



Naročnik: KPL d.o.o.  
Tbilisijska 61  
1000 Ljubljana

Delovni nalog: 82290

# HIDROGEOLOŠKO POROČILO

## ZA LOKACIJO DREVESNICA OB LITIJSKI CESTI

---

Arh.št.:	82290-HG
Datum:	avgust 2022, dopolnjeno maj 2023
Obdelal:	Klemen Kadunec, univ.dipl.inž.geol.
Direktor:	Matjaž Makarovič, univ.dipl.inž.str.

---

		000.0302	S.1	
--	--	----------	-----	--

## KAZALO VSEBINE ELABORATA

1.	UVOD .....	3
2.	NALIVALNI POSKUS.....	3
3.	MOŽNOSTI PONIKANJA.....	6
4.	DIMENZIONIRANJE ODVODNJE .....	6
5.	ZAKLJUČKI.....	8

## 1. UVOD

V hidrogeološkem smislu območje predstavlja medzrnski vodonosnik Ljubljanskega polja, ki ga sestavljajo kvartarni peščeno – prodni nanosi Ljubljanice in Save s pritoki. Vodonosnik je odprt s prostim in zveznim nivojem podtalnice. Obravnavano območje leži izven vodovarstvenih območij za zaščito vodnega telesa Ljubljanskega polja.

Običajna gladina zvezne podzemne vode na območju je na koti med 274 in 275 m, t. j. na globini med 13 in 14 m s sezonskimi nihanji med 2 in 4 m. Višje se lahko ob pasovih in vložkih glin ter zaglinjenega proda pojavljajo občasni viseči sloji podtalne vode.

Generalna smer toka podtalnice je proti vzhodu do severovzhodu. Hidravlični gradient je razmeroma nizek, posledično tudi hitrost toka podzemne vode znaša le do okoli 5 m/dan.

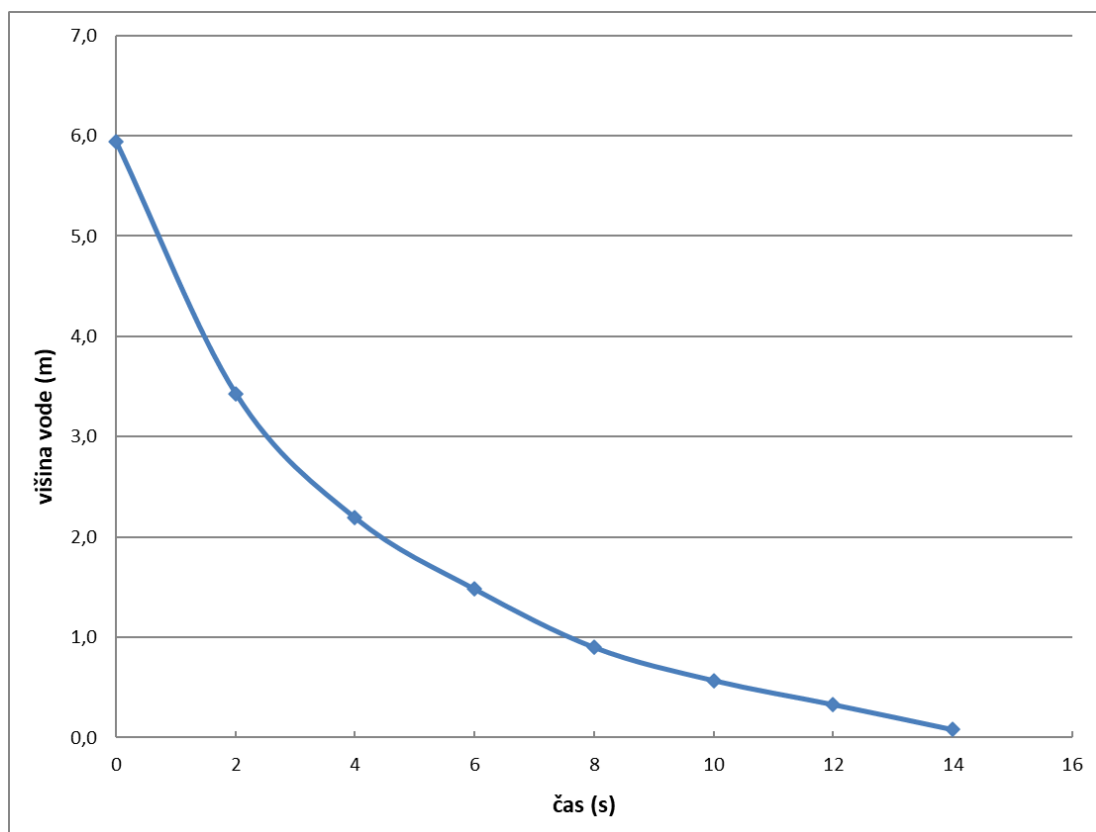
Koeficient prepustnosti peščenega in meljno – peščenega proda v splošnem znašajo med  $10^{-2}$  m/s in  $10^{-4}$  m/s, konglomerata običajno med  $10^{-4}$  in  $10^{-5}$  m/s, v bolj zaglinjenih prodih, melju in glini pa med  $10^{-5}$  in  $10^{-7}$  m/s.

## 2. NALIVALNI POSKUS

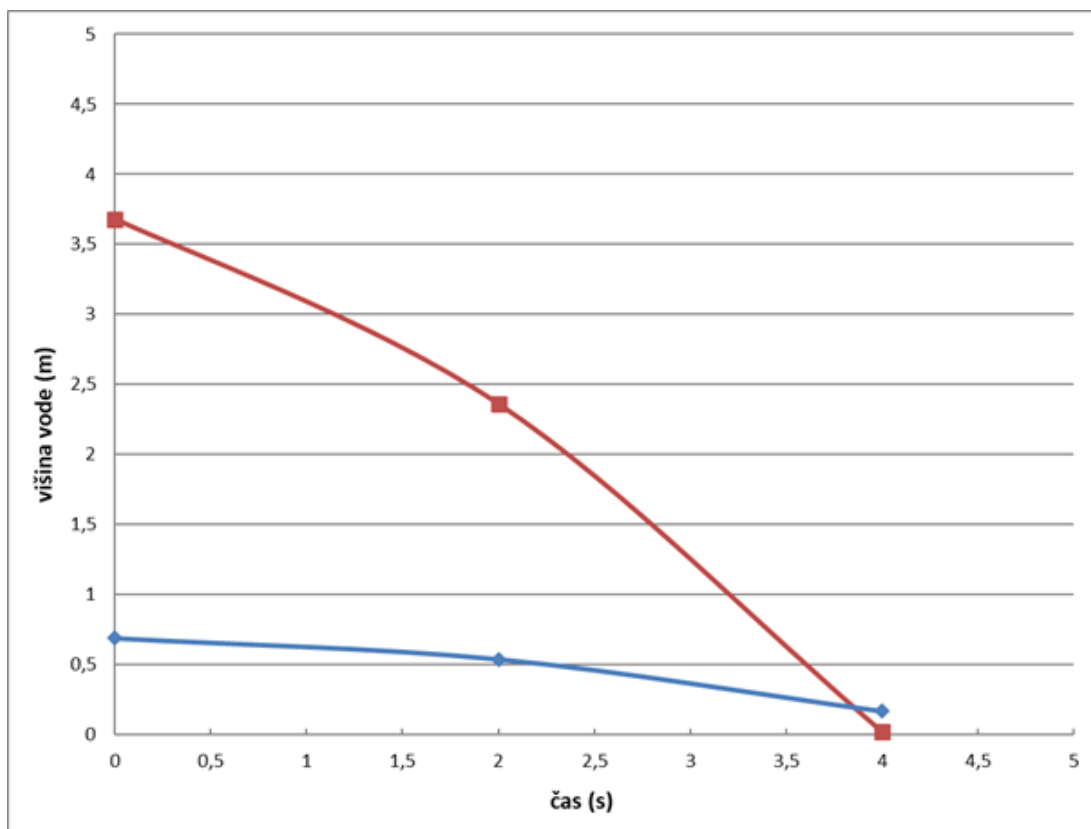
V vrtinah V-1 in V-4 smo izvedli nalivalni poskus, da bi določili koeficient vodoprepustnosti talnih plasti, kar bo nudilo podlago za dimenzioniranje ponikalnih objektov. Test smo izvajali z dovajanjem vode v zacevljeno vrtino, voda pa je odtekala skozi nezacevljeni spodnji del v določeni dolžini ali pa le skozi dno cevitve. S tlačno sondo in registratorjem smo med poskusom beležili višino vode v vrtini.

Vrtina V-1 je med prekinitvijo vrtanja brez perforacije zacevljena do globine 6,0 m, tako da je višina infiltracijskega dela znašala  $L = 0,4$  m. Ob nalivanju s pretokom 6,7 l/s se je voda ob stacionarnem ponikanju ustalila na višini cca. 5,94 m, nato pa smo beležili še nestacionarno ponikanje ob upadu vode po končanem dovajanju vode.

Vrtina V-4 je bila zacevljena do globine 4,0 m, višina infiltracijskega dela je znašala  $L = 0,5$  m. Opazovali smo nestacionarno ponikanje z upadom vode z višine celotno zapolnjene cevi ter stacionarno ponikanje ob različnih pretokih dovajane vode (1,7 – 6,7 l/s) ter nato še upad vode po končanem dovajanju vode z največjim pretokom.



Slika 1. Graf upadanja višine vode v vrtini V-1.



Slika 2. Graf upadanja višine vode v vrtini V-4.

Obdelavo podatkov smo izvedli po metodi Hvorsleva za nestacionarno stanje ponikanja. Ob poenostavljeni predpostavki, da je širina testiranega vodonosnega sloja pod cevovijo neomejena, je koeficient prepustnosti  $k$  enak (ob kriteriju  $L/r \leq 8$ ):

$$k = \frac{r_c^2 \ln\left(\frac{2L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2L}{D}\right)^2}\right) \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}{2L\Delta t}$$

pri čemer je:

$r_c$  ..... notranji radij cevovije,

$D$  ..... premer vrtine pod cevovijo,

$L$  ..... dolžina infiltracijskega dela vrtine pod cevovijo,

$h_1 - h_2$  ..... razlika v višini vode v času  $\Delta t$ .

V nadaljevanju podajamo tabelarni prikaz vhodnih podatkov in rezultata. Privzeli smo interval ponikanja, kjer je v logaritemskem merilu padec višine v času čim bolj linearen.

$r_c$ (m)	$D$ (m)	$L$ (m)	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)	$t$ (s)	$k$ (m/s)	vrtina (globina)
0,066	0,143	0,4	5,94	0,90	8	$3,1 \times 10^{-3}$	V-1 (6,0 - 6,4)
		0,5	3,68	0,02	4	$1,5 \times 10^{-2}$	V-4 (4,0 - 4,5)
		0,5	0,69	0,17	4	$4,0 \times 10^{-3}$	V-4 (4,0 - 4,5)

Izračun za stacionarne pogoje ponikanja ob vzdrževanju nivoja z določenim pretokom dovajanja vode določimo po sledeči enačbi:

$$k = \frac{Q \ln\left(\frac{2L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{2L}{D}\right)^2}\right)}{2\pi Lh}$$

pri čemer je:

$Q$  ..... pretok dovajane vode,

$r$  ..... radij vrtine,

$L$  ..... dolžina infiltracijskega dela vrtine oz. višina prepustnega sloja pod cevovijo,

$h$  ..... višina vzdrževanega nivoja vode.

$D$ (m)	$L$ (m)	$h$ (m)	$Q$ (l/s)	$k$ (m/s)	vrtina (globina)
0,143	0,4	5,94	6,7	$1,1 \times 10^{-3}$	V-1 (6,0 - 6,4)
	0,5	0,3	1,7	$4,8 \times 10^{-3}$	V-4 (4,0 - 4,5)
		0,45	2,5	$4,7 \times 10^{-3}$	
		0,5	5	$8,4 \times 10^{-3}$	
		0,65	6,7	$8,4 \times 10^{-3}$	

### 3. MOŽNOSTI PONIKANJA

Iz rezultatov nalivalnih poskusov sledi, da znaša srednji koeficient vodoprepustnosti talnih slojev:

- $k = 2,1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  na območju vrtine V-1 na globini 6,0 – 6,4 m,
- $k = 7,6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  na območju vrtine V-4 na globini 4,0 – 4,5 m.

Glede na rezultate nalivalnih poskusov in sestavo tal v vrtinah je najprimernejši predel za izvedbo ponikalnih objektov na območju vrtine V-1 in V-3 po celotni globini, na območju vrtine V-2 v globini pod 6 m ter na območju vrtine V-4 v globini pod 4 m.

### 4. DIMENZIONIRANJE ODVODNJE

Za dimenzioniranje ponikovalnih objektov upoštevamo povprečno vrednost vodoprepustnosti, določene pri ponikalnih poskusih:  $k = 4,85 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ . Zaradi varnosti in morebitne zmanjšane prepustnosti filtrnega materiala s časom v izračunih uporabimo varnostni faktor  $F = 2$  in privzamemo vrednost  $k = 2,4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ .

Pri dimenzioniranju meteorne odvodnje smo upoštevali pričakovane vrednosti ekstremnih padavin po Gumbelovi metodi za merilno postajo Ljubljana - Bežigrad (Povratne dobe; ARSO, 2012). Modelirana vrednost za 15 - minutni kritični naliv ( $q_{15}$ ) s povratno dobo 10 let znaša:  $q_{15} = 294 \text{ l/s*ha}$  (26 mm).

V skladu z zmerno optimističnem scenarijem izpustov (RCP4.5) iz *Ocene podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja* (ARSO, 2018) modelirano količino padavin povečamo še za 30%:  $Q_{15} = 382 \text{ l/s*ha}$  (34 mm).

Za izračun predvidene količine meteorne vode smo upoštevali sledeče neprepustne površine:

- površina streh:  $9.948 \text{ m}^2$ ,
- tlakovana površina dovoznih poti in pločnikov:  $4.440 \text{ m}^2$ ,
- skupna površina:  $A = 14.388 \text{ m}^2 = 1,439 \text{ ha}$ .

Skupni pretok meteorne vode, ki ga lahko pričakujemo ob 15 – minutnem kritičnem nalivu določimo z izračunom:  $Q = A \times q_{15} \times \varphi$ , pri čemer je  $\varphi$  odtočni koeficient oz. delež površinskega odtoka, ki za urbane površine običajno znaša 0,95:  $Q = 529 \text{ l/s}$ .

Glede na prostorske omejitve predlagamo izvedbo vertikalnih okroglih ponikovalnih jaškov. Ponikovalno sposobnost jaškov oz. vodnjakov določimo po 2 različnih metodah: po enačbi Lefranca in Dupuita:

$$Q = \frac{2\pi kzh}{\ln(z/r)}$$

$$Q = \frac{2\pi kzh}{2,3 \log \left( \frac{R}{r} \right)}$$

$r$  ..... radij ponikalnice,

$R$  ..... vplivni radij vodnjaka:  $R = 3000h\sqrt{k}$ ,

$z$  ..... višina filtrnega dela ponikalnice,

$h$  ..... višina vodnega stolpca v ponikalnici nad filtri,

Po izračunu Lefranca ob upoštevanju dviga vode do ustaljene višine vode na  $h = 6$  m za ponikanje 529 l/s zadostujejo **4 ponikalnice** z radijem  $r = 0,3$  m in dolžino odseka infiltracije  $z = 4$  m ( $4 \times 140$  l/s).

Po izračunu Dupuita ob enakih pogojih bo za ponikanje potrebnih **6 ponikalnic** z radijem  $r = 0,3$  m ( $6 \times 89$  l/s).

Po priporočilih oz. smernicah naj bi bili ponikovalni vodnjaki od roba objektov oz. temeljev oddaljeni za  $1,5 \times z$ , torej vsaj 6 m. Glede na ta priporočila in izvedbo podkletenih objektov oz. podzemnih garaž ter prostorske omejitve predlagamo izvedbo uvrtenih vodnjakov s ponikanjem v globini pod koto temeljev oz. v **globini med 6 in 10 m**.

Potrebno število ponikalnic je deloma možno zmanjšati:

- s povečanjem premera, tudi zaradi večjega zadrževalne prostornine,
- lahko pa tudi z večjo globino, a glede na razpoložljive podatke ne moremo zanesljivo sklepati, da so globlji sloji enako dobro prepustni.

V primeru širšega izkopa gradbene jame za temelje podkletenih objektov lahko ponikovalni objekt segajo v območje ponovnega zasipa, ki pa bo tako ali tako izveden iz izkopnega materiala. V tem primeru je potrebno v območje infiltracijskega odseka vgraditi material z najmanj podobno sestavo in posledično prepustnostjo, ne pa recimo tudi materiala iz vrhnjih bolj zaglinjenih in slabše prepustnih slojev.

## 5. ZAKLJUČKI

Glede na izvedene izračune sklepamo, da bo na območju OPPN z globokimi vodnjaki možno zagotoviti ponikanje maksimalnih količin meteorne vode s projektiranih prispevnih območij, v kolikor se lahko zagotovi zadosten odmik ob roba temeljev. Za zmanjšanje viškov dotokov je optimalno izvesti tudi zadrževalnike pred ponikanjem. Ob tem bo potrebno redno čistiti usedalnice ponikovalnih vodnjakov ter občasno izvesti čiščenje filtrov.

V Ljubljani, 30. 5. 2023

Obdelal: Klemen Kadunec, univ.dipl.inž.geol.