

**Hidrogeološko poročilo
za potrebe določitve
možnosti ponikanja
meteornih voda ob
izdelavi OPPN ureditve
na območju Roške
ceste v Ljubljani**

INVESTITOR

SAVAPROJEKT D.D.
Cesta krških žrtev 59
SI-8270 Krško

SODELUJOČI

IRGO Consulting d.o.o.
Slovenčeva 93
SI-1000 Ljubljana

ŠT. PROJEKTA
3017537

KRAJ IN DATUM
Ljubljana, november 2022

PROJEKTANT ELABORATA

IRGO Consulting d.o.o.,
Slovenčeva 93, SI-1000 Ljubljana
Dr. Vladimir Vukadin, u.d.i. geol.
direktor


IRGO
Consulting
d.o.o.

VODJA PROJEKTA

IRGO Consulting d.o.o., Slovenčeva 93, SI-1000 Ljubljana
dr. Jože Ratej, u.d.i. geol.,
vodja oddelka za hidrogeologijo in okoljske študije



Sodelavci

OBDELAVA

Maja Kocjančič,
u.d.i. geol.
d.i. geoteh. in rud. (UN)



TERENSKÉ MERITVE, POPIS VRTIN

Maja Kocjančič,
u.d.i. geol.
d.i. geoteh. in rud (UN)



Jaka Narat,
tehnik



Anže Napotnik,
d.i. geoteh. in rud.



VRTALNA DELA

GR Investicije d.o.o., Slovenčeva 93, SI-1000 Ljubljana





Kazalo

I. UVOD	4
1. Izvedba piezometrov	5
1.1. Litološki popis piezometra RC-V1.....	5
1.2. Litološki popis piezometra RC-V2.....	6
2. Geološka sestava	7
3. Hidrogeološke razmere.....	8
4. Nalivalni poskusi	9
4.1. Obdelava nalivalnega poskusa.....	9
4.2. Potek nalivalnih poizkusov.....	10
4.3. Rezultati nalivalnih poskusov.....	12
5. Zaključek	14
6. Literatura.....	14

Slike

Slika 1 Prikaz načrtovanega OPPN in veljavnega OPPN 40/09-1946 s prikazom OPPN 480 v pripravi in DPN v pripravi.....	4
Slika 2 Jedro vrtine RC-V1.	6
Slika 3 Jedro vrtine RC-V2.	7
Slika 4 Potek nalivalnega poskusa v vrtini RC-V1, na odseku globine 3,5-6,5 m.....	10
Slika 5 Potek prvega nalivalnega poskusa v vrtini RC-V2, na odseku globine 3,5-6,5 m.....	11
Slika 6 Potek drugega nalivalnega poskusa v vrtini RC-V2, na odseku globine 3,5-6,5 m.....	11
Slika 7 Določitev koeficienta prepustnosti za nalivalni poskus v vrtini RC-V1.	12
Slika 8 Določitev koeficienta prepustnosti za prvi nalivalni poskus v vrtini RC-V2.	13
Slika 9 Določitev koeficienta prepustnosti za drugi nalivalni poskus v vrtini RC-V2.	13

I. UVOD

Poročilo podaja izhodiščne geološke in hidrogeološke razmere ter pogoje za ponikanje odpadne padavinske vode za izdelavo OPPN za ureditev na območju med Roško in Mesarsko cesto ter Strupijevim nabrežjem v Ljubljani.

Namen priprave novega OPPN Roška je podlaga za izgradnjo nove Akademije za likovno umetnost in oblikovanje (UL ALUO), novega študentskega doma Študentskega doma Ljubljana (ŠDL), nove Srednje šole za oblikovanje in fotografijo (SŠOF) s športno dvorano in zunanjimi športnimi igrišči na območju med Poljansko in Roško cesto, Strupijevim nabrežjem in Mesarsko cesto.



Slika 1 Prikaz načrtovanega OPPN in veljavnega OPPN 40/09-1946 s prikazom OPPN 480 v pripravi in DPN v pripravi.



1. Izvedba piezometrov

Piezometra RC-V1 in RC-V2 sta bila v dogovoru z naročnikom izvrtana na območju OPPN 40/09-1946 ureditve Roške ceste, v parku na severnem delu območja, za potrebe raziskave nezasičene cone vodonosnika za možnost ponikanja meteornih voda s streh objektov in funkcionalnih površin. Mikrolokaciji piezometrov sta podani v spodnji tabeli.

Preglednica 1 Koordinate izvedenih piezometrov.

Piezometer	D96 X	D96Y	Z _{ustje}	Z _{teren}
RC-V1	462877.15	100973.25	294.3	293.9
RC-V2	462977.15	100949.25	294.6	294.2

Dela na vrtini RC-V1 so bila izvedena dne 26.10.2022, na vrtini RC-V2 pa 27.10.2022. Obe vrtini sta bili vrtani z vrtalno garnituro Comachio 205 in sicer je vrtnje potekalo po sistemu vrtnja na suho z enojnim jedrnikom, brez izplake.

V prvi fazi se je vrtini vrtalo do globine 6,5 m. Do te globine se je vrtini cevilo s PVC cevmi premera 114 mm.

V posamezni vrtini je bil nato na filtrskem odseku 3,5-6,5 m globine izveden nalivalni poizkus.

Do globine 3,5 m se je vrtini cevilo s polnimi PVC cevmi, od 3,5 do 6,5 m pa s filtrskimi PVC cevmi z širino reže 2 mm.

Vrtini sta bili po končanem nalivalnem poizkusu vrtani naprej do končne globine 6,5 m in 10 m. V spodnjem delu, od 6,5 m do končne globine sta vrtini nadaljnjo zacevljeni s filtrskimi cevmi. V spodnjem delu imata 1 m usedalnika. Notranje cevi so spojene z navoji.

Vrtini se je po celotni globini vrtalo z enojnim jedrnikom premera Ø143 mm dolžine 3 m in vrtalno nadprofilno krono premera 146 mm.

Ustji vrtin sta opremljeni z betonskim temeljem ter zaščiteni s kapo z obešanko.

1.1. Litološki popis piezometra RC-V1

Na podlagi popisa vzorcev in spremljave vrtnja smo določili geološki profil vrtin, kot ga prikazuje spodnja slika.

Preglednica 2 Litološki popis jedra vrtine RC-V1.

OD (m)	DO (m)	LITOLOGIJA
0,0	0,6	Humus
0,6	0,7	Umetno nasutje
0,7	0,9	Glinast pesek
0,9	2,6	Glinasto peščen prod,
2,6	3,0	Peščeno glinast prod – omočeno 2,8-3,0 m
3,0	6,5	Peščen prod



Slika 2 Jedro vrtine RC-V1.

1.2. Litološki popis piezometra RC-V2

Preglednica 3 Litološki popis jedra vrtine RC-V2.

OD (m)	DO (m)	LITOLOGIJA
0,0	0,7	Humus
0,7	0,8	Peščen prod z organskimi ostanki
0,8	1,3	Glinasto peščen prod z organskimi ostanki
1,3	9,8	Peščen prod
9,8	10,0	Svetlo rjava glina



Slika 3 Jedro vrtine RC-V2.

2. Geološka sestava

Širše območje je bilo raziskano leta 1980 v okviru izdelave OGK, list Ljubljana (avtor U. Permru s sodelavci). Po podatki iz omenjenega vira kamninsko podlago tvorijo permokarbonski klastiti, ki jih prekriva holocenski prodni nanos.

Na podlagi izvedenih vrtin lahko na obravnavanem območju izdvojimo tri značilne plasti: nasip, prod ter glino/pesek. Kamninske podlage nismo navrtali v nobeni vrtini.



Najvišje leži heterogen nasip iz sivega peščenega proda, rjavega meljastega in glinastega proda, ugaskov, stekla, koščkov opeke ter odlomkov temnosivih permokarbonskih kamnin. Debelina nasipa varira in generalno narašča v smeri proti severu-severovzhodu.

Pod nasipom so aluvialni nanosi proda, ki je peščen do meljast, sive do svetlo sive barve, slabo do dobro graduiran.

Nižje, v bližini kontakta s glino, se povečuje delež fine frakcije, prod prehaja glinast prod lokalno so tudi vložki peščene glin.

Najnižje ležijo plasti peščene glin in zaglinjenega peska. Plasti so v zgornjem delu rjave barve, nižje pa sive do temnosive barve. Glin in pesek se menjavata, lokalno prevladuje posamezna frakcija, generalno pa jih ni možno izdvojiti.

Kontakt s višje ležečim prodom je na globini 9,9 m (RC-V2).

3. Hidrogeološke razmere

Območje je del stičnega sveta med Barjem in hribovitim svetom na vzhodni stran Ljubljanskega barja. V hribovitem delu močno prevladujejo skrilavci, peščenjaki in dolomiti, s številnimi površinskimi pritoki, ki so poglobili svoje doline in nanašali sedimente proti Barju. Tako so na severozahodni strani Golovca poleg fragmentarno ohranjenih akumulacijskih teras prisotni tudi sedimenti ledenodobnih vršajev. Vrhnje plasti tu sestavljajo fluvioperiglacialni drobir iz bližnjega paleozojskega zaledja ter ilovica.

Obravnavano območje leži na skrajnem obrobem delu vodonosnika ljubljanskega polja. Vodonosnik ljubljanskega polja je del vodnega telesa podzemne vode Savska kotlina in Ljubljansko barje. Vodno telo se nahaja v dveh tipičnih vodonosnikih. Prvi, aluvialni, medzrnski vodonosnik, je kvartarne starosti. Sestavljajo ga peščeno prodni zasipi reke Save in njenih površinskih pritokov. Drugi vodonosnik mezozojske starosti je sestavljen iz apnenca in dolomita.

Vodonosnik ljubljanskega polja sestavljajo plasti proda in konglomerata, ki jih krajevno ločujejo plasti neprepustne glin. Za območje podajamo splošne hidrogeološke karakteristike vodonosnika ljubljanskega polja oziroma njegove nezasičene cone.

Glede na splošne podatke ARSO je nivo podzemne vode v največji meri odvisen od količine padlih ter poniklih padavin, ob visokem vodostaju Ljubljanice pa se podzemna voda na proučevanem območju napaja po vsej verjetnosti tudi iz Gruberjevega kanala. V fazi izdelavi poročila žal nismo razpolagali s podatki nivoja Ljubljanice v Gruberjevem kanalu.

Smer toka podzemne vode je glede na predhodne preiskave na območju vezana na dreniranje in napajanje iz Gruberjevega kanala in sicer predstavlja slednji v pretežnem delu hidrološkega leta drenažno bazo območja, medtem ko se v času visokih voda smer toka za krajše obdobje lahko tudi obrne – od reke proti vodonosniku (Pregl in sod., 2009).



Iz geološko – hidrogeoloških podatkov ARSO je za proučevano območje razvidno, da je »vodonosnik« na proučevanem območju odprtega tipa oz. da nivo podzemne vode prosto niha.

4. Nalivalni poskusi

Med vrtanjem piezometrov, smo dne 26. in 27.10.2022 na filtrskih odsekih 3,5-6,5 m globine, v obeh vrtinah izvedli stacionarni nalivalni poskus. Vodo za poskus smo zagotovili s priklopom na hidrantno omrežje VO-KA Snaga Ljubljana. Med samim nalivanjem smo preko elektronskega registratorja beležili nihanje nivoja vode v vrtini. Z nalivalnimi poskusi smo testirali prepustnost nezasičene cone vodonosnika na globini predvidene kletne etaže novih objektov za možnost ponikanja meteornih voda. Potek in rezultati nalivalnih poskusov so podani v nadaljevanju.

Ponikovalni poskus smo izvedli v posamezni vrtini na odseku 3,5 do 6,5 m globine s prostim dnom. Prosto dno vrtine je sestavljal peščen prod. Tlačna sonda je bila vgrajena na globino 6,4 m.

V vrtini RC-V1 se je vodo nalivalo v cev pri konstantnem pretoku 6,40 L/s v časovnem intervalu 32 minut. Pri tem se je nivo v cevi dvignil za 4,38 m nad vgrajeno tlačno sondo/dno vrtine.

V vrtini RC-V2 se je nalivalni poizkus izvedbo dvakrat. Vodo se je v cev nalivalo pri konstantnem pretoku 6,6 L/s in 7,8 L/s v časovnem intervalu 32 min. Pri tem se je nivo v cevi dvignil za 4,37 in za 4,89 m nad vgrajeno tlačno sondo/dno vrtine.

Rezultati stacionarnih nalivalnih poskusov so predstavljeni v nadaljevanju.

4.1. Obdelava nalivalnega poskusa

Opravljeni stacionarni nalivalni poskusi so bili obdelani po Jacobovi metodi. Obravnavana metoda velja pri izpolnjenih naslednjih predpostavkah:

1. vodonosnik je zaprt,
2. vodonosnik aproksimiramo kot neskončnega,
3. vodonosnik je v vplivnem območju impulznega poizkusa homogen, izotropen in enakomerne debeline,
4. pred poskusom je v vplivnem območju impulznega poskusa piezometrična gladina horizontalna,
5. poskus je izveden pri konstantni količini nalivanja,
6. vodnjak zajema celotno debelino vodonosnika (popolni vodnjak – tok vode proti vodnjaku je horizontalen),
7. premer vodnjaka je majhen, zato lahko uskladiščenje v vodnjaku zanemarimo,
8. tok podzemne vode proti vodnjaku je nestacionaren
9. $t > \frac{25r_c^2}{KD}$; s tem lahko zanemarimo vpliv uskladiščenja vode v vodnjaku

Pri Jacobovi metodi smo izhajali iz enačbe: $K \times D = \frac{2,30 \times Q}{4\pi\Delta s}$



pri čemer je:

Q – količina izčrpane vode [m³/s]

K – koeficient prepustnosti [m/s]

D – debelina vodonosnika [m]

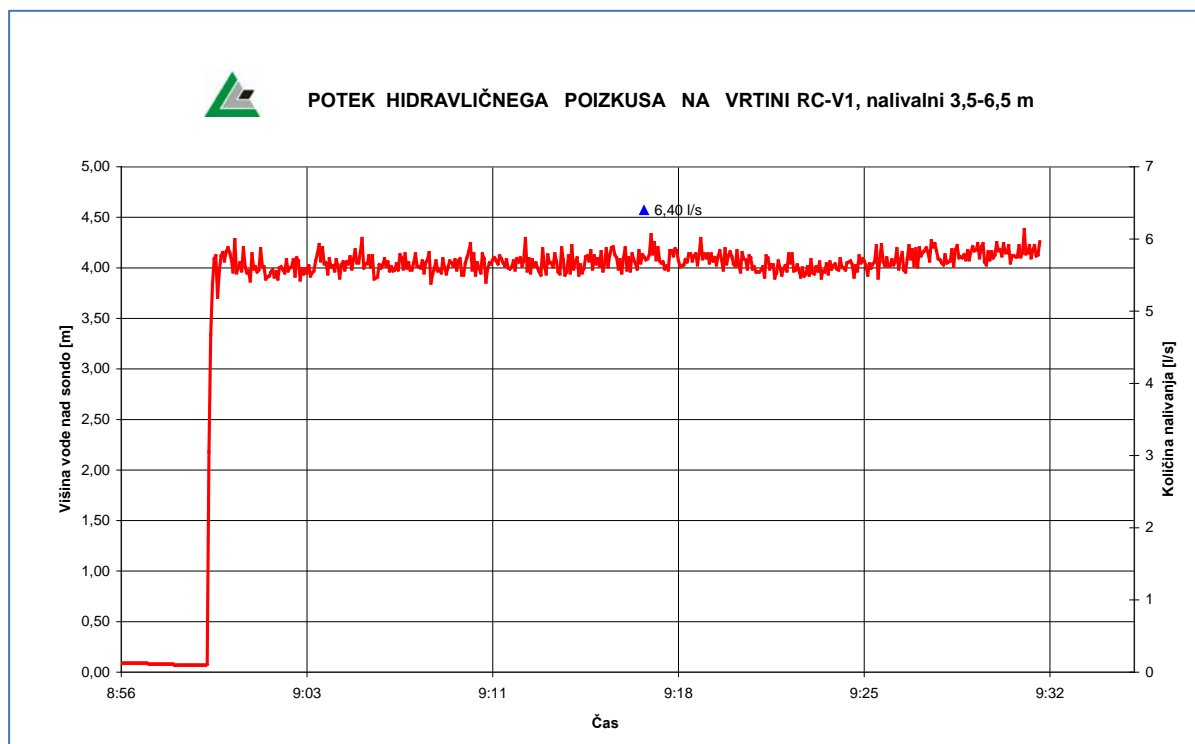
Δs - znižanje nivoja v eni dekadi časa na diagramu s – t v semilogaritemskem merilu [m]

Pri tem smo uporabili korekcijo za znižanje v odprtem vodonosniku in sicer:

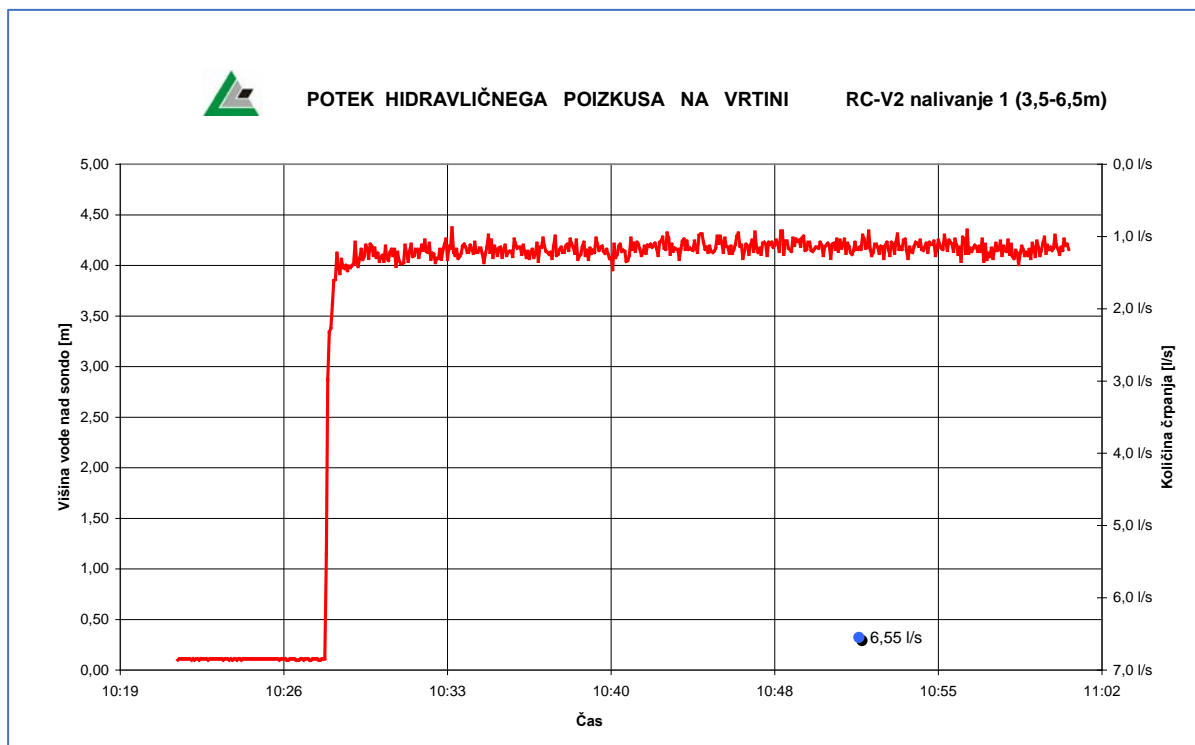
$$s' = s - \frac{s^2}{2D}$$

4.2. Potek nalivalnih poizkusov

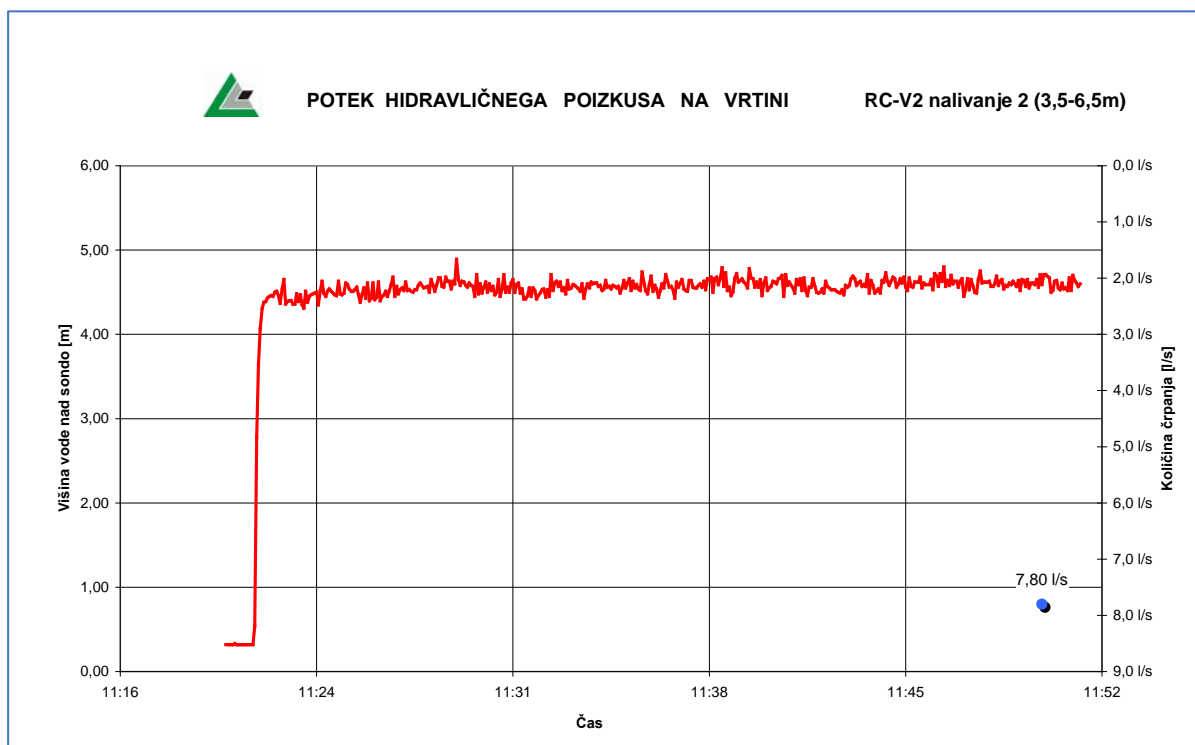
Spodnje slike prikazujejo potek nalivalnih poskusov v vrtinah RC-V1 in RC-V2.



Slika 4 Potek nalivalnega poskusa v vrtini RC-V1, na odseku globine 3,5-6,5 m.



Slika 5 Potek prvega nalivalnega poskusa v vrtini RC-V2, na odseku globine 3,5-6,5 m.



Slika 6 Potek drugega nalivalnega poskusa v vrtini RC-V2, na odseku globine 3,5-6,5 m.



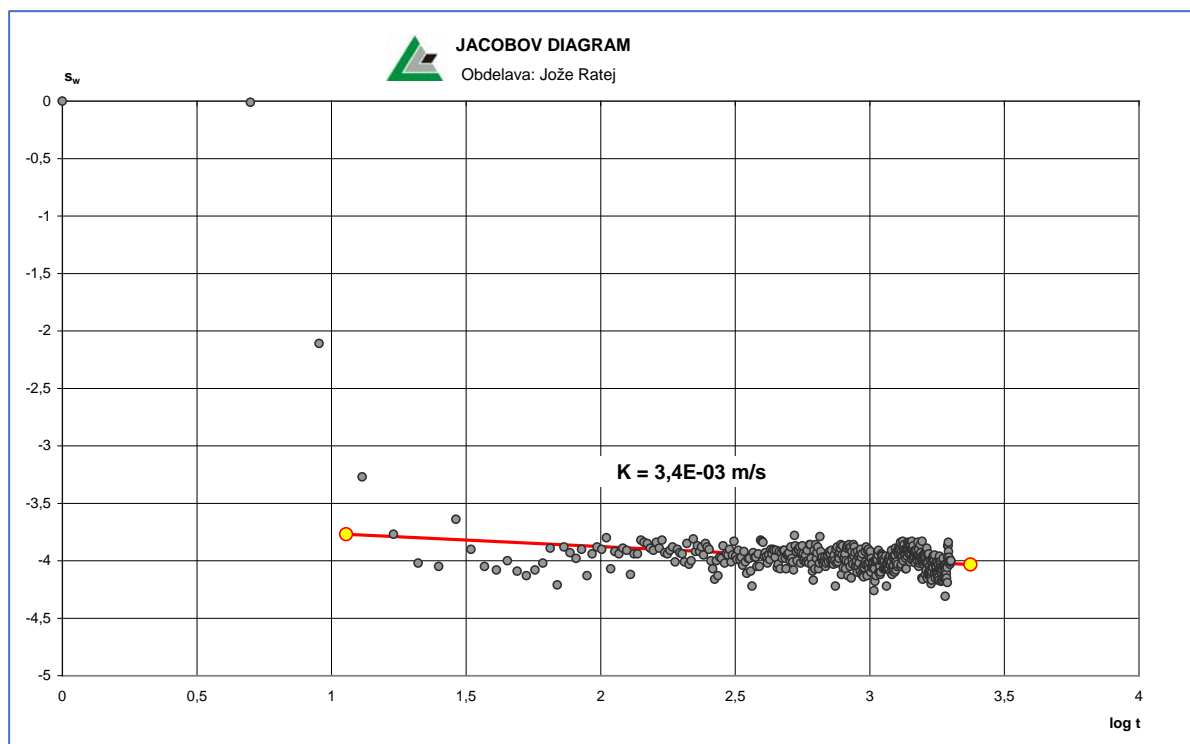
4.3. Rezultati nalivalnih poskusov

Spodnji preglednici podajata koeficiente prepustnosti, ki smo jih izračunali na podlagi izvedenih stacionarnih nalivalnih poizkusov v piezometrih.

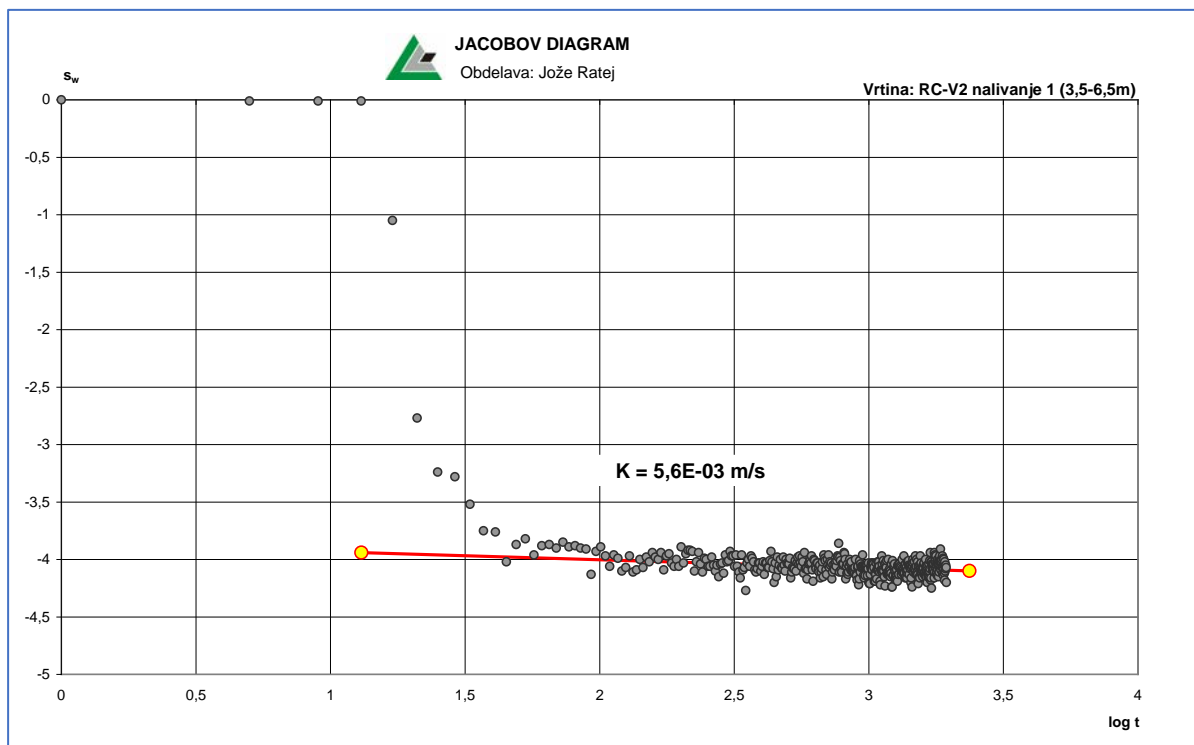
Preglednica 4 Rezultati stacionarnih nalivalnih poizkusov v vrtinah.

VRTINA/TESTIRAN ODSEK	LITOLOGIJA	K_{JACOB} [M/S]	$K_{SREDNJI}$ [M/S]
RC-V1 / 3,5-6,5 m	Peščen prod	$3,6 \times 10^{-3}$	$4,2 \times 10^{-3}$
RC-V2 _1 / 3,5-6,5 m	Peščen prod	$5,6 \times 10^{-3}$	
RC-V2 _2 / 3,5-6,5 m	Peščen prod	$3,4 \times 10^{-3}$	

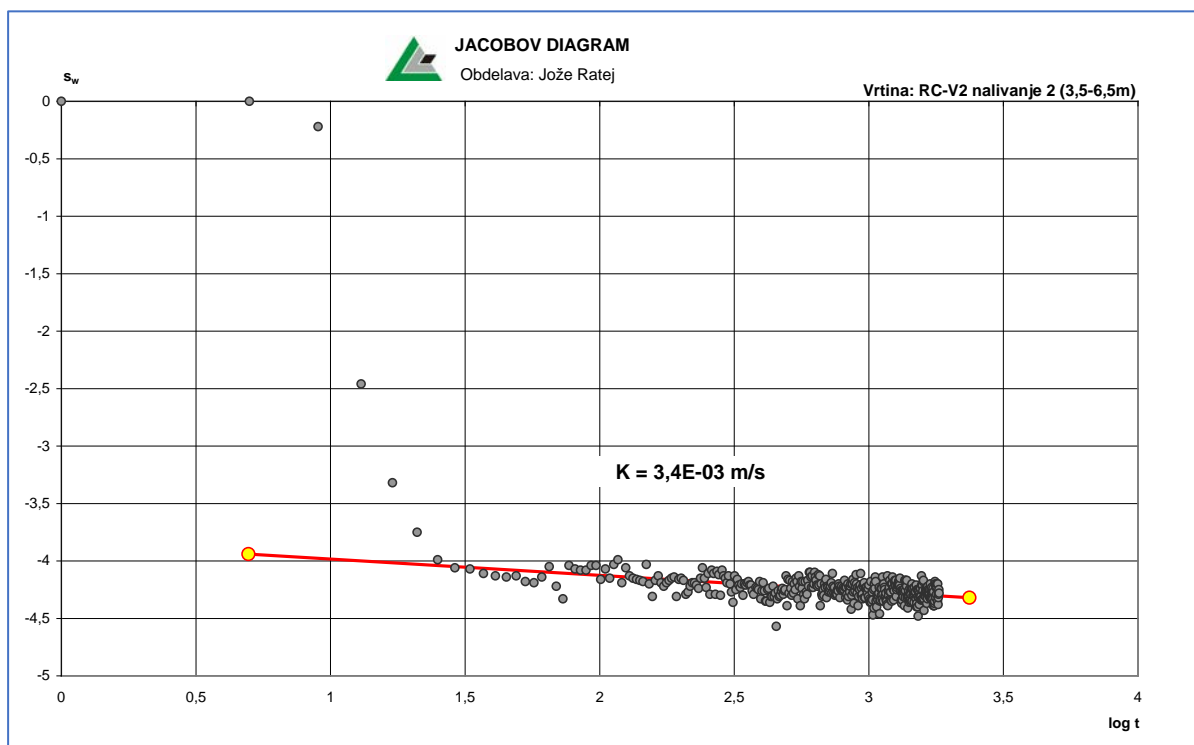
Spodnje slike prikazujejo določitev koeficienta prepustnosti za posamezno vrtino in nalivalni poskus.



Slika 7 Določitev koeficienta prepustnosti za nalivalni poskus v vrtini RC-V1.



Slika 8 Določitev koeficienta prepustnosti za prvi nalivalni poskus v vrtini RC-V2.



Slika 9 Določitev koeficienta prepustnosti za drugi nalivalni poskus v vrtini RC-V2.



Prepustnost nezasičene cone na območju bodoče gradnje in v območju ca. 4 – 5 m nad nivojem podzemne vode lahko ocenimo v rangu med $3,4 \times 10^{-3}$ m/s in $5,6 \times 10^{-3}$ m/s. Razpon prepustnosti v nezasičeni coni je razmeroma majhen zaradi homogene plasti peščenega proda, v katerem se zelo spremenljivo pojavlja glinasta drobna frakcija. Peščeni prod se pojavlja nekako od globine 1 do 10 m. Razmerje med drobno glinasto in peščeno frakcijo se hitro spreminja tako lateralno kot vertikalno.

Rezultati kažejo, da ima nezasičena cona ugodne hidrogeološke lastnosti za umestitev ponikalnic.

Glede na večje količine je možnost minimalnega lokalnega dviga nivoja podzemne vode na sami lokaciji ponikalnice in v njeni bližnji okolici, dolvodno s smerjo toka podzemne vode, proti severu-severovzhodu.

Predlagamo, da se po izdelavi posameznega ponikovalnega vodnjaka ali ponikovalnega polja obvezno izvede test ponikanja.

5. Zaključek

Na območju Roške ceste ob Gruberjevem kanalu sta bili izvrtani dve vrtini za potrebe določitve hidrogeoloških lastnosti nezasičene cone peščeno prodnatega aluvialnega vodonosnika ljubljanskega polja. S tem je bila opredeljena sposobnost nezasičene cone vodonosnika za ponikanje večjih količin meteornih vod, ki bodo odtekale s streh objektov in utrjenih prometnih in funkcionalnih površin ter postavljen temelj za nadaljnje izračune na podlagi projektnih rešitev.

Rezultati opravljenih hidravličnih poizkusov kažejo, da imamo opravka s hidrogeološko heterogeno nezasičeno cono aluvialnega vodonosnika s srednjim koeficientom prepustnosti $4,2 \times 10^{-3}$ m/s ter da je na obravnavanem območju mogoče ponikati določene količine meteornih vod.

V kolikor se izkaže, da bo za ponikanje potrebnih več ponikovalnih objektov, priporočamo, da se glede na ugotovljeno heterogenost vodonosnika gradnja izvaja fazno, pri čemer se odločitev o izvedbi naslednjega objekta sprejme na podlagi skupne sposobnosti ponikanja do takrat izvedenih objektov.

6. Literatura

Pregl, M., Križnič, Al., Ratej, J., Rojšek, M., Galuf, S., Fabjan, T., Ivačič, B. in Peternel, M. 2009: Geomehansko in hidro-geološko poročilo gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani - območje treh akademij. IRGO Consulting d.o.o., ic 468/09, Ljubljana.