21 se nalivalo **15,9 l/s**, pri čemer se nivo dvignil **za 0,53 m** – s prvotnih **2,13 m** na **1,60 m**:





Potem 20.2.2021 potekalo triurno istočasno črpanje iz vseh treh črpalnih vrtin ter nalivanje v vse tri ponikalne, iz posamezne oz. v posamezno s pretokom 15,0 l/s. Pričakovano **nivoji ohranjali približno enake vrednosti kot pri posamičnih črpanjih**, kar glede na zanemarljive vplive posameznega črpanja na ostale nivoje tudi razumljivo.

Dejansko pa je iz posamezne črpalne vrtine **maksimalni možni pretok črpanja 20 l/s**, kolikor še da šestcolska potopna črpalka. Čeprav s tem pretokom ni bilo črpano, je iz dobljenega (linearnega) odnosa nivo-pretok za posamezno vrtino to moč trditi.

III. PREDLOG MONITORINGA

Za širše obravnavano območje torej velja, da statični nivo le malo niha – znotraj amplitude 2 m, obravnavana raziskava pa je ugotovila, da bi bil padec nivoja zaradi predvidenega črpanja tudi majhen; ravno tako zvišanje nivoja zaradi nalivanja vode. Za potrditev tega skozi daljši čas rabe bi bilo potrebno spremljati nivo vode, zadostuje le v eni (črpalni) vrtini.

Najprimernejša za tovrstne meritve je tlačna sonda z *loggerjem*, ki bi na nastavljen interval beležila dejansko vodni stolpec in posledično nivo vode. Meritev z intervalom ena ura bi bila primerna, saj bi se iz tako pogostih vrednosti dalo tudi razbrati, kdaj gre za statično in kdaj za dinamično vrednost nivoja. Ustrezna globina vgradnje sonde v katerokoli črpalno vrtino bi bila 10,0 m – tik nad potopno črpalko, nivoji vode pa bi se podajali od takratnega površja tik nad vrtino (vrhom jaška znotraj katerega vrtina).

Seveda so obvezne tudi meritve količine in trenutnega pretoka črpanja in sicer za vsako črpalno vrtno, zato pa primeren mehanski vodomera s številčnico za kontrolo kumulativnega odvzema ter seveda z impulznim izhodom, posamezen impulz bi namreč bil ekvivalent določene pretečene količine (npr. 10 l).

Tako podatki z nivojske sonde kot z vodomera bi se zbirali na istem registratorju, ki ima opcijo pošiljanja podatkov na daljavo. Enkrat letno bi se ti podatki uredili in analizirali.

Spremljava fizikalnih parametrov ni potrebna; pri znani količini črpanja se namreč tudi vnaprej ve, koliko bo nižja temperatura vode pri izstopu iz toplotne črpalke (dejansko okrog 3 °C). Ostali fizikalni parametri bodo ostali praktično nespremenjeni, ravno tako kemijska sestava vode, zato tudi spremljava te pred in po vstopu v toplotni izmenjevalec toplotne črpalke ni potrebna.

IV. LITERATURA

1. Premru et al., 1980: Osnovna geološka karta SFRJ, LIST Ljubljana 1 : 100.000. Zvez. geol. zav., Beograd.
2. Premru, 1983: Tolmač lista LJUBLJANA L 33–66 Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvez.geol. zav. (Beograd).
3. Nagode et al., 2020: Synthesis of past isotope hydrology investigations in the area of Ljubljana, Slovenia. Geologija. Ljubljana.
4. Šram et al., 2012: Prostorski model visečih vodonosnikov na Ljubljanskem polju. Geologija. Ljubljana.
5. Žlebnik, L., 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega Polja. Geologija. Ljubljana.