

Analiza tveganja za onesnaženje podzemne vode pri izvedbi objekta NZCIR Ljubljana

INVESTITOR



Republika
Slovenija

Ministrstvo za obrambo
Vojkova cesta 55
SI- 1000 Ljubljana

SODELUJOČI



IRGO Consulting, d.o.o.
Slovenčeva 93
SI—1000 Ljubljana

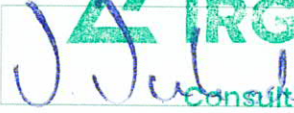
ŠT. PROJEKTA
3032020

VRSTA PROJEKTA
Poročilo

KRAJ IN DATUM
Ljubljana, avgust 2025

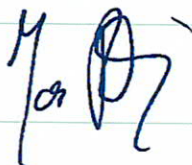
PROJEKTANT ELABORATA

IRGO Consulting, d.o.o.
Slovenčeva 93, SI-1000 Ljubljana
dr. Vladimir Vukadin, univ. dipl. inž. geol.

 **IRGO**
Consulting
d.o.o.

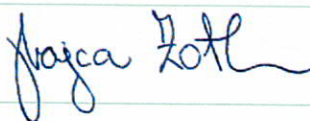
VODJA PROJEKTA

dr. Jože Ratej
univ. dipl. inž. geol.



SODELAVCI

Mojca Zotler
dipl. okolj. tehn.



Patricija Dimec
univ. dipl. inž. geol.



Revizijska izjava

Št. dokumenta: 6083-219/2025-02

Odgovorni revident

Jože Janež, univ. dipl. inž. geol.

Geologija d.o.o. Idrija

Prešernova ulica 2, 5280 Idrija

potrjujem, da je bila opravljena revizija (Geologija d.o.o. Idrija, št. pr. 5949-085/2025-01) naslednje projektne dokumentacije:

„ANALIZA TVEGANJA ZA ONESNAŽENJE PODZEMNE VODE PRI IZVEDBI OBJEKTA NZCIR LJUBLJANA“

Izvajalec: **Irgo consulting d.o.o., Slovenčeva ulica 93, 1000 Ljubljana**

Avtorji: **dr. Jože Ratej, univ. dipl. inž. geol., Mojca Zotler, dipl. okolj. tehn., Patricija Dimec, univ. dipl. inž. geol.**

Št. elaborata: **3032020**

Datum elaborata: **avgust 2025**

s katero se je preverila:

a. mehanska odpornost in stabilnost

/

b. varnost pred požarom

/

c. higienska in zdravstvena zaščita in zaščita okolja

- sprejemljivost tveganja za onesnaženje vodnega telesa podzemne vode

d. varnost pri uporabi

/

e. zaščita pred hrupom

/

(kratek povzetek bistvenih elementov iz revizijskega poročila in opis izpolnjevanja pogojev, za vsako bistveno zahtevo posebej)

Bistvene zahteve, pregledane v elaboratu, bodo pri izvedbi gradnje izpolnjene, če bodo izponjeni še naslednji pogoji

/

Ni dodatnih pogojev.

(navedba pogojev glede izdelave projekta za izvedbo)

Idrija, dne 3. 10. 2025



(Osebni žig, podpis odgovornega revidenta)



Geologija d.o.o. Idrija,
geološke raziskave in projektiranje
Prešernova ulica 2, 5280 Idrija
Tel. 05 37 41 310

info@geologija.si

www.geologija.si

Transakcijski račun:

SI56 0400 1004 8108 109 pri NKBM d.d.

REVIZIJA POROČILA

Analiza tveganja za onesnaženje podzemne vode pri izvedbi objekta NZCIR Ljubljana

Naročnik Irgo consulting d.o.o., Slovenčeva ulica 93, 1000 Ljubljana

Št. poročila 6083-219/2025-01

Izvod /3

Datum 15. 9. 2025

Revident JOŽE JANEŽ, univ. dipl. inž. geol.

Osebni žig



Direktor

Jože Janež, univ. dipl. inž. geol.



Naslov elaborata:	Analiza tveganja za onesnaženje podzemne vode pri izvedbi objekta NZCIR Ljubljana
Izvajalec:	IRGO Consulting d.o.o., Slovenčeva ulica 93, 1000 Ljubljana
Datum izvedbe:	avgust 2025
Številka poročila:	3032020
Avtorji	Dr. Jože Ratej, univ. dipl. inž. geol., Mojca Zotler, dipl. okolj. tehn., Patricija Dimec, univ. dipl. inž. geol.

Vsebina revizije

1.	UVOD	4
2.	OBSEG POROČILA	4
3.	PREGLED VSEBINE IN PRIPOMBE	4
4.	ZAKLJUČNO MNENJE O ELABORATU	5

REVIZIJSKO POROČILO

1. UVOD

Elaborat z naslovom »Analiza tveganja za onesnaženje podzemne vode pri izvedbi objekta NZCIR Ljubljana« je izdelalo podjetje Irgo consulting d.o.o. Revizija je izdelana v skladu z zahtevami *Pravilnika o kriterijih za določitev vodovarstvenih območij* (Ur. l. RS 64/2004, 5/06, 58/11, 15/16).

2. OBSEG POROČILA

Elaborat, ki obsega 44 strani besedila z 17 slikami in 5 tabelami, je sestavljen iz naslednjih poglavij:

- 1 Uvod
- 2 Zakonske osnove
- 3 Geografski položaj in opis območja
- 4 Geološke razmere
- 5 Hidrogeološke razmere
- 6 Vodni viri in vodovarstvena območja
- 7 Opis nameravanega posega
- 8 Zakonske omejitve v obravnavanih vodovarstvenih območjih
- 9 Opredelitev emisij in onesnaževal
- 10 Določitev in opredelitev vrste onesnaževal
- 11 Opredelitev scenarijev razvoja nezgodnih dogodkov
- 12 Opredelitev tveganja za onesnaženje
- 13 Predlog ukrepov za zaščito
- 14 Povzetek in sklepna ocena
- 15 Literatura in viri

3. PREGLED VSEBINE IN PRIPOMBE

V poglavju 1. Projektna izhodišča je podan osnovni opis projekta in izhodišča za izdelavo analize tveganja za severni prizidek bolnišnice dr. Petra Držaja (novi trakt) v Ljubljani, etažnosti 3K + P +4N. Lokacija se nahaja v širšem vodovarstvenem območju VVO III A vodonosnika Ljubljanskega polja.

V poglavju 2. Zakonske osnove so navedeni relevantni zakonski predpisi in pogoji Uredbe o vodovarstvenem območja.

V poglavju 3. Geografski položaj in opis območja so opisane geografske razmere lokacije.

V poglavju 4. Geološke razmere je podan opis geoloških razmer na podlagi izvedenih geološko geomehanskih raziskav.

V poglavju 5. Hidrogeološke razmere so opisani podatki o hidrogeološki sestavi, prepustnosti, nivojih podzemne vode, prikazan je hidrogeološki profil, opisana spodnji in zgornji vodonosnik, slednji z visečo podzemno vodo, opisano je vodno telo podzemne vode s kemijskim in količinskim stanjem.

V poglavju 6. Vodni viri in vodovarstvena območja je prikazano črpališče Hrastje z oceno naravnega zaledja in obremenjenosti vodnega vira.

V poglavju 7 je podan opis nameravanega posega. Pri koti terena 303 m bo za potrebe treh kleti potreben poseg do globine ca 18 m. Gradbeno jamo se bo varovalo z uvrtnimi AB piloti, da se prepreči dotok vode v gradbeno jamo.

V poglavju 8 so zapisane zakonske omejitve, ki veljajo po Uredbi o vodovarstvenem območju. Izkopi na gradbišču so dovoljeni nad srednjo gladino podzemne vode oz. do zmanjšanja transmisivnosti do 10%.

V poglavju 9. Opredelitev emisij in onesnaževal je najprej poudarjeno, da se na obravnavani lokaciji nahaja samo zgornji viseči vodonosnik, medtem ko na spodnji vodonosnik gradbena jama ne bo imela neposrednega vpliva. Ocenjeno je, da je transmisivnost visečega vodonosnika manj kot 1% spodnjega vodonosnika. Zaradi prelivanja vode ne more priti do vpliva na vodno bilanco spodnjega vodonosnika. V nadaljevanju je opisana mobilnost onesnaževal (mineralna olja, težke kovine, PAH).

V poglavju 10. Določitev in opredelitev vrste onesnaževal so določena onesnaževala, ki so posledica delovanja gradbene mehanizacije (mineralna olja, PAH, težke kovine). Opisani so mehanizmi razlitja in sprostitve onesnaževal, opisana toksičnost diesel goriva in neosvinčenega motornega bencina, njihova mobilnost in kemijske lastnosti.

V poglavju 11 so opredeljeni scenariji razvoja nezgodnih dogodkov v času gradnje (razlitje 400 l goriva, 200 l doseže podzemno vodo) in v času obratovanja, ko je predvideno razlitje 150 l goriva.

V poglavju 12. Opredelitev tveganja za onesnaženje je izračunana relativna občutljivost na vodnem viru Hrastje, ki je oddaljen 5743 m zračne linije. Onesnaženje bi doseglo vodni vir po 6 letih, maksimalna koncentracija pa po 9 letih. Relativna občutljivost je presežena pri razlitju 135 kg onesnaževala.

V poglavju 13 so navedeni ukrepi za zaščito podzemne vode med gradnjo in obratovanjem.

V poglavju 14 sta podana povzetek elaborata in sklepna ocena. Geološke raziskave so pokazale, da se lokacija nahaja na robu vodonosnika Ljubljanskega polja. Območje, ki ima nadmorsko višino 303 m, gradijo slabo prepustni zaglinjeni prodi na neprepustni podlagi permokarbonskega skrilavca, ki je na globini 11,5 m. Podzemna voda je na globini 7 m (ca 296 m nmv). Poseg, ki bo segal 18 m globoko, bo zgornji viseči vodonosnik presekala v celoti, transmisivnost na mestu gradnje se bo zmanjšala za 100%. Vodovarstvena uredba za območje VVO III dovoljuje poseg samo do srednje gladine podzemne vode in se do podobnim mejnim primerom ne opredeljuje. Vendar gradnja ne bo imela vpliva na bilanco, transmisivnost ali kakovost spodnjega vodonosnika, kjer je podzemna voda na koti 275 m in se izkorišča za vodooskrbo. Zato je celoten poseg, ob upoštevanju drugih varstvenih ukrepov, opredeljen kot sprejemljiv.

V poglavju 15 so navedeni viri za izdelavo analize tveganja.

4. ZAKLJUČNO MNENJE O ELABORATU

Elaborata obsega vsebine, ki so za analizo tveganja predpisane v Pravilniku o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Uradni list RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16).

Stanje prostora je opisano in interpretirano ustrezno.

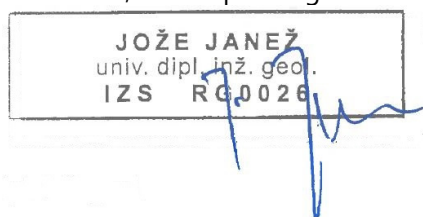
Opis projekta je povzet po projektni dokumentaciji. *Tukaj je, poleg gradbene konstrukcije objekta, potrebno dodati tudi opis dejavnosti, ki se bodo izvajale v objektu, zato, da se v nadaljevanju (v poglavjih 9 in 10) prikažejo tudi morebitna onesnaževala, ki bodo izvirala iz zdravstvene dejavnosti in v poglavju 13 preverijo tudi zaščitni ukrepi za varovanje podzemne vode zaradi potencialnih emisij iz zdravstvene oz. bolnišnične dejavnosti.*

V poglavju 13.1 Ukrepi za omilitev vplivov v času gradnje, naj se izbriše 4 alineja na str. 41, saj se ne nanaša na ukrepe v času gradnje.

Opredeliti se je potrebno, ali je monitoring podzemne vode za obravnavani objekt potreben ali ne.

Strinjam se s hidrogeološko interpretacijo, da bo gradnja posegla samo v zgornji viseči in slabo prepustni vodonosnik in ne bo imela vpliva na spodnji, glavni vodonosnik Ljubljanskega polja in na vodni vir Hrastje. Če pa beremo Uredbo o vodovarstvenem območju čisto formalno, potem poseg ne bi bil mogoč, saj se bo transmisivnost na mestu gradnje zmanjšala za več od dovoljenih 10%. Ker se enak problem stalno ponavlja na različnih lokacijah, menim, da bi vodovarstvena uredba tukaj potrebovala dopolnilo ali vsaj pojasnilo.

Jože Janež, univ. dipl. inž. geol.





Kazalo elaborata:

1. Uvod	6
2. Zakonske osnove.....	7
3. Geografski položaj in opis območja	8
4. Geološke razmere	9
5. Hidrogeološke razmere	11
5.1. Nivoji podzemne vode	13
5.2. Vodno telo podzemne vode.....	18
5.2.1. Kemijsko stanje vodnega telesa.....	18
5.2.2. Količinsko stanje vodnega telesa	19
6. Vodni viri in vodovarstvena območja	19
6.1. Obstoječa vodovarstvena območja.....	19
6.2. Črpališče Hrastje	19
6.3. Ocena obstoječega stanja kot zbirni pregled obremenjenosti vodnega vira in naravnega ozadja.....	21
6.4. Ocena naravnega zaledja	22
6.5. Ocena obremenjenost vodnega vira	22
7. Opis nameravanega posega.....	24
8. Zakonske omejitve v obravnavanih vodovarstvenih območjih.....	26
9. Opredelitev emisij in onesnaževal	27
9.1. Interakcija med objektom in vodnim virom	27
9.2. Vpliv na količinsko stanje, sprememba transmisivnosti.....	27
9.3. Mobilnost onesnaževal.....	28
10. Določitev in opredelitev vrste onesnaževal	29
10.1. Opis ogroženosti vodnega vira zaradi posega	29
10.2. Opredelitev mehanizma razlitja in/ali sprostitve onesnaževal.....	31
10.3. Interakcija onesnaževala in okolja.....	31
10.4. Toksičnosti onesnaževala	32
10.5. Mobilnosti onesnaževala.....	32
10.6. Kemijske lastnosti in količine onesnaževal	33
11. Opredelitev scenarijev razvoja nezgodnih dogodkov	34
11.1. Scenariji razvoja dogodkov v času gradnje	34
11.1.1. Normalni scenarij v času gradnje	34
11.1.2. Alternativni scenarij v času gradnje	35
11.1.3. Scenarij najslabše možnosti (črni scenarij) v času gradnje	35

11.2. Scenariji razvoja dogodkov v času obratovanja	35
11.2.1. Normalni scenarij v času obratovanja	35
11.2.2. Alternativni scenarij v času obratovanja	36
11.2.3. Scenarij najslabše možnosti v času obratovanja	36
12. Opredelitev tveganja za onesnaženje	37
12.1. Izračun relativne občutljivosti	37
12.2. Ocena širjenja onesnaževal skozi nezasičeno cono	37
12.3. Relativna občutljivost in ocena spremembe parametrov, ki so predmet analize tveganja	38
12.4. Rezultati izračunov relativne občutljivosti	39
13. Predlog ukrepov za zaščito	42
13.1. Ukrepi za omilitev vplivov v času gradnje	42
13.2. Ukrepi za omilitev vplivov v času obratovanja	43
14. Povzetek in sklepna ocena	44
15. Literatura in viri	45

Slike:

Slika 1: Situacija obravnavanega posega	6
Slika 2: Širše obravnavano območje, rdeča pika označuje predvideno območje gradnje	8
Slika 3: Geološka sestava tal območja gradnje (Vir: Grad, K., Ferjančič, L., 1968: Osnovna geološka karta Republike Slovenije, list Kranj, 1:100 000. zvezni geološki zavod Beograd).	9
Slika 4: Hidrogeološka karta širšega območja posega.	11
Slika 5: Umestitev razpoložljivih vrtin na ožjem območju obravnavanega posega	13
Slika 6: Meritve nivojev podzemne vode v piezometrih na območju predvidenega objekta.	14
Slika 7: Meritve nivojev podzemne vode v piezometrih na območju Ljubljanskega polja (ARSO) v celotnem obdobju merjenja.	15
Slika 8: Hidrogeološki profil v smeri jug-sever (od Šišenskega hriba do Litostrojske ceste) skozi območje predvidenega posega. Vodonosnik Ljubljanskega polja, zaščiten z Uredbo, je na profilu prikazan na desni strani profila. Na območju predvidenega objekta NZICR Ljubljana pa se nahaja le zgornji vodnosnik oz. viseča voda nad vmesnimi glinenimi plastmi.	16
Slika 9: Hidroizohipse srednjega nivoja podzemne vode v spodnjem vodonosniku. Območje predvidenega posega prikazuje rumen pravokotnik.	17
Slika 10: Hidroizohipse srednjega nivoja podzemne vode v zgornjem vodonosniku. Območje predvidenega posega prikazuje rumen pravokotnik.	18
Slika 11: Situacija vodnega vira in vodovarstvenih območij glede na lokacijo predvidenega posega (označeno z rdečim krogom).	20
Slika 12: Predvidena lokacija izgradnje novega objekta glede na obstoječi objekt.	24
Slika 13: Profil predvidenega objekta (prerez sever-jug)	25
Slika 14: Območje, na katero ovira v toku podzemne vode v visečem vodonosniku vpliva za več kot 10 cm. Najvišji vpliv znaša 20 cm neposredno dolvodno od objekta (povzeto po Priloga 1).	27
Slika 15: Razvoj koncentracije mineralnih olj v vodarni Hrastje ob razvoju alternativnega scenarija dogodkov v času gradnje.	40

Slika 16: Razvoj koncentracije mineralnih olj v vodarni Hrastje ob razvoju črnega scenarija dogodkov med gradnjo.....	41
Slika 17: Razvoj koncentracije mineralnih olj v vodarni Hrastje ob razvoju alternativnega scenarija dogodkov v času obratovanja.....	41
Slika 18: Razvoj koncentracije mineralnih olj v vodarni Hrastje ob razvoju črnega scenarija dogodkov med obratovanjem.	42

Tabele:

Tabela 1: Zbirna tabela izvedenih hidravličnih poizkusov.....	12
Tabela 2: Statistična obdelava nivojev podzemne vode ter globin do podzemne vode (GPV) v piezometrih na območju Ljubljanskega polja.	14
Tabela 3: Črpane količine vode iz vodnjakov vodarne Hrastje.	21
Tabela 4: Možna onesnaževala med gradnjo in obratovanjem ter dopustne vrednosti relativne občutljivosti glede na Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Uradni list RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16).....	30
Tabela 5: Količine potencialnih onesnaževal v rabi v času gradnje in obratovanja.	34

Priloge:

Priloga 1: Hidrogeološki model: Numerična analiza toka vode okrog objekta NZCIR Ljubljana zaradi zmanjšanja transmisivnosti vodonosnika ter numerična analiza zajema podzemne vode za potrebe toplotne črpalke (IRGO, št.poročila 3032199)

2. Zakonske osnove

Analiza tveganja je bila izvedena v skladu z naslednjimi zakoni in podzakonskimi akti:

- Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 44/22, 18/23 – ZDU-10, 78/23 – ZUNPEOVE, 23/24 in 21/25 – ZOPVOOV),
- Zakon o vodah (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdrI-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15, 65/20, 35/23 – odl. US, 78/23 – ZUNPEOVE in 52/24 – odl. US),
- Uredba o stanju podzemnih voda (Uradni list RS, št. 25/09, 68/12, 66/16 in 44/22 – ZVO-2),
- Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Uradni list RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16).
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja (Uradni list RS, št. 43/15, 181/21, 60/22 in 35/23 – odl. US)

Predvideno območje gradnje se nahaja na širšem vodovarstvenem območju z oznako VVO III A, kar pomeni podobmočje z milejšim vodovarstvenim režimom. Pogoje posega na tem območju določa *Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja (Uradni list RS, št. 43/15, 181/21, 60/22 in 35/23 – odl. US)*, kjer prepovedi, omejitve in podrobnejše pogoje za gradnjo določa Priloga 3 omenjene Uredbe.

Glede na omejitve Uredbe so na širšem vodovarstvenem območju Ljubljanskega polja izkopi na gradbišču dovoljeni le nad srednjo gladino podzemne vode. Če se transmisivnost vodonosnika na mestu gradnje ne zmanjša za več kakor 10 %, je gradnja izjemoma dovoljena tudi globlje, ob pogoju, da se izvede analiza tveganja za količinsko in kakovostno stanje podzemne vode. Če je med gradnjo ali obratovanjem treba drenirati ali črpati podzemno vodo, je za to treba pridobiti vodno soglasje.

Srednja gladina ali nivo podzemne vode je srednja vrednost v nizu meritev med najvišjo in najnižjo izmerjeno gladino ali nivojem podzemne vode. Kot niz meritev gladine podzemne vode se upoštevajo podatki monitoringa podzemne vode na vodovarstvenem območju, ki ga vodi Agencija RS za okolje ali podatki meritev gladine podzemne vode, ki jih izvaja upravljavec vodnega vira na podlagi zahtev, predpisanih v vodnem dovoljenju za izvajanje monitoringa podzemne vode, ali podatki meritev s samodejnimi merilci nivojev podzemne vode ali najmanj dvakrat mesečnih ročnih meritev gladine podzemne vode na vodovarstvenem območju, v obdobju najmanj dveh hidroloških ciklusov (dve leti opazovanj), ki jih na območju predvidenega posega izvaja investitor.

Glede na predvideno globino izkopa, ki znaša približno 283,95 m n. v., ter izmerjen nivo podzemne vode na koti 296,2 m n. v., se bo transmisivnost vodonosnika z ocenjeno debelino 4,6 m na območju posega zmanjšala za 100 %. Zato je potrebno izvesti analizo tveganja za vpliv gradnje na transmisivnost vodonosnika z vključitvijo tudi ostalih že zgrajenih objektov v okolici obravnavanega območja.

V postopku izdaje vodnega soglasja za gradnjo morajo biti preverjeni vplivi na vodni režim in stanje vodnega telesa ter izdano vodno soglasje.

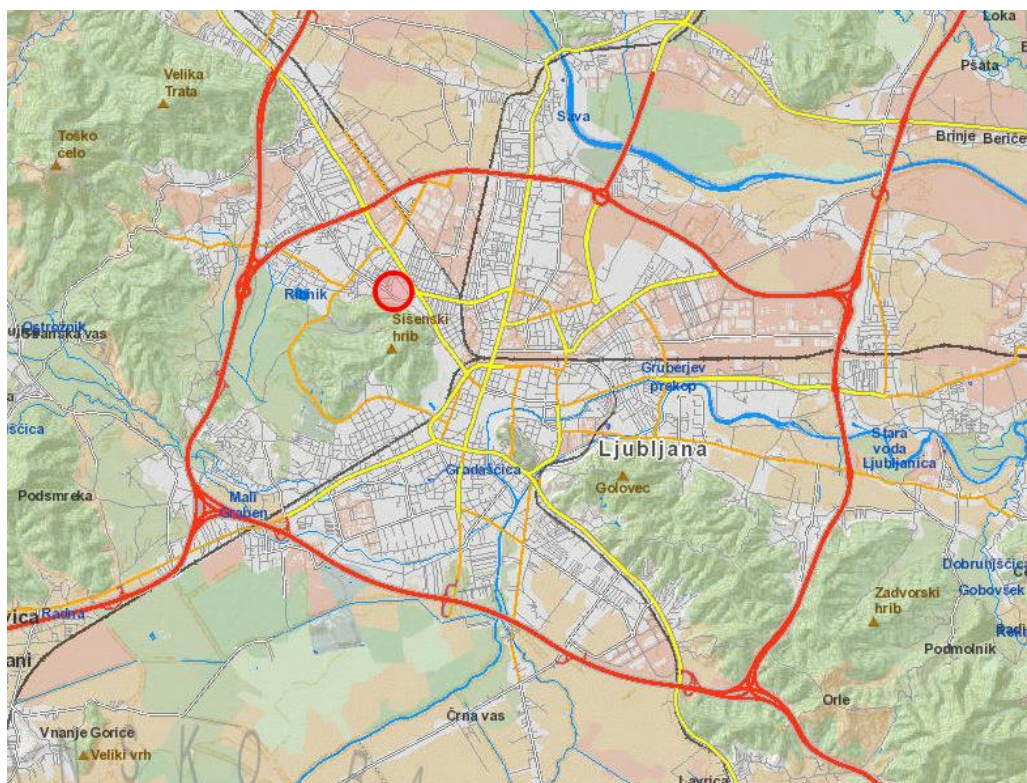
3. Geografski položaj in opis območja

Poseg je umeščen v urbano okolje mesta Ljubljane, v naselje Šiška, na območju parcele št. 654/1, k.o. 1739 – Zgornja Šiška.

Obravnavano območje gradnje se nahaja na območju parkirišča ob obstoječi bolnici Petra Držaja na južni strani. Območje z vzhodne in zahodne strani meji na stanovanjske objekte, na severni strani na poslovne objekte. Območje obdelave je trenutno v funkciji asfaltiranih parkirišč in zatravljenih površin med parkirišči. Na zatravljenih površinah se nahajajo posamezna drevesa.

Obravnavano območje se nahaja na zahodnem do jugozahodnem robu Ljubljanskega polja. Ožje raziskovalno območje se nahaja na pretežno ravnem terenu, ki se počasi spušča od jugozahoda proti severovzhodu oz. od juga proti severu. Naklon terena je minimalen, tako je na najvišjem delu območja nadmorska višina terena 303 m n. v., medtem ko je najnižja točka na jugu, in sicer 302 m n. v.

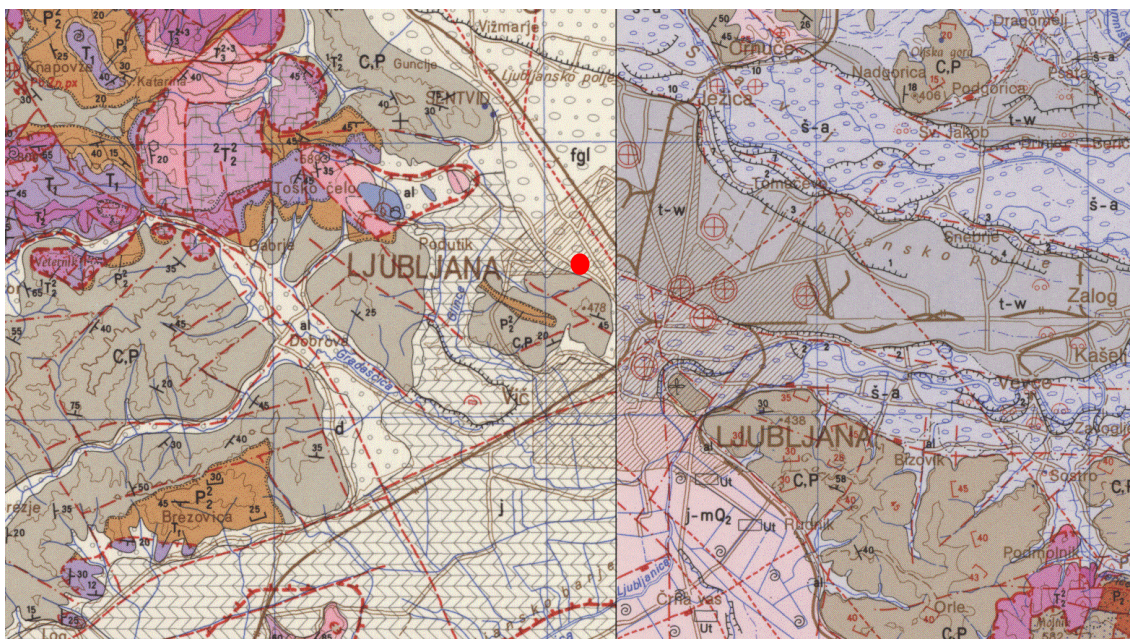
Naklon ožjega raziskovalnega območja sledi naklonu širšega raziskovalnega območja. Širše raziskovalno območje na jugu, jugozahodu in zahodu vključuje 429 m visok Šišenski hrib, 100 do 250 m oddaljeno vznožje Šišenskega hriba (najbližja distanca) in ravnino med Šišenskim hribom ter bodočo gradbeno jamo. To je v bistvu območje, ki vpliva na hidrogeološke razmere bodočega delovišča. Severno in vzhodno od bodoče gradbene jame, pa se teren počasi spušča proti "središču" Ljubljanskega polja z naklonom cca. 2‰.



Slika 2: Širše obravnavano območje, rdeča pika označuje predvideno območje gradnje

Proučevano območje leži na visoki savski terasi in je sestavljeno iz kvartarih sedimentov. V podlagi teh sedimentov ležijo permio – karbonske plasti, ki na celotnem območju tvorijo bazo kvartarnim sedimentom.

Skladno z Osnovno geološko karto Slovenije v merilu 1:100 000 (OGK100), list Ljubljana, se obravnavano območje nahaja na meji med območji, kjer se v splošnem v tleh pojavljajo prodni zasipi – prod, pesek (fgl na sliki) ter glinasti skrilavec (permokarbon, C,P na sliki).



Slika 3: Geološka sestava tal območja gradnje (Vir: Grad, K., Ferjančič, L., 1968: Osnovna geološka karta Republike Slovenije, list Kranj, 1:100 000. zvezni geološki zavod Beograd).

Na osnovi izvedenih geološko-geomehanskih raziskav lahko temeljna tla na obravnavani lokaciji razdelimo na sledeče karakteristične sloje:

- | | | |
|--------------|---|--|
| (IG0) | UN:
GW/GC/GP/CL | <p>pod površjem terena se na območju parkirišč nahaja od 1,0 m do 2,1 m utrjeno umetno nasutje iz slabo graduiranega proda in grušča z glino in peskom ter kosi opeke, svetlo rjave do rjave barve ter kamniti drobljenec in prodnata pusta glina s kosi opeke, rjavo sive do sive barve. Na območju zatravljenih površin se do globine 1,2 m pojavlja sloj glinastega proda in grušča, rjave barve, ki ga zaradi relativne primerljivosti uvrščamo v enoto IG0.</p> |
| (IG1) | GW/GW-GM/
GP/GP-GM/
GC/GC-GM | <p>Od sloja IG0 do globine največ 7 m pod koto terena se na celotnem območju obdelave pojavlja sloj gostega do zelo gostega dobro in slabo graduiranega proda s peskom ali peskom in meljem do meljasto glinastega proda s peskom, sive do sivo rjave barve.</p> |

- (IG2) GC/GP-GC/
GM/SC/CH/CL** Od sloja IG1 naprej se v tleh pojavlja sloj srednje gostega glinastega proda s peskom, slabo graduiranega proda z glino in peskom, meljastega proda s peskom in glinastega peska s prodrom, sive do sivo rjave barve. Sloj se na območju obdelave pojavlja do globine največ 11,8 m. Podrejeno se v sloju pojavlja do 1,2 m debela plast lahkognetne puste in mastne gline s prodrom, sivo rjave barve.
- (IG3) prepereli
permokarbonski
peščeni glinavec
C,P** Pod slojem IG2 smo na globini cca. 11,5 m dosegli preperelo podlago iz permokarbonskega peščenega skrilavca rjave do sive barve.

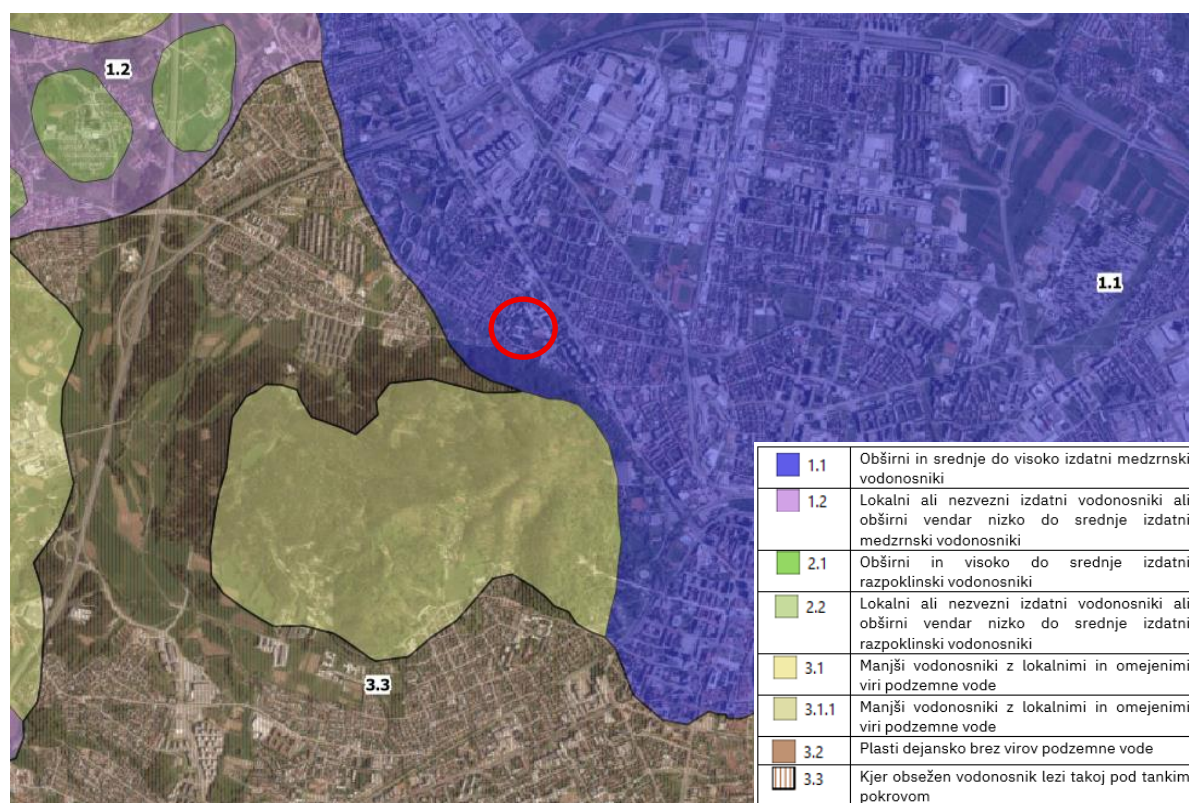
Debelina kvartarnih plasti proti severu, severo zahodu in severo vzhodu narašča oz. permokarbonska podlaga tone. Permo – karbonska podlaga je na območju bodoče gradbene jame na na globini ca 11, 5 oz. na koti 291, 5 m n.v.

5. Hidrogeološke razmere

Načrtovan poseg je umeščen na rob Ljubljanske kotline, kjer so zaradi proluvialnih in deluvialnih nanosov, hitro toneče permo – karbonske podlage ter nepoznavanja pogojev napajanja podzemne vode iz Šišenskega hriba hidrogeološke razmere dokaj zapletene.

Širše območje se sestavljajo kvartarne naplavinah, ki zapolnjujejo tektonsko pogojeno Ljubljansko kotlino. Spodnji del kvartarnega zasipa sestavljajo pretežno prodno-peščeni nanosi rek, vrhnji del pa predstavljajo nanosi potočnega materiala iz obronkov (ostanki vršajev) ter peski, meljasti peski, melj in meljaste gline, ki predstavljajo poplavni sediment ali pa celo zasip ostanka meandra reke Save. Jezerski sedimenti (gline) so zastopani na celotnem ožjem raziskovanem območju, vendar proti vzhodu izginjajo. Na območju obdelave pa se predkvartarna podlaga nahaja na koti med 291 m n. v. in 292 m n. v. (oz. 11,0 in 12 m), globina do podlage narašča z oddaljenostjo od Šišenskega hriba.

Poseg se nahaja v območju vodonosnika Ljubljanskega barja, kot podsistemu vodnega telesa s št. 1001. Na hidrogeološki karti je vodonosnik označen kot obširni in srednje do visoko izdatni medzrnski vodonosnik (tip IAH 1.1).



Slika 4: Hidrogeološka karta širšega območja posega.

Najprepustnejši so prodi s peskom in meljem. Koeficient prepustnosti (K) teh plasti je približno $3,0E-03$ m/s. Več ko je meljnate primesi, manj so ti prodi prepustni. Proluvialni in deluvialni sedimenti, kot so npr. zaglinjeni prod, prodnata glina in zaglinjen grušč imajo koeficient prepustnosti reda $2,0E-05$ m/s in so za vodo slabo prepustni do neprepustni.

V ožjem območju so bili v vrtinah V-1, V-3P in V-2P izvedeni hidravlični testi, katerih rezultate podaja spodnja tabela.

Tabela 1: Zbirna tabela izvedenih hidravličnih poizkusov.

VRTINA/TESTIRAN ODSEK	POIZKUS	K_{JACOB} [M/S]	K_{THEIS} [M/S]	$K_{SREDNJI}$ [M/S]	PREVLADUJOČA LITOLOGIJA
V-1 (4,0-6,6m)	nalivalni	5,5E-03	1,9E-03	3,2E-03	slabo do dobro graduiran prod z meljem in peskom
V-3P (5,4-8,0m)	nalivalni	3,3E-03	7,8E-04	1,6E-03	slabo graduiran prod z meljem in peskom
V-2P (7,0-10,8m)	črpalni	1,4E-05	1,1E-05	1,2E-05	glinast prod s peskom, podrejeno prodnata pusta glina
V-3P (6,8-10,9m)	črpalni	3,0E-05	2,6E-05	2,8E-05	slabo graduiran prod z meljem in peskom, podrejeno mastna glina s prodom

Plast dobro in slabo graduiranega proda s peskom ter slabo graduiranega proda z meljem in peskom do glinastega proda (IG1) do globine 7,0 m je dobro vodoprepustna. Koeficient prepustnosti vodonosnika znaša okoli 2,0E-03 m/s.

Do globine 6,4 m se nahaja plast srednje gostega glinastega proda s peskom, slabo graduiranega proda z glino in peskom, meljastega proda s peskom in glinastega peska s prodom, (IG2), ki je srednje prepustna. Vodonosnik se napaja s padavinami in površinskih dotokov s strani Šišenskega hriba. Koeficient prepustnosti vodonosnika znaša okoli 1,0E-05 m/s. Temperatura vode v vodonosniku je okoli 12,7 °C.

Permokarbonske klastične kamnine, ki jih predstavljajo permokarbonski skrilavi glinavci, ki sestavljajo pretežni del Šišenskega hriba in kvartarne podlage, so v večini primerov neprepustni, $K < 1,0E-07$. Predvsem za skrilave glinavce je značilno, da so to neprepustne kamnine, če seveda niso tektonsko porušene.

Napajanje podzemne vode poteka pretežno iz zaledja in poniklih padavin. Kakšni so dotoki iz zaledja ni znano. Prav tako niso znani podatki o vplivu Šišenskega hriba. Tako ob stiku peščenjaka z neprepustno podlago, ki jo tvori skrilavi glinavec, na severnem pobočju hriba prihaja do izlivnih izvirov, ki imajo pretok skozi celotno leto. Takšnih izvirov je sorazmerno malo. Večina izvirov je t.i. preperinskih izvirov, ki jih tvori tok na stiku preperine in matične permo – karbonske kamnine. Ti izviri ob sušnem obdobju presahnejo. Zaradi urbanega okolja je večina izvirov zajetih in speljanih v kanalizacijo. Prav tako je na določenih mestih pod hribom drenaža, ki drenira meteorno vodo.

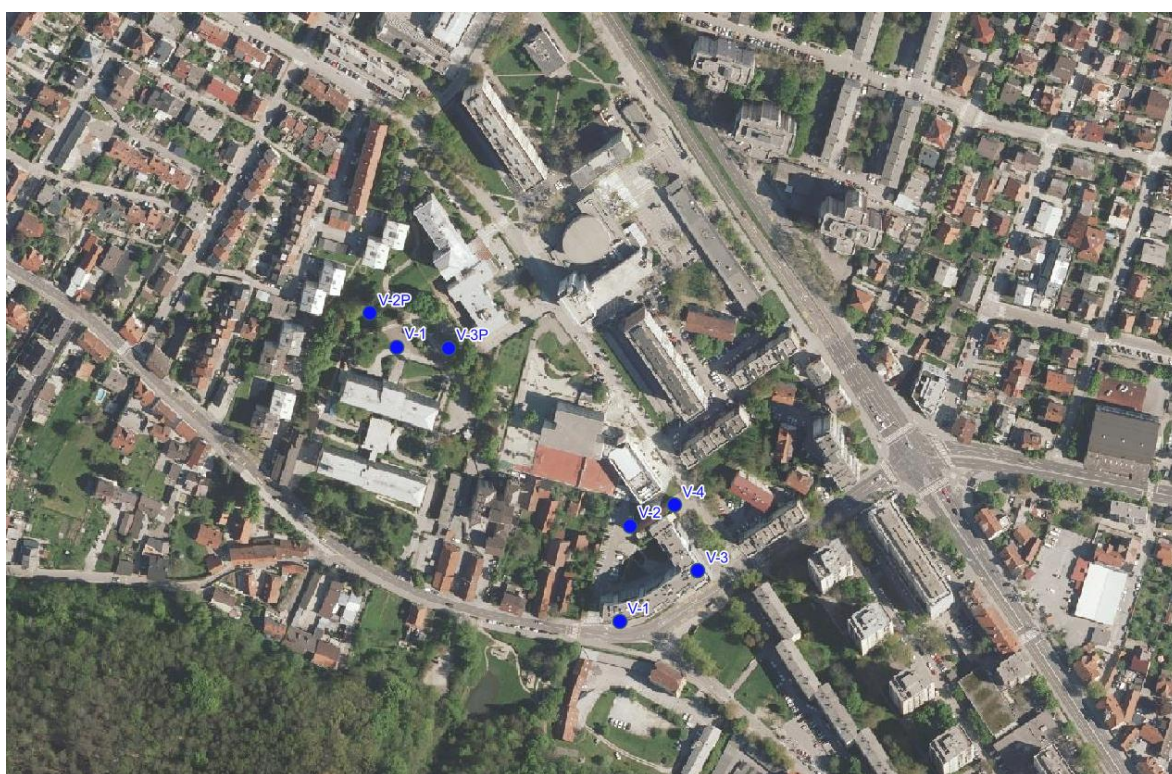
5.1. Nivoji podzemne vode

Na območju predvidenega posega so bile izvedene tri vrtine, od katerih sta bili dve, V-2P in V-3P, opremljeni kot piezometra. Med izvedbo se je podzemne voda v vrtinah pojavila na globini 7,2 m pod koto terena. V vrtinah V-2P in V-3P se izvaja monitoring podzemne vode. Piezometra sta opremljeni s cevmi PVC DN100, ustja pa so opremljena s kovinsko kapo, ključavnico in povoznim pokrovom. V piezometra sta vgrajeni tlačni sonde znamke Eltratec, ki na eno urni interval avtomatsko beležijo tlak in temperaturo podzemne vode. V obeh piezometrih pa se izvajajo tudi kontrolne ročne meritve gladin podzemne vode in prehodnosti vrtin.

V bližini predvidenega posega so bile sicer predhodno izvedene tudi vrtine V-1, V-2, V-3 in V-4. Globina podzemne vode je bila v visokem vodnem stanju v vrtini V-1 na 3,3 do 3,4 m, v vrtini V-3 pa 5,3 do 5,6 m pod koto terena.

Lokacije geomehanskih vrtin in piezometrov so prikazane na Slika 5.

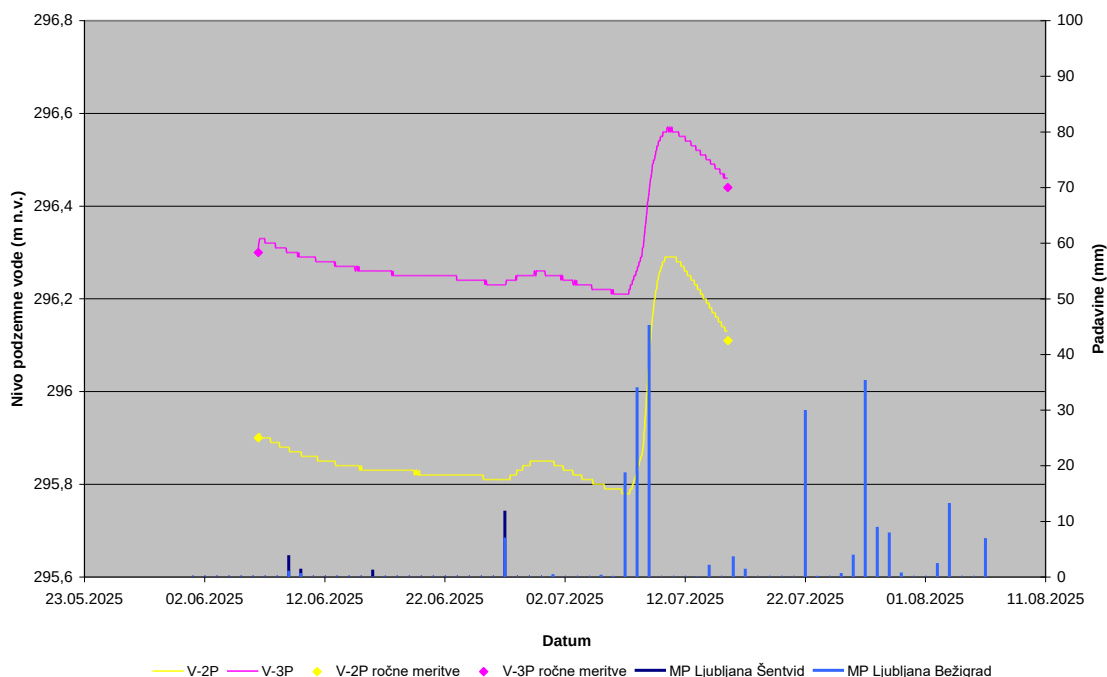
V nadaljevanju podajamo meritve nivojev podzemne vode v piezometrih s prikazom dnevne količine padavin zabeležene na meteoroloških postajah Ljubljana Bežigrad in Ljubljana Šentvid (Slika 6). Statistično obdelavo meritev nivoja podzemne vode podaja Preglednica 1.



Slika 5: Umestitev razpoložljivih vrtin na ožjem območju obravnavanega posega.

Preglednica 1: Glavne statistike zveznih meritev gladin podzemne vode za celotno opazovalno obdobje.

Statistika - celotni niz	Število meritev	Minimum [m n.v.]	Maksimum [m n.v.]	Razpon [m]	Povprečje [m n.v.]	Mediana [m n.v.]
V-2P	941	295,94	296,45	0,51	296,06	295,99
V-3P	941	296,21	296,57	0,36	296,30	296,26



Slika 6: Meritve nivojev podzemne vode v piezometrih na območju predvidenega objekta.

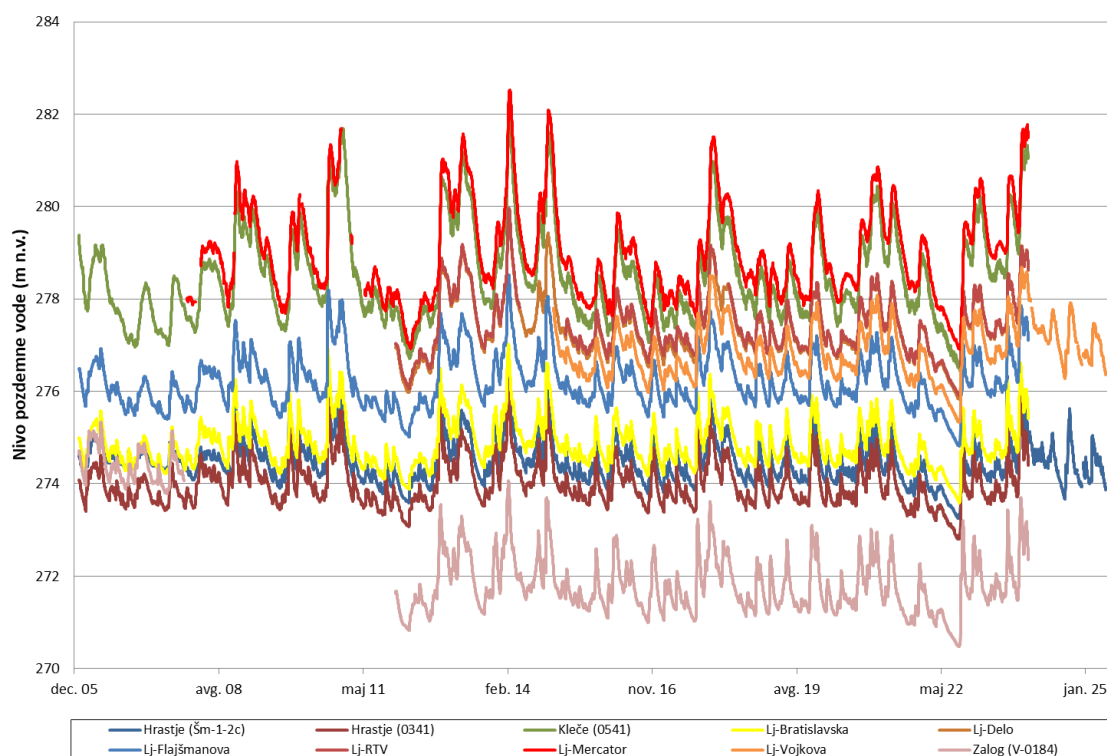
Meritve nivojev podzemne vode kažejo, da se nivo nahaja relativno blizu površja, na globini ca 7 m pod terenom. Nivo podzemne vode se hitro odziva na padavinske dogodke, vseeno pa je amplituda nihanja podzemne vode zelo majhna. Glede na do sedaj zbrane meritve je bila maksimalna amplituda zabeležena v piezometru V-2P in sicer 0,51 m.

Na širšem proučevanem območju na Ljubljanskem polju ARSO izvaja količinski monitoring podzemne vode v več piezometrih. Statistična obdelava podatkov je podana v Tabela 2, nihanje podzemne vode v piezometrih na Ljubljanskem polju pa podaja Slika 7.

Tabela 2: Statistična obdelava nivojev podzemne vode ter globin do podzemne vode (GPV) v piezometrih na območju Ljubljanskega polja.

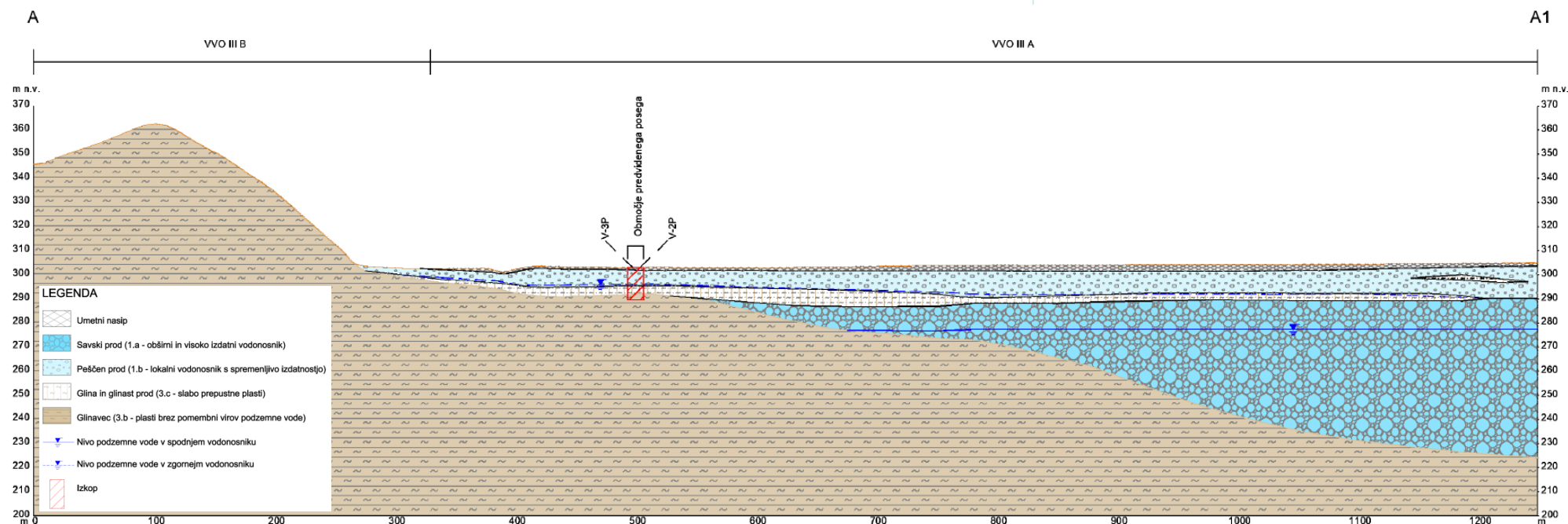
Piezometer	Število (m)	Minimum		Maksimum		Povprečje		Mediana		Razpon (m)
		Nivo (m n.v.)	GPV (m)	Nivo (m n.v.)	GPV (m)	Nivo (m n.v.)	GPV (m)	Nivo (m n.v.)	GPV (m)	
Hrastje (Šm-1-2c)	7127	273,25	12,87	276,76	16,38	274,49	15,14	274,42	15,21	3,51
Hrastje (0341)	6573	272,80	10,76	276,24	14,20	274,00	13,00	273,89	13,11	3,44
Kleče (0541)	6574	276,44	18,35	282,00	23,91	278,52	21,83	278,32	22,03	5,56
Lj-Bratislavška	6573	273,59	14,79	277,02	18,22	274,87	16,94	274,76	17,05	3,43
Lj-Delo	4384	275,83	18,01	279,92	22,10	277,41	20,52	277,30	20,63	4,09
Lj-Flajšmanova	6573	274,82	18,44	278,52	22,14	276,22	20,74	276,12	20,84	3,70
Lj-RTV	3977	275,91	16,96	279,96	21,01	277,41	19,51	277,28	19,64	4,05
Lj-Mercator	5612	276,90	28,47	282,53	34,10	279,00	32,00	278,82	32,18	5,63

Lj-Vojkova	3840	275,33	21,01	278,69	24,37	276,87	22,83	276,80	22,90	3,36
Zalog (V-0184)	5113	270,47	7,08	275,33	11,94	272,18	10,23	271,79	10,62	4,86



Slika 7: Meritve nivoje podzemne vode v piezometrih na območju Ljubljanskega polja (ARSO) v celotnem obdobju merjenja.

Na podlagi meritev nivojev podzemne vode je razvidno, da se na območju Ljubljanskega polja nahajata vsaj dva vodonosnika – spodnji vodonosnik, katerega nihanje podajajo meritve v piezometrih, ki jih izvaja ARSO, ter zgornji vodonosnik oz. območje viseče podzemne vode, katerega nivoje podajajo meritve v piezometrih V-2P in V-3P. Viseča podzemna voda se pojavi na vmesnih slabše prepustnih plasteh med vrhnjimi plastmi. Slabše prepustna plast omejuje precejanje padavinske vode s površja v globino. Če je infiltracija padavin večja kot je količina, ki jo prepušča vmesna plast, prične voda na tej plasti zastajati in pojavi se viseča gladina podzemne vode.

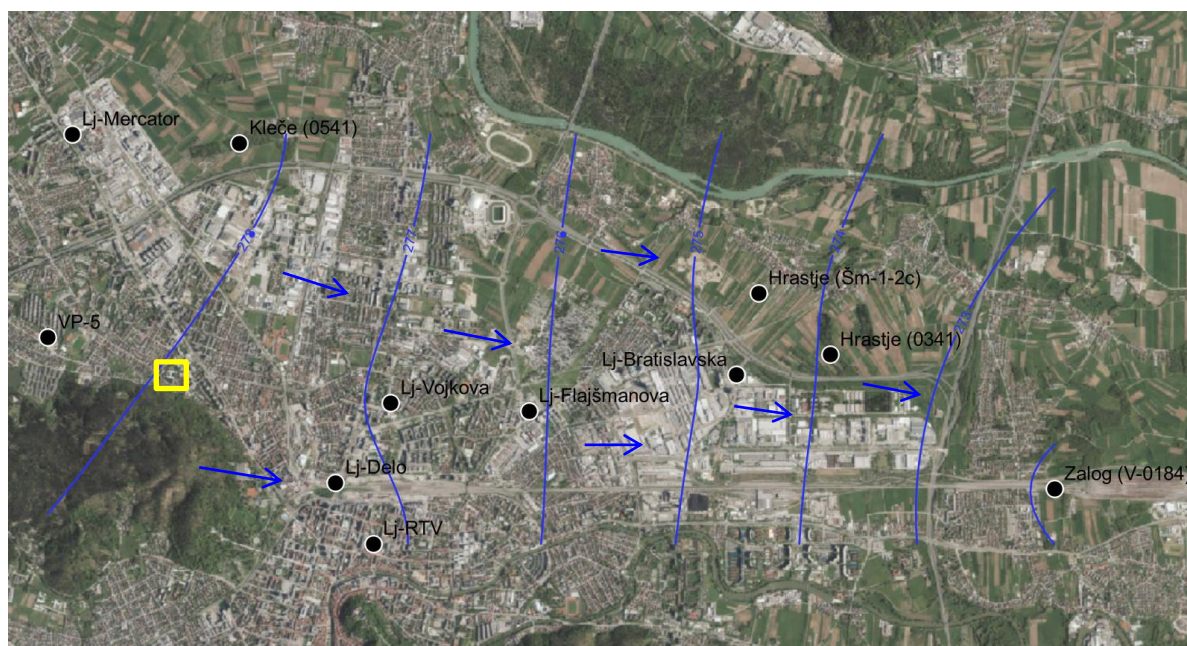


Slika 8: Hidrogeološki profil v smeri jug-sever (od Šišenskega hriba do Litostrojske ceste) skozi območje predvidenega posega. Vodonosnik Ljubljanskega polja, zaščiten z Uredbo, je na profilu prikazan na desni strani profila. Na območju predvidenega objekta NZICR Ljubljana pa se nahaja le zgornji vodnosnik oz. viseča voda nad vmesnimi glinenimi plastmi.

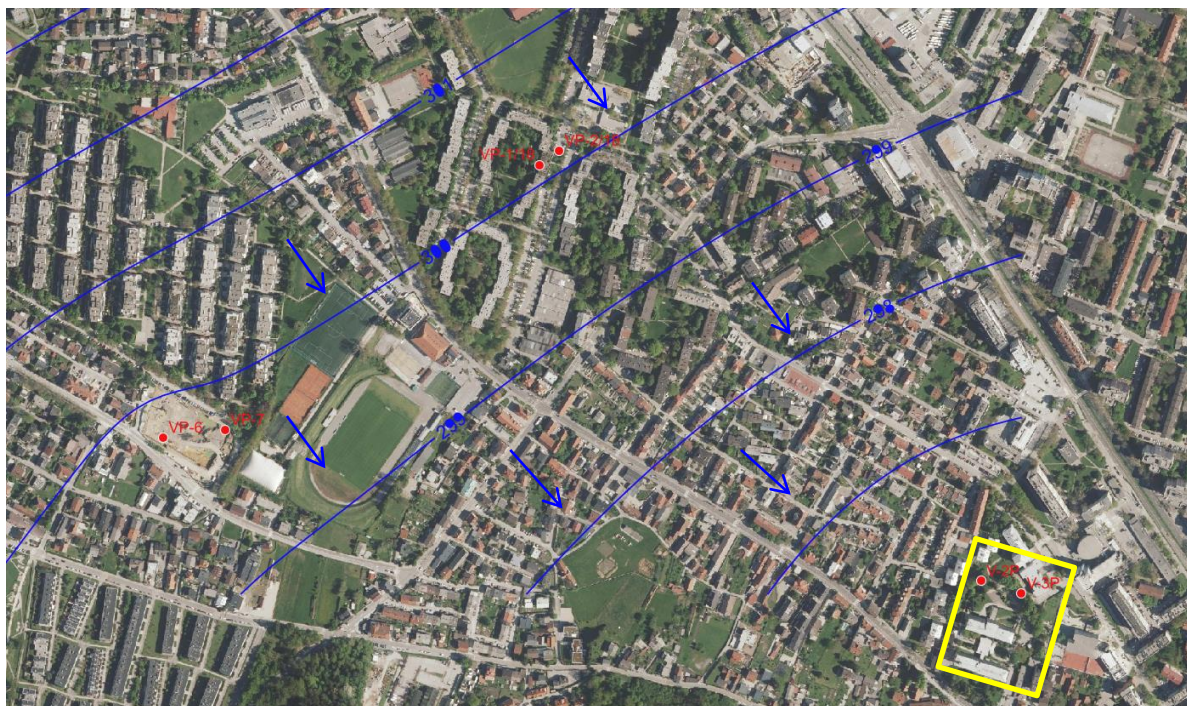
V **spodnjem vodonosniku** se srednji nivo podzemne vode nahaja na nadmorski višini med 271 in 280 m n.v., kar ustreza globini med 11 in 32 m pod terenom. Tok podzemne vode poteka pretežno v smeri proti vzhodu. Glede na hidroizohipse (Slika 9) znaša gradient na ožjem proučevanem območju 0,0007. Ob upoštevanju efektivne poroznosti 0,25 ter povprečnega koeficienta prepustnosti $2,0E-03$ m/s je izračunana povprečna hitrost toka podzemne vode približno 0,5 m/dan.

Za **zgornji vodonosnik oz. visečo vodo** je na voljo razmeroma omejeno število meritev. Pri oblikovanju hidroizohips podzemne vode so bili upoštevani tudi podatki iz piezometrov na širšem obravnavanem območju, kjer IRGO izvaja monitoring podzemne vode, čeprav ti niso del tega projekta. V zgornjem vodonosniku se srednji nivo podzemne vode giblje med 296 in 310 m n.v., kar ustreza globini od 4,5 do 9,5 m pod površjem. Kot kažejo hidroizohipse (Slika 10), podzemna voda v tem vodonosniku generalno teče v smeri proti jugovzhodu. Na proučevanem območju znaša gradient podzemne vode 0,005. Ob predpostavki efektivne poroznosti 0,1 in povprečnega koeficienta prepustnosti $1,50E-05$ m/s znaša izračunana hitrost toka podzemne vode približno 0,06 m/dan.

Glede na geološko sestavo (plitvo pojvaljanje permo-karbonskih skrilavcev in odsotnost savskih prodov) imamo na območju predvidenega posega opravka le z zgornjim vodonosnikom oz. visečo vodo (Slika 8).



Slika 9: Hidroizohipse srednjega nivoja podzemne vode v spodnjem vodonosniku. Območje predvidenega posega prikazuje rumen pravokotnik.



Slika 10: Hidroizohipse srednjega nivoja podzemne vode v zgornjem vodonosniku. Območje predvidenega posega prikazuje rumen pravokotnik.

5.2. Vodno telo podzemne vode

Vodno telo Savska kotlina in Ljubljansko barje se nahaja na območju aluvialnega prodnega zasipa reke Save med Jesenicami na Gorenjskem in Dolskim pri Ljubljani ter na območju Ljubljanice, od njenih izvirov do izliva v Savo. Tektonska udorina, v kateri se razprostira vodno telo, je zapolnjena s kvartarnimi prodno peščenimi sedimenti, ki so v pomembnem deležu sprijeti v konglomerat. Ti sedimenti in kamnine tvorijo ravninske predele Radovljiškega in Kranjskega polja, prodnega zasipa Kamniške Bistrice, Sorškega in Ljubljanskega polja ter Ljubljanskega barja.

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.

Ranljivost prvega vodonosnika, kjer ni pomembnih zveznih krovnih plasti, je zelo visoka do izredno visoka. Drugi vodonosnik je visoko ranljiv le na obrobju aluvialnega zasipa, kjer izdanja.

5.2.1. Kemijsko stanje vodnega telesa

Vodno telo Savska kotlina in Ljubljansko barje je po podatkih ARSO večinoma v dobrem kemijskem stanju, zlasti kar zadeva podzemno vodo, ki se napaja iz aluvialnih vodonosnikov.

Rezultati monitoringa kažejo, da so koncentracije onesnaževal, kot so nitrati in pesticidi, nizke in praviloma daleč pod zakonsko določenimi mejnimi vrednostmi. Povprečna vsebnost vsote pesticidov je bila v preteklih desetletjih v obeh vodnih telesih med najnižjimi v državi, povprečna vrednost pesticidov pa se z leti zmanjšuje, kar nakazuje pozitiven trend

zmanjševanja obremenitev iz kmetijstva. Kemično stanje površinskih voda na območju Ljubljanskega barja je prav tako večinoma stabilno, čeprav se občasno pojavijo epizode povišanih koncentracij fosfatov, kloridov, sulfata in zmanjšane količine raztopljenega kisika. Te spremembe so običajno povezane z naravnimi procesi, kot sta visoka namočenost tal in sezonsko gnojenje, ter redkeje z izpusti komunalnih odpadnih voda. Preiskave so pokazale, da takšne anomalije praviloma nimajo trajnega vpliva na celotno kemijsko stanje vodnega telesa, vendar so lokalno lahko pomembne za ekološko ravnovesje. Tako Savska kotlina kot Ljubljansko barje ohranjata skupno dobro kemijsko stanje, a ostajata občutljivi na obremenitve, ki izvirajo iz kmetijske rabe tal in hidroloških posebnosti območja.

5.2.2. Količinsko stanje vodnega telesa

Podzemni vodni viri se v vodnem telesu Savska kotlina in Ljubljansko barje napaja predvsem ravninski, prodno-peščeni vodonosniki. Plitvi vodonosniki zelo občutljivi na hidrološke ekstremne razmere, kot so suše ali obdobja z visokimi padavinami. V zadnjih letih so bile opazne večje prostorske in časovne variacije v količinskem stanju; splošno stanje obnovljivosti podzemne vode v plitvih vodonosnikih je bilo v hidrološkem letu 2019 pod dolgoletnim povprečjem (1981–2010), z negativnim odstopanjem povprečno okoli –21 % (ARSO).

Količinsko stanje vodnega telesa Savska kotlina in Ljubljansko barje je občutljivo in zaznaven je trend upada obnovljivih količin podzemnih voda, zlasti v odsotnosti povprečnih ali nadpovprečnih padavin. Obnovitev količinskega stanja je odvisna od dolgoročnih padavinskih vzorcev, saj kratkotrajni dogodki redko zadostujejo. Površinske razmere so zadostne, a trendi kažejo na naraščajočo ranljivost z morebitnimi sušnimi obdobji.

6. Vodni viri in vodovarstvena območja

6.1. Obstoječa vodovarstvena območja

Na podlagi predpisa Vlade RS je na območju obravnavanega posega predpisano vodovarstveno območje:

- za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja

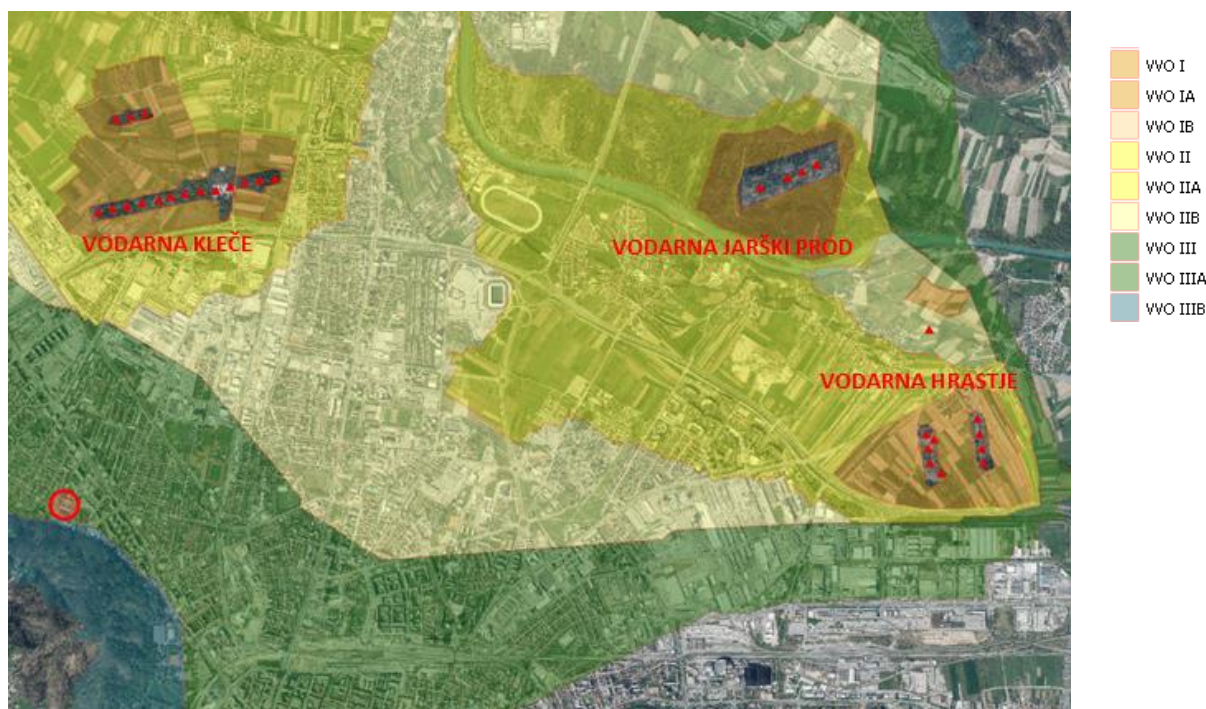
Vodonosnik Ljubljanskega polja je zavarovan z Uredbo o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja (Uradni list RS, št. 43/15, 181/21, 60/22 in 35/23 – odl. US).

Glede na lokacijo in obseg lahko poseg vpliva na vodni vir vodarne Hrastje. Upravljalec vodnega vira je Vodovod – Kanalizacija Ljubljana (VO-KA). V nadaljevanju podajamo kratek opis črpališča, katerega lokacijo prikazuje Slika 11.

6.2. Črpališče Hrastje

Vodarna Hrastje je ena izmed štirih vodarn, ki črpajo podtalnico Ljubljanskega polja. Nahaja se na desnem bregu Save v vzhodnem delu mesta. Na južni strani jo obdaja ljubljanska obvoznica, na zahodni pa zelo prometna Šmartinska cesta, okrog vodarne pa so kmetijske površine in

območje strnjene poselitve. Po zmogljivosti je vodarna Hrastje z 10 vodnjaki in skupno zmogljivostjo ca 600 l/s drugo največje črpališče na območju Ljubljanskega polja. Od nje je odvisna varna oskrba osrednjega dela mesta in vse do primestnih naselij na vzhodu. Koncept vodovodnega sistema v Ljubljani je zasnovan tako, da omogoča kratkoročno oskrbo brez vodarne Hrastje, vendar varna in zanesljiva dolgoročna oskrba brez prispevkov vodarne Hrastje in ob nespremenjenem režimu drugih vodarn ni mogoča (Jamnik, 2000; Horvat & Kompare, 2005).



Slika 11: Situacija vodnega vira in vodovarstvenih območij glede na lokacijo predvidenega posega (označeno z rdečim krogom).

Vodarna Hrastje je druga največja vodarna na Ljubljanskem polju. Deli se na dva dela, Hrastje I in Hrastje II, ki sta med sabo oddaljena 250 m. Skupaj šteje vodarna Hrastje deset vodnjakov, ki segajo v globino med 40 in 50 m in iz katerih se izvaja črpanje za potrebe oskrbe s pitno vodo. Vodnjaki zajemajo vodo predvsem iz zgornjega in srednjega dela omočenega sloja vodonosnika. Vodarna že dolgo ne izkorišča vseh svojih zmogljivosti. Zaradi svoje lokacije, tako rekoč sredi mesta, je vpliv dejavnosti na prispevnem območju vodarne zelo velik (Horvat, 2005; Horvat & Kompare, 2005).

Režim in dinamika črpanja v vodarni se prilagajata razmeram v sistemu oskrbe s pitno vodo in stanju podzemne vode v vodonosniku na ostalih črpališčih na vodnih virih Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja.

Črpališče Hrastje je del sistema za oskrbo s pitno vodo več kot 100.000 prebivalcev in mejno verjetnostjo verjetnosti dogodka onesnaženja 10^{-5} (49. člen *Pravilnika o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja*; U. l. RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16).

Predvideni objekt je od vodarne Hrastje oddaljena cca 5,7 km proti vzhodu.

Tabela 3: Črpane količine vode iz vodnjakov vodarne Hrastje.

Ime	Skupna količina odvzete vode (m3/leto)		
	2022	2023	2024
VD Hrastje-1	0	0	0
VD Hrastje-1A	428.957	518.485	1.387.203
VD Hrastje-2	354.013	372.969	94
VD Hrastje-2A	381.656	428.788	99
VD Hrastje-3	447.147	468.244	100
VD Hrastje-4	398.207	484.903	1.266.283
VD Hrastje-5	367.901	446.246	64.285
VD Hrastje-6	369.875	455.469	11.717
VD Hrastje-7	408.442	506.875	300.593
VD Hrastje-8	395.305	489.788	1.163.493
Skupno	3.551.503	4.171.767	4.193.867

6.3. Ocena obstoječega stanja kot zbirni pregled obremenjenosti vodnega vira in naravnega ozadja

Na vodnjaku Ia v vodarni Hrastje se vrši analiza podzemne vode v okviru Monitoringa kakovosti podzemne vode.

Temperatura podzemne vode, ki je vir pitne vode v Ljubljani, se pomembneje ne spreminja in se giblje v razponu od 10 do 17 °C. Temperatura podzemne vode je na območju vodarne Hrastje višja, kot na območju vodarne Kleče in se spreminja tudi znotraj vodarn v odvisnosti od napajanja podzemne vode. Temperaturo podzemne vode prepoznavamo kot osnovni parameter, ki nosi informacijo o dinamiki vodonosnika.

Povprečna vrednost pH znaša 7,5. Voda ni korozivna. Električna prevodnost pitne vode je merilo za mineralizacijo vode, njena vrednost pa je odvisna od koncentracije in vrste raztopljenih elektrolitov. Na vodnem viru se mediana elektroprevodnosti giblje okrog 535 µS/cm.

Vodarno Hrastje ogrožajo nova onesnaževala, ki se pojavljajo v okolju kot posledica široke rabe v gospodinjstvih (ostanki zdravil, kemikalije splošne rabe v gospodinjstvu), prisotna pa so tudi stara onesnaževala, katerih viri so še aktivni, saj bi se v nasprotnem primeru zaradi dinamike podzemne vode z naravnimi procesi odstranila iz podzemne vode. Koncentracija Cr(VI) v vodarni Hrastje se ne zmanjšuje.

Da je kakovost podzemne vode pod izjemnim pritiskom urbanih obremenitev (promet, kanalizacija), opozarja koncentracije kloridov, ki so v obdobju dveh desetletij od 1996 - 2021 narasli v npr. VD Hrastje-1A od 11,6 mg/l do 40,8 mg /l v letu 2017, 42,1 mg/l v 2018, 41,6 mg/L v letu 2019, 40,2 mg/L v letu 2020 in 41,4 mg/L v letu 2021. V zadnjih treh letih pa je zaznati trend upadanja kloridov, ki so znašali cca 30 mg/l v letih 2023 in 2024.

Nitrati v zadnjih letih (2011 - 2024) kažejo trend rahlega upadanja, kar ocenjujemo kot rezultat kmetijskih ukrepov.



6.4. Ocena naravnega zaledja

Vodonosnik Ljubljanskega polja se sicer v večji meri napaja iz reke Save in sicer na mladi prodni terasi na Brodu ter med Malo vasjo pri Ježici in Tomačevim. Delno pa se tudi napaja s smeri Dravelj in z juga skozi globel med Rožnikom in Gradom, ter z infiltracijo padavin na severnem delu Ljubljanskega polja (Breznik, 1969).

V podzemni vodi vodnjaka Hr V, ki leži na severu vodarne Hrastje bližje reki Savi kot vodnjak Hr Ia, se v odvisnosti od infiltracije padavin spreminja tudi vsebnost kisika v podzemni vodi in kaže na večji delež vode reke Save v vodnjakih v severnem delu vodarne, medtem ko v vodnjakih na jugu območja zajetja prevladuje lokalna infiltracija padavin Ljubljanskega polja.

Reka Sava in infiltracija padavin izhajata iz različnih hidrogeoloških sistemov in sta kot glavni komponenti napajanja podzemne vode Ljubljanskega polja, izpostavljeni različnim virom onesnaženja. Podzemna voda, ki se v večjem deležu napaja s padavinami, vsebuje kot posledico površinskega spiranja tudi višje koncentracije nitratov, kloridov in sulfatov. Nihanje kakovosti podzemne vode v času hidrološkega leta je mogoče razložiti s spreminjanjem mešalnega razmerja obeh komponent.

6.5. Ocena obremenjenost vodnega vira

Za prispevno območje vodarne Hrastje je značilna obremenitev kmetijskega in urbanega okolja. Glavna obremenitev z mineralnimi olji izhaja iz urbane rabe prostora, predvsem cestnih in drugih utrjenih površin, oskrbnih postaj, servisnih, obrtnih in industrijskih naprav ter izpustov odpadnih vod.

Za prispevno območje vodarne Hrastje je značilna obremenitev kmetijskega in urbanega okolja. Z vidika gradnje podzemne garaže na Vodnikovem trgu je najbolj verjetno onesnaževalo mineralna olja. Glavna obremenitev z mineralnimi olji izhaja iz urbane rabe prostora, predvsem cestnih in drugih utrjenih površin, oskrbnih postaj, servisnih, obrtnih in industrijskih naprav, izpustov odpadnih vod. Kljub prisotnosti več drugih onesnaževal pa analize pitne vode v vodarni Hrastje v letih do 2002 niso pokazale povišanih vrednosti tega potencialnega onesnaževala. Analiza štiriletnega niza (1999-2002) meritev kaže, da je vsebnost mineralnih olj v podzemni vodi manjša od 6 µg/l.

Rezultati preiskav podzemne vode v letu 2024 (NLZOH, 2024) kažejo, da je bil povprečen pH podzemne vode na mestu vzorčenja Hrastje Ia 7,3 in elektroprevodnost 533,5 µS/cm (pri 20 °C). Celotni organski ogljik – TOC je merilo za obremenitev podzemne vode s snovmi organskega izvora. Koncentracije na Hrastje Ia znašale <0,5 mg C/l. V času izvajanja programa monitoringa v letu 2024 so, v večini vzorcev podzemne vode, določili koncentracije amonija pod mejo ali na meji zaznavnosti analizne metode. Normativna vrednost 0,5 mg/l NH₄ ni bila presežena.

Prisotnost fosfata v podzemni vodi je praviloma posledica stika podzemne vode z odpadnimi vodami iz komunalne infrastrukture (izjemoma so možni tudi vplivi geološke sestave tal in rabe mineralnih gnojil na kmetijskih površinah). Za oceno obremenitev podzemne vode s fosfati je zato ključni kriterij ocena trendov (mejne vrednosti za fosfat v Pravilniku o pitni vodi in v Uredbi

o stanju podzemne vode niso opredeljene). Koncentracije ortofosfatov v vzorcih podzemne vode so bile, v preiskovanem obdobju, pod mejo zaznavnosti analizne metode. Ocenjujejo, da podzemna voda, na preiskovanem območju, ni obremenjena s fosfati.

Povprečna koncentracija za nitrat je bila 18,5 mg/l NO₃, izmerjene koncentracije pa so bile v intervalu od 13 do 20 mg/l NO₃. Mejna vrednost (50 mg/l), določena z Uredbo o stanju podzemne vode, ni bila presežena. Podobno sliko razmer kot pri nitratih nam kažejo podatki o električni prevodnosti, ki so povezani z osnovno mineralizacijo podzemne vode. Razmere so seveda močno odvisne od količine padavin. Kar se mineralizacije tiče, v vodi prevladujejo hidrogenkarbonati.

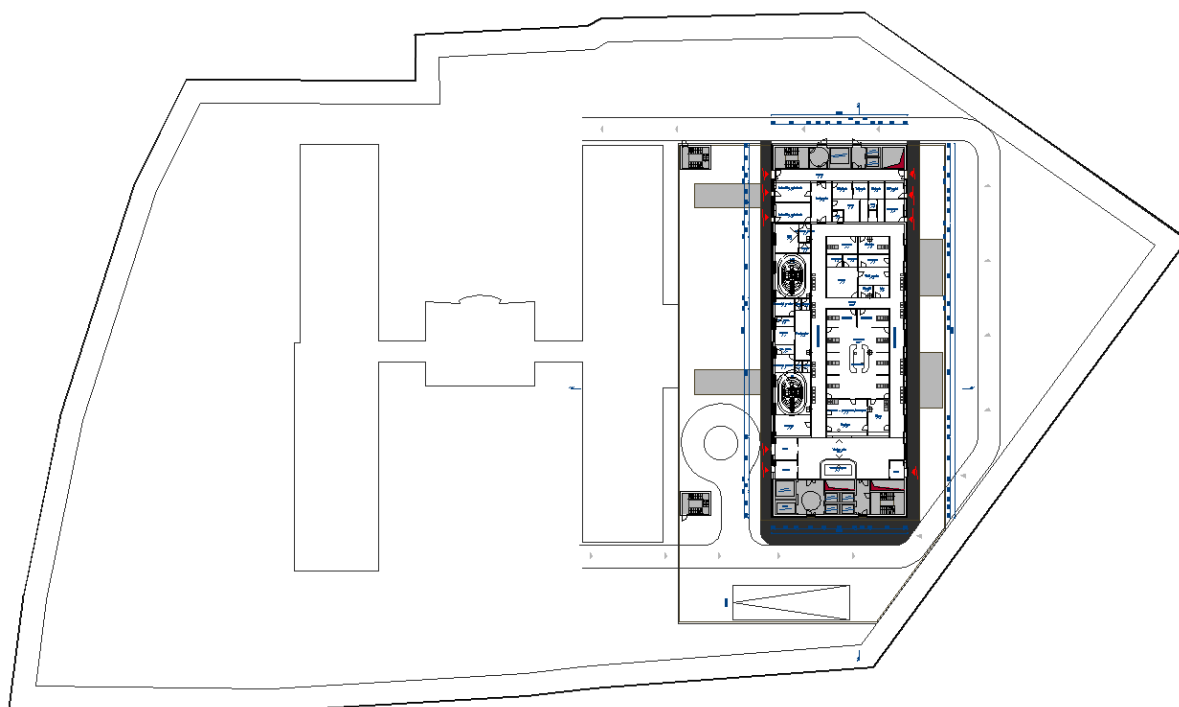
Z vidika obremenitev podzemne vode s kromom (merjenim kot celotni krom in krom v oksidativni obliki VI) je le-ta v pomembnih koncentracijah, skozi celotno obdobje monitoringa, prisoten le na območju Hrastja Ia (7-13 µg/l).

Rezultati preiskav podzemne vode v Hrastje Ia kažejo, da mejna vrednost 0,5 µg/l, za vsoto pesticidov, opredeljeno s Pravilnikom o pitni vodi in Uredbo o stanju podzemnih voda, ni bila presežena. V vsoto pesticidov nista zajeta metolaklor ESA in OXA, ki sta opredeljena kot nerelavantna razgradna produkta. Potrebno je poudariti, da sta atrazin in njegov razgradni produkt desetilatrazin ključni snovi, ki v času izvajanja preiskav predstavljata obremenitve podzemne vode s pesticidi. Koncentracije pesticidov v Hrastje Ia so med 0,023 in 0,031 µg/l.

Obremenitve podzemne vode na območju izvajanja programa monitoringa z lahko hlapnimi halogeniranimi ogljikovodiki so stalne. Značilna predstavnika sta 1,1,2 – trikloroeten in 1,1,2,2-tetrakloroeten. Izmerjena koncentracija v letu 2024 je za 1,1,2,2-tetrakloroeten znašala <0,5 µg/l.

7. Opis nameravanega posega

Ob obstoječi bolnici sestavljeni iz južnega trakta, etažnosti K+P+2 in severnega trakta B, etažnosti K+P+3, ki je dotrajana in ima funkcionalno tehnično neustrezne prostore, je predvidena izgradnja novega Nacionalnega zdravstvenega centra za izredne razmere kot vojaške bolnice. Severni prizidek bolnišnice dr. Petra Držaja (novi trakt) je etažnosti 3K+P+4N. Kletna etaža je nepravilne tlorisne oblike, maksimalne velikosti podkletenega dela 84,65m x 47,24m. Pritličje ter nadstropja so pravokotne tlorisne oblike, velikosti 66,0m x 24,0m. Nosilna konstrukcija objekta je predvidena kot armirano-betonska (AB), streha pa kot ravna.



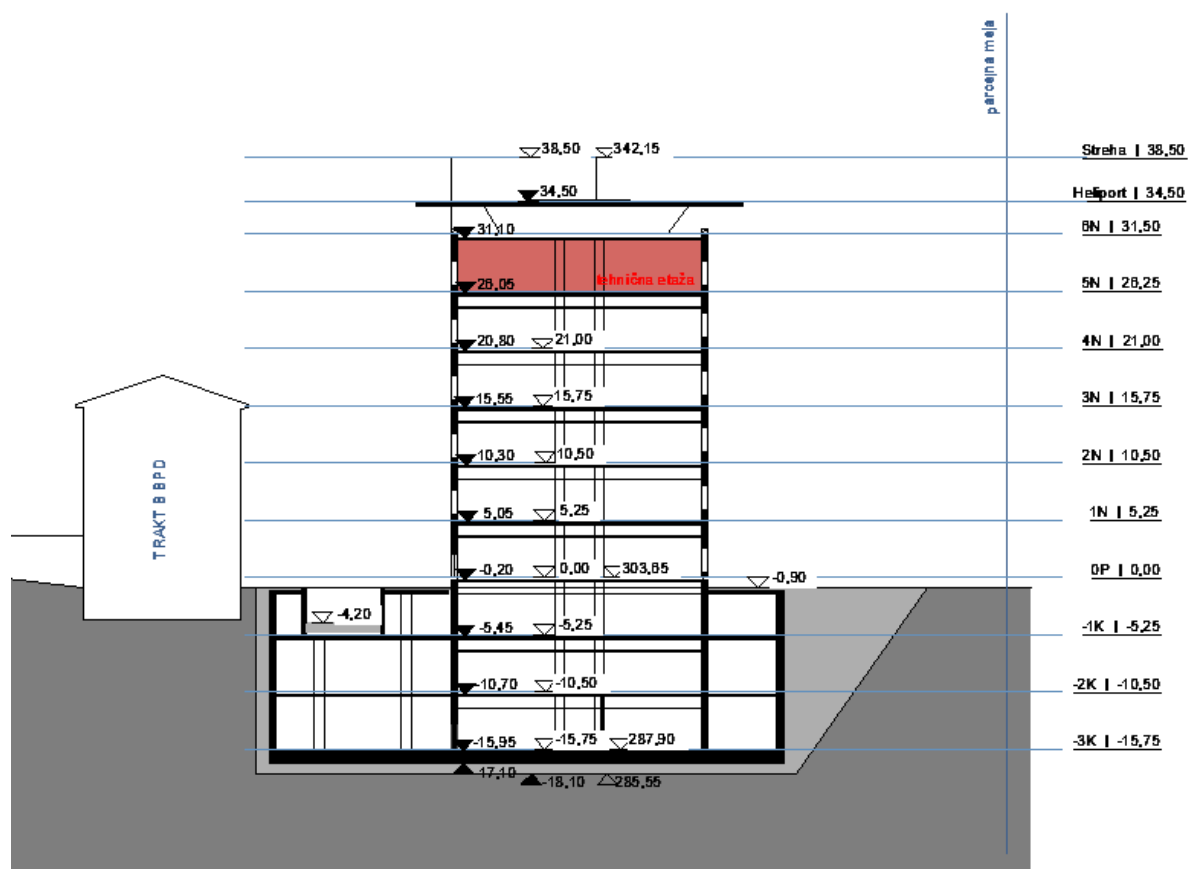
Slika 12: Predvidena lokacija izgradnje novega objekta glede na obstoječi objekt.

Glede na zasnovo objekta in predvideno število kletnih etaž (3K) ter glede na koto terena (cca. 303 m.n.v.), bo za potrebe izgradnje podzemnega dela objekta potreben poseg v tla do globine cca. 18m.

Zaradi ugotovljenih geomehanskih in hidrogeoloških razmer v tleh ter gradnje v urbanem okolju bo potrebno izkop gradbene jame varovati z ustrezno varovalno konstrukcijo, ki bo v funkciji za čas izkopa gradbene jame oz. gradnje kletnega dela objekta.

Varovanje izkopa gradbene jame je predvideno z začasno varovalno konstrukcijo, ki poleg nosilnosti mora zagotavljati tudi tesnost na območju omočenega dela vodonosnika, pod globino cca. 7m. Varovanje bo zasnovano po tehnologiji uvrtnih AB pilotov premera $\Phi 80$, dolžine do 15,5m, na medosnem razstoji 1,2m, ki bodo po višini podprti s tremi nivoji začasnih geotehničnih vravnih prednapetih sider. Za preprečitev dotoka podzemne vode v gradbeno jamo je, na območju med uvrtnimi piloti, predvidena tesnitev prostora po tehnologiji visokotlačnega injektiranja tal s cementno suspenzijo po tehnologiji »jet grouting«.

Na Slika 13 je prikazan profil bodočega objekta.



Slika 13: Profil predvidenega objekta (prerez sever-jug)

8. Zakonske omejitve v obravnavanih vodovarstvenih območjih

Našteti so le varovalni ukrepi, ki so povezani s posegom, obravnavanim v analizi tveganja.

V VVO IIIA veljajo naslednje prepovedi in omejitve:

- uporaba gradbenega materiala, iz katerega se lahko izločajo snovi, škodljive za vodo je prepovedana
- Izvedba vrtine ali vodnjaka, če ta ni izveden za potrebe raziskav, je prepovedana.
- Uporaba sanitarij, razen če se uporabljajo kemična stranišča ali je urejeno odvajanje iz stranišč v javno kanalizacijo, je prepovedana.
- Gradbišče v skladu s predpisi, ki urejajo gradnjo objektov, na zemljišču s površino, večjo od 1 hektarja je dovoljeno, če se v postopku izdaje vodnega soglasja za gradnjo preverjeni vplivi na vodni režim in stanje vodnega telesa ter je izdano vodno soglasje.
- Izkopi na gradbišču so dovoljeni nad srednjo gladino podzemne vode. Če se transmisivnost vodonosnika na mestu gradnje ne zmanjša za več kot 10 %, je gradnja izjemoma dovoljena tudi globlje. V postopku izdaje vodnega soglasja za gradnjo morajo biti preverjeni vplivi na vodni režim in stanje vodnega telesa ter izdano vodno soglasje. Če je treba med gradnjo ali obratovanjem drenirati ali črpati podzemno vodo, je za to treba pridobiti vodno soglasje.
- Vrtanje in izvedba vodnjakov za druge namene je dovoljena, v kolikor se pri vrtanju, med obratovanjem in vzdrževanjem izvedejo vsi ukrepe za preprečitev odtekanja, ponikanja ali spiranja izvrtanine ali drugih snovi v podzemne vode ali zajetje. Po prenehanju uporabe vrtine jo je treba ukiniti tako, da je preprečeno kakršno koli onesnaženje podzemne vode ali zajetja. V postopku izdaje vodnega soglasja za gradnjo morajo biti preverjeni vplivi na vodni režim in stanje vodnega telesa ter izdano vodno soglasje.

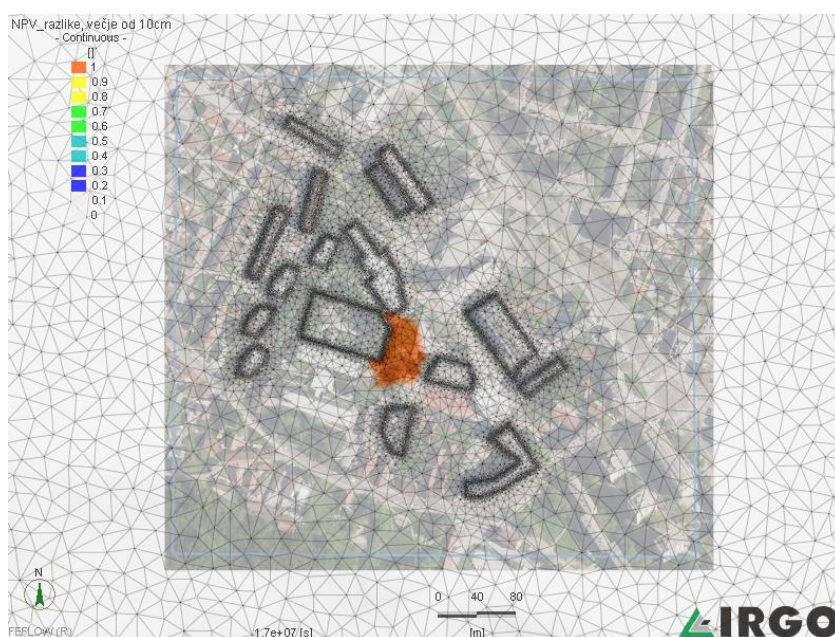
9. Opredelitev emisij in onesnaževal

9.1. Interakcija med objektom in vodnim virom

Obravnavana lokacija leži na širšem vodovarstvenem območju in v podobmočju z milejšim vodovarstvenim režimom z oznako VVO III A. Pogoje posega na tem območju ureja *Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja (Uradni list RS, št. 43/15, 181/21 in 60/22; v nadaljevanju Uredba)*, kjer prepovedi, omejitve in podrobnejše pogoje za gradnjo določa Priloga 3 *Uredbe*. Omenjena *Uredba* se nanaša v prvi vrsti na spodnji vodonosnik, ki se izkorišča za oskrbo s pitno vodo. Kot navedeno v poglavju 5, se na območju predvidenega posega nahaja le zgornji vodonosnik, medtem ko na spodnji vodonosnik gradbena jama/objekt ne bosta imeli neposrednega vpliva. Vpliv bo posreden preko oviranja toka v visečem vodonosniku, zaradi katerega se bodo lokalno preusmerile tokovnice zgornjega vodonosnika. Ne glede na to bo prelivanje iz zgornjega v spodnji vodonosnik zaradi same postavitve objekta ostalo enako, kot je danes.

9.2. Vpliv na količinsko stanje, sprememba transmisivnosti

Z vidika količinskega stanja vodonosnika Ljubljanskega polja obravnavani poseg ne predstavlja posega, ki bi imel merljiv bilančni vpliv na spodnji vodonosnik, ki se uporablja za oskrbo s pitno vodo. Na območju posega imamo opravka le z zgornjim visečim vodonosnikom, saj se permokarbonska podlaga nahaja že na globini približno 11 m, zaradi česar spodnji vodonosnik tukaj ni razvit. Objekt bo v tlorisu v celoti prekinil tok podzemne vode v zgornjem visečem vodonosniku, kar pomeni, da bo lokalno zmanjšana njegova transmisivnost (na območju objekta dejansko za 100 %), tok pa se bo moral preusmeriti ob straneh objekta. Numerični hidrogeološki model (Priloga 1) je pokazal, da se bo zaradi tega dolvodno pojavil vpliv v obliki spremembe gladine podzemne vode do 20 cm. Območje, kjer bo vpliv presegal 10 cm, pa bo prostorsko omejeno na neposredno okolico objekta (Slika 14).



Slika 14: Območje, na katero ovira v toku podzemne vode v visečem vodonosniku vpliva za več kot 10 cm. Najvišji vpliv znaša 20 cm neposredno dolvodno od objekta (povzeto po Priloga 1).

Prepustnost prodnatega spodnjega vodonosnika je sicer za dva do tri rede velikosti višja od prepustnosti sedimentov zgornjega visečega vodonosnika, ki je poleg tega tudi do štirikrat tanjši (Slika 8). Posledično transmisivnost zgornjega vodonosnika v najslabšem primeru predstavlja manj kot 1 % transmisivnosti spodnjega. Ovire v visečem vodonosniku zato ne vplivajo bilančno na pretakanje podzemne vode v spodnjem vodonosniku, temveč le povzročijo lokalno preusmerjanje tokovnic zgornjega vodonosnika. Prelivanje iz zgornjega v spodnji vodonosnik bo po izvedbi posega ostalo enako kot v obstoječem stanju.

Ob tem je treba izpostaviti, da natančna lokacija, kjer prihaja do prelivanja zgornjega vodonosnika v spodnjega, ni znana. Vendar je bilo z izvedenim numeričnim modeliranjem ugotovljeno, da zaradi izvedbe objekta ne bo prišlo do vpliva na količinsko stanje podzemne vode v spodnjem vodonosniku. Kljub temu smo v okviru Analize tveganja preverili morebiten posreden vpliv, saj obravnavano območje predstavlja del prispevnega območja vodonosnika, ki se uporablja za oskrbo s pitno vodo.

Pomembno je izpostaviti, da je bil hidrogeološki model izdelan na podlagi razpoložljivih informacij o projektu v času njegove izdelave in je bil relativno projektiran glede na takratne višinske podatke objekta. Naknadno je prišlo do spremembe projektne rešitve, pri kateri so bile zaradi tehnoloških zahtev programov v kletnih etažah povečane etažne višine, kar je povzročilo dodatno poglobitev objekta in spremembo najnižjih višinskih kot. Model teh poglobitev ne vključuje. Ker pa je bilo v izračunih že predvideno, da bo objekt segal v permokarbonsko podlago, ocenjujemo, da poglobitev ne bo imela bistvenega vpliva na hidrogeološke značilnosti vodonosnika, določene z izvedenim matematičnim modelom podzemne vode.

9.3. Mobilnost onesnaževal

Mobilnost onesnaževal je vezana na hidrogeološke lastnosti vodonosnika (tako nezasičene kot tudi zasičene cone) ter lastnosti samih onesnaževal. Med slednje štejemo predvsem njihovo topnost v vodi, sorpcijske lastnosti, viskoznost in gostoto. Onesnaževala z gradbišča so lahko razna mineralna olja, PAH, Pb, Zn in Cd kot posledica razlitij goriv, iztekanja olja in aktivnosti na vozni površinah. Pri tem tvorijo ta onesnaževala zelo heterogen oblak onesnaženja:

- mineralna olja, ki so lažja od vode in se z njo ne mešajo, se prenašajo predvsem nad gladino podzemne vode
- Pb, Zn in Cd so topni v vodi, zato so lahko prisotni v celotnem območju mešanja, vendar se tudi močno sorbirajo na delce vodonosnika, predvsem na drobnejšo frakcijo in organske snovi
- Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH) so nizko topni v vodi, težji od vode in se sorbirajo na delce vodonosnika

Poleg teh procesov na razvoj oblaka onesnaženja vpliva tudi biodegradacija, kateri so podvržena predvsem mineralna olja in PAH.

Hidrogeološke lastnosti nezasičene in zasičene cone vplivajo na hitrost toka ter sukcijske lastnosti poroznega medija. S tem je pogojen režim toka podzemne vode in prevladujoč mehanizem transporta onesnaževal. V peščenih prodih tako v zasičeni coni prevladuje advekcija z mehansko disperzijo, medtem ko je difuzija zaradi visokih hitrosti toka podzemne vode manj pomemben proces širjenja onesnaževal. Prenos onesnaževal v nezasičeni coni peščeno prodnatega vodonosnika prav tako poteka zelo hitro, saj imajo tovrstni sedimenti nizko remanentno vlago. Prav tako se onesnaževala ne sorbirajo v večji meri na delce

vodonosnika. Večjo sorpcijo gre pričakovati v meljasto glinastih kvartarnih sedimentih (v odvisnosti od vsebnosti organske komponente) na severni strani obravnavanega območja.

Morebitna onesnaženja bi se tako lahko širila zelo hitro, vendar je pri tem potrebno upoštevati vpliv JG pilotov, ki praktično v celoti zadržijo vsakršno širjenje potencialnega onesnaženja, ter med gradnjo tudi usmerjenost lokalnih hidravličnih gradientov, ki bodo iz okolice usmerjeni proti gradbeni jami, v kateri se bo začasno zniževal nivo pod koto izkopa.

10. Določitev in opredelitev vrste onesnaževal

10.1. Opis ogroženosti vodnega vira zaradi posega

Glede na stopnjo izdelave dokumentacije je določitev in opredelitev možnih onesnaževal splošna. V času gradnje ter kasneje tudi v času obratovanja bodo na območju prisotni potencialni viri onesnaženja, ki se razlikujejo glede na fazo izvajanja dejavnosti.

V fazi gradnje največje tveganje predstavljajo vozila, gradbeni stroji in delovna mehanizacija z rezervoarji pogonskih goriv in mazivi. V tem obdobju je potencialno onesnaženje podzemne vode povezano predvsem z mineralnimi olji, ki se lahko pojavijo kot posledica razlitij goriva in maziv pri uporabi gradbene opreme, prometnih nesrečah ali obratovanju strojev. Poleg mineralnih olj so kot spremljajoča onesnaževala relevantni tudi policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH) ter težke kovine, kot so svinec, cink, kadmij, krom in baker, ki nastajajo zaradi obrabe mehanskih delov in emisij iz motorjev. Mineralna olja, ki jih sestavljajo nepolarne organske spojine ogljika in vodika (C_nH_{n+2}), imajo gostoto manjšo od 1 g/cm^3 , zato plavajo na vodni površini. Prisotna so v dizelskem gorivu, biodizlu, nafti, bencinu ter različnih motornih, hidravličnih, menjalniških in kurilnih oljih, pogosto pa vsebujejo tudi dodatne škodljive primesi, kot so težke kovine, poliklorirani bifenili in halogenirana topila. Zaradi svojih lastnosti lahko povzročijo pomembno obremenitev okolja, motijo delovanje biološke stopnje čistilnih naprav in ob prekomerni vsebnosti škodljivo vplivajo na zdravje ljudi in živali. V scenarijih tveganja in pri izračunih relativne občutljivosti zato kot primarno onesnaževalo v času gradnje obravnavamo mineralna olja.

Dodatno je treba opozoriti, da lahko zemeljska dela povzročijo mobilizacijo spojin in mikroorganizmov, ki so se zaradi procesov sorpcije predhodno zadrževali v nezasičeni coni vodonosnika. Gre za potencialna onesnaževala, ki niso neposredna posledica novega posega, temveč rezultat sinergijskega vpliva gradnje in obstoječega stanja. Ker kemijsko stanje nezasičene cone ni natančno znano, teh pojavov v izračunih nismo podrobneje obravnavali, je pa tveganje kljub temu treba upoštevati in ga ob izvedbi del pravočasno prepoznati ter zmanjšati z ustreznimi ukrepi, denimo sanacijo ob morebitnih razkritjih zakopanih odpadkov.

V fazi obratovanja objekta je tveganje za neposredno onesnaženje vodonosnika z mineralnimi olji manjše, vendar še vedno prisotno. Izvira predvsem iz zunanjih povoznih in parkirnih površin, kjer lahko pride do razlitij goriva ali maziv, ki se nato skupaj z meteornimi vodami preko mešane kanalizacije odvajajo v sistem.

Poleg mineralnih olj je treba v času obratovanja upoštevati tudi specifična onesnaževala, ki izvirajo iz izvajanja zdravstvene dejavnosti. Mednje sodijo farmacevtske učinkovine oziroma mikropolutanti, ki so biološko aktivni, težko razgradljivi in lahko v okolju obstajajo daljše časovno obdobje. Sem uvrščamo antibiotike, protiglivična in protivirusna zdravila, hormonske pripravke, analgetike ter citostatike, pri katerih je tveganje še posebej izrazito zaradi njihove kancerogenosti in genotoksičnosti. Pomemben vir onesnaženja predstavljajo tudi kontrastna sredstva, ki vsebujejo jod in so zelo obstojna, zato lahko v sledovih dosežejo podzemno vodo. Poleg zdravil je treba upoštevati še kemikalije in razkužila, kot so aldehidi, klorove spojine, fenolne spojine, kvarterne amonijeve soli, alkoholi, peroksidi ter detergenti s fosfati in površinsko aktivnimi snovmi. Te snovi lahko povečajo organsko in anorgansko obremenitev podzemne vode.

V odpadnih vodah zdravstvenih ustanov so lahko prisotne tudi anorganske spojine in elementi, kot so amonij, nitriti, nitrati, fosfati, kloridi in sulfati, poleg tega pa še težke kovine v sledovih, na primer živo srebro iz stare opreme, srebro iz medicinskih oblog ter krom, svinec, kadmij, baker in cink iz laboratorijske in tehnične opreme. V primeru poškodb kanalizacijskega sistema ali nezgodnih razlitij obstaja tveganje za vnos mikrobioloških onesnaževal, kot so fekalni indikatorji (*Escherichia coli*, enterokoki) ter drugi patogeni mikroorganizmi, vključno z virusi in sporami anaerobnih bakterij.

Skupaj povzeto, so med gradnjo kot primarni onesnaževalci najbolj relevantna mineralna olja in z njimi povezane spojine, medtem ko v času obratovanja ob potencialnih obremenitvah z mineralnimi olji dodatno prevladujejo značilna onesnaževala, povezana z zdravstveno dejavnostjo. V izračunih tveganja in predvidenih scenarijih onesnaženja podzemne vode pa smo kot osrednji onesnaževalec obravnavali mineralna olja.

Tabela 4: Možna onesnaževala med gradnjo in obratovanjem ter dopustne vrednosti relativne občutljivosti glede na Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (Uradni list RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16)

INDIKATIVNI PARAMETRI				
Parameter	Enota	Meja zaznavnosti LOD	Relativna občutljivost S A	Relativna občutljivost S B
Mineralna olja	µg/l	5	+2	+1,5
Amonij	µg/l	0,02	+3	+2
Nitrati	mg/l	0,1	+2	+1,5
Sulfati	mg/l	0,5	+2	+1,5
Kloridi	mg/l	0,5	+2	+1,5
Nitriti	mg/l	0,01	+3	+2
Fitofarmacevtska sredstva*				
Vsota aktivnih snovi in njihovih razgradnih spojin iz pravilnika o monitoringu kemijskega stanja površinskih voda	µg/l	vrednosti iz pravilnika	+3	+1,5
Ostala fitofarmacevtska sredstva iz pravilnika o monitoringu kemijskega	µg/l	vrednosti iz pravilnika	-	+2

stanja površinskih voda				
Vsota aktivnih snovi in njihovih razgradnih spojin iz pravilnika o o imisijskem monitoringu podzemne vode	µg/l	vrednosti iz pravilnika	+3	+1,5
Ostala fitofarmacevtska sredstva iz pravilnika o imisijskem monitoringu podzemne vode	µg/l	vrednosti iz pravilnika	-	+2

* za deterministično analizo tveganja se kot fitofarmacevtska sredstva iz tega pravilnika štejejo pesticidi in njihovi metaboliti (razgradne spojine) iz predpisov, ki določajo kemijsko stanje površinskih voda in kakovost podzemne vode.

10.2. Opredelitev mehanizma razlitja in/ali sprostitve onesnaževal

Prenos onesnaževal lahko z mesta izpusta poteka z infiltracijo v podzemno vodo. Voda sprva vertikalno pronica skozi nezasičeno cono, ko pa doseže nivo podzemne vode, poteka prenos snovi bolj ali manj horizontalno. V obeh primerih so glavni procesi prenosa odvisni od advekcije in disperzije, ki pa imajo različne vloge v primeru zasičene oz. nezasičene cone.

Hitrost pronicanja tekočine z onesnaževalom skozi pore v nezasičeni coni tal je odvisna od hidrogeoloških parametrov ter od vrste in lastnosti onesnaževal. Prenos snovi z delovišča ob razlitju skozi nezasičeno cono do zasičene cone je vezan tako na sam gravitacijski odtok, kot tudi na nadaljnje izpiranje dela sorbiranih količin olja s padavinsko vodo.

Transport skozi vodonosnik je odvisen od hidrogeološke zgradbe vodonosnika, hitrost prenosa pa zmanjšuje sorpcija na glinene delce vodonosnika, biodegradacija v prezračenem delu oblaka onesnaženja ter hlapenje. Mobilnost onesnaževal je vezana na njihovo viskoznost in topnost v vodi ter na njihove sorpcijske lastnosti. Mineralna olja se z vodo ne mešajo in s podzemno vodo tvorijo dvofazni tok. Njegovo širjenje v zasičenem delu vodonosnika je vezano na nivo podzemne vode in ne prodira v globlje predele vodonosnika.

V času gradnje, predvsem v času zemeljskih del, lahko pride do največjega ogrožanja tal in posledično podzemne vode. Takrat se z gradbenimi stroji posega pod površinski zemeljski sloj, s tem pa je omogočen hitrejši prehod onesnaževal v podzemno vodo.

Vnos onesnaževal v podtalje v času gradnje je lahko posledica slabega vzdrževanja delovnih strojev, poškodbe rezervoarja pri delovni nesreči, poškodbe mazalnih sistemov na delovnih strojih, ipd.

Gradbeni in ostali odpadki se bodo na gradbišču zbirali ločeno po vrstah odpadkov tako, da ne bodo onesnaževali okolja in se bodo redno odvažali (oddaja pooblaščenim zbiralcem ali izvajalcem obdelave), v skladu s predpisi o ravnanju z odpadki.

Dogodke bomo preučevali po scenariju normalnega razvoja dogodkov, alternativnega razvoja dogodkov in po scenariju najslabše možnosti.

10.3. Interakcija onesnaževala in okolja

Transport onesnaženja skozi vodonosnik je odvisen od zgradbe vodonosnika, zgornje nezasičene (vadozne) cone in spodnje zasičene (freatične) cone. Ranljivost vodonosnika glede na onesnaženje je neposredno povezana s hidravličnimi lastnostmi vodonosnika in značilnostmi samega polutanta. Med infiltracijo skozi zemljo in med transportom skozi vodonosnik se veliko polutantov naravno razgradi ali se delno absorbira (odvisno od litološke sestave). Stopnja razgradnje je v posameznih primerih odvisna tudi od lastnosti poroznega medija.

10.4. Toksičnosti onesnaževala

V primeru onesnaževal, ki jih pri preučevanju posega prepoznavamo kot tiste, ki bi lahko predstavljale tveganje za okolje, ugotavljamo, da so tako dieselska goriva kot mineralna olja lažja od vode.

V nadaljevanju podajamo način uporabe in toksične lastnosti potencialnih onesnaževal v uporabi v času gradnje in obratovanja. Podatki o kemičnih zmesih so povzeti iz uradnih varnostnih listov.

Toksikološke karakteristike morebitnih onesnaževal v uporabi:

Diesel gorivo:

- Oralno (podgana): LD 50 > 2000 mg/kg (ocenjeno glede na sestavo komponent)
- Dermalno (kunen): LD 50 > 2000 mg/kg (ocenjeno glede na sestavo komponent)
- Inhalacijsko (podgana): LC 50 > 5 mg/l/4 h (ocenjeno glede na sestavo komponent)
- Drugo: Pripravek lahko povzroči draženje oči, kože in dihalnih poti v primeru povečane izpostave in nepravilne rabe.

Kronični učinki: Študije dolgoročnih toksičnih učinkov na miših so dale negotove rezultate.

IARC inštitucija je l. 1989 razvrstila destilate dieselskega goriva v skupino karcinogenih snovi 3 - nerakotvorno za človeka (razvrščeno zaradi neustreznih študij).

Neosvinčen motorni bencin:

- Oralno (podgana): LD 50 > 2000 mg/kg (ocenjeno glede na sestavo komponent)
- Dermalno (kunen): LD 50 > 2000 mg/kg (ocenjeno glede na sestavo komponent)
- Inhalacijsko (podgana): LC 50 > 5 mg/l/4 h (ocenjeno glede na sestavo komponent)
- Drugo: Pripravek lahko povzroči draženje oči, kože in dihalnih poti.

Kronični učinki: Zmes vsebuje benzen, ki je znan kot povzročitelj rakavih obolenj. Ker ta izdelek vsebuje več kot 0,1 ut. % benzena, je po pravilih razvrščanja (EU zakonodaja) ta izdelek razvrščen kot rakotvoren, skup. 2B.

10.5. Mobilnosti onesnaževala

Hitrost pronicanja tekočine skozi pore v nezasičeni coni je odvisna od hidrogeoloških parametrov (velikost por in zrn, litološke lastnosti sedimenta, stopnja sortiranosti, vlažnost kamnine, debelina nezasičene cone, ...) ter od vrste tekočine (voda, onesnaževalo). V splošnem pa velja, da je koeficient prepustnosti v nezasičeni coni manjši kot v zasičeni (Veselič, 1984).

Pri pretakanju fluidov skozi porozne sedimente ločimo:

- tok fluidov, ki se med seboj mešajo (npr. barvilo, sol in voda)
- tok fluidov, ki se med seboj ne mešajo (npr. nafta, olje in voda).

Od gostote onesnaževala je odvisna tudi njegova hitrost v podzemni vodi. Ker je gostota mineralnih olj manjša od gostote vode, bi le to potovalo v smeri toka in na zgornjem sloju podzemne vode.

Pri razlitju nastopi pod vplivom gravitacijskih sil v coni razlitja vertikalna infiltracija razlitih onesnaževal (npr. naftnih derivatov) v zemljino. V primeru velikega volumna ali dolgotrajnejšega razlivanja ter v neugodnih hidroloških razmerah (močnem deževju), lahko derivati dosežejo nivo podzemne vode.

Napredovanje v zemljini pogojuje geološka zgradba na širšem območju razlitja. Na adsorpcijo, advekcijo in disperzijo vpliva prepustnost, efektivna poroznost, granulometrična in mineralna sestava ter viskoznost snovi onesnaževala. V primeru, da pride na lokaciji do izlitja onesnaževala, bi le to potovalo skozi nezasičeno cono bolj ali manj vertikalno. Na mestu onesnaženja nastopi maksimalna zasičenost zemljine, ki z globino pada. Ko napredujoče razlitje doseže gladino podzemne vode, začne koncentracija postopno naraščati do polne zasičenosti v jedru onesnaženja. Jedro onesnaženja potopno napreduje skozi zemljino v smeri gladine podzemne vode, pri čemer v zemljini ostaja absorbirani del onesnaženja, ki se kasneje zaradi padavin, površinskih vod in oscilacije podzemne vode postopoma izloča in onesnažuje podzemno vodo.

Pod vplivom kapilarnih sil se v coni stika napredujočega čela razlitja z gladino podzemne vode, naftni derivati razširijo lateralno, pri tem pa zaradi večje viskoznosti izpodrivajo vodo. Kapilarni pritiski se postopno znižujejo in onesnaženi element se prične pomikati v smeri toka podzemne vode. Napredovanje onesnaževala eksponentno upada s tokom podzemne vode in se ustavi na stopnji zasičenosti, pri čemer se voda in naftni derivati ne mešajo, netopni ogljikovodiki pa lahko z vodo tvorijo emulzirano zmes, v katero vstopajo aromatični ogljikovodiki. V podzemnem toku podzemne vode se lahko tvorijo trije vertikalni sloji, ki obsegajo dvofazni sistem derivatov in vode, pri čemer je prepustnost zemljine za eno fazo odvisna od prepustnosti druge faze, neraztopljeni ogljikovodiki pa na vodni gladini tvorijo enotno plast.

10.6. Kemijske lastnosti in količine onesnaževal

Glede na stopnjo dokumentacije je podrobnejši pregled vrste in količine morebitnih onesnaževal splošen in ocenjen.

Karakteristike potencialnih onesnaževal:

- Diesel gorivo pridobivajo iz surove nafte in je zmes ogljikovodikov. Gostota pri 15°C znaša ca 840-860 kg/m³.
- Motorni bencin pridobivajo iz surove nafte in je zmes ogljikovodikov. Gostota pri 15°C znaša ca 720 kg/m³.

Tabela 5: Količine potencialnih onesnaževal v rabi v času gradnje in obratovanja.

Snov	Toksične lastnosti potencialnih onesnaževal			
	Rezervoarji vozil	Dnevna poraba	Količin ni mogoče vnaprej predvideti	Sprotne količine v rezervoarjih
Dieselsko gorivo – gorivo za motorje z notranjim izgorevanjem				
Neosvinčen motorni bencin – gorivo za motorje z notranjim izgorevanjem				

11. Opredelitev scenarijev razvoja nezgodnih dogodkov

Zaradi pomanjkanja podatkov o verjetnostih nesreč na gradbiščih, pomanjkanja podatkov o učinkovitosti intervencijskih in sanacijskih ukrepov v Sloveniji, so le-te podane zgolj kvalitativno. V nadaljevanju podajamo po tri različne scenarije poteka dogodkov za čas gradnje in čas obratovanja objekta. Scenarije razdelimo v tri kategorije:

1. Scenarij normalnega razvoja dogodkov je tisti, ki se bo v vsakem primeru zgodil.
2. Alternativni scenarij vsebuje manjša odstopanja od normalnega razvoja dogodkov, posledično pa je njegova verjetnost pojava bistveno nižja.
3. Najmanj verjeten je črni scenarij, oziroma scenarij najslabše možnosti. Ta scenarij vsebuje verigo več zaporednih, manj verjetnih dogodkov – razlitja celotnega volumna rezervoarja z mineralnimi olji in popolne odsotnosti zaščitnih, intervencijskih in sanacijskih ukrepov na območju.

Pri obdelavi rezultatov je potrebno opozoriti tudi na verjetnosti posameznih dogodkov in/ali stanj, ki padajo od normalnega preko alternativnega scenarija proti scenariju izjemnega dogodka.

Scenariji v večji ali manjši meri upoštevajo ukrepe za zaščito podzemne vode, ki so podani v projektu, oceni vpliva posega na podzemno vodo ter dopolnjeni v naslednjem poglavju tega poročila. Verjetnosti, da pride do alternativnih in črnih scenarijev, so bistveno večje med gradnjo, kar je potrebno upoštevati pri interpretaciji rezultatov. V nadaljevanju podajamo izračune relativne občutljivosti za različne scenarije razvoja dogodkov v času gradnje in v času obratovanja.

11.1. Scenariji razvoja dogodkov v času gradnje

11.1.1. Normalni scenarij v času gradnje

Normalni scenarij upošteva predvideni potek del na gradbišču z doslednim upoštevanjem vseh dodatnih varnostnih ukrepov. Vnosa mineralnih olj v podzemno vodo v primeru scenarija normalnega razvoja dogodkov ni. Ob upoštevanju vseh varnostnih ukrepov in popolnem delovanju le-teh je potencialni vnos onesnaževal zanemarljiv oz. enak nič. Ob gradnji podvoza bodo tokovnice podzemne vode prav tako usmerjene proti gradbeni jami, zato je verjetnost

mobilizacije obstoječih onesnaževal proti vodnemu viru zanemarljiva. Z vidika gradbene mehanizacije predstavljajo emisije predvsem izpušni plini ter minimalne količine maziv, goriv, ter delcev težkih kovin zaradi obrabe delovnih strojev, ki do podzemne vode ne prodrejo. V normalnem scenariju zaradi doslednega upoštevanja zaščitnih ukrepov ne prihaja do emisij v podzemne vode.

11.1.2. Alternativni scenarij v času gradnje

Alternativni scenarij zajema dogodke, ki nastopijo, v kolikor delno ali v celoti odpove eden ali več zaščitnih ukrepov. V ta scenarij smo uvrstili onesnaženje podzemne vode z mineralnimi olji kot posledica razlitja iz rezervoarjev oziroma hidravličnih sistemov delovnih strojev na gradbišču, pri čemer niso bili upoštevani vsi ukrepi brezhibnosti in delovanja vozil in/ali varnosti pri delu (počena hidravlična cev, odsotnost lovilne posode ...). Prav tako intervencijski ukrepi, zajeti v tem scenariju, niso bili izvedeni optimalno ali v celoti, zato je del izlitih mineralnih olj odtekel v podtalje, od koder nato ni bil v celoti odstranjen.

Ocenjujemo, da bo v primeru razlitja določene količine onesnaževal, do podzemne vode prispela polovica razlite tekočine, kar bi pomenilo od skupne količine 40 l razlitih mineralnih olj, približno 20 l. Ocena grobo ustreza volumnu manjše posode za gorivo.

11.1.3. Scenarij najslabše možnosti (črni scenarij) v času gradnje

Pri črnem scenariju predpostavljamo potek dogodkov, pri katerem po dogodku z razlitjem mineralnih olj odpove več varnostnih sistemov, ki so namenjeni zaščitni podzemne vode. Ob takšnem razvoju dogodkov je podzemna voda bistveno bolj izpostavljena. Ob razlitju na območju gradbišča, kjer je izpostavljena nevezana nosilna plast, lahko onesnaževalo hitro ponikne v podtalje in naprej proti podzemni vodi. V primeru razlitja večjih količin so tudi prizadete površine večje in je zato sanacija takšnega območja težja in manj uspešna.

Ocenjujemo, da bi v takšnem izrednem primeru, količina razlitih mineralnih olj znašala več kot 400 l, kar grobo ustreza skupnemu volumnu rezervoarja goriva in hidravličnega olja delovnega stroja. Ocenjujemo, da bi v primeru razlitja takšne količine onesnaževal, do podzemne vode prispela polovica razlite tekočine (200 l mineralnega olja). Ker je za črni scenarij potreben razvoj dveh ali več zelo malo verjetnih dogodkov, je verjetnost razvoja dogodkov po črnem scenariju zelo majhna. Ocenjujemo, da je verjetnost razvoja črnega scenarija v času gradnje manjša od 10^{-5} .

11.2. Scenariji razvoja dogodkov v času obratovanja

11.2.1. Normalni scenarij v času obratovanja

Normalni scenarij upošteva predviden potek dogodkov z doslednim upoštevanjem vseh dodatnih varnostnih ukrepov.

Zemeljska dela v času gradnje lahko spremenijo pogoje (tudi) v času obratovanja, ko se lahko izlužujejo snovi, ki so bile prej sorbirane na sedimente. Takega onesnaženja zaradi nepoznavanja vrst in količin onesnaževal ne moremo kvantificirati, lahko pa podamo kvalitativno oceno.



Pri vzdrževanju objekta se predvideva uporaba delovnih strojev in dolivanje goriva, vendar se ob normalnem razvoju dogodkov ne predvideva njihovih nesreč, ki bi povzročala večja razlitja. V primeru normalnega poteka razvoja dogodkov v času obratovanja tako ne predvidevamo pomembnega izpusta onesnaževal iz tega vira v podzemno vodo. V primeru onesnaženja je reakcijski čas za sanacijo zelo kratek, sanacija pa je z odstranitvijo morebitnega onesnaženega materiala zelo učinkovita. Prenos onesnaževal preko prašnih delcev na območja, kjer je možno spiranje v podzemno vodo, ocenjujemo na zanemarljivo majhen.

11.2.2. Alternativni scenarij v času obratovanja

Med obratovanjem lahko kot alternativni scenarij upoštevamo pojav požara in posledičnega gašenja, pri čemer je upoštevano, da kontaminirano sredstvo za gašenje ni odstranjeno v celoti, ter da ga 10 l prispe do podzemne vode zaradi zastajanja in ponikanja ob dilatacijah na območju izven objekta.

11.2.3. Scenarij najslabše možnosti v času obratovanja

Scenarij izjemnega dogodka oz. črni scenarij obsega kombinacijo malo verjetnih dogodkov, stanj in procesov, ki bi lahko v času obratovanja vplivali na podzemno vodo.

Scenarij najslabše možnosti v fazi obratovanja predstavlja obširno razlivanje in ponikanje kontaminiranega sredstva za gašenje požara na območju izven garažne hiše. Privzeta je izguba 150 l onesnaževal v raztopini.

12. Opredelitev tveganja za onesnaženje

12.1. Izračun relativne občutljivosti

Za določitev relativne občutljivosti smo izbrali računsko metodo za ugotavljanje relativne občutljivosti vodnega vira. Vrednotenje vplivov oblikovanih ukrepov smo izvajali z matematičnim modelom transporta onesnaževal v podzemni vodi. Pri tem smo upoštevali vse poznane lastnosti obravnavanega vodonosnika.

Računski pristop zajema izračun transporta onesnaževala od mesta, kjer le ta prispe v podzemno vodo do mesta odvzema (vodni vir). V izračunu smo konzervativno privzeli, da onesnaževalo v celoti, brez razredčenja v zgornjem vodonosniku, ponikne v podzemno vodo spodnjega vodonosnika cca 50 m stran od predvidenega posega.

V izračunu smo upoštevali tudi razredčenja, ki so posledica transporta razlitih snovi skozi nezasičeno cono in, v odvisnosti od scenarija, skozi zaporne plasti. Na tem delu »poti« so prisotni procesi retardacije (adsorpcija in biodegradacija), ki zaradi konzervativnosti v izračunu niso upoštevani. Ker imamo opravka z vodarno, katero sestavlja večje število vodnjakov, ki zajemajo vodo iz večje širine omočenega sloja vodonosnika prihaja do redčenja tudi v samem vodnjaku. Zadnje zmanjšanja koncentracij nevarnih snovi se odvijajo po združitvi vode iz vseh vodnjakov posamezne vodarne.

Modelni izračun za enkratni vnos onesnaževala za različne scenarije je bil izveden po Baetslu. Pri izračunu smo upoštevali načelo zmerne konzervativnosti. Tako smo zanemarili procese, ki v naravi sicer pripomorejo k zmanjšanju koncentracije snovi v podzemni vodi (sorpcija v nezasičeni in zasičeni coni) in procese, ki zmanjšujejo skupno količino snovi (biodegradacija). Onesnaženje (primer nesreče) je simulirano s spodnjim analitičnim modelom:

$$C = \frac{M}{8(\pi vt/R)^{3/2} \sqrt{\alpha_L \alpha_T \alpha_Z}} \exp \left(-\frac{(x - vt/R)^2}{4\alpha_L vt/R} - \frac{y^2}{4\alpha_T vt/R} - \frac{z^2}{4\alpha_Z vt/R} \right)$$

Posamezne oznake v zgornjih enačbah predstavljajo:

- C koncentracija v vodnjaku [kg/m³]
- M masa razlitega onesnaževala [kg]
- x, y, z koordinate vodnega vira glede na onesnaženje [m]
- v hitrost toka podzemne vode [m/s]
- t čas [s]
- α_T transverzalna disperzivnost [m]
- α_L longitudinalna disperzivnost [m]
- α_Z vertikalna disperzivnost [m]
- R faktor retardacije [-]

12.2. Ocena širjenja onesnaževal skozi nezasičeno cono

Na podlagi debeline nezasičene cone, koeficienta prepustnosti, gradienta gladine podzemne vode in efektivne poroznosti smo ocenili tudi hitrost toka skozi nezasičeno cono. Ta lahko v odvisnosti od lokalnih razmer (prisotnost/odsotnost plasti gline in melja) in debeline nezasičene cone (ca 7 m) traja od 10 minut do nekaj dni.

Tako lahko tok pronicajočih onesnaževal proti podzemni vodi opredelimo kot zelo hiter, iz tega razloga pa je voljo manj časa za intervencijske ukrepe.

12.3. Relativna občutljivost in ocena spremembe parametrov, ki so predmet analize tveganja

Za ugotavljanje sprejemljivosti obravnavanega posega smo torej uporabili izračun relativne občutljivosti vodnega vira (S) v skladu z 48. členom *Pravilnika o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja* (Ur.l. RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16). Izračun smo izvedli po sledeči enačbi:

$$S = \frac{(R + dR)}{R}, \text{ kjer je} \quad (1)$$

- S – relativna občutljivost,
 R – referenčno stanje, ki je enako povprečni vrednosti parametra pred gradnjo objekta,
 dR – sprememba referenčnega stanja zaradi ogroženosti onesnaženja.

Za referenčno stanje (R) smo prevzeli podatke, ki so na voljo po Poročilih MOP-ARSO za Ljubljansko polje in znaša 6 µg/L. Meja detekcije (LOD) za mineralna olja je 5 µg/L.

Spremenljivko dR smo izračunali po enačbi:

$$dR = \frac{\frac{m_{snovi}}{t}}{Q}, \text{ kjer je} \quad (2)$$

- dR – sprememba referenčnega stanja zaradi ogroženosti onesnaženja,
 m_{snovi} – celotna masa izlite snovi,
 t – približen potovalni čas snovi od točke izlitja do vodnega objekta,
 Q – hitrost črpanja.

V primeru obravnavanega posega smo za zgoraj našteje parametre uporabili naslednje vrednosti in predpostavke:

- potovalni čas snovi (t) 300 dni (le v primeru črnega scenarija)
- hitrost črpanja vode iz vodnjakov v vodarni Hrastje 800 litrov na sekundo (celotna kapaciteta)
- oddaljenost objekta od vodarne Hrastje vzdolž toka 5743 m, kar predstavlja zračno linijo med objektoma

Na osnovi izvedenih črpalnih poskusov je bil izračunan pretok 800 l/s podzemne vode na območju vodarne Hrastje in hitrost toka podzemne vode 1,7 m/dan pri povprečni prepustnosti 3×10^{-3} m/s, gradientu 0,001 ter efektivni poroznosti 0,15.

Ocena relativne občutljivosti je izračunana za parameter mineralna olja, katerega referenčno stanje na vodnih virih smo ocenili na 0,006 mg/l (vrednost meje detekcije). Dovoljena relativna občutljivost S za mineralna olja znaša +2 µg/l po Pravilniku o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja (U.I. RS, št. 64/04, 5/06, 58/11 in 15/16). Rezultati analize izlučka iz vzorca sloja tolčenca in tampona so pokazali povišane koncentracije indeksa mineralnih olj, zaradi česar je dejansko referenčno stanje nekoliko višje, relativna občutljivost pa posledično manjša (Krajnc, 2023). Ob upoštevanju načela konzervativnosti smo pri izračunih uporabili mejno vrednost detekcije mineralnih olj.

12.4. Rezultati izračunov relativne občutljivosti

Verjetnosti, da pride do razvoja alternativnih in črnih scenarijev so bistveno večje med gradnjo, kar je potrebno upoštevati pri interpretaciji relativne občutljivosti in interpretaciji rezultatov. Maksimalno koncentracijo mineralnih olj na vodnem viru Hrastje kot posledico razvoja dogodkov v posameznih scenarijih med gradnjo ter izračunano relativno občutljivost podajajo spodnje tabele. Razvoj koncentracij mineralnih olj na zajetju Hrastje, ob teoretskih konzervativnih predpostavkah, podanih v prejšnjih poglavjih, prikazujejo spodnje slike.

Preglednica 2: Količine razlitih onesnaževal, najvišje koncentracije na vodnem viru in relativne občutljivosti za različne upoštevane scenarije med gradnjo ter med obratovanjem.

V času gradnje	Normalni	Alternativni	Črni
L mineralnih olj	0	20	200
mg/L	0	$8,8 \times 10^{-4}$	$8,8 \times 10^{-3}$
R	1	1,15	2,47

Preglednica 3: Količine razlitih onesnaževal, najvišje koncentracije na vodnem viru in relativne občutljivosti za različne upoštevane scenarije med obratovanjem.

V času obratovanja	Normalni	Alternativni	Črni
L mineralnih olj	0	10	150
mg/L	0	$4,4 \times 10^{-4}$	$6,6 \times 10^{-3}$
R	1	1,07	2,10

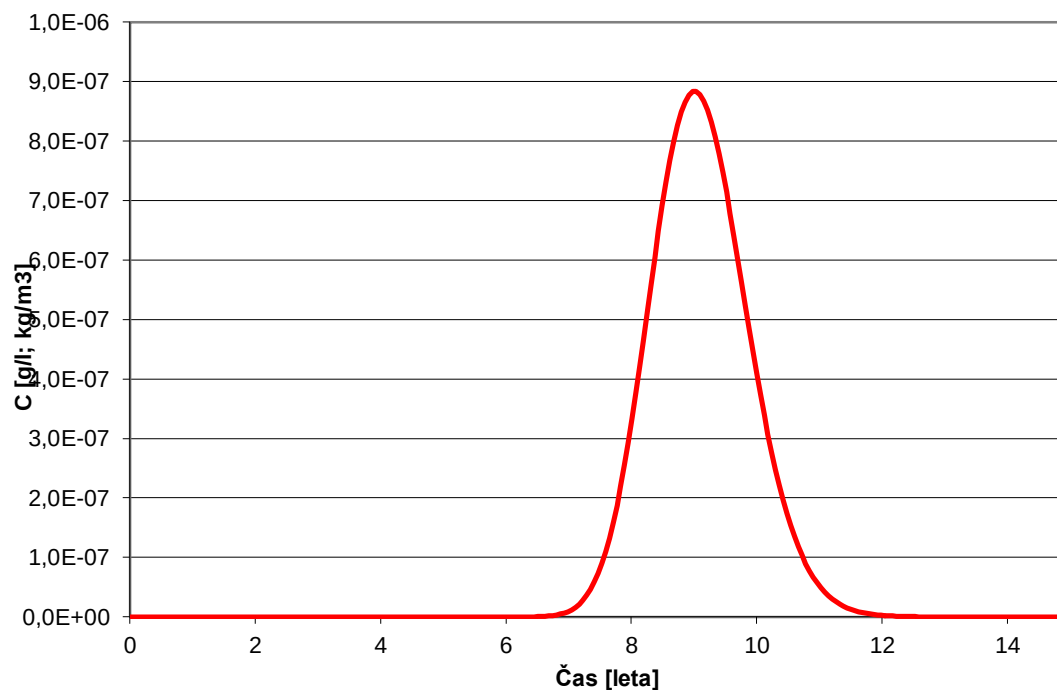
Zgornje preglednice podajajo rezultate izračuna maksimalnih koncentracij na vodnem viru in relativne občutljivosti za vodni vir Hrastje, ki je od posega oddaljen 5743 m v zračni liniji. Onesnaževalo bi vodni vir ob konzervativnih teoretskih predpostavkah doseglo po ca 6 letih, maksimalna koncentracija onesnaževala pa bi črpališče zajela v ca 9 letih. Pri izračunu ni upoštevano razredčenje onesnažene vode z neonesnaženim delom zajete podzemne vode.

Na podlagi izračunov je bilo ugotovljeno, da bo dovoljena relativna občutljivost S za mineralna olja na vodnem viru presežena v primeru razlitja 135 kg onesnaževala, kar ustreza rezervoarju srednje velikega bagra.



Koncentracija v vodarni (v času gradnje - alternativni scenarij)

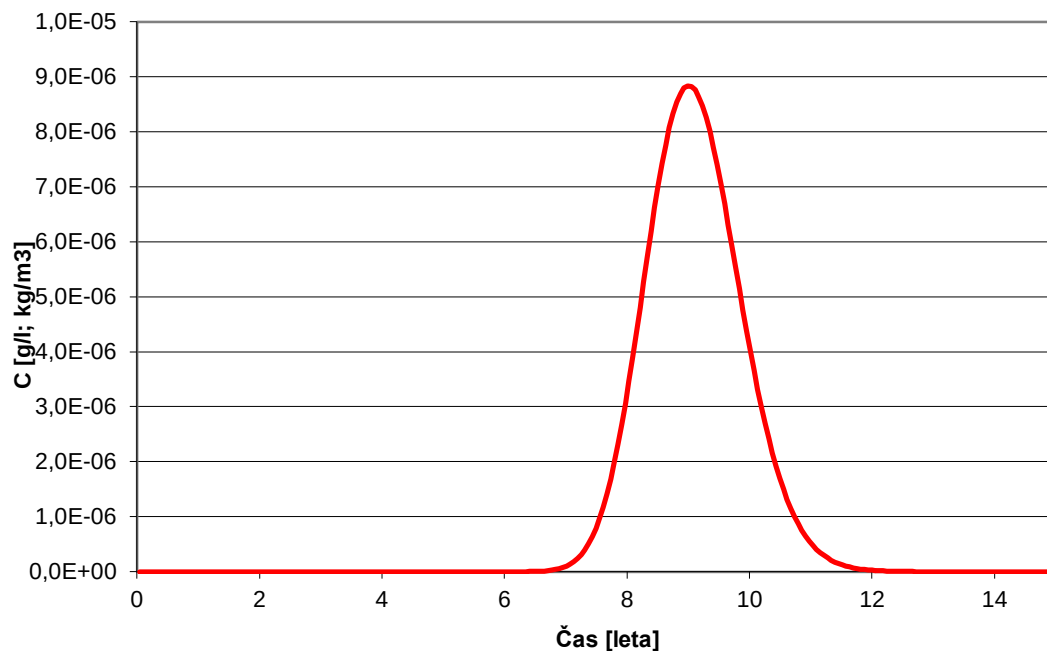
x = 5743 m y = 0 m z = 0 m



Slika 15: Razvoj koncentracije mineralnih olj v vodarni Hrastje ob razvoju alternativnega scenarija dogodkov v času gradnje.

Koncentracija v vodarni v času gradnje - črn scenarij

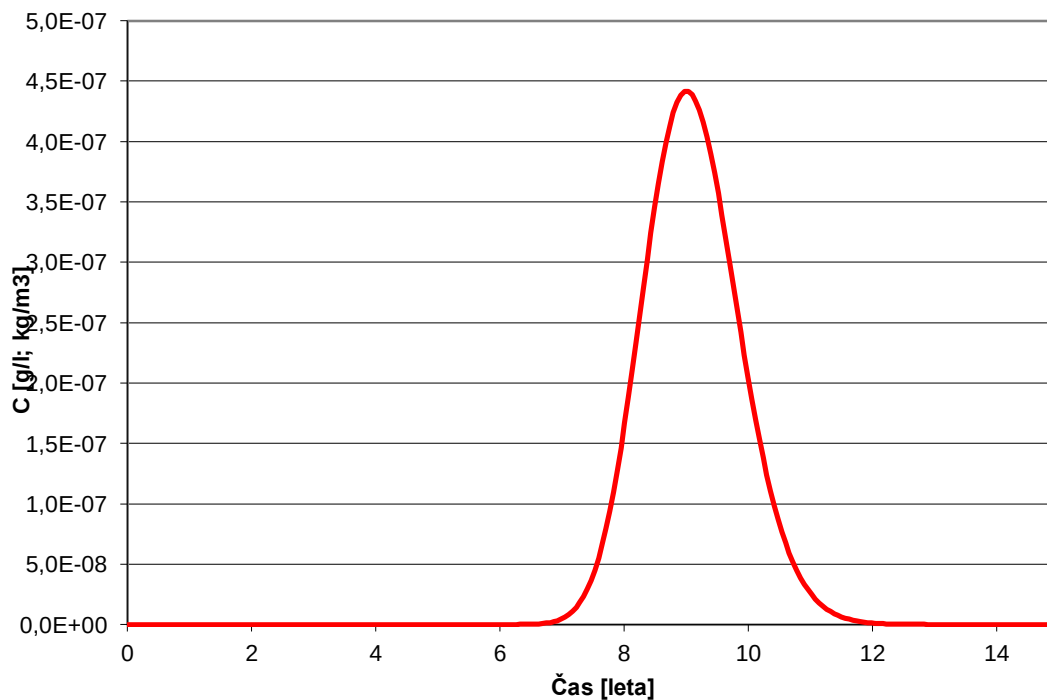
x = 5743 m y = 0 m z = 0 m



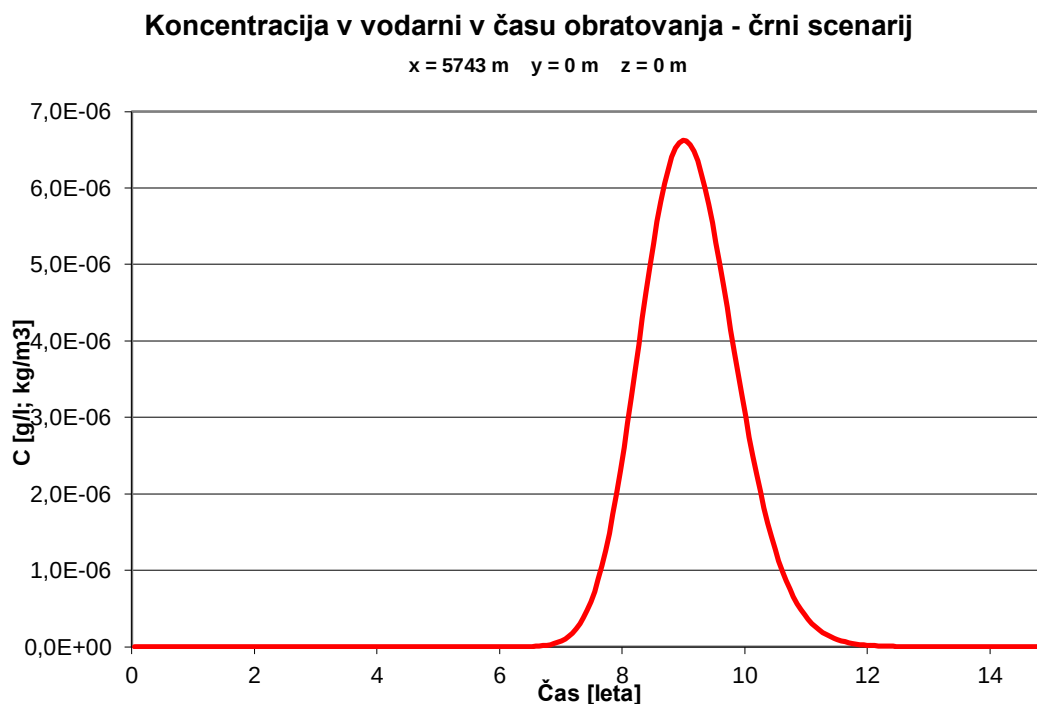
Slika 16: Razvoj koncentracije mineralnih olj v vodarni Hrastje ob razvoju črnega scenarija dogodkov med gradnjo.

Koncentracija v vodarni v času obratovanja - alternativni scenarij

x = 5743 m y = 0 m z = 0 m



Slika 17: Razvoj koncentracije mineralnih olj v vodarni Hrastje ob razvoju alternativnega scenarija dogodkov v času obratovanja.



Slika 18: Razvoj koncentracije mineralnih olj v vodarni Hrastje ob razvoju črnega scenarija dogodkov med obratovanjem.

13. Predlog ukrepov za zaščito

13.1. Ukrepi za omilitev vplivov v času gradnje

Med gradnjo je nevarnost onesnaženja podzemne vode največja, zato se morajo izvajati zaščitni ukrepi na celotnem območju gradbišča, transportnih poteh in drugih manipulativnih površinah, ki so v povezavi s predvidenimi posegi ob gradnji predvidenega objekta. Dela morajo biti količinsko in časovno opredeljena v terminskem planu izvedbe del. Terminski plan mora vsebovati načrte organizacije gradbišča vzdolž trase, ureditev dostopnih poti, komunalno ureditev gradbišča, ureditev parkirišč za mehanizacijo z urejenimi prostori za dolivanje goriva ter popravila in tekoče vzdrževanje gradbene mehanizacije.

Gradnja in obratovanje objekta ne sme negativno vplivati na količinsko in kemijsko stanje vodnih virov, kar bo mogoče spremljati z v nadaljevanju določenem minimalnem obsegu monitoringa, ki naj se naj vključi v tehnično poročilo projekta ter v višjih projektnih fazah dopolni na podlagi stopnje poznavanja pogojev gradnje in zajema podzemne vode.

V času gradbenih del je potrebno upoštevati omejitve, ki izhajajo iz *Uredbe o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja* (Ur.l. RS, št. 43/15, 181/21, 60/22 in 35/23):

- Sanitarije so dovoljene kot zabojniki s kemičnimi sanitarijami ali če je urejena odvodnja iz stranišč v javno kanalizacijo.

- Prepovedana je uporaba gradbenega materiala, iz katerega se lahko izločajo snovi, škodljive za vodo.
- Za gradnjo tesnilne zaves (diafragme) je potrebno pridobiti vodno soglasje.
- Za gradnjo pilotov, v kolikor so izvedeni s suhim vrtanjem, izkopom ali zabijanjem oz. z vrtanjem z izplako, je potrebno pridobiti vodno soglasje. Vodnega soglasja ni potrebno pridobivati, v kolikor bodo piloti izvedeni s cementacijo v vrtini.

Poleg navedenih ukrepov so v času gradnje potrebni še naslednji ukrepi:

- Delovni stroji in naprave morajo biti brezhibni.
- Kanalizacijski vodi morajo biti predhodno očiščeni in v primeru obstoja greznice le-ta popolnoma izpraznjena.
- V primeru izlitja je potrebno ravnati skladno z določbami *Uredbe o odpadkih* (Ur.l. RS, št. 77/22, 113/23 in 13/25) in onesnaženo zemljino takoj odstraniti ter jo predati pooblaščen organizaciji za ravnanje s tovrstnimi odpadki.
- Morebitno razlitje je potrebno črpati iz gradbene jame v za to ustrezne zbiralnike oz. cisterne. Prepovedano je odvajanje onesnažene vode direktno v podzemno vodo.
- Gradbene delavce je potrebno podučiti o nevarnosti izlitja nevarnih tekočin iz delovnih naprav, delovnih in tovornih vozil in o postopku v primeru izlitja le-teh.

13.2. Ukrepi za omilitev vplivov v času obratovanja

V času obratovanja objekta je potrebno upoštevati naslednje ukrepe:

- Upravljavec objekta je v skladu z določili Zakona o vodah (Ur. l. RS, št. 67/02 s spremembami), Direktive 2000/60/ES (Okvirna vodna direktiva) in Direktive 2006/118/ES o varstvu podzemne vode pred onesnaženjem, dolžan zagotavljati, da se vse dejavnosti izvajajo na način, ki preprečuje tveganje za onesnaženje podzemne vode. V primeru pojava znakov ali suma onesnaženja je upravljavec dolžan nemudoma obvestiti pristojne službe ter izvesti ukrepe za zaježitev, preprečitev širjenja in sanacijo posledic onesnaženja.
- Potrebno je izvesti preizkus tesnosti kanalizacijskega sistema v skladu s standardom.
- Zagotovljeno mora biti redno vzdrževanje vseh naprav, napeljave in opreme.
- Lovilce olj je potrebno redno vzdrževati. Za mehanske čistilne naprave usedalnice in lovilce olj morajo biti izdelani poslovniki o njihovem obratovanju in vzdrževanju, voditi pa je treba tudi obratovalni dnevnik.
- Uporabnike je potrebno poučiti / seznaniti o ukrepih in postopkih v primeru izlitja nevarnih tekočin iz prevoznih sredstev.
- Za primer nesreče z razlitjem nevarnih snovi je z onesnaženim materialom potrebno ravnati skladno z določili za nevarne odpadke iz *Uredbe o ravnanju z odpadki* (Ur.l. RS, št. 34/08).
- V primeru požara in gašenja je potrebno sredstvo za gašenje odstraniti na način, da ne prihaja do izpustov v podtalje, posebej na območju ob garažni hiši izven tesnilne zaves.

14. Povzetek in sklepna ocena

Analiza tveganja je bila izdelana za potrebe načrtovane izgradnje novega Nacionalnega zdravstvenega centra za izredne razmere kot prizidka bolnišnice dr. Petra Držaja v Ljubljani. Obravnavano območje se nahaja v VVO III A Ljubljanskega polja, zato je bila zahtevana celovita presoja vplivov posega na kemijsko in količinsko stanje podzemne vode ter vodne vire, zlasti na vodarno Hrastje, ki je eden ključnih virov oskrbe s pitno vodo v Ljubljani.

Geološko-hidrogeološke raziskave so pokazale, da območje sestavljajo slabo do dobro graduirani prodi s primesjo peska in melja, deloma z glinastimi vložki. Ti so odloženi na permokarbonskih glinavcih, ki predstavljajo slabo prepustno podlago. Na območju posega se permokarbonska podlaga nahaja že na globini približno 11 m, zato je tam razvit le zgornji viseči vodonosnik, medtem ko spodnji glavni vodonosnik Ljubljanskega polja ni prisoten.

Nivo podzemne vode zgornjega vodonosnika oz. viseče vode na območju predvidenega posega je razmeroma plitek (okoli 7 m pod terenom), nihanja pa so majhna. Izračunana hitrost toka podzemne vode znaša približno 0,06 m/dan, smer toka pa je proti vzhodu oziroma jugovzhodu. V spodnjem vodonosniku se nivo podzemne vode nahaja na nadmorski višini cca 275 m n.v., tok podzemne vode pa poteka pretežno v smeri proti vzhodu s povprečno hitrostjo približno 0,5 m/dan.

Z vidika količinskega stanja je bilo ugotovljeno, da bo objekt v tlorisu prekinil tok podzemne vode v zgornjem vodonosniku, zaradi česar se bo njegova transmisivnost lokalno zmanjšala (v območju objekta dejansko za 100 %), tok podzemne vode pa se bo moral preusmeriti ob straneh. Numerični hidrogeološki model je pokazal, da bo najvišja sprememba gladine podzemne vode dolvodno od objekta znašala do 20 cm, območje vpliva (nad 10 cm) pa bo omejeno na neposredno okolico objekta. Ker ima spodnji vodonosnik bistveno višjo prepustnost in transmisivnost, izvedba objekta ne bo vplivala na njegovo količinsko stanje. Prelivanje iz zgornjega v spodnji vodonosnik bo ostalo enako kot v obstoječem stanju.

Izvedena analiza tveganja onesnaženja je upoštevala normalne, alternativne in črne scenarije v času gradnje in obratovanja. Rezultati so pokazali, da so pri normalnem in alternativnem scenariju pričakovane koncentracije onesnaževal na vodnem viru Hrastje pod dovoljenimi mejami. Tudi pri črnem scenariju je tveganje ob izvajanju predpisanih zaščitnih in intervencijskih ukrepov še vedno obvladljivo.

Sklepamo lahko, da načrtovani poseg ob predpisanem izvajanju zaščitnih in preventivnih ukrepov ne predstavlja nesprejemljivega tveganja za količinsko in kemijsko stanje podzemne vode na območju Ljubljanskega polja ter za vodni vir Hrastje. Spremljanje stanja podzemne vode in nadzor nad izvajanjem zaščitnih, intervencijskih in sanacijskih ukrepov ostajata nujna pogoja za zagotavljanje dolgoročne varnosti oskrbe s pitno vodo.



15. Literatura in viri

MEŠIĆ N., MARKOVIĆ D., 2025: Geološko-geotehnično poročilo za objekt NZCIR, Ljubljana. 2025. Št. poročila 3030922. IRGO Consulting d.o.o., Ljubljana

MEŠIĆ N., 2025: Varovanje gradbene jame - povzetek. IRGO Consulting d.o.o., Ljubljana

RATEJ J., NARAT D., LAVRIČ S., NARAT J., VOUK T., 2025: Hidrogeološko poročilo o izvedenih delih za objekt NZCIR. Št. poročila 3031601. IRGO Consulting d.o.o., Ljubljana

ATLAS OKOLJA – GIS pregledovalnik. Agencija Republike Slovenije za okolje. 2025. Dostopno na svetovnem spletu: <http://gis.arso.gov.si/>

Kakovost podzemne vode v Sloveniji v letu 2007 in 2028. 1001 – Savska kotlina in Ljubljansko barje – ocena kemijskega stanja vodnega telesa podzemne vode. ARSO. Dostopno na svetovnem spletu: <https://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%c4%8dila/1001.pdf>

Kemijsko stanje podzemne vode v Sloveniji Kratko poročilo za leto 2021. ARSO. Dostopno na svetovnem spletu: https://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%c4%8dila/Porocilo_podzemne_2021.pdf

Količinsko obnavljanje podzemne vode. ARSO. Dostopno na svetovnem spletu: https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/kolicinsko-obnavljanje-podzemne-vode-5?utm_source=chatgpt.com

Letno poročilo o skladnosti pitne vode na oskrbovalnih območjih v upravljanju javnega podjetja Vodovod Kanalizacija Snaga d.o.o. v letu 2024. JP VOKA SNAGA d.o.o., Ljubljana.

**Hidrogeološki model:
Numerična analiza
toka vode okrog
objekta NZCIR
Ljubljana zaradi
zmanjšanja
transmisivnost
vodonosnika ter
numerična analiza
zajema podzemne
vode za potrebe
toplotne črpalke**

INVESTITORRepublika
Slovenija**Ministrstvo za obrambo**
Vojkova cesta 55
SI- 1000 Ljubljana**SODELUJOČI****IRGO Consulting, d.o.o.**
Slovenčeva 93
SI-1000 Ljubljana**ŠT. PROJEKTA**

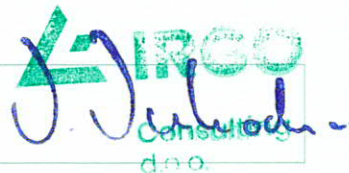
3032199

VRSTA PROJEKTAPoročilo – strokovne
podlage**KRAJ IN DATUM**

Ljubljana, september 2025

PROJEKTANT ELABORATA

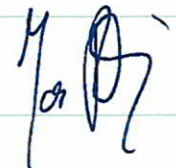
IRGO Consulting, d.o.o.
Slovenčeva 93, SI-1000 Ljubljana
dr. Vladimir Vukadin, univ. dipl. inž. geol.



IRGO Consulting
d.o.o.

VODJA PROJEKTA

dr. Jože Ratej
univ. dipl. inž. geol.



SODELAVCI

Patricija Dimec
univ. dipl. inž. geol.





Kazalo elaborata:

1. UVOD	5
1.1. Izrazi in standardi.....	6
1.2. Namen in funkcija modela.....	6
1.3. Splošne geološke in hidrogeološke razmere	7
2. KONCEPTUALNI MODEL	9
2.1. Vodonosni sistem	9
2.2. Dinamika nihanja nivojev podzemne vode.....	9
2.3. Smer toka podzemne vode	11
2.4. Hidrološke meje	11
2.5. Hidravlične lastnosti sistema.....	11
2.6. Točkovni elementi modela.....	12
2.7. Vodna bilanca.....	12
3. OPIS KODE MODELA	14
3.1. Predpostavke in omejitve.....	14
3.2. Način izračuna	14
3.3. Vpliv predpostavk in omejitev na model.....	15
4. IZDELAVA MATEMATIČNEGA MODELA.....	16
4.1. Prostorska domena modela	16
4.2. Hidravlični parametri.....	17
4.2.1. Hidravlična prepustnost	17
4.3. Točkovni elementi modela	17
4.4. Robni pogoji.....	18
4.5. Kalibracije modela.....	18
5. REZULTATI IN INTERPRETACIJA.....	19
5.1. Simulacija toka podzemne vode	19
5.2. Zajem podzemne vode za potrebe toplotne črpalke	23
6. VIRI IN LITERATURA	25

Slike:

Slika 1: Karta obravnavanega območja, z rdečo prikazana lokacija bolnice Petra Držaja.	5
Slika 2: Hidrogeološka karta širšega proučevanega območja.....	8
Slika 3: Lokacije vrtin na ožjem območju obravnavnega posega.	10

Slika 4: Meritve nivojev podzemne vode v piezometrih V-2P in V-3p na območju predvidenega objekta.....	10
Slika 5: Hidroizohipse srednjega nivoja podzemne vode v zgornjem vodonosniku. Območje predvidenega posega prikazuje rumen pravokotnik.	11
Slika 7: Območje znotraj rumenega pravokotnika smo upoštevali v matematičnem modelu. Rdeč pravokotnik označuje lokacijo predvidenega objekta.	16
Slika 8: Prikaz površja terena modeliranega območja.	17
Slika 10: Ožje proučevano območje z prikazom najnižje višinske kote podkletenih stavb.	19
Slika 11: Profil skoz ožje proučevano območje. Svetlo modre ploskve predstavljajo nivo v zgornjem in v spodnjem vodonosniku ter stik slabo prepustnega prekrova s peščeno prodnim vodonosnikom.....	20
Slika 12: Tok podzemne vode v trenutnem, obstoječem stanju objektov.	20
Slika 13: Obtekanje podzemne vode okoli predvidenega objekta Bolnice Petra Držaja.	21
Slika 14: Sprememba v nivoju podzemne vode zaradi izvedbe objekta bolnice Petra Držaja....	22
Slika 15: Območje, na katero ovira v toku podzemne vode v visečem vodonosniku vpliva za več kot 10 cm.....	23
Slika 16.....	24

Tabele:

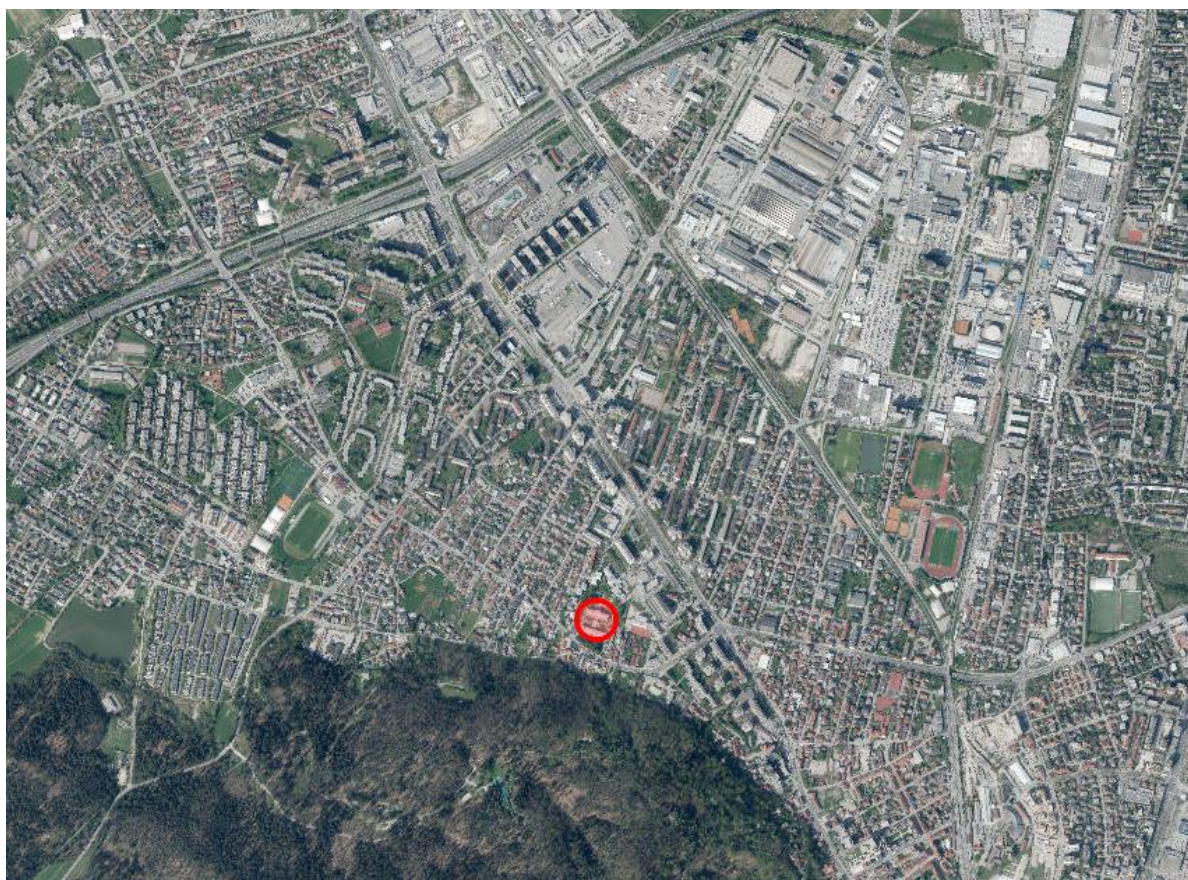
Tabela 1: Zbirna tabela izvedenih hidravličnih poizkusov.....	12
---	----

1. UVOD

Za gradnjo novega Nacionalnega zdravstvenega centra za izredne razmere kot vojaške bolnice (NZCIR) - severni prizidek bolnišnice dr. Petra Držaja (novi trakt) v Ljubljani smo izdelali matematični hidrogeološki model s kateri smo proučili spremembe hidrogeološki razmer zaradi gradnje novega objekta. Zaradi gradnje in izvedbe objekta se bo na območju transmisivnost zmanjšala za 100%. Z numerična analiza smo ugotovili kakšen bo vpliv na tok podzemne okoli predvidenega objekta ter vpliv spremembe toke podzemne vode na sosednje, že obstoječe objekte. Hkrati pa smo z dodatnim matematičnim modelom preverili tudi možnosti izvedbe vodnjaka za potrebe toplotne črpalke severozahodno od predvidenega objekta.

Glede na arhitekturno zasnovo je na obravnavani lokaciji ob obstoječi bolnici je predvidena izgradnja objekta etažnosti 3K+P+4N. Kletna etaža je pravilne tlorisne oblike, velikosti 47,29m x 66,0m. Pritličje ter nadstropja so pravokotne tlorisne oblike, velikosti 24,0m x 66,0m. Nosilna konstrukcija objekta je predvidena kot armirano-betonska (AB), streha pa kot ravna.

Na lokaciji so bile izvedene geološke in hidrogeološke preiskave, katerih glavne rezultate, relevantne za izračun, povzemamo v tem poročilu.



Slika 1: Karta obravnavanega območja, z rdečo prikazana lokacija bolnice Petra Držaja.



1.1. Izrazi in standardi

Uporabljeni viri in standardi pri modeliranju:

- DIERSCH, H.-J., 2014: FEFLOW: Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg.
- ASTM Standard D 5718-95 (Reapproved 2000) Standard Guide for Documenting a Ground-Water Flow Model Application. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.
- ASTM Standard D 5880-96 (Reapproved 2000) Standard Guide for Subsurface Flow and Transport Modeling. Annual Book of ASTM Standards
- ASTM Standard D 5609-94 (Reapproved 2002) Standard Guide for Defining Boundary Conditions in Ground-Water Flow Modeling. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.
- ASTM Standard D 5610-94 (Reapproved 2002) Standard Guide for Defining Initial Conditions in Ground-Water Flow Modeling. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08
- ASTM Standard D 5981-96 (Reapproved 2002) Standard Guide for Calibrating a Ground-Water Flow Model Application. Annual Book of ASTM Standards
- ASTM Standard D 5490-93 (Reapproved 2002) Standard Guide for Comparing Ground-Water Flow Model Simulations to Site-Specific Information. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08
- ASTM Standard D 5611-94 (Reapproved 2002) Standard Guide for Conducting a Sensitivity Analysis for a Ground-Water Flow Model Application. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08
- ASTM Standard D 6033-96 (Reapproved 2002) Standard Guide for Describing the Functionality of a Ground-Water Modeling Code. Annual Book of ASTM Standards

1.2. Namen in funkcija modela

Hidrogeološki numerični model analizira tok podzemne vode v kvartarnem zaglinjeno prodnatem vodonosniku, podrejeno s plastmi gline, melja in peska.

Z modelom ni simulirana sezonska spremenljivost nivojev podzemne vode v kvartarnem vodonosniku. Zaradi goste poseljenosti in visokega količnika površinskega odtoka prav tako ni vključena analiza napajanja iz padavin. Za navedene procese, ki niso vključeni, sicer ocenjujemo, da imajo na rezultate modela, glede na njegov namen, zanemarljiv vpliv.

Primaren cilj izračunov je bil določiti kakšen bo vpliv na tok podzemne vode zaradi zmanjšanja transmisivnosti za 100% ter kakšne bodo posledice spremembe toka podzemne vode na okoliške obstoječe objekte. Dodatno smo izračuni izdelali tudi oceno možnosti črpanja podzemno vodo za topolotno črpalko.

1.3. Splošne geološke in hidrogeološke razmere

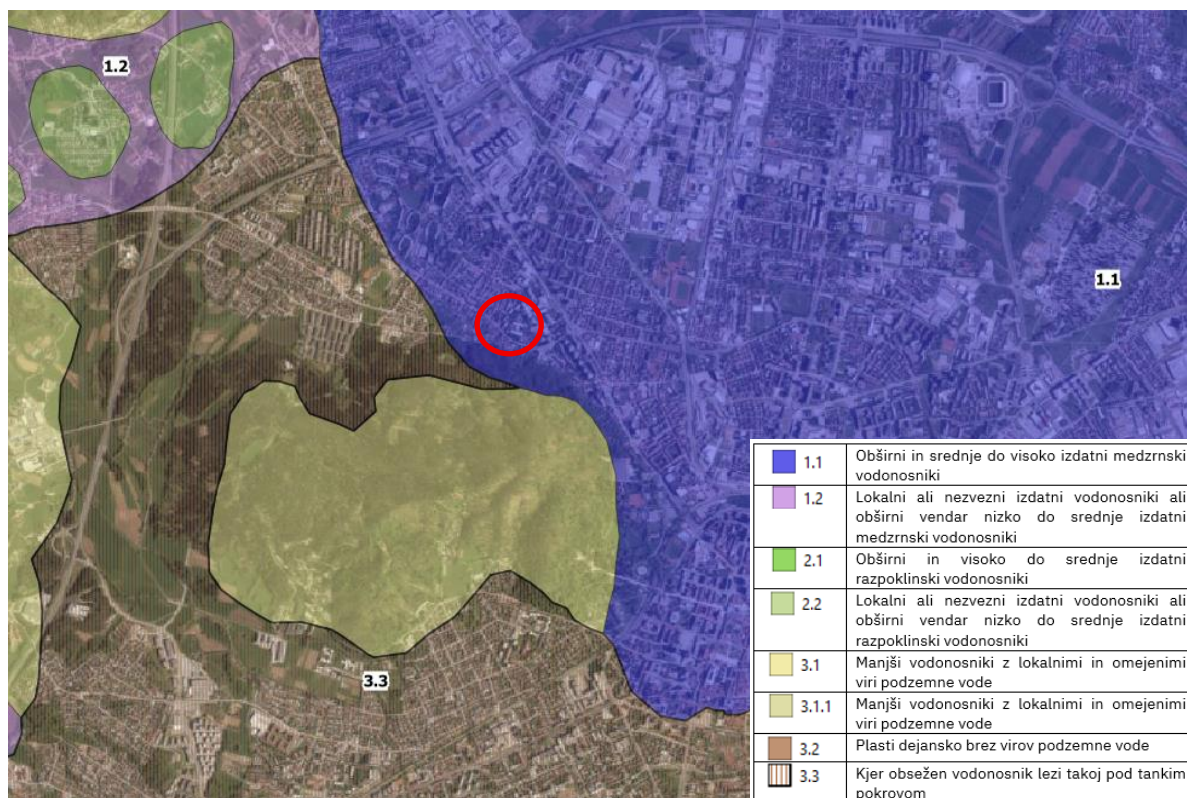
Na osnovi izvedenih geološko-geomehanskih raziskav lahko temeljna tla na obravnavani lokaciji razdelimo na sledeče karakteristične sloje:

(IG0)	UN: GW/GC/GP/CL	pod površjem terena se na območju parkirišč nahaja od 1,0 m do 2,1 m utrjeno umetno nasutje iz slabo graduiranega proda in grušča z glino in peskom ter kosi opeke, svetlo rjave do rjave barve ter kamniti drobljenec in prodnata pusta glina s kosi opeke, rjavo sive do sive barve. Na območju zatravljenih površin se do globine 1,2 m pojavlja sloj glinastega proda in grušča, rjave barve, ki ga zaradi relativne primerljivosti uvrščamo v enoto IG0.
(IG1)	GW/GW-GM/ GP/GP-GM/ GC/GC-GM	Od sloja IG0 do globine največ 7 m pod koto terena se na celotnem območju obdelave pojavlja sloj gostega do zelo gostega dobro in slabo graduiranega proda s peskom ali peskom in meljem do meljasto glinastega proda s peskom, sive do sivo rjave barve.
(IG2)	GC/GP-GC/ GM/SC/CH/CL	Od sloja IG1 naprej se v tleh pojavlja sloj srednje gostega glinastega proda s peskom, slabo graduiranega proda z glino in peskom, meljastega proda s peskom in glinastega peska s prodrom, sive do sivo rjave barve. Sloj se na območju obdelave pojavlja do globine največ 11,8 m. Podrejeno se v sloju pojavlja do 1,2 m debela plast lahkognetne puste in mastne gline s prodrom, sivo rjave barve.
(IG3)	prepereli permokarbonski peščeni glinavec C,P	Pod slojem IG2 smo na globini cca. 11,5 m dosegli preperelo podlago iz permokarbonskega peščenega skrilavca rjave do sive barve.

Območje obdelave se nahaja na kvartarnih naplavinah, ki zapolnjujejo tektonsko pogojeno Ljubljansko kotlino. Vrhni del predstavljajo nanosi potočnega materiala iz obronkov (ostanki vršajev) ter peski, meljasti peski, melj in meljaste gline, ki predstavljajo poplavni sediment ali pa celo zasip ostanka meandra reke Save. Jezerski sedimenti (gline) so zastopani na celotnem ožjem raziskovanem območju.

Predkvartarna podlaga se nahaja relativno blizu površja in sicer na koti med 291 m n. v in 292 m n. v. (oz. 11 in 12 m), globina do podlage narašča z oddaljenostjo od Šišenskega hriba.

Poseg se nahaja v območju vodonosnika Ljubljanskega barja, kot podsistemu vodnega telesa s št. 1001. Na hidrogeološki karti je vodonosnik označen kot obširni in srednje do visoko izdatni medzrnski vodonosnik (tip IAH 1.1) (Slika 2).



Slika 2: Hidrogeološka karta širšega proučevanega območja.

Na območju Ljubljanskega polja se nahajata vsaj dva vodonosnika – spodnji vodonosnik, ter zgornji vodonosnik oz. območje viseče podzemne vode, katerega nivoje beležimo v piezometrih na lokaciji predvidenega objekta.

V **zgornjem vodonosniku** se srednji nivo podzemne vode giblje med 296 in 310 m n.v., kar ustreza globini od 4,5 do 9,5 m pod površjem. Tok podzemne vode poteka pretežno v smeri proti jugovzhodu.

V **spodnjem vodonosniku** se srednji nivo podzemne vode nahaja na nadmorski višini med 271 in 280 m n.v., kar ustreza globini med 11 in 32 m pod terenom. Tok podzemne vode poteka pretežno v smeri proti vzhodu.

2. KONCEPTUALNI MODEL

2.1. Vodonosni sistem

Glede na geološko sestavo (plitvo pojavljanje permo-karbonskih skrilavcev in odsotnost savskih prodov) imamo na območju predvidenega posega opravka le z zgornjim vodonosnikom oz. visečo vodo. Viseča podzemna voda se pojavi na vmesnih slabše prepustnih plasteh med vrhnjimi plastmi. Slabše prepustna plast omejuje precejanje padavinske vode s površja v globino. Če je infiltracija padavin večja kot je količina, ki jo prepušča vmesna plast, prične voda na tej plasti zastajati in pojavi se viseča gladina podzemne vode. Nivo podzemne vode se na lokaciji predvidenega objekta nahaja na globini ca 7 m pod površjem.

2.2. Dinamika nihanja nivojev podzemne vode

Na območju predvidenega posega so bile izvedene tri vrtine, od katerih sta bili dve, V-2P in V-3P, opremljeni kot piezometra. Med izvedbo se je podzemne vode v vrtinah pojavila na globini 7,2 m pod koto terena. V vrtinah V-2P in V-3P se izvaja monitoring podzemne vode.

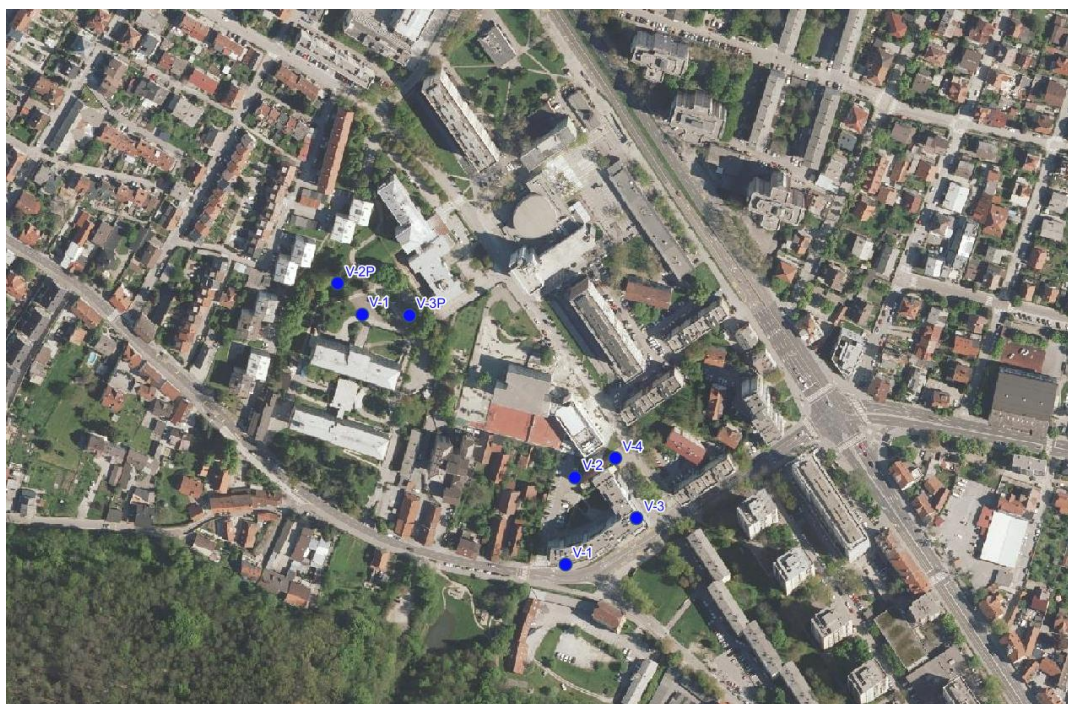
V bližini predvidenega posega so bile sicer predhodno izvedene tudi vrtine V-1, V-2, V-3 in V-4. Globina podzemne vode je bila v visokem vodnem stanju v vrtini V-1 na 3,3 do 3,4 m, v vrtini V-3 pa 5,3 do 5,6 m pod koto terena. Lokacijo vseh vrtin na ožjem proučevanem območju podaja Slika 3.

V nadaljevanju podajamo meritve nivojev podzemne vode v piezometrih s prikazom dnevne količine padavin zabeležene na meteoroloških postajah Ljubljana Bežigrad in Ljubljana Šentvid.

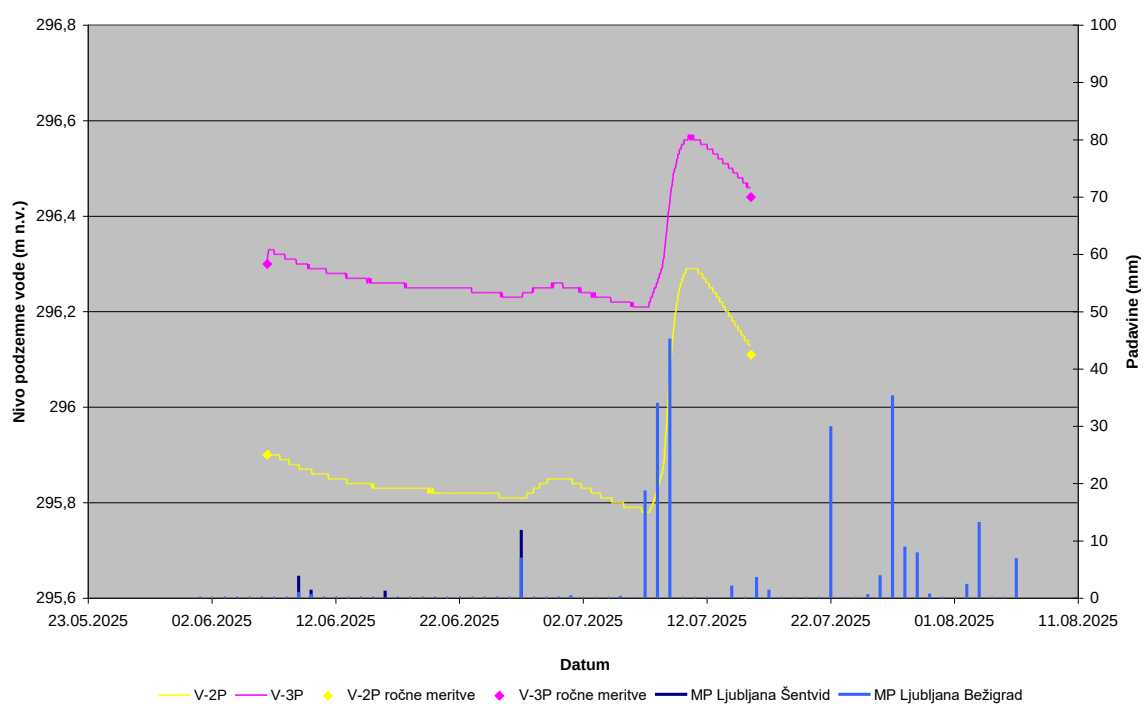
Preglednica 1: Glavne statistike zveznih meritev gladin podzemne vode za celotno opazovalno obdobje.

Statistika - celotni niz	Število meritev	Minimum [m n.v.]	Maksimum [m n.v.]	Razpon [m]	Povprečje [m n.v.]	Mediana [m n.v.]
V-2P	941	295,94	296,45	0,51	296,06	295,99
V-3P	941	296,21	296,57	0,36	296,30	296,26

Meritve nivojev podzemne vode kažejo, da se nivo nahaja relativno blizu površja, na globini ca 7 m pod terenom. Nivo podzemne vode se hitro odziva na padavinske dogodke, vseeno pa je amplituda nihanja podzemne vode zelo majhna. Glede na do sedaj zbrane meritve je bila maksimalna amplituda zabeležena v piezometru V-2P in sicer 0,51 m.



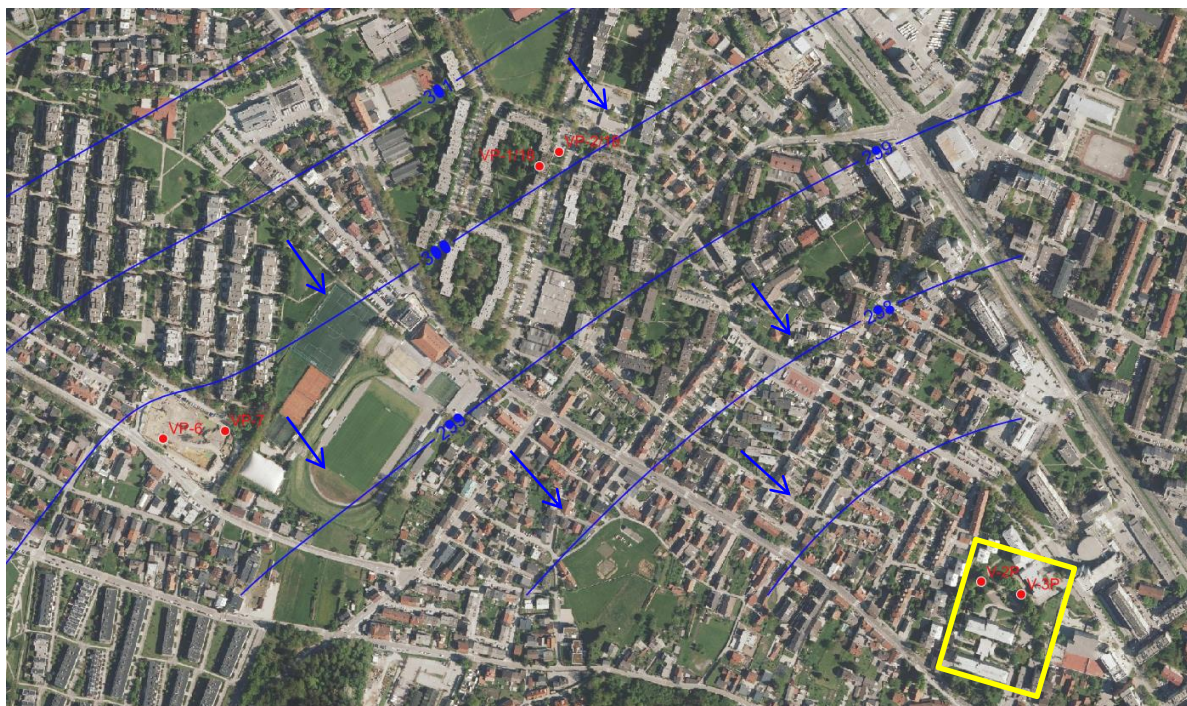
Slika 3: Lokacije vrtin na ožjem območju obravnavnega posega.



Slika 4: Meritve nivojev podzemne vode v piezometrih V-2P in V-3p na območju predvidenega objekta.

2.3. Smer toka podzemne vode

Na območju predvidenega posega se pojavlja le zgornji vodonosnik. Kot kažejo hidroizohipse (Slika 5), podzemna voda v tem vodonosniku generalno teče v smeri proti jugovzhodu. Na proučevanem območju znaša gradient podzemne vode 0,005. Ob predpostavki efektivne poroznosti 0,1 in povprečnega koeficienta prepustnosti $1,50 \times 10^{-5}$ m/s znaša izračunana hitrost toka podzemne vode približno 0,06 m/dan.



Slika 5: Hidroizohipse srednjega nivoja podzemne vode v zgornjem vodonosniku. Območje predvidenega posega prikazuje rumen pravokotnik.

2.4. Hidrološke meje

Predvideni objekt se nahaja severno os Šišenskega hriba. Model smo v smeri toka omejili s celicami s stalno višino podzemne vode in sicer 301 m n. v. na SZ strani ter 289 m n. v. na JV strani (hydraulic head BC). Stalni nivo v robnih celicah je bila določena na osnovi karte podzemne vode.

Vertikalno smo model omejili s površjem na eni strani ter podlago vodonosnika, ki jo predstavlja predviden potek permokarbonskih plasti, na drugi strani.

2.5. Hidravlične lastnosti sistema

Najprepustnejši plasti na proučevanem območju so prodi s peskom in meljem. Koeficient prepustnosti teh plasti je približno $3,0 \times 10^{-3}$ m/s. Več kot je meljnate primesi, manj so ti prodi prepustni. Proluvialni in deluvialni sedimenti, kot so npr. zaglinjeni prod, prodnata glina in

zaglinjen grušč imajo koeficient prepustnosti reda $2,0E-05$ m/s in so za vodo slabo prepustni do neprepustni.

V ožjem območju so bili v vrtinah V-1, V-3P in V-2P izvedeni hidravlični testi, katerih rezultate podaja spodnja tabela.

Tabela 1: Zbirna tabela izvedenih hidravličnih poizkusov.

VRTINA/TESTIRAN ODSEK	POIZKUS	K_{JACOB} [M/S]	K_{THEIS} [M/S]	$K_{SREDNJU}$ [M/S]	PREVLADUJOČA LITOLOGIJA
V-1 (4,0-6,6m)	nalivalni	5,5E-03	1,9E-03	3,2E-03	slabo do dobro graduiran prod z meljem in peskom
V-3P (5,4-8,0m)	nalivalni	3,3E-03	7,8E-04	1,6E-03	slabo graduiran prod z meljem in peskom
V-2P (7,0-10,8m)	črpalni	1,4E-05	1,1E-05	1,2E-05	glinast prod s peskom, podrejeno prodnata pusta glina
V-3P (6,8-10,9m)	črpalni	3,0E-05	2,6E-05	2,8E-05	slabo graduiran prod z meljem in peskom, podrejeno mastna glina s prodom

Permokarbonske klastične kamnine, ki jih predstavljajo permokarbonski skrilavi glinavci, ki se hitro menjavajo s plastmi meljevca in peščenjaka in sestavljajo pretežni del Šišenskega hriba in kvartarne podlage, so v večini primerov neprepustni, $K < 1,0E-07$. Predvsem za skrilave glinavce je značilno, da so to neprepustne kamnine, če seveda niso tektonsko porušene.

2.6. Točkovni elementi modela

Na obravnavanem območju danes ni točkovnih elementov, iz katerih bi v sistem dotekala ali iz njega odtekala podzemna voda ali toplota in ki bi vplivali na stanje na lokaciji bodočega objekta bolnice Petra Držaja. Bodoči točkovni element predstavlja morebiten črpalni vodnjak za toplotno črpalko, ki pa bo hidravlično minimalno vplival na vodonosnik.

2.7. Vodna bilanca

Na območju Bolnice Petra Držaja predstavljajo vhodne komponente vodne bilance permokarbonskega vododržnika dotoki vode iz okoliških zaledij, napajanje iz padavin (ploskovno bogatenje), dotoki manjših potokov iz Šišenskega hriba (točkovno, linijsko ali ploskovno bogateje), antropogeni faktorji, kot je puščanje kanalizacije ipd.

Izhodne komponente predstavljajo evapotranspiracija, iztoki in številne cone (linije), kjer podzemna voda napaja površinske vodotoke.



Gradnja podkletenega objekta bo na območju izkopa povsem prekinila prepustno plast in s tem zmanjšala transmisivnost vodonosnika za 100 %. Posledično bo prišlo do sprememb v lokalni vodni bilanci, saj se bodo tokovne linije podzemne vode preusmerile okoli objekta. Lokalno se lahko vzpostavi nadvišanje nivoja podzemne vode gorvodno in znižanje dolvodno.

Z modelom smo opisali tudi rabo podzemne vode za sistem toplotne črpalke, pri čemer dodaten iztok iz modela predstavlja črpalni vodnjak.

3. OPIS KODE MODELA

Numerični hidrogeološki in toplotni model je bil izdelan z numeričnim orodjem FEFLOW - Finite Element simulation system for subsurface Flow preko grafičnega vmesnika, izdelovalca DHI WASY GmbH. FEFLOW predstavlja standardno orodje za modeliranje toka podzemne vode, transporta snovi in prenosa toplote in je bil za evaluacijo obravnavanega problema izbran zaradi dolge zgodovine uspešne uporabe kode ter njene verifikacije (med drugim (Trefry & Muffels, 2007)). Temelji na metodi končnih elementov, kar mu daje fleksibilnost pri opisu kompleksnih geometrij ob sicer nekoliko višji porabi procesorskih in pomnilniških zmogljivosti. Izdelan model tako zajema vse predpostavke in omejitve, ki so vezane na numerično kodo FEFLOW, ki so predstavljene v Diersch (2014).

3.1. Predpostavke in omejitve

V izdelanem modelu je predpostavljeno, da ima podzemna voda konstantno dinamično viskoznost in gostoto, z izjemo učinka vzgona (gravitacije). Primarne osi anizotropije vodoprepustnosti so skladne z osmi koordinatnega sistema.

Ker gre v obravnavanem primeru za tok podzemne vode, katere stopnja mineraliziranosti v relevantnem času niha zanemarljivo in ker je v izračunih upoštevana zgolj vertikalna anizotropija, prav tako pa ni prisotnih razpok, lahko ugotovimo, da je uporabljena koda modela v celoti skladna z razmerami na terenu.

3.2. Način izračuna

Tridimenzionalni tok podzemne vode konstantne gostote skozi porozni medij je opisan z naslednjo parcialno diferencialno enačbo:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

kjer je:

K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} vrednosti vodoprepustnosti vzdolž x, y, in z osi koordinatnega sistema;

h tlak;

W je volumski specifični pretok na enoto volumna in predstavlja mesta izviranja/ponikanja vode, pri čemer je $W < 0.0$ za tok iz podzemnega sistema in $W > 0.0$ za tok v podzemni sistem;

S_s koeficient elastičnega uskladiščenja poroznega medija;

t čas.

V splošnem imajo lahko S_s , K_{xx} , K_{yy} in K_{zz} spremenljive vrednosti v prostoru ($S_s = S_s(x,y,z)$, $K_{xx} = K_{xx}(x,y,z)$, itd.), W pa je lahko spremenljiv tako v prostoru, kot po času ($W = W(x,y,z,t)$). Enačba (1) opisuje tok podzemne vode v neravnovesnih pogojih v heterogenem in anizotropnem mediju. Enačba (1) skupaj s specifikacijo toka in/ali tlaka na robovih podzemnega sistema ter specifikacijo začetnih pogojev sestavlja matematično predstavitev sistema toka podzemne vode.

Rešitev zgornje enačbe podaja $h(x,y,z,t)$ predstavlja stanje, pri katerem odvodi h v prostoru in času, vstavljeni v enačbo (1) izpolnijo enačbo ter začetne in robne pogoje. Časovno



spremenljiva prostorska porazdelitev h tako daje sistem toka, pri čemer podaja tako energijo toka, kot tudi uskladiščenje v poroznem mediju, zato jo lahko uporabimo pri izračunih smeri in pretoka podzemne vode. Analitična rešitev zgornje enačbe je možna le v izjemno enostavnih sistemih, zato se pri izračunu FEFLOW poslužuje metode končnih elementov, pri kateri je kontinuiran sistem predstavljen kot zbir diskretnih točk v prostoru in času, parcialni odvodi pa so nadomeščeni z razlikami v tlakih v teh točkah. Tako dobimo sistem simultanih linearnih enačb, ki jih rešimo z iterativno metodo, da dobimo za vsak časovni korak ob izpolnjevanju konvergenčnega kriterija približek k vrednosti, ki bi ga dala analitična rešitev parcialne diferencialne enačbe toka.

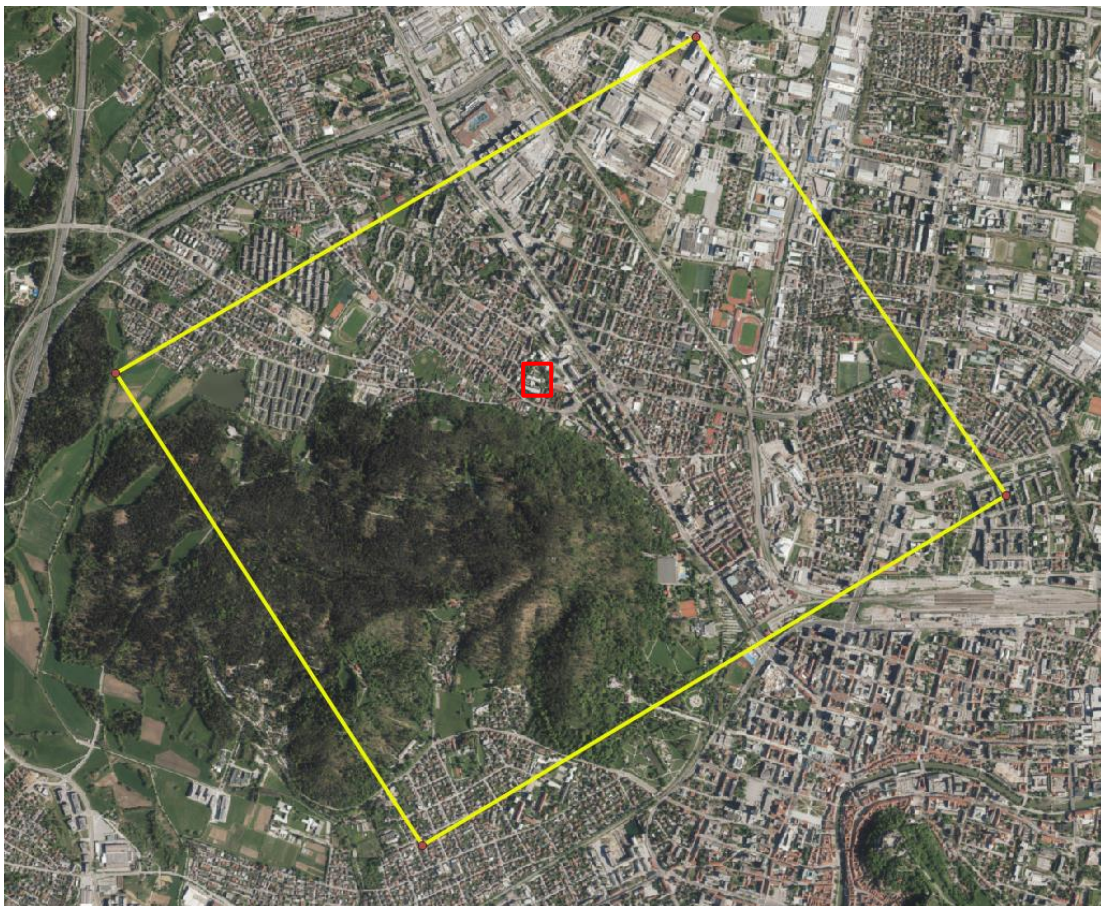
3.3. Vpliv predpostavk in omejitev na model

Ker obravnavani problem ne zajema modeliranja sistema, pri katerem so primarne osi anizotropije nagnjene glede na koordinatni sistem (tak primer so lahko npr. razpoke) in ker lahko tok podzemne vode, ki je posledica razlik v gostotah podzemne vode, zanemarimo, lahko vpliv poenostavitev in predpostavk, ki so zajete v uporabljeni kodi, ocenimo kot zanemarljiv.

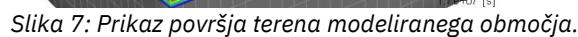
4. IZDELAVA MATEMATIČNEGA MODELA

4.1. Prostorska domena modela

V numerični hidrogeološki model smo zajeli širše območje okoli bodočega objekta, kot prikazuje Slika 6. Spodnja meja modela je horizontalna, zgornja temelji na modelu reliefa Lidar. Skupno število 3D elementov znaša 558 000, število vozlišč pa 300 tisoč.



Slika 6: Območje znotraj rumenega pravokotnika smo upoštevali v matematičnem modelu. Rdeč pravokotnik označuje lokacijo predvidenega objekta.





4.4. Robni pogoji

V model so bili vključeni robni pogoji skladno s stopnjo poznavanja hidrogeoloških razmer in privzetih konzervativnih predpostavk, prikazanih v okviru konceptualnega modela. V izračunu je kot izhodiščna kota podzemne vode uporabljena prostorsko spremenljiva kota, ki je rezultat začetne iteracije modela pri stacionarnih hidrodinamskih pogojih. Hidravlična višina na severozahodni robni ploskvi znaša 310 m, na jugovzhodni pa 289 m.

4.5. Kalibracije modela

Kalibracija modela, pri kateri bi kot kalibracijski element upoštevali nivoje podzemne vode, merjene na bližnjem območju črpanja in ponikanja, ni bila izvedena. Privzeli smo, da simulirano stacionarno stanje toka podzemne vode kaže na ustrezno ujemanje z realnimi merjenimi prevladujočimi vrednostmi.

5. REZULTATI IN INTERPRETACIJA

5.1. Simulacija toka podzemne vode

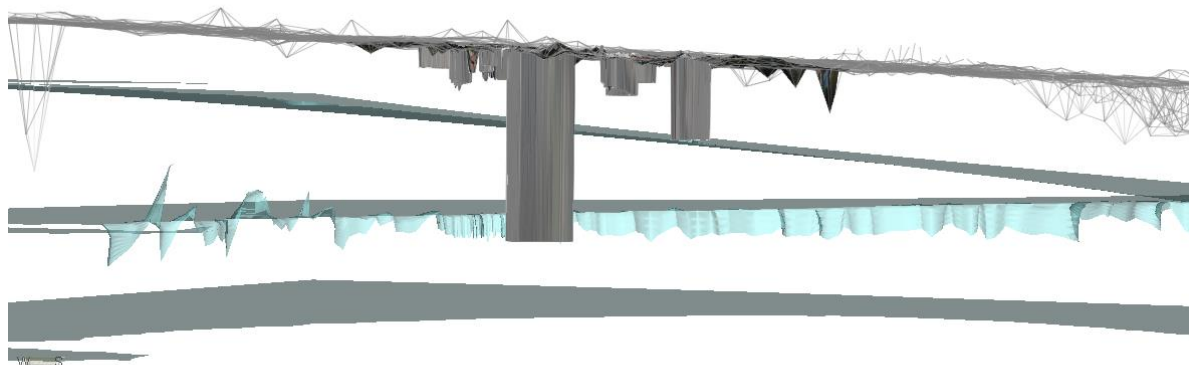
Na obravnavani lokaciji ob obstoječi bolnici je predvidena izgradnja objekta etažnosti 3K+P+4N. Kletna etaža je pravilne tlorisne oblike, velikosti 47,29m x 66,0m. Izkop gradbene jame bo do globine 13,5 m oz. do kote 289,5 m. Varovanje izkopa gradbene jame je predvideno z začasno varovalno konstrukcijo. Varovanje bo zasnovano po tehnologiji uvrtnih AB pilotov, ki bodo po višini podprti s tremi nivoji začasnih geotehničnih vrvnih prednapetih sider. Za preprečitev dotoka podzemne vode v gradbeno jamo je, na območju med uvrtnimi piloti, predvidena tesnitev prostora po tehnologiji visokotlačnega injektiranja tal s cementno suspenzijo po tehnologiji »jet grouting«. Jet grouting piloti bodo izvedeni do globine 17 m.

Na območju predvidenega posega se permokarbonska podlaga nahaja na globini cca 11 m pod terenom, nivo podzemne vode pa na globini cca 7 m. Predvideni objekt bo segal do kamninske podlage, zato bo v tlorisu objekta v celoti onemogočal tok podzemne vode. Ta bo morala teči okrog objekta, kot je ovrednoteno z izdelanim numeričnim hidrogeološkim modelom.

V okolici predvidenega objekta je sicer več podkletenih objektov (Slika 8), od katerih le tisti na stičišču Vodnikove in Na jami sega v nivo podzemne vode (manj kot 1 m) (Slika 9).



Slika 8: Ožje proučevano območje z prikazom najnižje višinske kote podkletenih stavb.



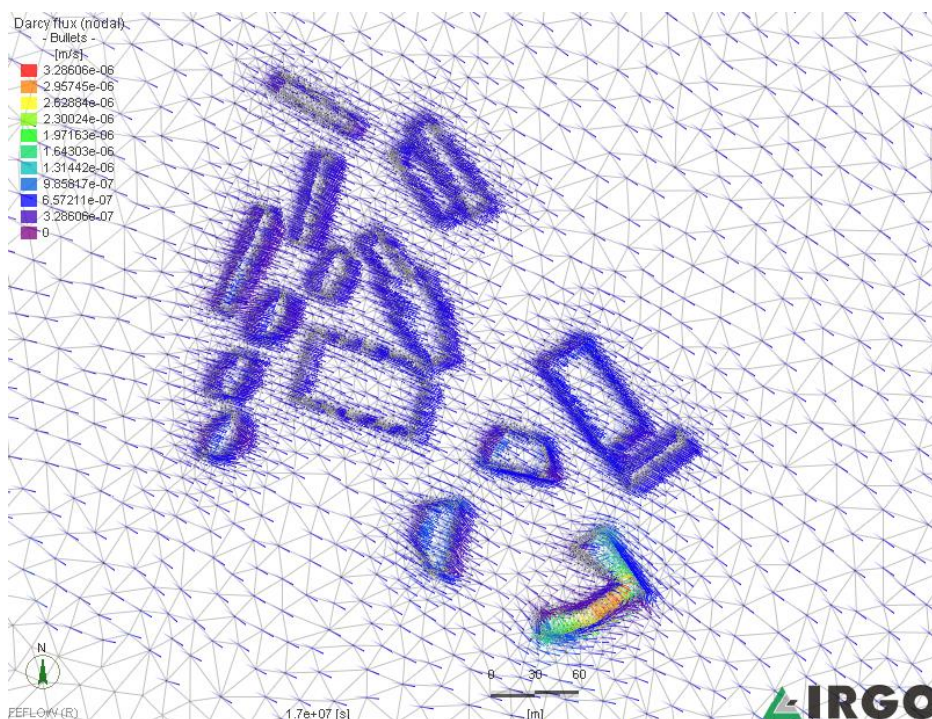
FEFLOW (R)

1.7e+07 [s]

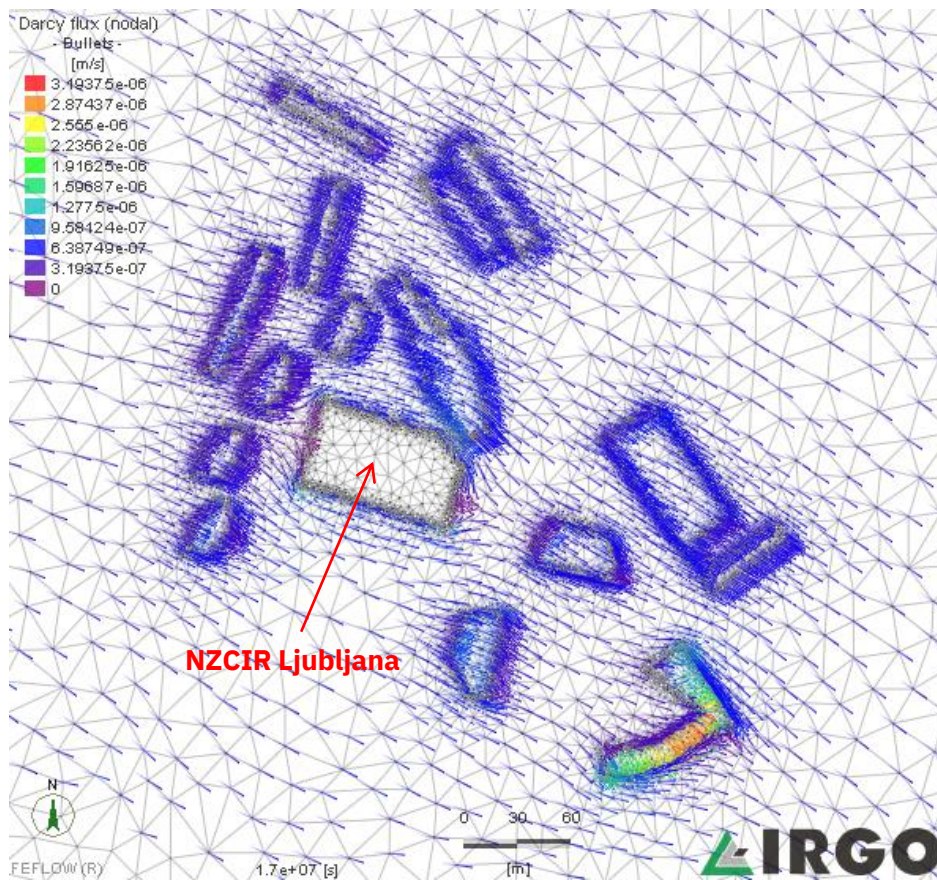
IRGO

Slika 9: Profil skozi ožje proučevano območje. Svetlo modre ploskve predstavljajo nivo v zgornjem in v spodnjem vodonosniku ter stik slabo prepustnega prekrova s peščeno prodnim vodonosnikom.

V današnjem stanju tok podzemne vode teče v smeri severozahoda proti jugovzhodu, kot prikazuje Slika 10. Razvidno je, da na ožjem proučevanem območju umetno oviro za tok podzemne vode predstavlja le objekt na stičišču Vodnikove ulice in ulice Na jami. Po izgradnji dodatne objekta bolnice Petra Držaja pa se bo tok podzemne vode lokalno spremenil, saj bo leta morala teči okrog objekta (Slika 11).



Slika 10: Tok podzemne vode v trenutnem, obstoječem stanju objektov.



Slika 11: Obtekanje podzemne vode okoli predvidenega objekta NZCIR Ljubljana.

Na območju predvidenega posega se bo transmisivnost zgornjega vodonosnika zaradi gradnje novega objekta bolnice NZCIR Ljubljana zmanjšala za 100% (Slika 12). Transmisivnost je sposobnost vodonosnika, da prevaja podzemno vodo po vsej svoji debelini. Pove, koliko vode lahko vodonosnik prenese skozi svojo celotno debelino pri enotnem hidravličnem gradientu in na enoto širine.

Matematično je definirana kot:

$$T = k \cdot m$$

kjer je:

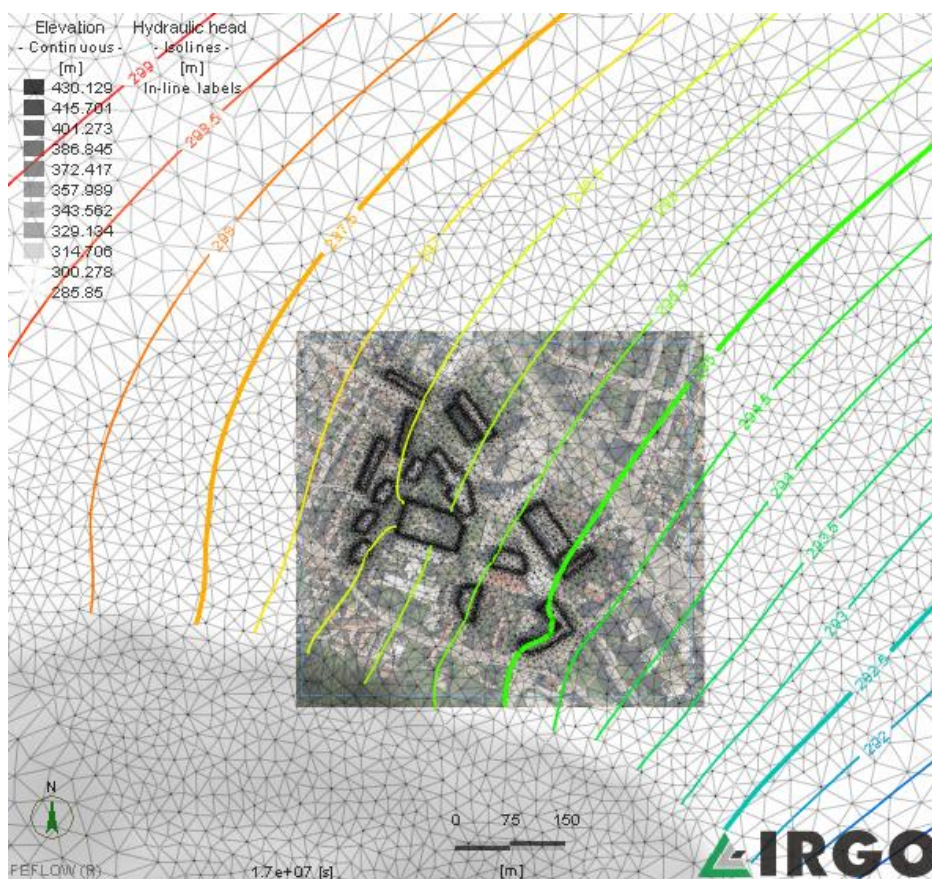
k – koeficient prepustnosti (m/s),

m – debelina nasičenega sloja (m).

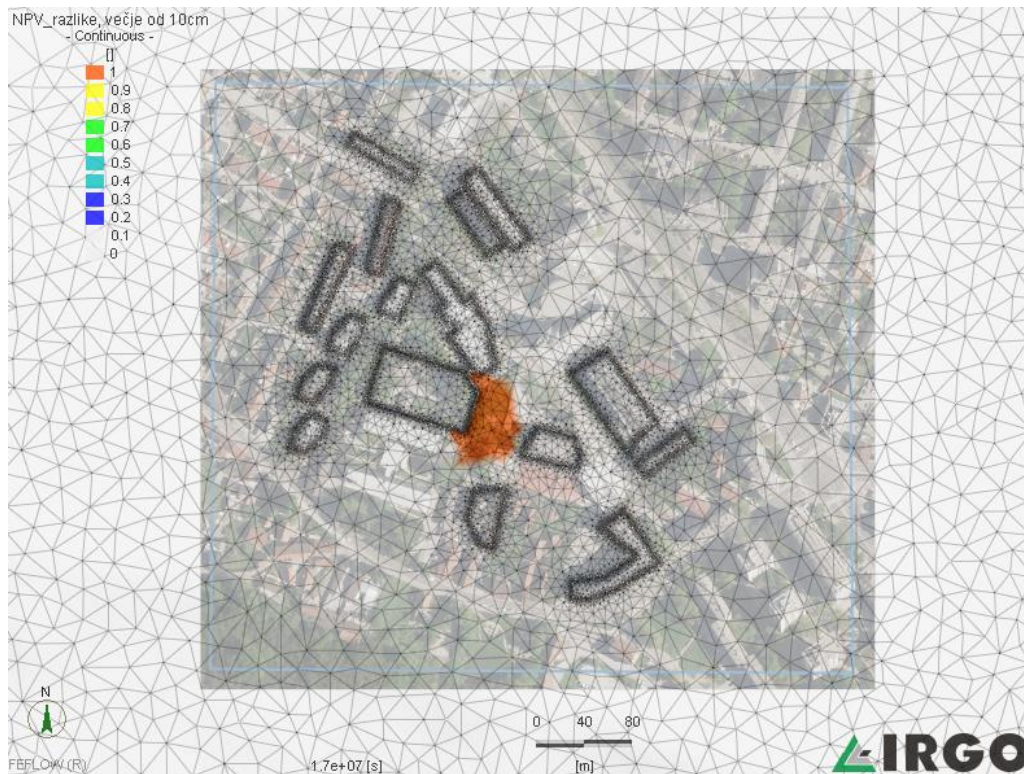
Višja transmisivnost pomeni, da vodonosnik omogoča večji pretok vode (značilno za prodnate in peščene vodonosnike), medtem ko nižja transmisivnost nakazuje omejeno sposobnost pretakanja (značilno za meljaste ali glinaste sloje). Parameter je ključen pri izračunih vodne bilance, določanju vpliva črpanja (depresijskih lijakov) ter pri oceni ranljivosti in dinamike podzemne vode.

Z matematičnim modelom je bilo torej ugotovljeno, da bo vpliv na količinsko stanje zgornjega vodonosnika zaradi gradnje objekta zaznan dolvodno od objekta (Slika 13). Najvišji vpliv znaša 20 cm neposredno dolvodno od objekta.

S stališča količinskega stanja vodonosnika Ljubljanskega polja obravnavani objekt ne predstavlja posega, ki bi prekomerno zmanjševal transmisivnost vodonosnika, ki se ga uporablja za pitno vodo. Prepustnost prodnatega vodonosnika Ljubljanskega polja je namreč za dva do tri rede velikosti (faktor 100 do 1000) višja od prepustnosti sedimentov v območju zgornjega visečega vodonosnika. Ob med 2 in 4 krat manjši debelini visečega glede na spodnji vodonosnik predstavlja posledično transmisivnost visečega vodonosnika v najslabšem primeru manj kot 1% spodnjega vodonosnika. Ob tem je potrebno upoštevati še, da ovira v zgornjem visečem vodonosniku zaradi prelivanja preko robov zapornih plasti v spodnji vodonosnik ne predstavlja tudi ovire ali bilančnega vpliva na pretakanje vode v spodnjem vodonosniku. Izpostaviti je potrebno tudi, da natančna lokacija, kjer prihaja do prelivanja zgornjega vodonosnika v spodnjega, ni znana.



Slika 12: Sprememba v nivoju podzemne vode zaradi izvedbe objekta NZCIR Ljubljana.

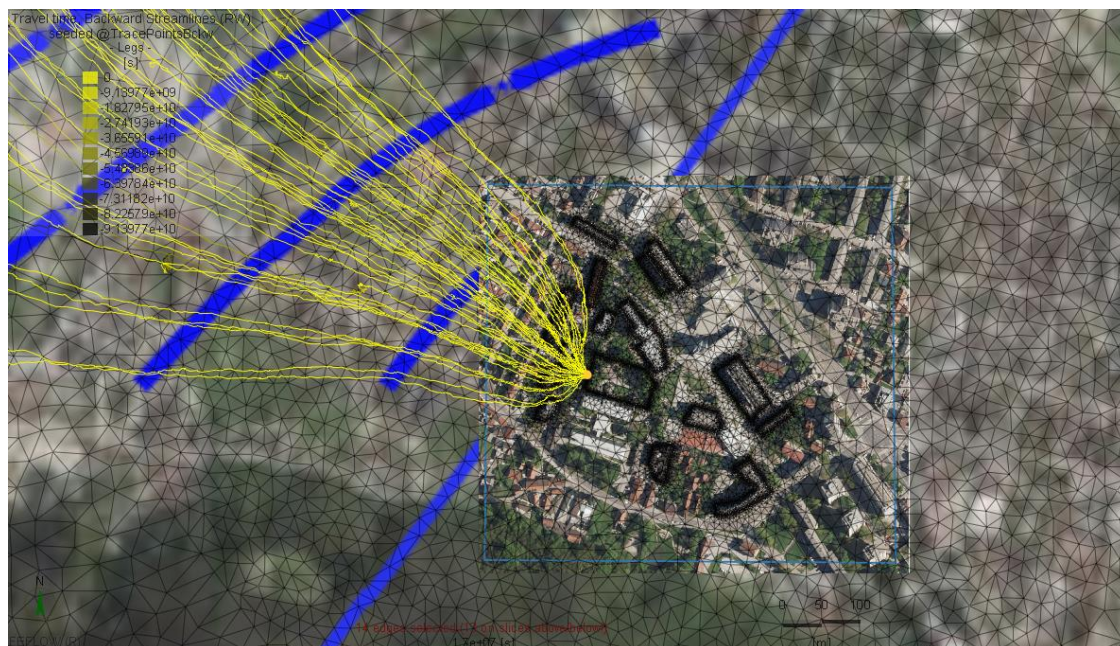


Slika 13: Območje, na katero ovira v toku podzemne vode v visečem vodonosniku vpliva za več kot 10 cm.

5.2. Zajem podzemne vode za potrebe toplotne črpalke

Pri sedanjem poznavanju hidrogeološke sestave na območju bolnice Petra Deržaja in izvedenih računskih analiz lahko ocenimo, da je na območju predvidenega posega z izvedbo vodnjaka severozahodno od predvidenega objekta, premera 500 mm mogoče vzdržno zajeti med 0,25 in 0,5 l/s podzemne vode. V bolj optimističnem scenariju lahko razpoložljivost vode doseže 0,7 do 1 l/s. V vsakem primeru gre za zelo omejene količine, pri katerih je vprašljiva stroškovna učinkovitost naložbe.

V kolikor so takšne količine vseeno ustrezne za širšo energetsko sliko objekta, predlagamo, da se v izvedenih piezometrih izvedejo še dolgotrajni črpalni poizkusi v trajanju po 10 dni z vmesnim 5-dnevnim hkratnim črpanjem iz obeh piezometrov. S tovrstnim poizkusom bi lahko precizirali, s kakšnimi vrednostmi je znotraj podanega intervala mogoče računati.



Slika 14: Tokovnice podzemne vode (rumene barve) proti črpalnemu vodnjaku in s tem prikaz prispevnega območja vodnega vira, kot se oblikuje zaradi črpanja.



6. VIRI IN LITERATURA

DIERSCH, H.-J., 2014: FEFLOW: Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg.

RATEJ J., ZOTLER M., DIMEC P., 2025: Analiza tveganja za onesnaženje podzemne vode pri izvedbi objekta NZCIR Ljubljana. IRGO Consulting, št. projekta 3032020. Ljubljana.

ASTM Standard D 5718-95 (Reapproved 2000) Standard Guide for Documenting a Ground-Water Flow Model Application. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

ASTM Standard D 5880-96 (Reapproved 2000) Standard Guide for Subsurface Flow and Transport Modeling. Annual Book of ASTM Standards

ASTM Standard D 5609-94 (Reapproved 2002) Standard Guide for Defining Boundary Conditions in Ground-Water Flow Modeling. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

ASTM Standard D 5610-94 (Reapproved 2002) Standard Guide for Defining Initial Conditions in Ground-Water Flow Modeling. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08

ASTM Standard D 5981-96 (Reapproved 2002) Standard Guide for Calibrating a Ground-Water Flow Model Application. Annual Book of ASTM Standards

ASTM Standard D 5490-93 (Reapproved 2002) Standard Guide for Comparing Ground-Water Flow Model Simulations to Site-Specific Information. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08

ASTM Standard D 5611-94 (Reapproved 2002) Standard Guide for Conducting a Sensitivity Analysis for a Ground-Water Flow Model Application. Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08

ASTM Standard D 6033-96 (Reapproved 2002) Standard Guide for Describing the Functionality of a Ground-Water Modeling Code. Annual Book of ASTM Standards