

Hidrogeološko poročilo za objekt Univerze v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo

INVESTITOR**Fakulteta za farmacijo (UL)**Aškerčeva cesta 7
SI-1000 Ljubljana**SODELUJOČI****IRGO Consulting d.o.o.**
Slovenčeva 93
SI-1000 Ljubljana**ŠT. PROJEKTA**
3009705**KRAJ IN DATUM**
Ljubljana, februar 2021

DIREKTOR

IRGO Consulting d.o.o.
dr. Vladimir Vukadin
u.d.i. geol.



VODJA PROJEKTA

IRGO Consulting d.o.o.
dr. Jože Ratej
u.d.i. geol.



Sodelavci

OBDELAVA

Maja Kocjančič,
u.d.i. geol.



TERENSKÉ MERITVE, POPIS VRTIN

Maja Kocjančič,
u.d.i. geol.



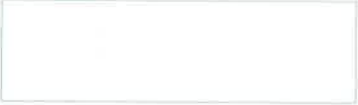
Sašo Lavrič,
d.i. geol. (UN)



Jaka Narat,
tehnik



Boštjan Ivačič,
tehnik



VRTALNA DELA

Rovs d.o.o.
Dimičeva ulica 16, SI–1000 Ljubljana



GEOtrans d.o.o.
Podmolniška cesta 64, SI–1261 Lj-Dobrunje





Kazalo

1. Uvod	5
2. Lokacije piezometrov	5
3. Izvedeni piezometri	6
FFA-P1	6
FFA-P2	7
4. Aktivacija in ureditev ustij piezometrov.....	7
5. Hidravlični testi	10
5.1. Rezultati hidravličnih testov.....	11
6. Vgradnja merilne opreme in meritve nivoja podzemne vode.....	15
7. Hidrogeološke razmere.....	18
7.1. Smer, hitrost toka podzemne vode in hidravlični gradient v visečem vodonosniku	19
7.2. Določitev maksimalnih nivojev podzemne vode.....	20
7.3. Zaščita podzemne vode	21
7.4. Zaščita gradbene jame in dotoki podzemne vode med gradnjo.....	22
7.5. Možnost zajema podzemne vode za potrebe toplotne črpalke.....	22
8. Zaključek	23

Slike

Slika 1 Območje novega objekta UL FFA in lokacije opazovalnih vrtin z dodatnim prikazom raziskav na sosednji parceli.	5
Slika 2 Aktivacija piezometra FFA-P1.....	8
Slika 3 Aktiviranje FS-P1 in iznos materiala v času aktivacije (vzorec na 1h).....	8
Slika 4 Aktivacija piezometra FFA-P2.....	9
Slika 5 Urejeno ustje piezometra FFA-P2.....	9
Slika 6 Črpalni poizkus na vrtini FFA-P1.....	12
Slika 7 Parametri podzemne vode med črpalnim testom FFA-P1.	13
Slika 8 Črpalni poizkus na vrtini FFA-P2.....	13
Slika 9 Parametri podzemne vode med črpalnim testom FFA-P2.	14
Slika 10 Vodovarstveno območje III vodonosnika Ljubljanskega barja in opazovalne hidrogeološke postaje ARSO.....	16
Slika 11 Nivo podzemne vode na hidrogeoloških postajah ARSO Kozarje in Hajdrihova, ter na območju objektov fakultet v zgornjem visečem in spodnjem vodonosniku.....	17
Slika 12 Prostorsko razširjanje dna visečega vodonosnika, ki pada proti jugu - jugozahodu.....	18
Slika 13 Smer toka podzemne vode v zgornjem visečem vodonosniku.....	19
Slika 14 Poplavno območje dosega Q100 in Q500 na območju novih objektov fakultete. Območje dosega Q10 je označeno s temno modro bravo, območje dosega Q100 z modro bravo in območje dosega Q500 s svetlo modro bravo.	20



Tabele

Tabela 1: Lokacije piezometrov za objekt UL FFA.	6
Tabela 2: geološki popisi jeder vrtin UL FFA.....	6
Tabela 3 Cevitev in litologija izdelanih piezometrov UL FFA.	7
Tabela 4 Koeficienti prepustnosti [m/s] piezometrov in transmisivnosti [m ² /s], dobljeni s črpalnimi testi.	12
Tabela 5 Meritve globine in kote nivoja podzemne vode v piezometrih UL FFA.....	15

Kazalo prilog

Priloga 1	Fotografije jeder vrtin
Priloga 2	Geotehnični popisi vrtin

1. Uvod

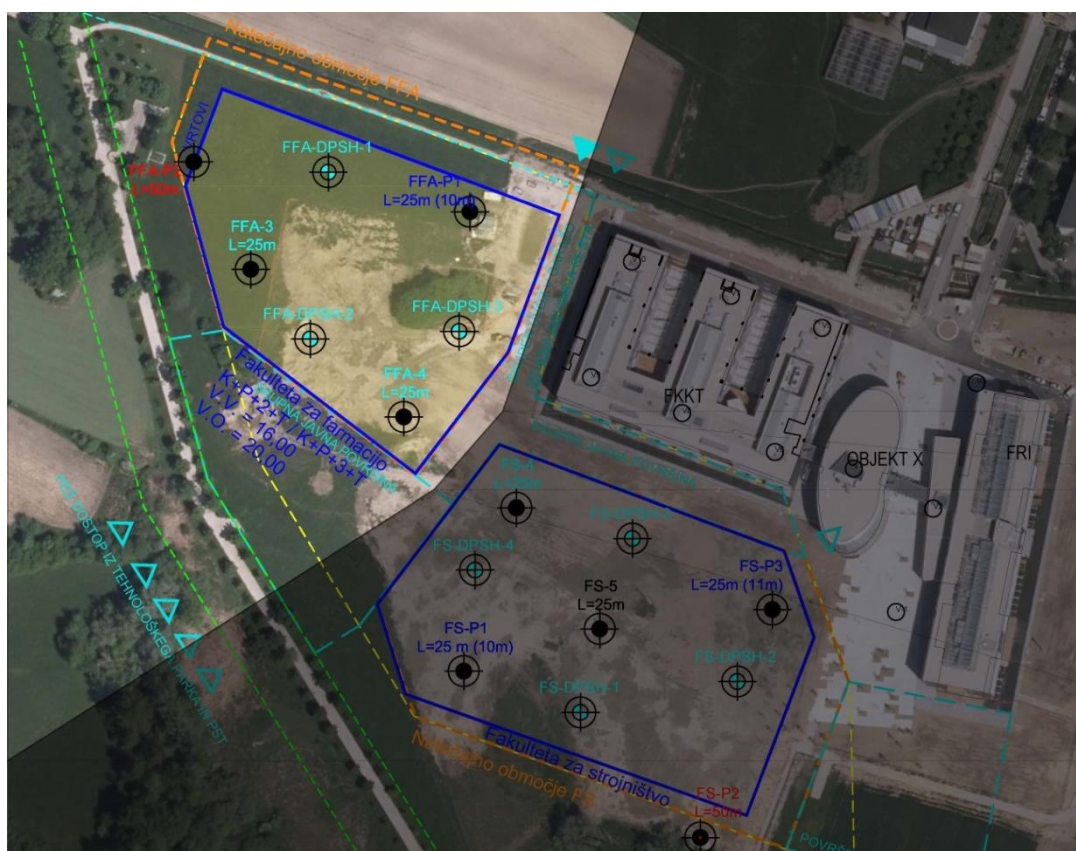
Na Brdu pri Ljubljani, južno od potoka Glinščica in južno od Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo ter Fakultete za računalništvo in informatiko, je predvidena izgradnja novih objektov Fakultete za farmacijo (UL FFA).

V fazi raziskav za projektiranje in izgradnjo je bilo načrtovanih in izdelanih 7 geomehanskih vrtin, izmed katerih so bile 2 izvedene in opremljene kot piezometri za potrebe hidrogeoloških preiskav. Vrtine so v fazi raziskav služile za določanje sestave tal, vrtine opremljene kot opazovalne vrtine – piezometer – pa služijo opazovanju nivoja podzemne vode in določanju koeficientov prepustnosti.

Poročilo podaja rezultate terenskih raziskav na območju novega objekta UL FFA, izvedenih vrtinah in rezultate opazovanja nivoja podzemne vode in hidravličnih testov v piezometrih.

2. Lokacije piezometrov

Tabela 1 podaja lokacije in glavne parametre piezometrov. Lokacije vrtin na območju novega objekta UL FFA prikazuje Slika 1.



Slika 1 Območje novega objekta UL FFA in lokacije opazovalnih vrtin z dodatnim prikazom raziskav na sosednji parceli.

Tabela 1: Lokacije piezometrov za objekt UL FFA.

PIEZOMETER (OZNAKA)	GKX	GKY	Z TERENA	Z USTJA	ZAJET VODONOSNIK	POLOŽAJ GLEDE NA SMER TOKA PODZEMNE VODE
FFA-P1	458725,57	101394,62	297,56	298,26	Zgornji	Gorvodno
FFA-P2	458622,05	101414,74	297,77	298,93	Spodnji	Gorvodno

Dolvodne razmere v vodonosniku so zajete s piezometri UL FS Poročilo Izvedba hidrogeoloških opazovalnih piezometrov za objekt Univerze v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo (UL FFA) (IRGO Consulting d.o.o, 3009706).

3. Izvedeni piezometri

Vrtanje geomehanskih vrtin in piezometrov je potekalo od 9.12.2020-8.1.2021 z vrtalno garnituro SM-400 1 in GEO305. Vse vrtine so bile vrtane do globine 25 m z izvedenimi geomehanskimi raziskavami, SPT in presiometer, ter odvzemom vzorcev za sejhalno analizo, globok piezometer je bil izveden do globine 50 m.

Vrtini, ki sta bili nato izvedeni kot piezometer za opazovanje zgornjega vodonosnika, sta bili do globine 3 m vrtane z jedrnikom Ø 170 mm. Sledila je vgradnja uvodne kolone do globine 3 m in cementacija. Po vgradnji uvodne kolone se je vrtalo z jedrnikom Ø 128 do končne globine vrtine 25 m.

Plitvi piezometer FFA-P1, ki s filtrskim odsekom zajema zgornji vodonosnik, je bil v spodnjem delu likvidiran do končne globine cevovte (10 m).

Globok piezometer FFA-P2 pa se je, od globine 25 m do končne globine 50 m, vrtalo z udarnim kladivom.

Piezometra sta bila cevljena s PVC Ø 114.

Končne globine in cevovte vrtin so podane v Tabela 3, detajlni litološki popisi pa so podani v nadaljevanju. Fotografije jeder, celovit popis vrtin in cevitev so podani v Priloga 1 in Priloga 2.

Tabela 2: geološki popisi jeder vrtin UL FFA.

FFA-P1

OD	DO	USCS	OPIS
0	0,6	H, CL	Humus, rjava pusta glina s posameznimi prodniki
0,6	7,3	GW-GM	Siv, bel dobro graduiran prod z meljem in peskom
7,3	7,9	CL	Siva pusta glina
7,9	8,9	SM	Oker meljast pesek
8,9	12,3	CL	Siva pusta glina
12,3	13,9	GM	Rdeč, zelen in rjav meljast prod
13,9	25	GC	Rjav glinast prod

FFA-P2

OD	DO	USCS	OPIS
0	0,8	H, CL	Humus, rjava pusta glina s posameznimi prodniki
0,8	10,5	GW-GM	Siv, bel in rjav dobro graduiran prod z meljem in peskom
10,5	12	CL	Siva pusta glina
12	13,3	SM	Siv, drobnnozrnat meljast pesek
13,3	14	GM	Rjav, rdečkast in zelen meljast prod
14	50	GC	Rjav glinast prod

Tabela 3 Cevitev in litologija izdelanih piezometrov UL FFA.

	FFA-P1	FFA-P2
GLOBINA VRTINE	10	50
UVODNA KOLONA	3	3
FILTRSKI ODSEK, SLOT 1,5 MM	3-9 (zgornji vodonosnik)	26-47 (spodnji vodonosnik, VVO III)
POLNE CEVI IN ČEP	0-3, 9-10	0-26, 47-50
LIKVIDACIJA PRED CEVITVIJO	Od 25 do 10 m globine	-
LITOLOGIJA NA OBMOČJU FILTROV	Prod z meljem in peskom, meljast pesek	Glinast prod

4. Aktivacija in ureditev ustij piezometrov

Aktiviranje posameznih piezometrov je bilo opravljeno po končani cevitvi. Vse piezometre smo aktivirali z enojnim in dvojn timer-air-liftom.

Pri dvojn timer ali vzporednem air-liftu smo dovod zraka preko injektorja oz. sapnice speljali direktno v ustje odvodne cevi premera 1½". Sapnico, ki je bila povezana s cevjo premera 1½" smo spustili na različne globine, odvisno od prehodnosti posameznega piezometra, ter dovajali pritisk skozi tanjšo alkatno cev premera ¾". S tem smo dosegli to, da smo na takšen način očistili oz. posrkali vso drobno frakcijo sedimenta, ki se je nabral na dnu vrtine v usedalniku. Pritisk dovedenega zraka je bil različen. S pomočjo podtlaka smo črpali na različnih piezometrih različne količine podzemne vode. Čas aktivacije je na posameznem piezometru trajal približno 4 ur.

Sledil je še centrični air-lift, ki smo ga izvajali skozi alkatno cev premera 1½". Preko zaprtega odvodnega ventila smo dovajali zrak pod pritiskom, ki je povzročil hidravlične sunke in s tem izpiranje drobnega materiala iz slojev. Preko zapore ventila na odvodu smo ustvarjali dvig vode ter po odprtju ventila spust vode v vrtini. Učinek šokiranja vodonosne plasti oz. vsiljena

oscilacija gladine podzemne vode in posledično hidravlični sunki so ekvivalentni batiranju v vrtini. Po nekajkratnem šokiranju z direktnim air-liftom smo ponovili paralelni air-lift ter očistili usedalnik.

Po končani aktivaciji vrtin so se ustja piezometrov uredila nadnivojsko. Vsi piezometri so zaščiteni z jekleno cevjo s kapo in obešanko. Vse obešanke odpira enak ključ.



Slika 2 Aktivacija piezometra FFA-P1.



Slika 3 Aktiviranje FS-P1 in iznos materiala v času aktivacije (vzorec na 1h).



Slika 4 Aktivacija piezometra FFA-P2.



Slika 5 Urejeno ustje piezometra FFA-P2.



5. Hidravlični testi

Po končanem vrtanju, cevitvi in aktivaciji vrtin, je bil v vsakem piezometru izveden črpalni poizkus za določitev hidravličnih parametrov vodonosnikov.

Črpalni poizkusi so se izvedli skladno s standardom SIST EN ISO 22282-4:2012 Geotehnično preiskovanje in preskušanje - *Hidrogeološke preiskave* - 4.del: *Črpalni preskus v filtrskih delih piezometrov*. V vsakem piezometru se je izvedel 1 črpalni poizkus. Za izvedbo je bila uporabljena potopna visokotlačna 3" črpalka Grundfos SQE-5-70 s frekvenčnim regulatorjem, nameščena na alkatni cev 3/4" s povratnim vodom. Po koncu črpanja se je opazoval še dvig nivoja podzemne vode. Črpano vodo smo odvajali doldvodno od mesta črpanja. Spremembo nivoja podzemne vode med črpalnimi poizkusi smo zvezno spremljali s tlačno sondo.

Črpalne hidravlične poizkuse smo obdelali posebej za znižanja in dvige nivojev podzemne vode. Znižanja nivojev podzemne vode smo obdelali po Jacobovi metodi in kjer je bilo smiselno še po Papadopulos & Cooperjevi metodi. Za obdelavo dvigov nivojev podzemne vode po prenehanju črpanja smo uporabljali Theisovo metodo.

Za omenjene metode obdelave morajo biti izpolnjeni določeni pogoji, ki so podani v nadaljevanju:

- vodonosnik je zaprt,
- vodonosnik aproksimiramo kot neskončnega,
- vodonosnik je v vplivnem območju impulznega poizkusa homogen, izotropen in enakomerne debeline,
- pred poizkusom je v vplivnem območju impulznega poizkusa piezometrična gladina horizontalna,
- črpalni poizkus je izveden pri konstantni količini črpanja
- vodnjak zajema celotno debelino vodonosnika (popolni vodnjak – tok vode proti vodnjaku je horizontalen)
- vodo, odstranjeno iz uskladiščenja, izčrpavamo sočasno z zniževanjem gladine podzemne vode
- premer vodnjaka je majhen, zato lahko uskladiščenje v vodnjaku zanemarimo

Nekatere metode pa veljajo ob določenih nadaljnjih predpostavkah, ki so opisane pri posameznih metodah.

Pogoji, ki morajo biti izpolnjeni pri **Jacobovi metodi**, so:

- v uvodu našteje predpostavke
- tok podzemne vode proti vodnjaku je nestacionaren

$t > \frac{25r_c^2}{KD}$; s tem lahko zanemarimo vpliv uskladiščenja vode v vodnjaku

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

pri čemer je:

Q..... količina izčrpane vode [m³/s]

K..... koeficient prepustnosti [m/s]

D..... debelina vodonosnika [m]

Δs znižanje nivoja v eni dekadi časa na

diagramu $s - t$ v semilogaritemskem merilu [m]

Pri tem smo uporabili korekcijo za znižanje v odprtem vodonosniku in sicer: $s' = s - \frac{s^2}{2D}$

Pogoji, ki morajo biti izpolnjeni pri modelu **Papadopulosa in Cooperja**, so:

- v uvodu naštetih predpostavke, z izjemo 8. točke, ki je nadomeščena z:
 - o premer vodnjaka je končen, zato se uskladiščenja ne da zanemariti
- tok podzemne vode proti vodnjaku je nestacionaren
- nelinearne izgube vodnjaka so zanemarljive

Enačba Papadopulosa in Cooperja se glasi: $s_w = \frac{Q}{4\pi KD} F(u_w, \alpha)$ pri čemer je: $u_w = \frac{r_w^2 S}{4KDt}$;

$$\alpha = \frac{r_{ew}^2 S}{r_c^2}$$

S količnik elastičnega uskladiščenja

r_{ew} efektivni radij odprtega dela vodnjaka

r_c radij zaprtega dela vodnjaka, v katerem opazujemo spremembe nivojev podzemne vode

Pogoji, ki morajo biti izpolnjeni za uporabo **Theisove metode**, so:

- v uvodu naštetih predpostavke, z izjemo 8. točke, ki je nadomeščena z
- $tp > \frac{25r_c^2}{KD}$ in $t' > \frac{25r_c^2}{KD}$
- vodonosnik je zaprt, odprt ali puščajoč
- tok podzemne vode proti vodnjaku je nestacionaren

Ta metoda izhaja iz enačbe: $s' = \frac{2,30 \times Q}{4\pi KD} \times \log \frac{t}{t'}$ ter $K \times D = \frac{2,30 \times Q}{4\pi \Delta s'}$

$\Delta s'$ znižanje nivoja v eni dekadi časa na diagramu $s - t/t'$ v semilogaritemskem merilu [m]

s' rezidualno znižanje [m]

t čas od začetka črpanja [s]

t' čas od konca črpanja [s]

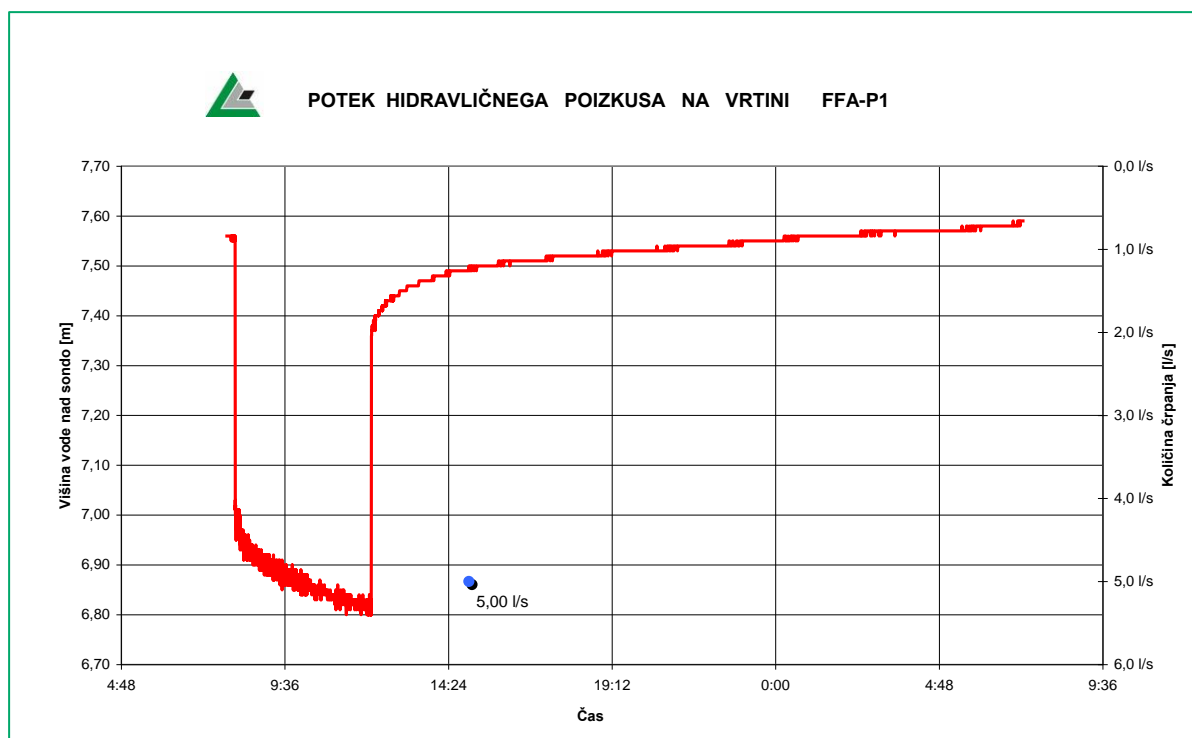
5.1. Rezultati hidravličnih testov

Rezultati izvedenih črpalnih poizkusov so podani v spodnji preglednici. Reprezentativni izmerjeni koeficienti prepustnosti in transmisivnosti so podani v zadnji koloni (K_{srednji} , T_{srednji}). Grafi črpalnih poizkusov za posamezni piezometer so prikazani na spodnjih slikah.

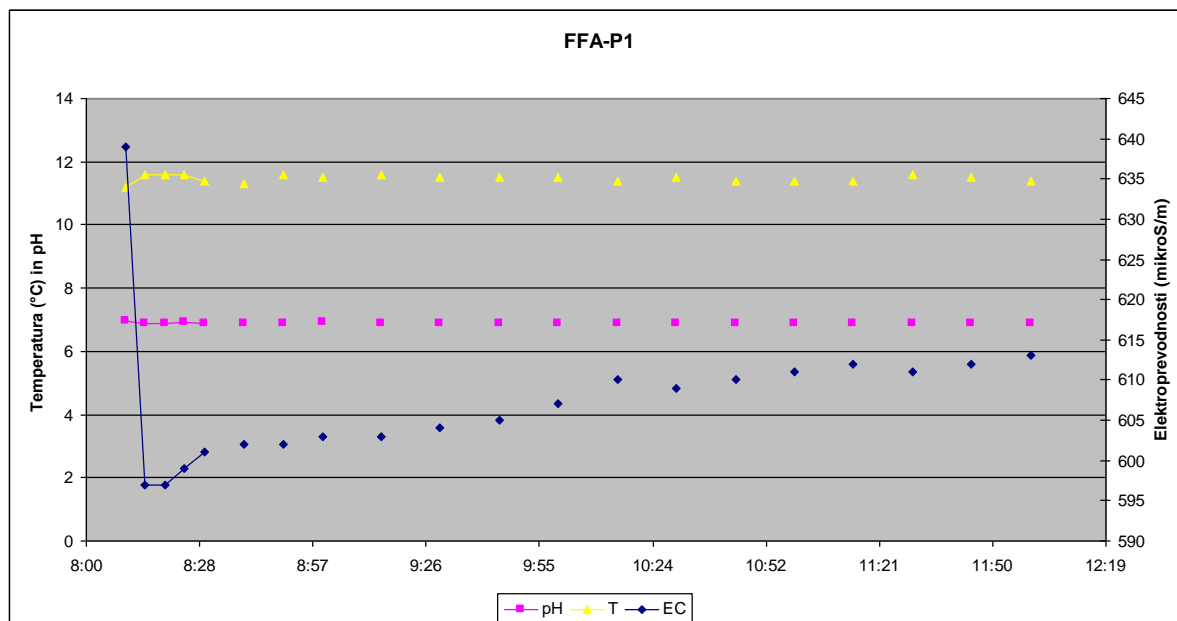
Tabela 4 Koeficienti prepustnosti [m/s] piezometrov in transmisivnosti [m²/s], dobljeni s črpalnimi testi.

	K_{JACOB}	$K_{PAPADOPULOS}$	K_{THEIS}	$K_{SREDNJI}$
FFA-P1	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$
FFA-P2	$1,8 \times 10^{-4}$		$1,4 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$

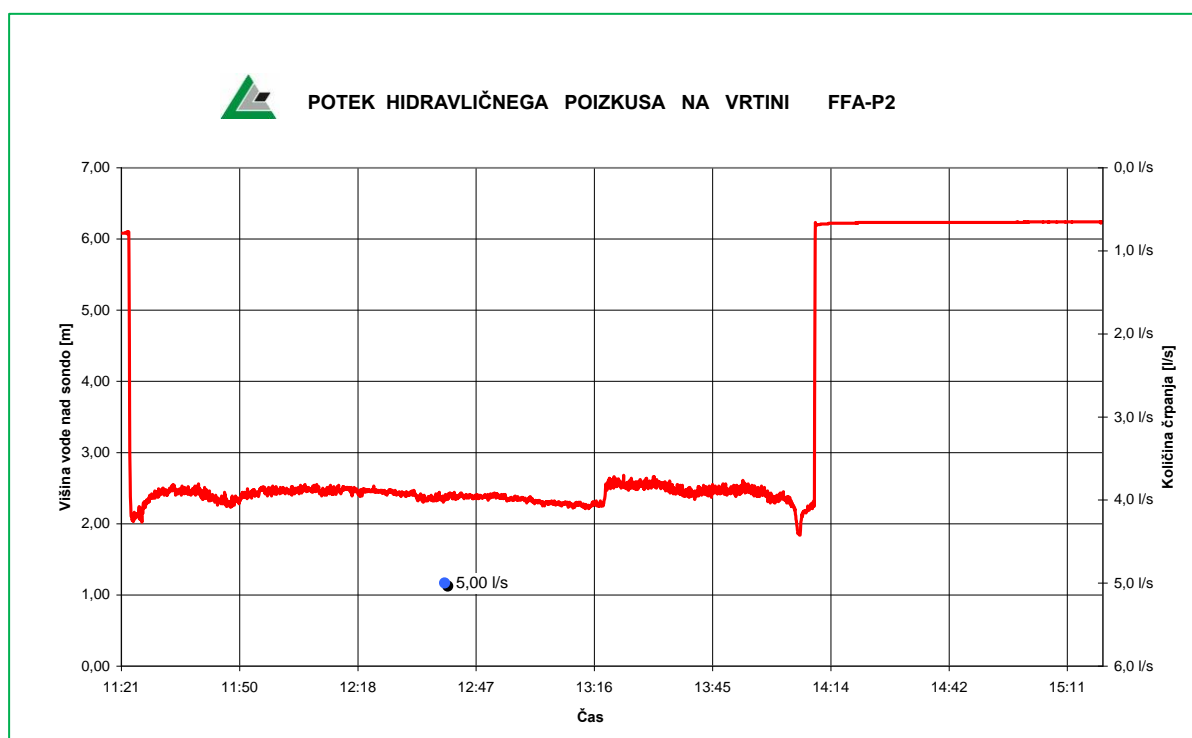
	T_{JACOB}	$T_{PAPADOPULOS}$	T_{THEIS}	$T_{SREDNJI}$
FFA-P1	$8,9 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-3}$	$8,7 \times 10^{-3}$	$8,5 \times 10^{-3}$
FFA-P2	$7,0 \times 10^{-3}$		$5,3 \times 10^{-3}$	$6,1 \times 10^{-3}$



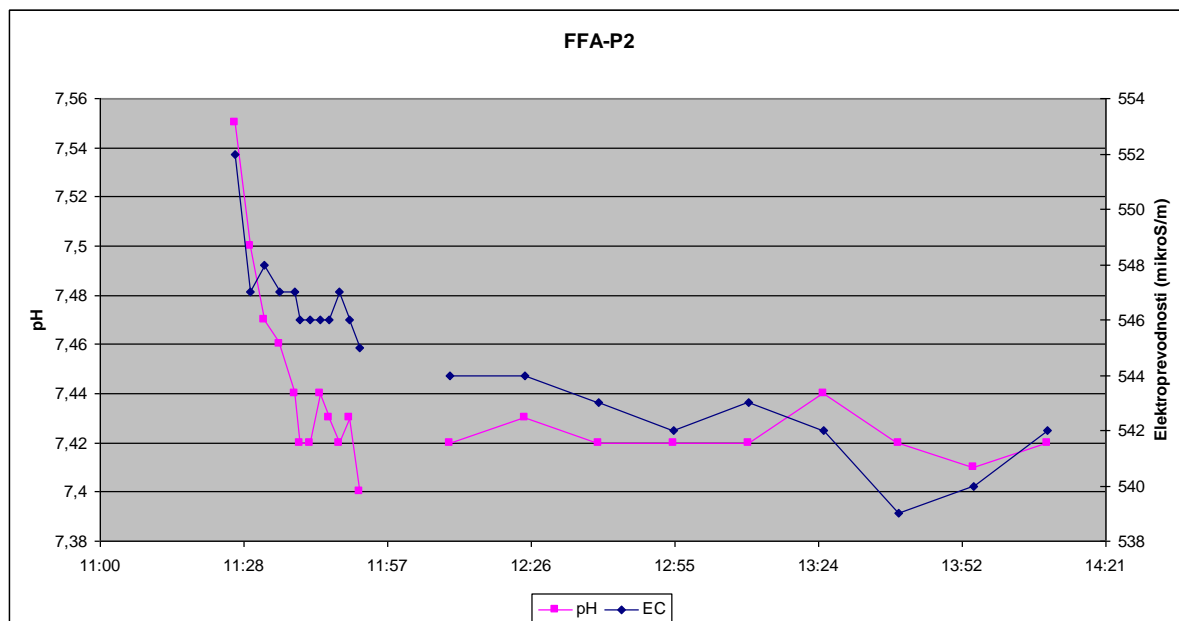
Slika 6 Črpalni poizkus na vrtini FFA-P1.



Slika 7 Parametri podzemne vode med črpalnim testom FFA-P1.



Slika 8 Črpalni poizkus na vrtini FFA-P2.



Slika 9 Parametri podzemne vode med črpalnim testom FFA-P2.

6. Vgradnja merilne opreme in meritve nivoja podzemne vode

Po izvedenih hidrogeoloških poizkusih smo v vse piezometre vgradili opremo za zvezno merjenje parametrov proizvajalca Eltratec. Tlačne sonde so sestavljene iz registratorja GSR 120NTG, ki meri in registrirajo nivo (tlak), elektroprevodnost in temperaturo podzemne vode, posebnega kabla z zračno cevko in kevlerjem, ABS ohišja z baterijama ter konektorjem za komunikacijo z registratorjem.

Vgrajene sonde so primernih dolžin glede na globino posameznega piezometra, njihovo merilno območje znaša 1 bar (10 m) in 2,5 bara (25 m). Njihova kapaciteta spomina znaša 16.000 vrednosti za vsak niz podatkov (nivo in temperatura vode). Ob vgradnji sond se je konfiguracijo registratorjev nastavilo tako, da beležijo podatke na 1 uro.

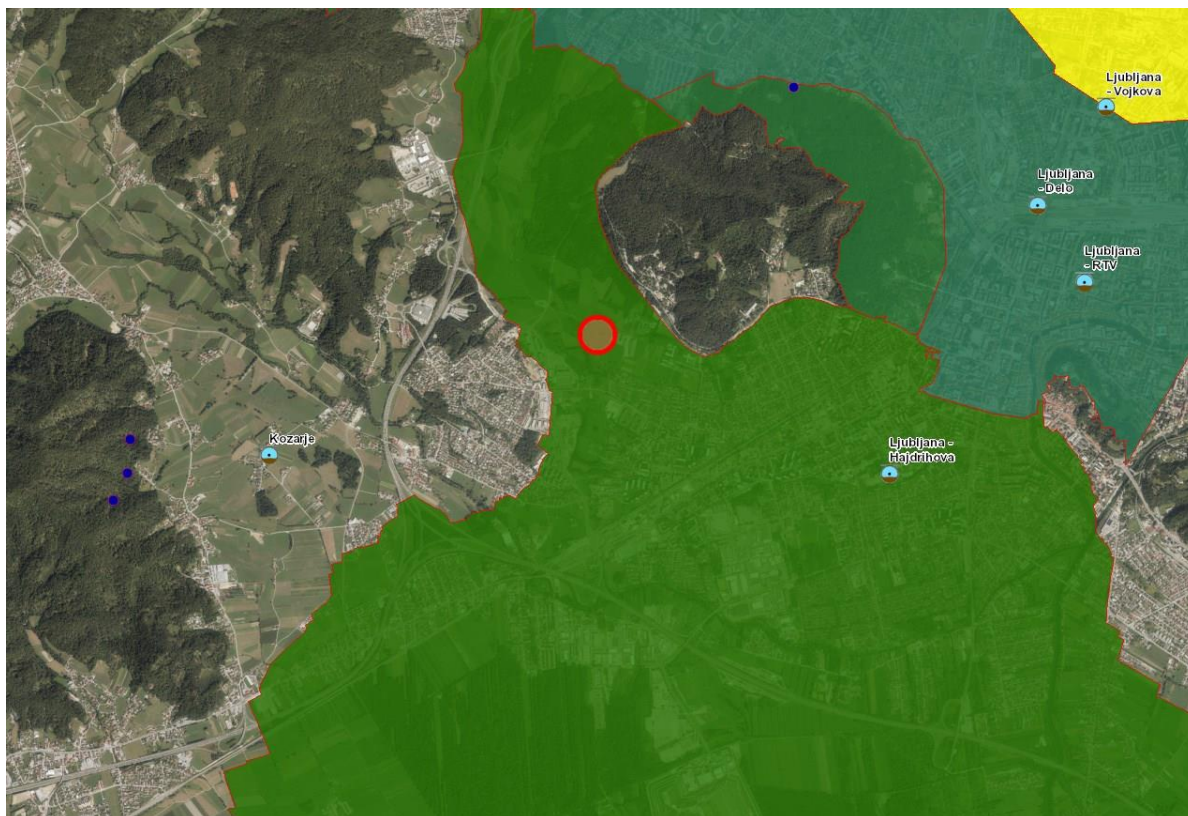
V sklopu izvajanja hidrogeoloških preiskav smo z nivometrom v vseh piezomerih izmerili tudi globine do podzemne vode, ki smo jih preračunali v koto nivoja podzemne vode. Vse ročne meritve globin do podzemne vode smo izvedli od ustij piezometrov. Rezultate meritev globine do podzemne vode in kote nivoja podzemne vode podaja Tabela 5.

Tabela 5 Meritve globine in kote nivoja podzemne vode v piezometrih UL FFA.

	GLOBINA DO PODZEMNE VODE PRI ČRPALNEM POIZKUSU (M)	KOTA NIVOJA PODZEMNE VODE PRI ČRPALNEM POIZKUSU (M N.V.)	GLOBINA DO PODZEMNE VODE PRI VGRADNJI SONDE (M)	KOTA NIVOJA PODZEMNE VODE PRI VGRADNJI SONDE (M N.V.)
FFA-P1	1,24	296,08	1,02	295,92
FFA-P2	14,84	282,32	14,90	282,27

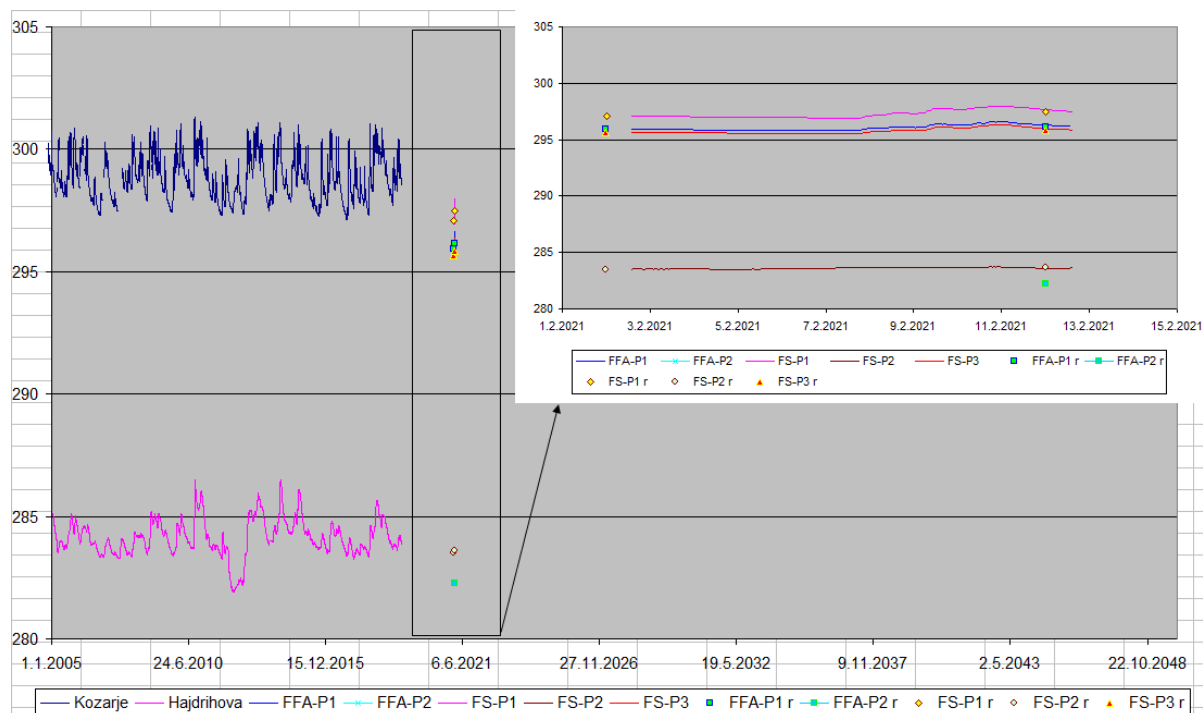
Končni rezultati spremljave nivojev v zgornjem in spodnjem vodonosniku bodo podani v končnem poročilu hidrogeološkega monitoringa. V nadaljevanju podajamo razpoložljive rezultate meritev iz javno dostopne mreže merilnih mest (ARSO).

Na širšem območju je v sklopu državnega monitoringa, ki ga izvaja ARSO, opazovalna hidrogeološka postaja Lj-Hajdrihova, za katero smo pridobili podatke o nivoju podzemne vode in ki zaradi daljših časovnih nizov opazovanj predstavlja pomembno izhodišče pri napovedovanju bodočih stanj. Od predvidenega objekta fakultete je opazovalna postaja Lj-Hajdrihova oddaljena 2,3 km proti osrednjemu delu vodonosnika.



Slika 10 Vodovarstveno območje III vodonosnika Ljubljanskega barja in opazovalne hidrogeološke postaje ARSO.

Državni monitoring podzemne vode opazuje spodnji vodonosnik, ki ga mesto Ljubljana z okolico izkorišča za vodooskrbo. Po podatkih ARSO je maksimalni nivo podzemne vode v spodnjem vodonosniku na opazovalni postaji Lj-Hajdrihova dosegel koto 286,5 m n.v. Minimalni nivo je bil zabeležen na koti 281,9 m n.v., medtem ko so srednji nivoji podzemne vode na koti 284,2 m n.v.. Obdobja visokega vodnega stanja so letno splošno gledano meseca februarja in marca, pa od septembra do decembra. Ker je postaja od območja objektov fakultete oddaljena več kilometrov in v bolj osrednjem delu vodonosnika, lahko na območju gradnje objektov fakultete, ki leži na skrajnem severnem robu vodonosnika, pričakujemo še nekoliko višje nivoje podzemne vode.

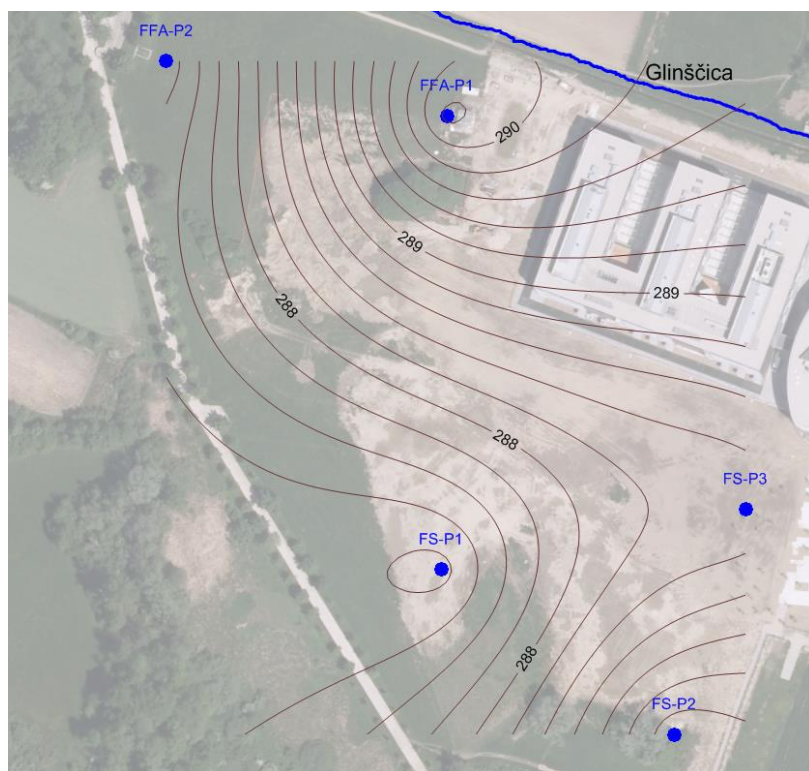


Slika 11 Nivo podzemne vode na hidrogeoloških postajah ARSO Kozarje in Hajdrihova, ter na območju objektov fakultet v zgornjem visečem in spodnjem vodonosniku.

7. Hidrogeološke razmere

Širše obravnavano območje leži na severnem robu vodonosnika Ljubljanskega barja, kjer se pojavljajo pretežno zaglinjeni do peščeni prodi. Nad njimi se na ožjem območju fakultete pojavlja glinasta plast, ki ima vlogo ločilne plasti med vodonosnikom Ljubljanskega barja, ki je zaščiten z vodovarstvenim območjem (*Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega barja in okolice Ljubljane (Uradni list RS, št. 115/07, 9/08 – popr., 65/12 in 93/13)*), ter višje ležečim visečim vodonosnikom, v katerem se nivo vode nahaja blizu kote površja. V nadaljevanju besedila vodonosnik Ljubljanskega barja, imenujemo spodnji vodonosnik, medtem ko vodo nad glineno plastjo imenujemo viseč ali zgornji vodonosnik.

Za potrebe proučitve geometrije ločilne plasti smo glede na popise vrtin izdelali karto prostorskega razširjanja glinene plasti, ki predstavlja oviro pri vertikalnem toku proti spodnjemu sklenjenemu nivoju podzemne vode. Kot prikazuje Slika 12, stik vodonosnih, bolj prodnatih plasti zgornjega visečega vodonosnika in glinenih plasti ni raven, temveč je izredno razgiban in na več mestih poglobljen. Generalno vpada od severa proti jugu.



Slika 12 Prostorsko razširjanje dna visečega vodonosnika, ki pada proti jugu - jugozahodu.

Spodnji vodonosnik se na obravnavani lokaciji pojavlja kot vodonosnik z odprtim do polzaprtim hidrodinamskim režimom. To pomeni, da se pod spodnjo mejo ločilne plasti gline (torej v vrhnjem delu spodnjega vodonosnika) v odvisnosti od razgibanosti geometrije ločilne plasti ponovno pojavlja večino časa ali stalno prisotna nezasičena cona. To je potrebno upoštevati pri analizi hidrostatskega stanja pri določanju totalnih napetosti pri dimenzioniranju pilotov.

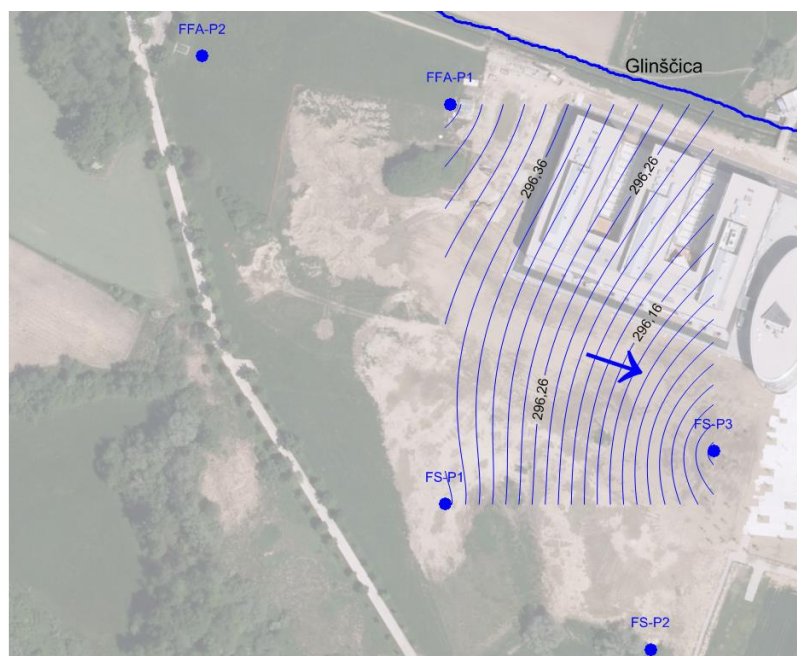
Hkrati ima to za posledico obravnavo dopustnosti gradnje, vezano na določbe Uredbe glede zagotavljanja transmisivnosti vodonosnika. Zaradi posega z gradnjo in končnim objektom v

zasičeno cono visečega vodonosnika bo namreč prišlo do vzpostavitve ovire za tok podzemne vode. Vendar pa je potrebno upoštevati, da ta tok ni vezan na z Uredbo zaščiten spodnji vodonosnik Ljubljanskega polja, temveč na zgornji, viseč vodonosnik. **Tako s stališča količinskega stanja vodonosnika Ljubljanskega barja obravnavani objekti ne predstavljajo posega, ki bi zmanjševal njegovo transmisivnost.**

7.1. Smer, hitrost toka podzemne vode in hidravlični gradient v visečem vodonosniku

V visečem vodonosniku razpolagamo na širšem obravnavanem območju s tremi merskimi mesti, v spodnjem pa z dvema. Tako je mogoče smer in hitrost toka podzemne vode kvantificirati predvsem za viseči vodonosnik, medtem ko za spodnji vodonosnik Ljubljanskega barja podajamo predvsem oceno smeri toka.

Rezultati meritev nivojev podzemne vode dne 22.1.2021, kažejo na uniformno hidravlično polje v visečem vodonosniku, kar je sicer posledica števila merskih mest. Glede na daljše padavinsko obdobje pred meritvijo ocenjujemo, da so nivoji podzemne vode in dobljen hidravlični gradient, ki znaša med 0,0025 in 0,0037, merodajni predvsem za srednje do visoko vodno stanje. V visečem vodonosniku je generalna smer toka od severozahoda proti jugovzhodu, torej vzporedno z Glinščico, kot prikazuje Slika 13. Glinščica sicer drenira širše območje visečega vodonosnika, vendar pa je smer toka podzemne vode pogojena tudi z zelo visoko prepustnostjo zgornjega vodonosnika in ta vsaj lokalno odteka vzporedno z vodotokom.



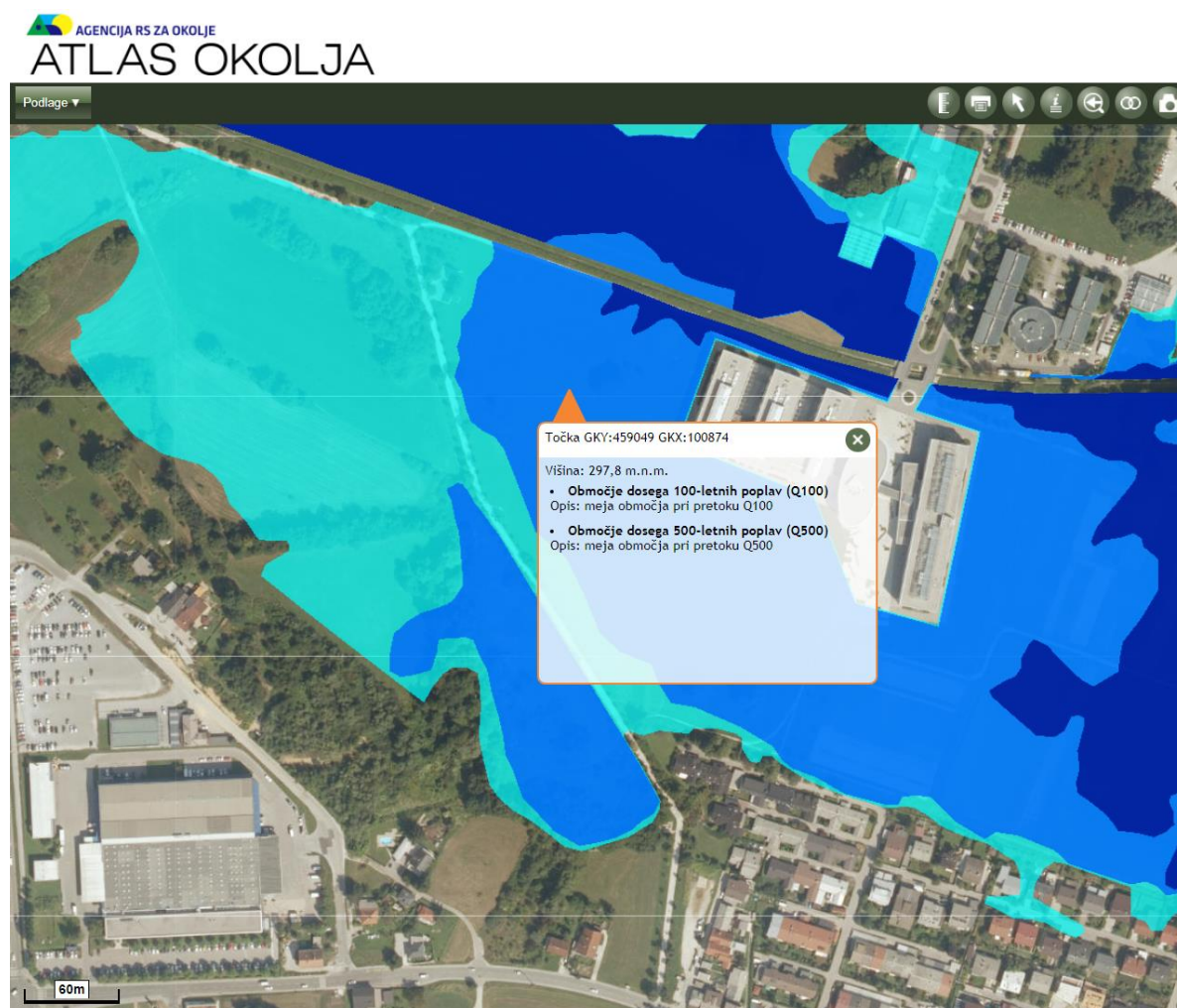
Slika 13 Smer toka podzemne vode v zgornjem visečem vodonosniku.

Ocenjujemo, da je v spodnjem vodonosniku smer toka podzemne vode usmerjena od severozahoda proti jugovzhodu, generalno od vrtine FFA-P2 proti FS-P2 na območju sosednje načrtovane fakultete.

7.2. Določitev maksimalnih nivojev podzemne vode

Območje novih objektov Fakultete za farmacijo na Brdu leži na poplavnem območju Glinščice. Po podatkih ARSO je to del območja dosega 100- in 500-letnih poplav (Q100 in Q500). Pri tem se nivo vode v visečem vodonosniku v času poplav lahko stika z nivojem same poplave. Tako so maksimalni nivoji podzemne vode na oziroma nad koto terena. Območja dosega poplav Q10, Q100 in Q500 so prikazana na sliki spodaj.

Zaradi lege na poplavnem območju so bile opazovalne vrtine opremljene z nadvišanim ustjem, ki preprečuje zatekanje padavinske in poplavne vode skozi piezometrične cevi v globlje ležeči vodonosnik.



Slika 14 Poplavno območje dosega Q100 in Q500 na območju novih objektov fakultete. Območje dosega Q10 je označeno s temno modro bravo, območje dosega Q100 z modro bravo in območje dosega Q500 s svetlo modro bravo.

Del monitoringa podzemne vode pa je tudi opazovanje nivoja v spodnjem vodonosniku, ki je zaradi eksploatacije za vodooskrbo zaščiteno z Uredbo o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega barja in okolice Ljubljane (Uradni list RS, št. 115/07, 9/08 – popr., 65/12 in 93/13). Območje gradnje je del vodovarstvenega območja III vodonosnika Ljubljanskega barja (Slika 10).



Natančnih ocen maksimalnih nivojev podzemne vode na ožjem območju v fazi raziskav ni mogoče podati, saj z daljšimi časovnimi nizi opazovanja nivoja podzemne vode ne razpolagamo. Podati je mogoče predvsem grobe ocene za potrebe dimenzioniranja geotehničnih ukrepov. Tako ocenjujemo, da se najvišji nivo podzemne vode v spodnjem vodonosniku na območju načrtovane fakultete lahko pojavlja na koti med 285 in 287 m n.v. Z nadaljnjimi meritvami bo mogoče to oceno precizirati.

7.3. Zaščita podzemne vode

Vodonosnik Ljubljanskega barja in okolice je zaščiten z *Uredbo o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega barja in okolice Ljubljane (Uradni list RS, št. 115/07, 9/08 – popr., 65/12 in 93/13)*. Na lokaciji objektov fakultete je z Vodovarstveno uredbo zaščiten spodnji vodonosnik, katerega stanje spremlja ARSO. Na Slika 10 je prikazana lokacija predvidenih objektov fakultete in območje VVO III vodonosnika Ljubljanskega barja. Prepovedi, omejitve in pogoje gradnje na tem območju določa Priloga 3 Vodovarstvene uredbe, katere okrnjen obseg podajamo v nadaljevanju.

Čeprav je izobraževalne objekte na območju VVO III dovoljeno graditi, je od gradnji določen pogoj, da je objekte treba graditi 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.

Ob izvedbi opazovalnih vrtin je bila še posebna pozornost namenjena ločitvi vodonosnikov in zaščiti spodnjega vodonosnika, ki se izkorišča za vodooskrbo. Poleg strukturne ločitve vodonosnikov v sami vrtini so bili piezometri opremljeni z nadvišanim ustjem, s čimer je preprečeno zatekanje padavinske in poplavne vode v globlji vodonosnik.

Z vidika dopustnosti gradnje, vezano na določbe Uredbe glede zagotavljanja transmisivnosti vodonosnika, je potrebno ugotoviti, da se vsi posegi izvajajo v območje zgornjega, visečega vodonosnika. Zaradi posega z gradnjo in končnim objektom v zasičeno cono visečega vodonosnika bo tako prišlo do vzpostavitve ovire za tok podzemne vode. Ta tok pa ni neposredno vezan na z Uredbo zaščiten spodnji vodonosnik Ljubljanskega polja, temveč na zgornji, viseč vodonosnik, iz katerega na njegovih robovih podzemna voda preliva v spodnji vodonosnik. **Tako s stališča količinskega stanja vodonosnika Ljubljanskega barja obravnavani objekti ne predstavljajo posega, ki bi zmanjševal njegovo transmisivnost.**



7.4. Zaščita gradbene jame in dotoki podzemne vode med gradnjo

Kot je prikazano na geoloških profilih v načrtu zaščite gradbene jame (IRGO Consulting) in kot sledi iz načrtov predvidenih objektov, bo tesnitev z zagatnicami segala do ločilne glinene plasti, ki predstavlja dno visečega vodonosnika. Ob izkopu gradbene jame po tesnitvi z zagatnicami bodo tako dotevale zgolj manjše količine vode visečega vodonosnika, ki se bo precejala na stiku med zagatnicami. Dotoke bo mogoče odvajati z gradbiščnimi črpalkami. Ti dotoki pa bodo kljub majhnim količinam (odvisno predvsem od kvalitete izvedbe in stikanja zagatnic) prisotni ves čas gradnje, saj gre za dobro prepusten viseč vodonosnik v bližini površinskega vodotoka Glinščica, ki teče le nekaj metrov od območja gradnje.

Upoštevati je potrebno tudi visok nivo podzemne vode v visečem vodonosniku ter preveriti neugodno delovanje vzgona podzemne vode.

7.5. Možnost zajema podzemne vode za potrebe toplotne črpalke

Na podlagi opravljenega črpalnega poizkusa v globoki vrtini na lokaciji fakultete in na lokaciji sosednje načrtovane fakultete smo določili povprečno prepustnost spodnjega vodonosnika $1,6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ za globine od 15 do 50 m pod koto terena. S preiskavami dna vodonosnika nismo dosegli, zato podajamo kapaciteto za preiskani odsek.

Ta pri predpostavljenem kopanju vodnjaku $\phi 800$, 34 m omočenega sloja vodonosnika pri dani prepustnosti znaša ca 40 l/s, pri čemer pa ni upoštevan učinek povratnega toka ponikajoče izrabljene vode, ki lahko dano vrednost zniža ob premajhni medsebojni razdalji črpalnih in ponikalnih objektov.

Glede na srednjo prepustnost spodnjega vodonosnika in majhen hidravlični gradient je potrebno vrtino za črpanje in vrtino za vračanje izrabljene podzemne vode locirati na čim večjo razpoložljivo razdaljo.

V kolikor se bosta na obeh fakultetah izvajala ločena sistema voda-voda, je kapaciteta vsakega od njih ca polovico zgornje vrednosti, pri čemer je potrebno upoštevati tudi to, da bi bil v tem primeru dolvodni zajemni objekt (Fakulteta za strojništvo) pod vplivom infiltracije iz ponikovalnega vodnjaka Fakultete za farmacijo.

Ker se hkrati načrtujeta gradnji dveh fakultet, je z vidika sistema voda-voda glede na hidrogeološke razmere optimalna rešitev skupne rabe vode za obe fakulteti, s čemer se prepreči povratna zanka ponikajoče vode.



8. Zaključek

V okviru hidrogeoloških raziskav na območju novih objektov Univerze v Ljubljani, fakultete za farmacijo, sta bili v decembru 2020 in januarju 2021 izvedeni 2 vrtini, opremljeni kot piezometer. Na obeh je bil, za določitev hidravličnih karakteristik vodonosnikov, opravljen tudi črpalni poizkus.

Na obravnavanem območju se pojavlja vodonosnik Ljubljanskega barja, ki se izkorišča tudi za oskrbo mesta Ljubljane s pitno vodo, območje načrtovane fakultete leži v VVO III (*Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega barja in okolice Ljubljane (Uradni list RS, št. 115/07, 9/08 – popr., 65/12 in 93/13)*). Nad njim se pojavlja ti. viseči vodonosnik, katerega od spodnjega vodonosnika ločuje plast gline, debeline od 0,6 do preko 1,1 m. Površina ločilne plasti je izrazito neravna in na mestih poglobljena. Generalna smer vpada površine glinene plasti je proti jugu do jugozahodu.

S črpalnimi poizkusi, ki so bili izvedeni v zasičenih conah, je bil ugotovljen koeficient prepustnosti zgornjega vodonosnika $1,14 \times 10^{-3}$ m/s in spodnjega vodonosnika $1,6 \times 10^{-4}$ m/s. Med izvajanjem črpalnih testov v spodnjem vodonosniku so bili izmerjeni fizikalno kemijski parametri, ki so v mejah vodonosnika Ljubljanskega barja.

Viseč medzrnski vodonosnik je glede na hidrodinamski režim odprtega tipa. Glede na razpoložljive podatke nivoja podzemne vode je podzemna voda v visečem vodonosniku na koti 295,9-295,6 m n.v. in v spodnjem vodonosniku na koti 283,0-283,5 m n.v. ob trenutnem vodnem stanju. Smer toka je v visečem vodonosniku usmerjena proti jugovzhodu. Smer toka v spodnjem vodonosniku prav tako ocenjujemo od severozahoda proti jugovzhodu.

Z vidika dopustnosti gradnje, vezano na določbe Uredbe glede zagotavljanja transmisivnosti vodonosnika, je potrebno ugotoviti, da se vsi posegi izvajajo v območje zgornjega, visečega vodonosnika. Zaradi posega z gradnjo in končnim objektom v zasičeno cono visečega vodonosnika bo tako prišlo do vzpostavitve ovire za tok podzemne vode. Ta tok pa ni neposredno vezan na z Uredbo zaščiten spodnji vodonosnik Ljubljanskega polja, temveč na zgornji, viseč vodonosnik, iz katerega na njegovih robovih podzemna voda preliva v spodnji vodonosnik. Tako s stališča količinskega stanja vodonosnika Ljubljanskega barja obravnavani objekti ne predstavljajo posega, ki bi zmanjševal njegovo transmisivnost.

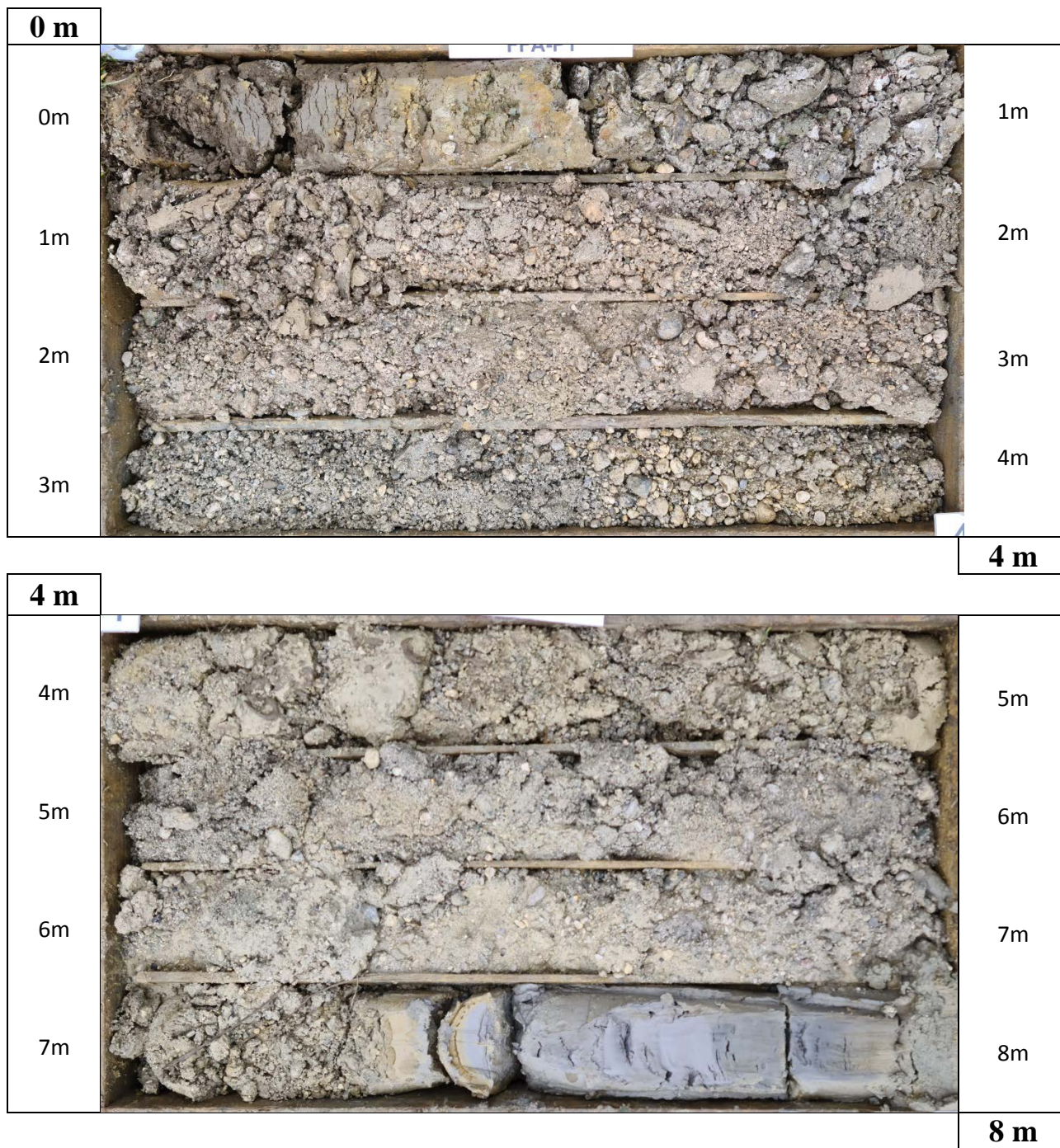
Ob tesnitvi gradbene jame z zagatnicami bodo v jamo ditekale zgolj manjše a stalne količine podzemne vode visečega vodonosnika, ki se bo precejala na stiku med zagatnicami. Dotoke bo mogoče odvajati z gradbiščnimi črpalkami. Upoštevati je potrebno tudi visok nivo podzemne vode v visečem vodonosniku ter preveriti neugodno delovanje vzgona podzemne vode.

Možnosti rabe podzemne vode za rabo toplote se povečajo v primeru izvedbe skupnega sistema Fakultete za strojništvo in Fakultete za farmacijo. S tem se povečajo razpoložljive razdalje med črpalnimi in ponikalnimi vodnjaki, kapaciteta zajema brez upoštevanja učinka povratne zanke pa znaša za preiskano debelino vodonosnika ca 40 l/s.



Priloga 1

Vrtina FFA-P1



Vrtina FFA-P1

8 m

8m

9m

10m

11m

9m

10m

11m

12m

12 m

12 m

12m

13m

14m

15m

16m

13m

14m

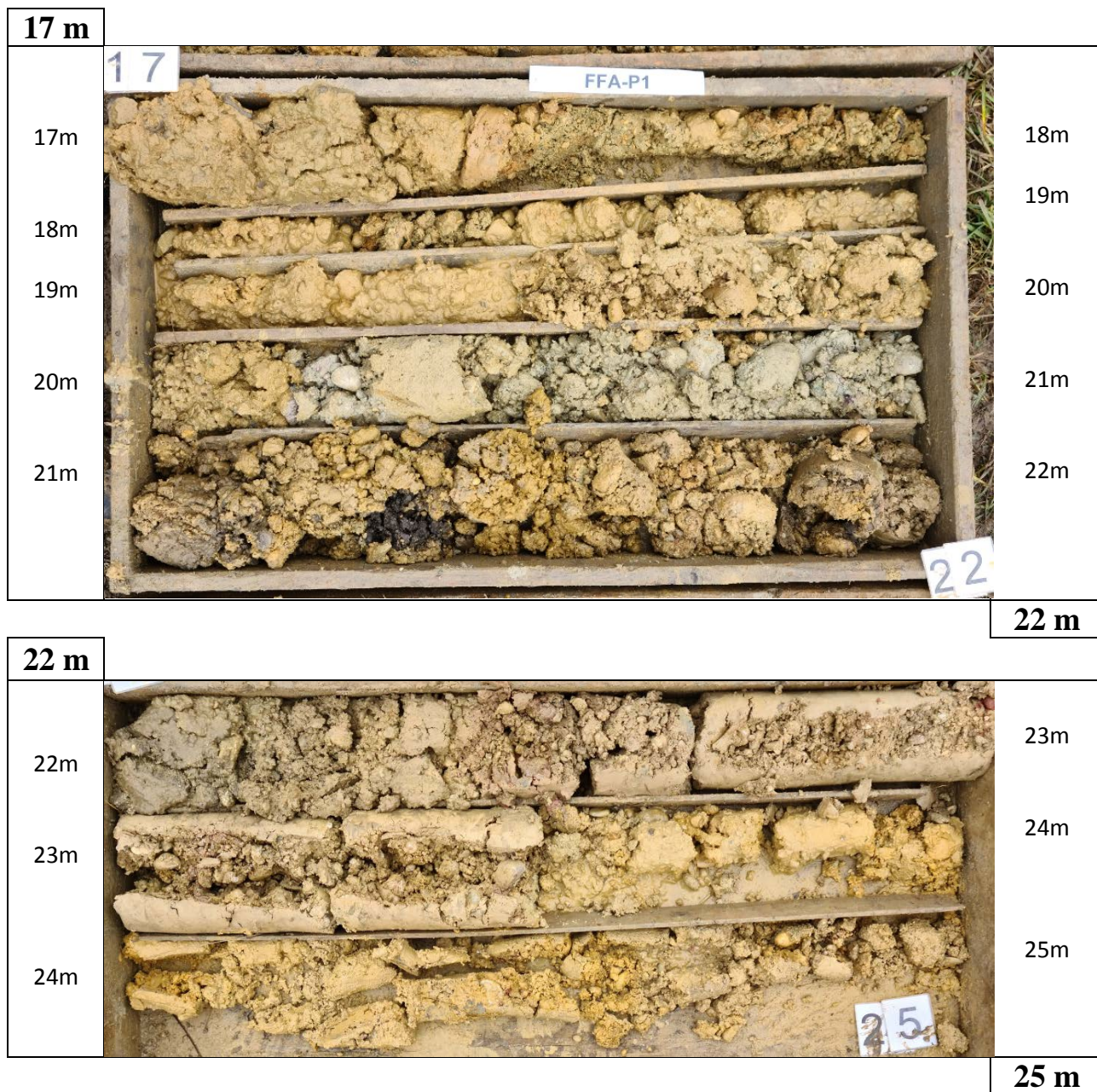
15m

16m

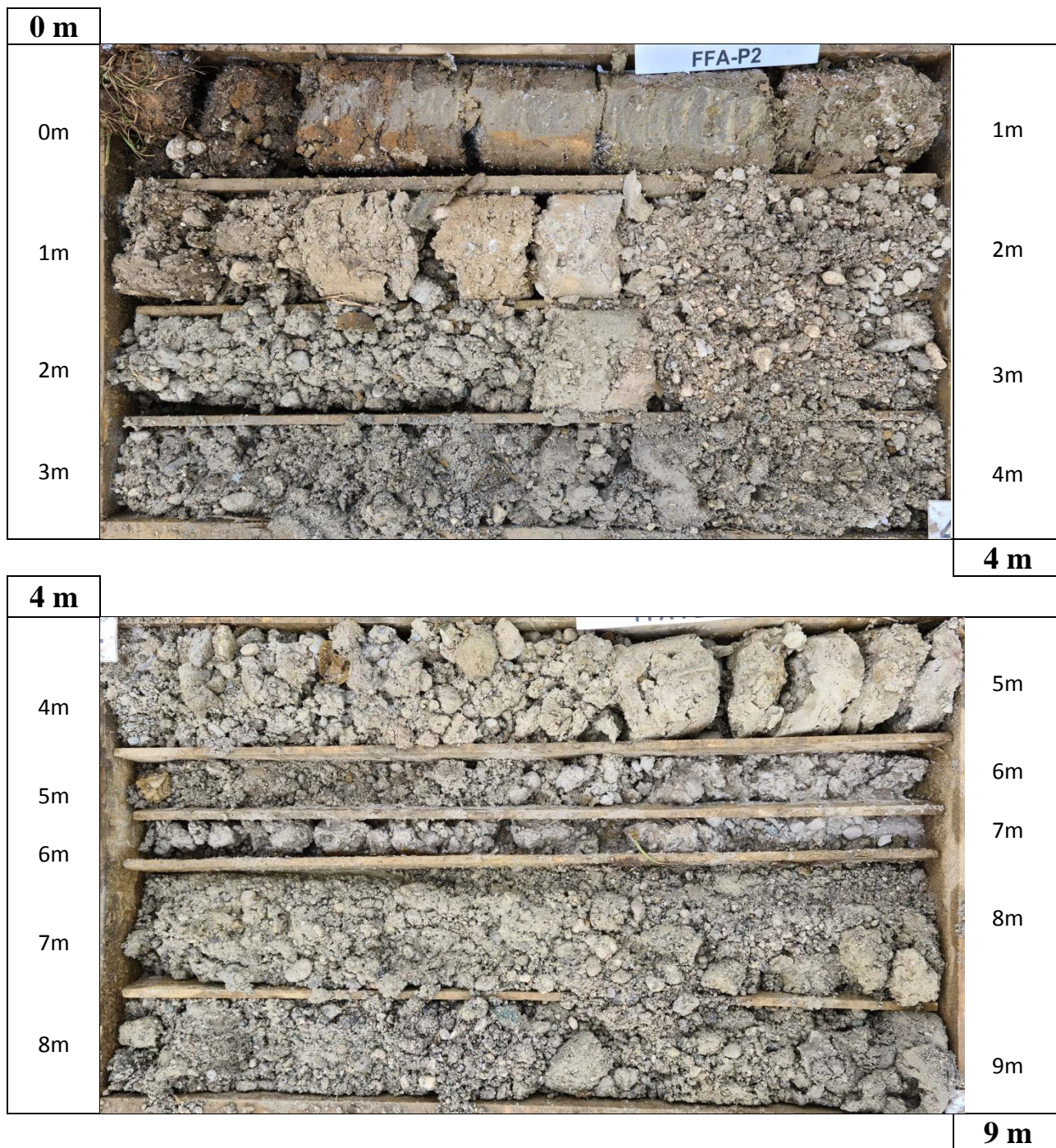
17m

17 m

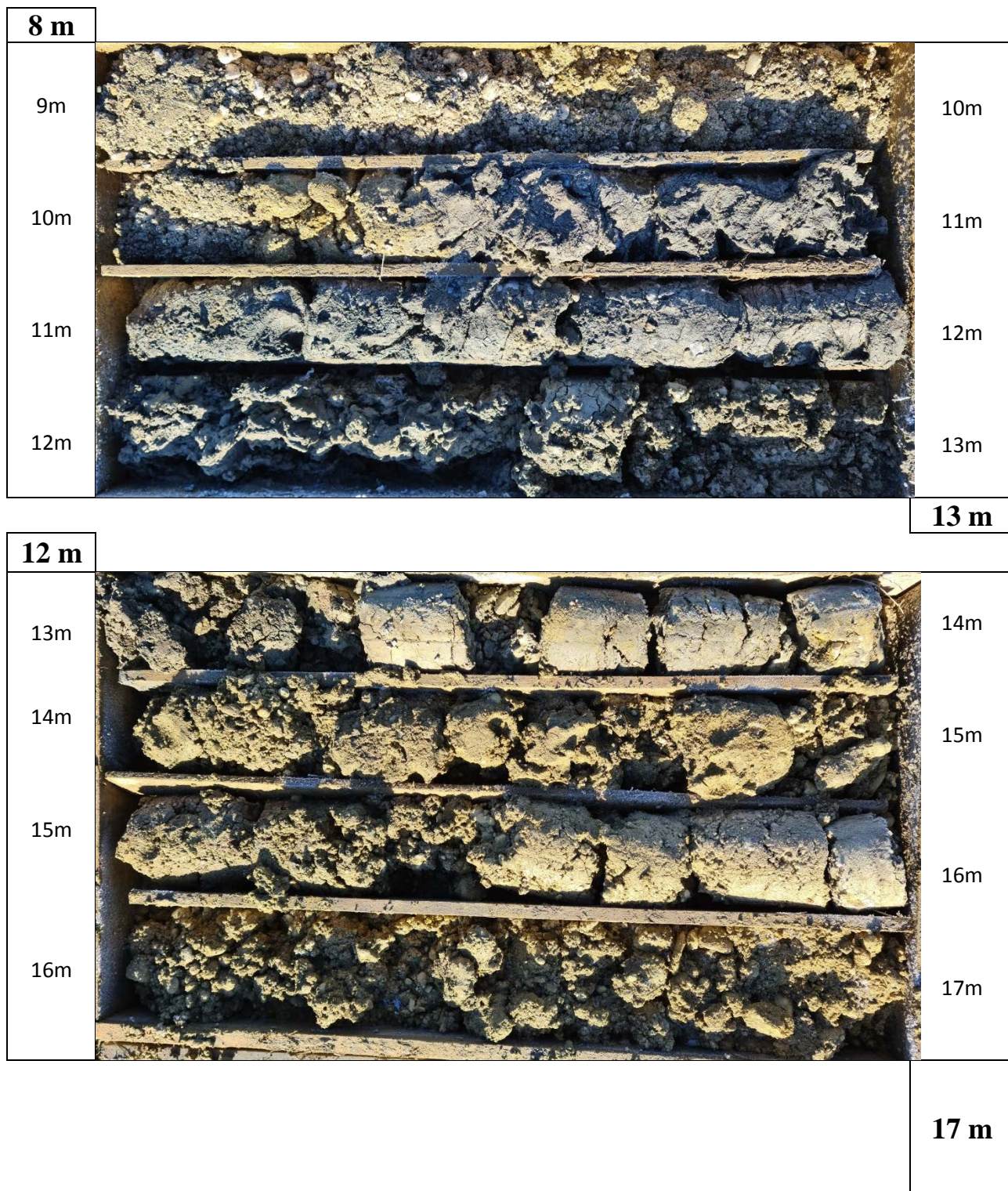
Vrtina FFA-P1



Vrtina FFA-P2



Vrtina FFA-P2



Vrtina FFA-P2

17 m

17m

18m

19m

20m



18m

19m

20m

21m

21 m

22 m

21m

22m

23m

24m



22m

23m

24m

25m

25 m



Priloga 2

Projekt: **Fakulteta za farmacijo**

Naročnik: **Fakulteta za farmacijo, UL**

Območje: **Brdo**

Objekt: **0**

Vrtanje: **Rovs, k60=1,55**

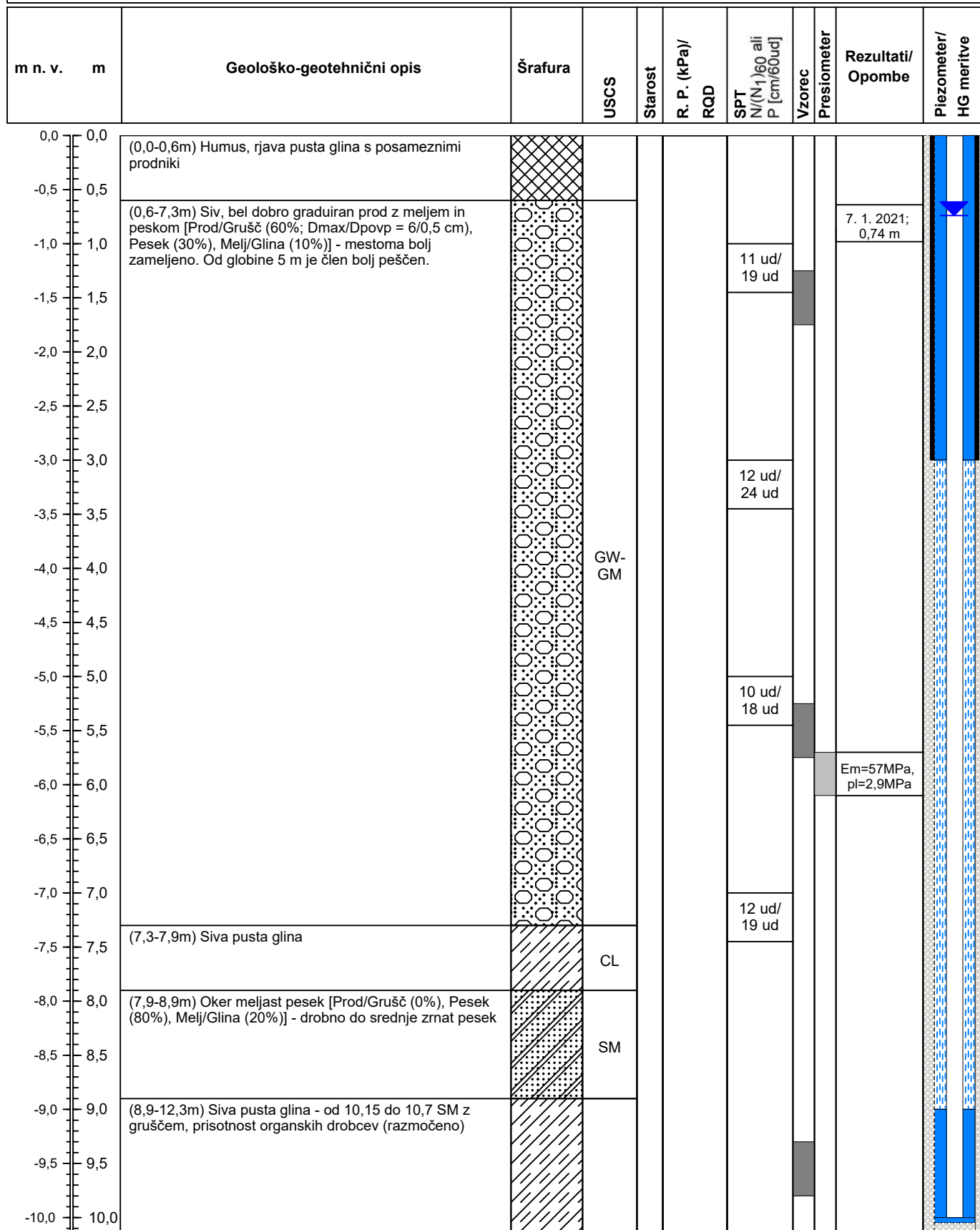
Datum: **21.12.-22.12.2020**

Globina: **25 m**

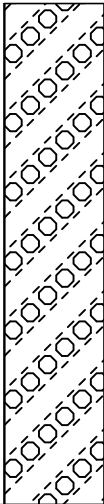

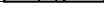

D96 Y: **0**

D96 X: **0**

Z: **m n.v.**

Z ustja: **/**


m n. v.	m	Geološko-geotehnični opis	Šrafura	USCS	Starost	R. P. (kPa)/ RQD	SPT N/(N ₁)/60 ali P [cm/60ud]	Vzorec	Presiometer	Rezultati/ Opombe	Piezometer/ HG meritve
-10,5	10,5			CL							
-11,0	11,0										
-11,5	11,5										
-12,0	12,0										
-12,5	12,5	(12,3-13,9m) Rdeč, zelen in rjav meljast prod [Prod/Grušč (60%; Dmax/Dpovp = 2/0,5 cm), Pesek (10%), Melj/Glina (30%)]		GM							
-13,0	13,0										
-13,5	13,5										
-14,0	14,0	(13,9-25,0m) Rjav glinast prod [Prod/Grušč (70%; Dmax/Dpovp = 5/1 cm), Pesek (10%), Melj/Glina (20%)] - mestoma organsko, od 22 m navzdol bolj sprijeto					29 ud/ 35 ud				
-14,5	14,5										
-15,0	15,0									Em=28MPa, pl=1,7MPa	
-15,5	15,5										
-16,0	16,0										
-16,5	16,5										
-17,0	17,0						14 ud/ 15 ud				
-17,5	17,5										
-18,0	18,0										
-18,5	18,5										
-19,0	19,0									Em=173MPa, pl=4,0MPa	
-19,5	19,5			GC							
-20,0	20,0										
-20,5	20,5										
-21,0	21,0										
-21,5	21,5										

m n. v.	m	Geološko-geotehnični opis	Šrafura	USCS	Starost	R. P. (kPa)/ RQD	SPT N/(N ₁) ₆₀ ali P [cm/60ud]	Vzorec	Presiometer	Rezultati/ Opombe	Piezometer/ HG meritve
-22,0	22,0						35 ud/ 34 ud				
-22,5	22,5										
-23,0	23,0										
-23,5	23,5										
-24,0	24,0										
-24,5	24,5								Em=70MPa, pl=1,6MPa		
-25,0	25,0										

Projekt: Fakulteta za farmacijo

Naročnik: Fakulteta za farmacijo, UL

Območje: Brdo

Objekt: 0

Vrtanje: Geotrans d.o.o., k60=1

Datum: 0

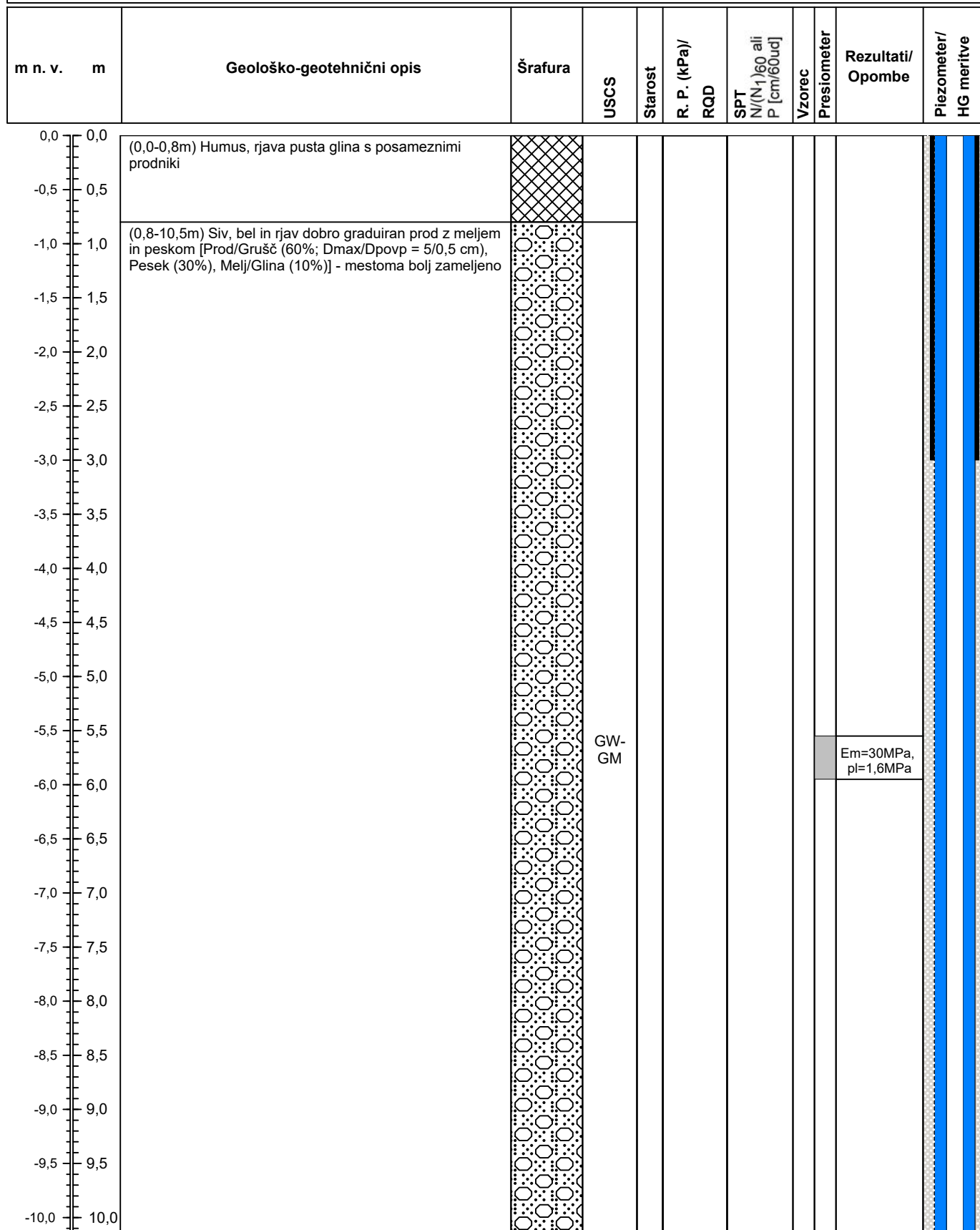
Globina: 50 m

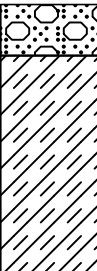
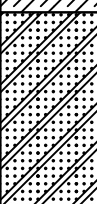
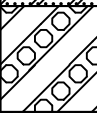


D96 Y: 0

D96 X: 0

Z: m n.v.

Z ustja: /



m n. v.	m	Geološko-geotehnični opis	Šrafura	USCS	Starost	R. P. (kPa)/ RQD	SPT N/(N ₁) ₆₀ ali P [cm/60ud]	Vzorec	Presiometer	Rezultati/ Opombe	Piezometer/ HG meritve
-10,5	10,5	(10,5-12,0m) Siva pusta glina - mestoma prehaja v drobnnozrnat SM ali ML.		CL							
-11,0	11,0										
-11,5	11,5										
-12,0	12,0	(12,0-13,3m) Siv, drobnnozrnat meljast pesek [Prod/Grušč (0%), Pesek (70%), Melj/Glina (30%)]		SM							
-12,5	12,5										
-13,0	13,0										
-13,5	13,5	(13,3-14,0m) Rjav, rdečkast in zelen meljast prod [Prod/Grušč (60%), Pesek (10%), Melj/Glina (30%)] - prod je zdrobljen in mešanega izvora.		GM							
-14,0	14,0	(14,0-50,0m) Rjav glinast prod [Prod/Grušč (70%; D _{max} /D _{povp} = 5/1 cm), Pesek (10%), Melj/Glina (20%)] - mestoma bolj zaglinjeno.									
-14,5	14,5										
-15,0	15,0									20. 1. 2021; 15,0 m	
-15,5	15,5									Em=35MPa, pl=1,5MPa	
-16,0	16,0										
-16,5	16,5										
-17,0	17,0										
-17,5	17,5										
-18,0	18,0										
-18,5	18,5										
-19,0	19,0										
-19,5	19,5									Em=149MPa, pl=4,6MPa	
-20,0	20,0										
-20,5	20,5										
-21,0	21,0										
-21,5	21,5										

m n. v.	m	Geološko-geotehnični opis	Šrafura	USCS	Starost	R. P. (kPa)/ RQD	SPT N/(N ₁)/60 ali P [cm/60ud]	Vzorec	Presiometer	Rezultati/ Opombe	Piezometer/ HG meritve
-22,0	22,0										
-22,5	22,5										
-23,0	23,0										
-23,5	23,5										
-24,0	24,0										
-24,5	24,5									Em=60MPa, pl=3,0MPa	
-25,0	25,0										
-25,5	25,5										
-26,0	26,0										
-26,5	26,5										
-27,0	27,0										
-27,5	27,5										
-28,0	28,0										
-28,5	28,5										
-29,0	29,0										
-29,5	29,5										
-30,0	30,0										
-30,5	30,5										
-31,0	31,0										
-31,5	31,5										
-32,0	32,0			GC							
-32,5	32,5										
-33,0	33,0										

m n. v.	m	Geološko-geotehnični opis	Šrafura	USCS	Starost	R. P. (kPa)/ RQD	SPT N/(N ₁) ₆₀ ali P [cm/60ud]	Vzorec	Presiometer	Rezultati/ Opombe	Piezometer/ HG meritve
-33,5	33,5										
-34,0	34,0										
-34,5	34,5										
-35,0	35,0										
-35,5	35,5										
-36,0	36,0										
-36,5	36,5										
-37,0	37,0										
-37,5	37,5										
-38,0	38,0										
-38,5	38,5										
-39,0	39,0										
-39,5	39,5										
-40,0	40,0										
-40,5	40,5										
-41,0	41,0										
-41,5	41,5										
-42,0	42,0										
-42,5	42,5										
-43,0	43,0										
-43,5	43,5										
-44,0	44,0										
-44,5	44,5										

m n. v.	m	Geološko-geotehnični opis	Šrafura	USCS	Starost	R. P. (kPa)/ RQD	SPT N/(N ₁) ₆₀ ali P [cm/60ud]	Vzorec	Presiometer	Rezultati/ Opombe	Piezometer/ HG meritve
-45,0	45,0										
-45,5	45,5										
-46,0	46,0										
-46,5	46,5										
-47,0	47,0										
-47,5	47,5										
-48,0	48,0										
-48,5	48,5										
-49,0	49,0										
-49,5	49,5										
-50,0	50,0										