

**GEOMEHANSKO IN HIDROGEOLOŠKO POROČILO GRADBENE  
JAME NA SPODNJIH POLJANAH V LJUBLJANI  
– OBMOČJE TREH AKADEMIJ**





**Naslov projekta:** GEOMEHANSKO IN HIDRO-GEOLOŠKO POROČILO  
GRADBENE JAME NA SPODNJIH POLJANAH V  
LJUBLJANI – OBMOČJE TREH AKADEMIJ

**Naročnik:** GEOINVEST d.o.o.  
Dimičeva 16, Ljubljana

**Izvajalec:** IRGO Consulting, d.o.o.  
Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana

**Direktor:** doc. dr. <sup>34</sup>Vojkan Jovičič, u.d.i.gradb.



**Številka poročila:** ic 468/09

**Datum:** oktober 2009

**Izdelava poročila:** mag. Albin Križnič, u.d.i.geol.



ta na vodo

01560 36 66

Melhior Pregl, u.d.i.geol.

dr. Jože Ratej, u.d.i.geol.



Maja Rojšek, u.d.i.geol.

01 560 36 73

Saša Galuf, u.d.i.grad.



Teja Fabjan



Boštjan Ivačič



Miha Peternel



**VSEBINA:**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>6</b>
<b>2. TERENSKE RAZISKAVE .....</b>	<b>7</b>
2.1    SONDAŽNO VRTANJE .....	7
2.2    STANDARDNI PENETRACIJSKI PREIZKUS (SPT).....	7
<b>3. INŽENIRSKO-GEOLOŠKE RAZMERE.....</b>	<b>9</b>
3.1    SEIZMIČNOST OBMOČJA .....	9
<b>4. HIDROGEOLOŠKE RAZMERE .....</b>	<b>10</b>
4.1    OBDELAVA ČRPALNIH POSKUSOV.....	12
4.2    HIDROGEOLOŠKI MONITORING NA PROUČEVANEM OBMOČJU .....	14
4.3    HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PROUČEVANEGA OBMOČJA .....	15
4.4    PONIKOVALNE SPOSOBNOSTI TERENA NA PROUČEVANEM OBMOČJU .....	16
4.4.1    Normativne podlage .....	16
4.4.2    Hidrogeološke danosti za zmožnost ponikanja terena .....	17
4.4.3    Dimenzije ponikovalnih vodnjakov in zmožnosti ponikanja.....	18
<b>5. LABORATORIJ .....</b>	<b>21</b>
5.1    UVOD .....	21
5.2    REZULTATI PREISKAV .....	21
<b>6. GEOMEHANSKI PARAMETRI .....</b>	<b>22</b>
<b>7. GEOTEHNIČNI POGOJI GRADNJE.....</b>	<b>23</b>
7.1    NOSILNOST TEMELJNIH TAL .....	23
7.2    PREDLOG ZAŠČITE GRADBENE JAME .....	25
<b>8. ZAKLJUČEK.....</b>	<b>26</b>

**PRILOGE:**

- PRILOGA G.1.1:** *Pregledna situacija z raziskovalnimi deli, M 1:500*
- PRILOGA G.1.2:** *Pregledna situacija treh akademij – tloris pritličja z raziskovalnimi deli, M 1:500*
- PRILOGA G.1.3:** *Karta visokih in nizkih nivojev podzemne vode v obdobju od septembra do decembra 2009, M 1:500.*
- PRILOGA G.2:** *Inženirsko-geološko-hidrogeološki prerezi, M 1:200*
- PRILOGA G.3.1:** *Geološko geotehnični profili vrtin in razkopov.*
- PRILOGA G.3.2:** *Tehnični geološko hidrogeološki profili piezometrov.*
- PRILOGA G.4:** *Laboratorij*
- PRILOGA G.5.1:** *Izračun nosilnosti temeljnih tal*
- PRILOGA G.5.2:** *Izračun in obdelava črpalnih poskusov*
- PRILOGA G.6:** *Nivogrami piezometrov V-1 (p), V-5 (p) in V-8 (p).*



## **PREGLEDNICE:**

<i>Preglednica 1:</i>	<i>Odnos med številom udarcev (N) in materialnimi karakteristikami zemljin...</i>	<i>7</i>
<i>Preglednica 2:</i>	<i>Rezultati SPT preiskav v značilnih plasteh. ....</i>	<i>8</i>
<i>Preglednica 3:</i>	<i>Koordinate piezometrov na lokaciji 3 Akademije. ....</i>	<i>10</i>
<i>Preglednica 4:</i>	<i>Opis cevitve piezometrov s PVC DN 100 cevitvijo. ....</i>	<i>10</i>
<i>Preglednica 5:</i>	<i>Dosegljivost do podzemne vode med vrtnimi deli. ....</i>	<i>11</i>
<i>Preglednica 6:</i>	<i>Parametri izvedbe črpalnega poskusa. ....</i>	<i>11</i>
<i>Preglednica 7:</i>	<i>Izračunani preliminarni koeficienti prepustnosti (k) črpalnih poskusov.....</i>	<i>14</i>
<i>Preglednica 8:</i>	<i>Maksimalni in minimalni nivoji podzemne vode v piezometrih in razpon nihanja podzemne vode.....</i>	<i>16</i>
<i>Preglednica 9:</i>	<i>Geomehanski parametri značilnih plasti.....</i>	<i>22</i>
<i>Preglednica 10:</i>	<i>Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer A. ....</i>	<i>23</i>
<i>Preglednica 11:</i>	<i>Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer B. ....</i>	<i>23</i>
<i>Preglednica 12:</i>	<i>Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer C.....</i>	<i>24</i>

## **GRAFI:**

<i>Graf 1:</i>	<i>Nivogram črpalnega poskusa v piezometru V-1(p). ....</i>	<i>12</i>
<i>Graf 2:</i>	<i>Nivogram črpalnega poskusa v piezometru V-5(p). ....</i>	<i>13</i>
<i>Graf 3:</i>	<i>Nivogram črpalnega poskusa v piezometru V-8(p). ....</i>	<i>13</i>
<i>Graf 4:</i>	<i>Nivogrami podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) med 09. sept. in 01. dec. 2009. ....</i>	<i>15</i>
<i>Graf 5:</i>	<i>Ponikovalne sposobnosti terena glede na predvidene parameter in dimenzije ponikovalnega vodnjaka in višino vode v vodnjaku. ....</i>	<i>19</i>

## **SLIKE:**

<i>Slika 1:</i>	<i>Območje III. vodovarstvenega režima vira pitne vode za vodno telo Ljubljanskega polja (Vir. ARSO). ....</i>	<i>17</i>
-----------------	--	-----------

## **1. UVOD**

Na delu spodnjih Poljan v Ljubljani, Univerza v Ljubljani načrtuje izgradnjo treh akademij. Za naročnika GEOINVEST d.o.o. (pogodba št. 28/09) smo ugotavljali geomehanske in hidrogeološke razmere na obravnavanem območju. V pričujočem poročilu podajamo geološke in hidrogeološke razmere, rezultate terenskih raziskav, rezultate laboratorijskih raziskav, kategorizacija temeljnih tal za izračun potresne obtežbe, nosilnost tal, prepustnost tal, nivo podzemne vode, zmožnost ponikanja meteornih vod iz strešnih ter utrjenih manipulativnih površin oz. ponikovalne sposobnosti terena ter usmeritev za zaščito gradbene jame na območju bodočih 3 Akademij.

## 2. TERENSKE RAZISKAVE

Terenske raziskave so zajemale izvedbo sondažnih vrtin v katerih so bile izvedeni standardni penetracijski testi.

### 2.1 SONDAŽNO VRTANJE

Na območju treh akademij je bilo izvedenih 9 vrtin z oznakami V-1 do V-9. Vrtine so bile izvedene do predvidene globine 20 m. Razen vrtine V-8PZ, ki je zaradi strojeloma bila izvedena do globine 15,2 m. Lokacije in globine vrtin so bile usklajene s naročnikom in projektantom statikom.

Vrtalna dela je izvedlo podjetje GEOINVEST d.o.o. s vrtalno garnituro Casagrande C-6 ( $k=0,95$ ). Vse vrtine so bile vrtane rotacijsko, na suho s kontinuiranim jedrovanjem. Vrtine V-1pz, V-5pz in V-8pz so bile opremljene kot piezometri.

Na pridobljenem jedru smo na zemljinah izvedli geotehnični vizualni popis po USCS klasifikaciji. Na osnovi spremljanja in popisa vrtin smo izdelali geološko-geotehnične profile vrtin, ki so podani v *prilogi G.2.* skupaj s fotografijami jedra. Iz posameznih vrtin so bili odvzeti karakteristični vzorci za preiskave geomehanskem laboratoriju. Na vzorcih zemljin smo izvajali tudi preizkuse z ročnim penetrometrom (RP) za ugotavljanje enosne tlačne trdnosti ( $q_u$ ) in konsistence (*priloga G.2.*). Lokacije vrtin so prikazane na situaciji v *prilogi G 1.1* in *G 1.2.*

Po izdelavi piezometrov (V-1(p), V-5(p) in V-8(p)) smo le te aktivirali z air-liftom ter na njih opravili črpalne poskuse.

### 2.2 STANDARDNI PENETRACIJSKI PREIZKUS (SPT)

Za oceno gostotnega stanja, strižnega kota ter modulov stisljivosti nevezljivih zemljin, oziroma stopnje penetrabilnosti hribine (*preglednica 1*), so bili v vrtinah izvedeni standardni penetracijski preizkusi oziroma testi penetrabilnosti (SPT). Rezultati penetrabilnosti so korigirani v skladu z navodili EC 7 in so vpisani ob geotehničnih profilih vrtin (*priloga G.2.*).

**Preglednica 1:** Odnos med številom udarcev ( $N$ ) in materialnimi karakteristikami zemljin.

NEKOHERENTNA ZEMLJINA (peski, prodi)				
N	Gostotno stanje	$\phi$ [°]	Modul stisljivosti $M_v$ [kPa]	
			drobni in srednji pesek	debeli pesek in prod, gramoz
< 4	zelo rahlo	< 28,4		
4 – 10	rahlo	28,4 – 30,3	< 7.500	< 15.000
10 – 30	srednje gosto	30,3 – 36,2	7.500 – 15.000	15.000 – 30.000
30 – 50	gosto	36,2 – 40,9	15.000 – 30.000	30.000 – 60.000
> 50	zelo gosto	> 40,9	> 30.000	> 60.000
KOHERENTNA ZEMLJINA (gline, melji)				
N	Konsistenčno stanje	$q_u$ [kPa]	Modul stisljivosti $M_v$ [kPa]	



< 2	židko	< 25	< 500
2 – 4	lahko gnetno	25 – 50	500 – 2.000
4 – 8	srednje gnetno	50 – 100	2.000 – 5.000
8 – 15	težko gnetno	100 – 200	5.000 – 10.000
15 – 30	poltrdno	200 – 400	10.000 – 20.000
> 30	trdno	> 400	> 20.000
<b>HRIBINA</b>			
<b>P [cm/60ud]</b>	<b>Penetrabilnost</b>	<b>Trdnost</b>	<b>q<sub>u</sub> [MPa]</b>
0 – 1	zelo nizka	zelo visoka	> 200
2 – 4	nizka	visoka	100 – 200
5 – 8	srednja	srednja	50 – 100
9 – 15	visoka	nizka	25 – 50
16 – 30	zelo visoka	zelo nizka	1 – 25

Skupaj je bilo izvedenih 49 meritev, karakteristične vrednosti v značilnih plasteh (poglavje 3) ter ocena materialni karakteristik so podani v *preglednici 2*.

**Preglednica 2:** Rezultati SPT preiskav v značilnih plasteh.

Plast	Material	SPT: Število udarcev (N ali P)			Gostotno/konsistenčno stanje oz. penetrabilnost**
		karakteristična vrednost*	min.	maks	
1	nasip	9	6	33	rahlo gostotno stanje
2	prod	32	6	19cm/60ud	srednjegosto do gosto gostotno stanje
3	glina/pesek	13	6	34	srednje gosto gostotno stanje (pesek) oz. težkognento konsistečno stanje (glina)

\* s 95% stopnjo zaupanja

\*\* upoštevana je karakteristična vrednost

### 3. INŽENIRSKO-GEOLOŠKE RAZMERE

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

Na podlagi izvedenih sondažnih vrtin (poglavje 2) lahko na obravnavanem območju izdvojimo tri značilne plasti: nasip, prod ter glino/pesek. Kamninske podlage nismo navrtali v nobeni vrtini.

Najvišje leži heterogen nasip iz sivega peščenega proda, rjavega meljastega in glinastega proda, ugaskov, stekla, koščkov opeke ter odlomkov temnosivih permokarbonskih kamnin. Debelina nasipa varira od 0,7 m (V-7) do 7,6 m (V-4), generalno narašča v smeri proti stanovanjskemu kompleksu. Nasip je v rahlem gostotnem stanju (preglednica 2, 95% stopnja zaupanja).

Pod nasipom so aluvialni nanosi proda, ki je peščen do meljast, sive do svetlo sive barve, slabo do dobro graduiran (GP/GW/GM). Nižje, v bližini kontakta s glino, se povečuje delež fine frakcije, prod prehaja glinast prod (GC) lokalno so tudi vložki peščene gline (CL). Prod je mestoma sprijet v konglomerat. Lokalno se pojavljajo tudi peščene leče (SM, SW). Prod je v srednje gostem do gostem gostotnem stanju (preglednica 2, 95% stopnja zaupanja).

Najnižje ležijo plasti peščene gline (CL) in zaglinjenega peska (SC). Plasti so v zgornjem delu rjave barve, nižje pa sive do temnosive barve. Glina in pesek se menjavata, lokalno prevladuje posamezna frakcija, generalno pa jih ni možno izdvojiti. Lokalno se pojavlja tu meljasta frakcija (ML, SM). Glina je v težkognetnem konsistentnem stanju (preglednica 2, 95% stopnja zaupanja) oziroma v srednjegnetnem stanju (rezultati meritev RP, 95% stopnja zaupanja, *priloga G.2.*). Pesek je v srednje gostem gostotnem stanju. Kontakt s višje ležečim prodom je na globini 10,7 (V-5pz) do 13,9 (V-9). V vrtini V-8pz globine 15,2 m nismo navrtali kontakt prod/glina.

#### 3.1 SEIZMIČNOST OBMOČJA

Po karti projektnega pospeška tal za Mestno občino Ljubljana za povratno dobo 475 let (ARSO, 2003), je vrednost potresnega pospeška  $Q_g = 0,285g$ . Na obravnavanem območju so v podlagi sedimenti tipa C (EC8).



#### 4. HIDROGEOLOŠKE RAZMERE

V okviru geomehansko hidrogeoloških raziskav je izvajalec oz. naročnik te naloge izvrtal tri strukturne vrtine, ki so bile zacevljene kot piezometer. Lokacije teh piezometrov, kot prikazuje *preglednica 3* so prikazane tudi v karti piezometričnih nivojev podzemne vode na proučevanem območju, *priloga G 1.3*.

**Preglednica 3:** Koordinate piezometrov na lokaciji 3 Aklademije.

Posnete vrtine				
		Y	X	H
<b>V-5(P)</b>	ustje	463285.53	100497.43	294,178
	teren	463285.52	100497.38	293,767
<b>V-1(P)</b>	ustje	463372.15	100354.68	294,197
	teren	463372.21	100354.78	293,882
<b>V-8(P)-pri šoli</b>	ustje	463204.92	100408.33	294,447
	teren	463204.96	100408.36	293,965

Tehnični, geološko hidrogeološki profil piezometrov V-1(p), V-5(p) in V-8(p) so prikazani v *prilogi G 3.2*. Piezometrične vrtine so bile vrtane in jedrovane do sledečih globin:

V-1 (p)	- 20,0 m
V-5 (p)	- 20,0 m
V-8 (p)	- 15,4 m

Cevitve piezometrov so predstavljene v *preglednici 4*.

**Preglednica 4:** Opis cevitve piezometrov s PVC DN 100 cevitvijo.

opis cevitve	V-1 (p) (ustje)	V – 5 (p) (ustje)	V – 8 (p) (teren)
polna PVC cev DN 100	0 – 8,68 m	0 – 9,58 m	0 -10,20 m
filtrna PVC cev DN 100 – slot 1 mm	8,68 – 12,74 m	9,58 – 13,64 m	10,20 m – 14,86 m
usedalnik s čepom – polna PVC cev DN 100.	12,74 – 16,80 m	13,64 – 17,7 m	14,86 – 14,88 m čep
Likvidirani del geomehanske vrtine	16,80 – 20,00 m	/	14,88 – 15,40 m

Vsi opisani parametri cevitve so predstavljeni v profilu piezometrov oz. *prilogi G 3.2*. V omenjeni prilogi smo v profilu posameznega piezometra oz. v stolpcu geološkega zasipa podali tudi ocenjeno vrednost koeficienta horizontalne in vertikalne prepustnosti oz.  $k_h$  in  $k_v$ . Prepustnost posameznih plasti je ocenjena glede na izkustva minulega dela, opravljenih črpalnih poskusov in opravljenih črpsalnih

poskusov v podobnih plasteh medzrnske poroznosti, itd. Prepustnost posameznih plasti je tako predstavljena z barvno lestvico, kjer je horizontalna prepustnost medzrnskega sedimenta predstavljena v modri barvi (IAH standard), vertikalna prepustnost pa v viola barvi. Temnejša kot je barva bolj prepustna je plast. Neprepustne plasti oz. vrednosti pod  $k = 10^{-6}$  m/s pa so označene z rumeno barvo.

Med vrtnimi deli je geomehansko hidrogeološki nadzor opazoval in meril pojave podzemne vode med vrtnimi deli. Med vrtnimi deli in takoj po zacevitvi piezometra s PVC kolono je bila dosegljivost do podzemne vode, kot prikazuje *preglednica 5*.

**Preglednica 5:** Dosegljivost do podzemne vode med vrtnimi deli.

globina od ustja	V-1 (p)	V – 5 (p)	V – 8 (p)
absolutna kota	11,85 m	10,76 m	11,38 m
n.m.v.	282,347	283,418	283,067

Po končanih vrtnih delih in zacevitvi piezometrov smo le te tudi aktivirali. Aktivacija je bila opravljena s paralelnim air-liftom in je trajala na posameznem piezometru med 5 – 6 ur. Piezometre smo tako očistili predvsem grobih nečistoč. Motnost vode na koncu aktivacije je znašala 40 NTU. Večjo čistost in bistrost vode se s klasičnimi air-lifti ne da doseči, ampak je potrebno prečrpavanje.

Po aktivaciji piezometrov smo dne 8.9. in 9.9.2009 na vseh treh piezometrih izvedli črpalne poskuse in t.i. pulzivne črpalne poskuse. Karakteristike in parametri črpalnih poskusov so prikazani v *preglednici 6*.

**Preglednica 6:** Parametri izvedbe črpalnega poskusa.

parameter	V-1 (p)	V – 5 (p)	V – 8 (p)
nivo podzemne vode od ustja pred izvedbo črpanja (h (m))	11,62	10,62	11,32
globina piezometra (L (m))	16,80	17,70	15,35
dolžina filtrov (l (m))	4,06	4,06	4,66
globina črpalke – sesalni del ( $z_1$ (m))	15,00	16,70	14,50
globina sonde ( $z_2$ (m))	16,88	17,39	15,15
črpani pretok ( $Q$ (l/s))	0,20	0,83	1,89
znižanje v piezometru (s (m))	0,77	se ni ustalil	0,73



#### 4.1 OBDELAVA ČRPALNIH POSKUSOV

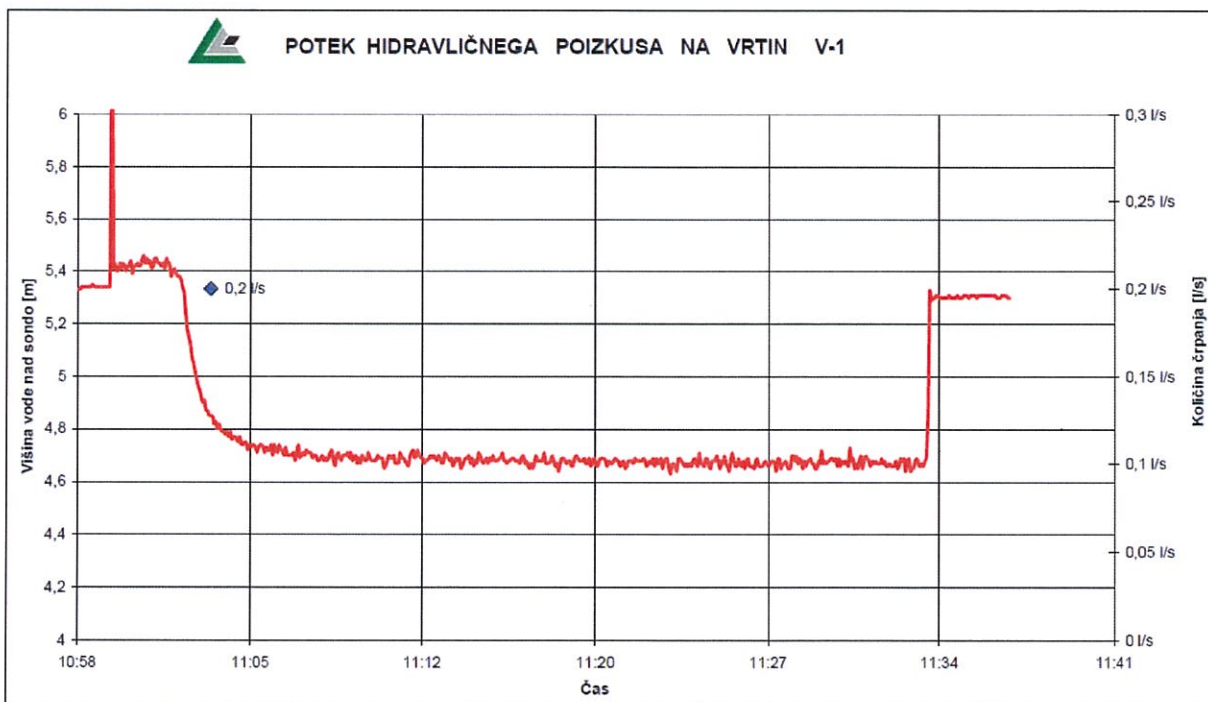
Koeficiente prepustnosti piezometrov V-1(p), V-5(p) in V-8(p) smo izračunali na podlagi izvedenih črpalnih poskusov v septembru 2009. Moramo poudariti, da ti koeficienti niso reprezentativni za vodonosnik Ljubljanskega polja, saj so izdelani piezometri nepopolni oz. ne segajo v neprepustno podlago kvartarnega zasipa oz. permskih skrilavcev.

Zaradi navedenega tudi nismo odelali črpalnih poskusov za stacionarno stanje, pa čeprav smo med črpanjem v piezometrih V-1(p) in V-8(p) dosegli stacionarnost.

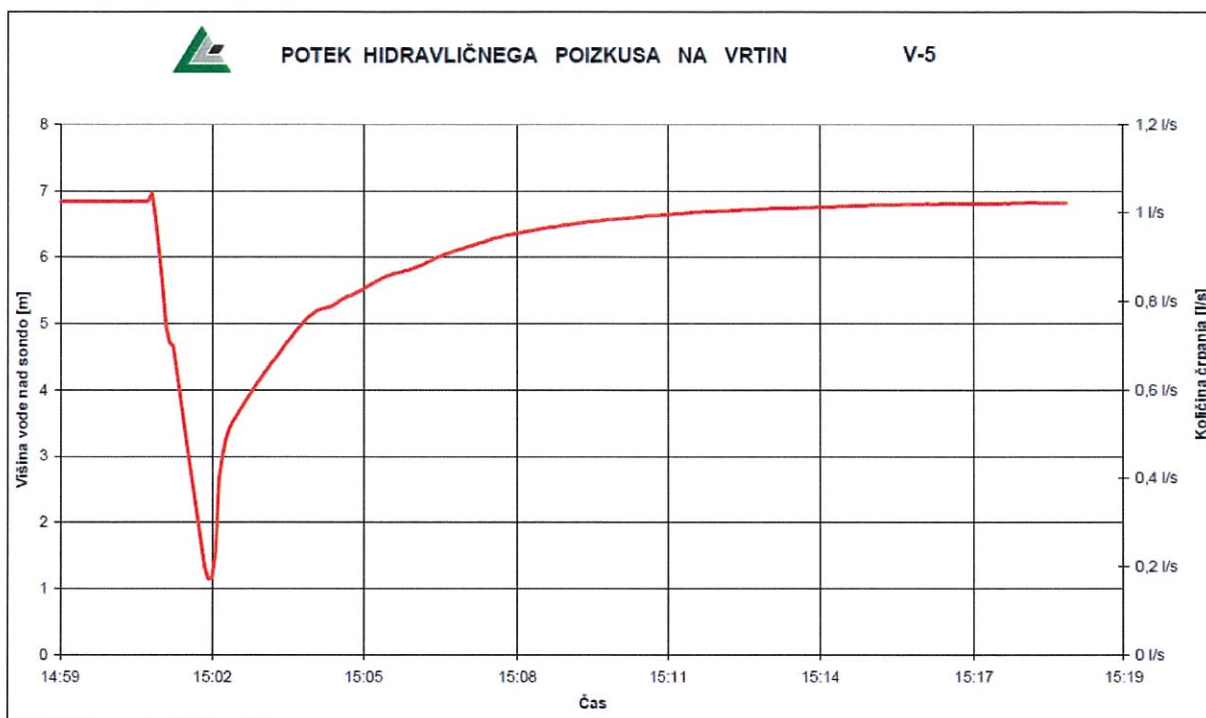
Črpalne poskuse za nestacionarno stanje smo obdelali po sledečih metodah:

- ▶ Jacob,
- ▶ Papadopoulos & Cooper,
- ▶ Hvorslev in
- ▶ Cooper,

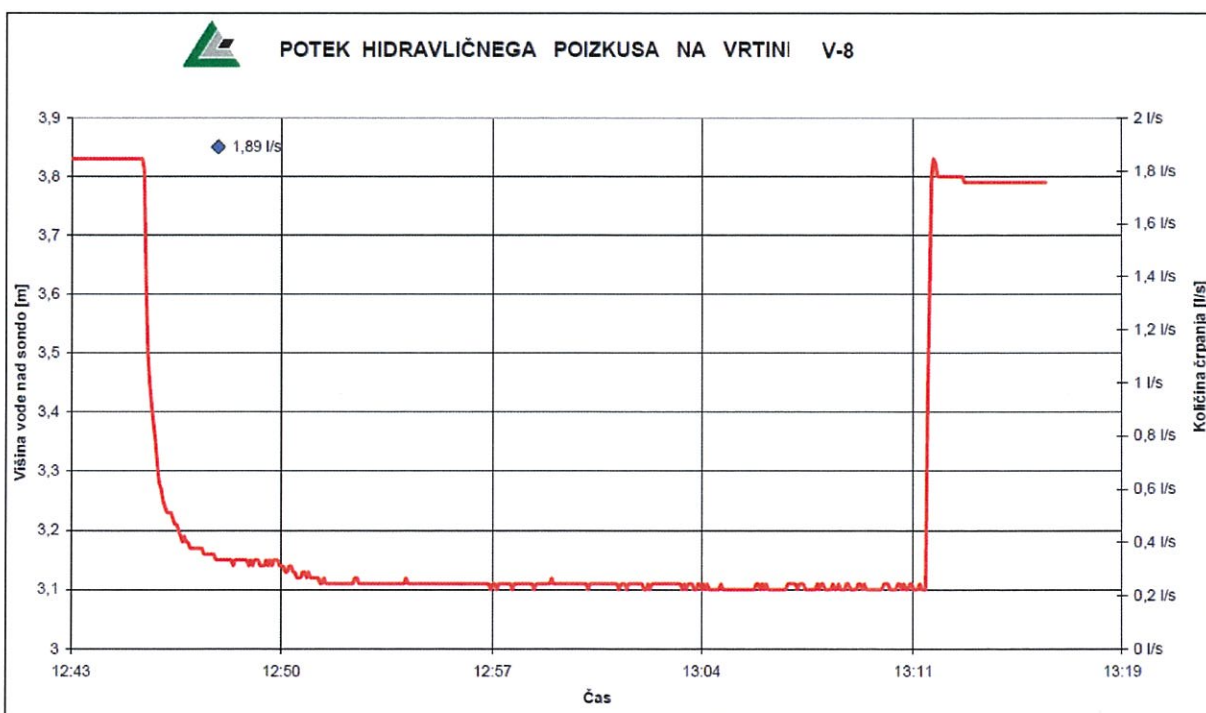
V nadaljevanju (graf 1 -3) podajamo nivograme črpalnih poskusov v piezometrih.



**Graf 1:** Nivogram črpalnega poskusa v piezometru V-1(p).



**Graf 2:** Nivogram črpalnega poskusa v piezometru V-5(p).



**Graf 3:** Nivogram črpalnega poskusa v piezometru V-8(p).

Prednosti in slabosti posamezne metode, kakor tudi empiričnih enačb v poročilu ne podajamo. Obdelava črpalnih poskusov ter izračun koeficienta prepustnosti je prikazana v *prilogi G. 5.2*.



Rezultati izračunov koeficientov prepustnosti ( $k$ ) pa so podani v preglednici 7.

**Preglednica 7:** Izračunani preliminarni koeficienti prepustnosti ( $k$ ) črpalnih poskusov.

Vrtina	$K_{\text{Jacob}}$	$K_{\text{Papadopoulos \& Cooper}}$	$K_{\text{Hvorslev}}$	$K_{\text{Cooper}}$	Povprečje
V-1(p)	6,00E-04				6,00E-04
V-5(p)			9,06E-06	1,31E-05	1,09E-05
V-8(p)	1,68E-03	9,90E-04			1,29E-03

Iz preglednice 7 je razvidno, da je omočena plast v piezometru V-8(p) najboljše prepustna, in sicer je izračunani koeficient prepustnosti ( $k$ )  $1,29 \cdot 10^{-3}$  m/s. Za ca. 1,4 dekade je slabše prepustna omočena plast v piezometru V-1(p), kjer je izračunani koeficient prepustnosti ( $k$ ) enak  $6,00 \cdot 10^{-4}$  m/s, še najslabše pa je prepusten piezometer V-5(p) katerega prepustnost ocenjujemo na slabo do zelo slabo oz. je ( $k$ ) enak  $1,09 \cdot 10^{-5}$  m/s.

## 4.2 HIDROGEOLOŠKI MONITORING NA PROUČEVANEM OBMOČJU

Po izvedbi aktivacije piezometrov smo piezometre opremili z avtomatskimi merskimi sondami (proizvajalca Eltratech, d.o.o.) oz. registratorji GSR 120NT izhoda RS485 ter dolžine kabla 18 m. Po namestitvi smo čas meritev zaradi kalibracije nastavili na 1 min, po opravljenih črpalnih poskusih pa smo vmesni čas med meritvami nivoja ( $\Delta t$ ) nastavili na 1 uro.

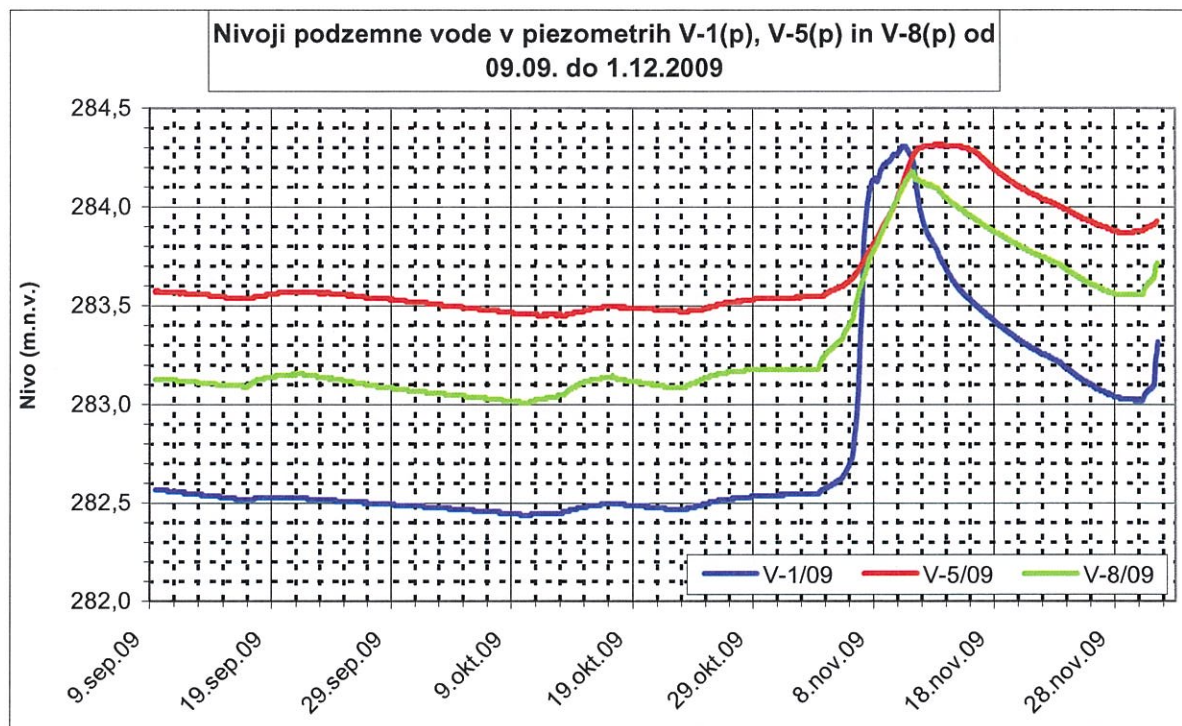
Nivogram podzemne vode v vseh treh piezometrih je prikazan na grafu 4, medtem ko so nivogrami za posamezni piezometer posebej prikazani v prilogi G 6. V prilogi G 6 oz. nivogramih podzemne vode za vsaki piezometer posebej smo poleg nadmorske višine podali tudi absolutna koto podzemne vode oz. nivo od terena.

Iz nivogramov je razvidno, da je nivo podzemne vode v največji meri odvisen od količine padlih ter poniklih padavin. Žal nam meteoroloških podatkov, predvsem količine padavin za obdobje od septembra do decembra 2009 (zaradi obdelave na ARSO) ni uspelo pridobiti. V fazi izdelavi poročila prav tako nismo razpolagali s podatki nivoja Ljubljance v Grubarjevem kanalu. Iz opazovanih nivojev podzemne vode je tudi razvidno, da oscilira nivo podzemne vode v vseh piezometrih podobno.

Iz grafa 4 je lepo razvidno, da pri naraščanju nivoja podzemne vode najhitreje reagira območje okoli piezometra V-1(p), ki je tudi najbližje Grubarjevemu kanalu. Dopuščamo možnost, da ob visokem vodostaju reka napaja podzemno vodo. V piezometrih V-5(p) in V-8(p) je dvig nivoja podzemne vode hkraten. Je pa amplituda dviga v piezometru V-8(p) nižja, kot pa v piezometru V-5(p), kar je v kolikor pogledamo profile piezometrov (priloga G 3.2) logično. Omočena plast v piezometru je zelo tanka in leži na globini 10,5 na slabo prepustnih do neprepustnih plasteh. Omočena plast v piezometru V-5(p) pa je tudi od vseh treh piezometrov najslabše prepustna.



Praznjenje oz. padanje nivoja podzemne vode pa je obratno sorazmerno dvigu. Tako začne najhitreje padati nivo podzemne vode v piezometru V-1(p), nato v piezometru V-8(p) ter ca. po 3 – 4 dneh nivo v piezometru V-5(p). Minimum krivulje padanja pa je podzemna voda v vseh treh piezometrih dosegla praktično v enakem obdobju (med 28. in 29. nov.).



**Graf 4:** Nivogrami podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) med 09. sept. in 01. dec. 2009.

#### 4.3 HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PROUČEVANEGA OBMOČJA

Hidrogeološke karakteristike proučevanega območja smo dobili na podlagi strukturnih vrtin, izvedenih črpalnih poskusov in monitoringa nivojev podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p). Monitoring nivojev podzemne vode je trajal le 4 mesece, kar je glede na standarde in hidrogeološko prakso prekratko obdobje.

Karta nivojev podzemne vode je prikazana v *prilogi G 1.3*. Iz pridobljenih podatkov je razvidno, da se podzemna voda na proučevanem območju napaja iz poniklih padavin, ob visokem vodnem stanju Ljubljane pa po vsej verjetnosti tudi iz Grubarjevega kanala.

Smer toka podzemne vode je ob visokem vodnem stanju usmerjena od vzhoda proti zahodu, v nasprotni smeri toka Ljubljane v Grubarjevem kanalu. Očitno gre v tem primeru za lokalni pojav, ki pa nima veze s smerjo toka podzemne vode na Ljubljanskem polju. Izračun hidroizohips oz. usmerjenost toka podzemne vode smo za maksimalni nivo delali glede na maksimalni nivo v piezometru, ki je imel največji



razpon (V-1(p), dne 10. nov. 2009). Iz *grafa 4* je tudi razvidno, da je nivo v piezometru V-1(p) najhitreje dosegel maksimum, medtem ko sta preostala piezometra z maksimumom zaostajala ca. 2 – 3 dni. V kolikor bi izdelali karto nivojev glede na maksimalni nivo bodisi v piezometru V-5(p), bodisi v piezometru V-8(p) oz. za obdobje (11 – 13 nov. 2009) bi bila smer toka podzemne vode proti jugovzhodu oz. jugu - jugovzhodu, strmec nivoja podzemne vode pa bi bil med 3 in 4 ‰. Strmec nivoja podzemne vode na dan 10. nov. 2009 je znašal le 0,9 ‰, kar je zanemarljivo in dejansko nakazuje na lokalni in časovno omejen primer toka podzemne vode.

Ob nizkem vodnem stanju 09. – 10. okt. 2009 pa je bil tok podzemne vode usmerjen proti jugu – jugovzhodu. Iz karte nivojev je razvidno, da teče podzemna voda pod Ljubljano oz. pod Grubarjevim kanalom. Strmec nivoja podzemne vode ob nizkem stanju znaša ca. 6‰.

Maksimalne in minimalne kote nivoja podzemne vode opazovane v obdobju od 09. sept. 2009 do 01. dec. 2009 prikazuje *preglednica 8*.

**Preglednica 8:** Maksimalni in minimalni nivoji podzemne vode v piezometrih in razpon nihanja podzemne vode.

	Datum	V-1(p)	Datum	V-5(p)	Datum	V-8(p)
max. nivo (m.n.v.)	10. nov.	284,30	13. nov.	284,31	11. nov.	284,18
min. nivo (m.n.v.)	10. okt.	282,44	11. okt.	283,46	10. okt.	283,01
razpon (m)		1,86		0,85		1,17

$\pm 0,00 = 284,2 \text{ m n.v.}$

$TP \text{ 2. KLET} - 8,5 = 286,1$

Iz *preglednice 8* je razvidno, da podzemna voda najbolj oscilira na območju piezometra V-1(p) oz. na južnem do jugovzhodnem delu bodočega gradbišča, na območju ob Grubarjevem prekopu. Razpon v piezometru V-1(p) je znašal 186 m. Nihanje podzemne vode se proti zahodu zmanjša in znaša na območju piezometra V-8(p) 1,17 m, najmanjše pa je nihanje podzemne vode na severnem delu bodočega gradbišča, kjer znaša 0,85 m.

#### 4.4 PONIKOVALNE SPOSOBNOSTI TERENA NA PROUČEVANEM OBMOČJU

Ponikovalne sposobnosti terena pogojujejo predvsem:

- ▶ hidrogeološke danosti območja v katerega se ponika (dovolj prepusten matriks, sposobnost akumulacije, sposobnost podzemnega odtoka,...).

Poleg navedenega pa pri ugodnih hidrogeoloških pogojih na ponikovalne sposobnosti terena vplivata tudi:

- ▶ dimenzije ponikovalnega vodnjaka in kvalitetna izvedba in
- ▶ normativne podlage oz. zakonodaja.

##### 4.4.1 Normativne podlage

Po *Uredbi o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja* (Uradni list RS, št. 120/04 in 7/06) leži celotno proučevano območje v III.



vodovarstvenem pasu vodnih zajetij na Ljubljanskem polju. Območje III. vodovarstvenega pasu na ožjem, kot tudi širšem proučevanem območju, prikazuje *slika 1*.



**Slika 1:** Območje III. vodovarstvenega režima vira pitne vode za vodno telo Ljubljanskega polja (Vir. ARSO).

Tabela 1.1. priloge 3 Uredbe o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja (Uradni list RS, št. 120/04 in 7/06) za ponikovalnice (VII) oz. za odvajanje očiščene padavinske vode iz utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin objektov preko lovilcev olj (CC.Si. 22231) in odvajanje padavinske vode s strešnih površin s ponikanjem vode skozi tla predpisuje, da mora biti dno ponikovalnega vodnjaka vsaj 1 m nad najvišjo gladino podzemne vode.

#### **4.4.2 Hidrogeološke danosti za zmožnost ponikanja terena**

Iz geološko – hidrogeoloških prereзов proučevanega območja, *priloga G 2* in profilov strukturnih vrtin ter piezometrov *prilogi G 3.1 in G 3.2* je razvidno, da je »vodonosnik« na proučevanem območju odprtega tipa oz. da nivo podzemne vode prosto oscilira.

Iz omenjenih profilov je tudi razvidno, da nad nivojem podzemne vode leži sorazmerno debela plast sivega do svetlo rjavega peščenega proda katerega čistost (večja vsebnost melja) se proti jugu oz. proti Grubarjevemu kanalu zmanjšuje. Debelina prodnatih plasti je:

- ▶ Na zahodnem proučevanem območju oz. na območju piezometra V-8(p) praktično globlje od nivoja podzemne vode oz. več kot 10 m. Glede na



ponikovalne teste v primerljivih sedimentih je ocenjena prepustnost tega proda med  $3 \cdot 10^{-3}$  m/s in  $7 \cdot 10^{-4}$  m/s, kar ta prod po IAH standardih uvršča med dobro do srednje prepustne sedimente.

- ▶ Na severnem, centralnem in zahodnem območju do nivoja podzemne vode prav tako leži debela plast sivega do svetlo rjavega peščenega proda. Nad tem prodom se na severnem proučevanem območju odebeli antropogena plast oz. nasip, ki je v večini sestavljen iz meljnato peščenega proda. Glede na ponikovalne teste v primerljivih sedimentih je ocenjena prepustnost tega proda med  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s in  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s, kar ta prod po IAH standardih uvršča med srednje prepustne sedimente.
- ▶ Južno območje bodoče gradnje oz. območje med Grubarjevim kanalom in centralnim delom pa je sestavljeno do nivoja podzemne vode prav tako iz prodnatih sedimentov, ki vsebujejo posamezne plasti in leče bolj meljnatega proda. Celotni prodnati paket do nivoja podzemne vode ima srednji koeficient prepustnosti reda srednje prepustnih sedimentov, prod nad nivojem podzemne vode, nekako v globini med 5,0 in 10,0 m pa je dobro prepusten.

Prepustnost nezasičene cone na območju bodoče gradnje in v območju ca. 4 – 5 m nad nivojem podzemne vode lahko ocenimo v rangi med  $3 \cdot 10^{-3}$  m/s in  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s.

#### **4.4.3 Dimenzije ponikovalnih vodnjakov in zmožnosti ponikanja**

Ponikovalni vodnjak je klasični nepopolni vodnjak, v celoti izdelan v nezasičeni coni. Glede na zakonodajo (Tabela 1.1. priloge 3 Uredbe (Uradni list RS, št. 120/04 in 7/06) ponikovalni vodnjak ne bo segal do nivoja podzemne vode oz. bo segal ca. 1 m nad visoki nivo podzemne vode. Kot smo že omenili, je pričakovani koeficient prepustnosti nezasičene cone nad nivojem podzemne vode med  $3 \cdot 10^{-3}$  m/s in  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Glede dimenzij vodnjaka smo omejeni s koto dna temeljev in koto podzemne vode, saj se bo v vodnjak ponikalo ob padavinah, takrat pa so oz. bodo tudi nivoji podzemne vode višji do visoki. Uredba (Uradni list RS, št. 120/04 in 7/06) predvideva ponikanje min. 1 m nad max. nivo podzemne vode, kar ima za posledico, da bo ponikovalni del vodnjaka višje, kot pa dno k2. V izračune smo vzeli, da bo nivo ponikajoče vode v vodnjaku max. 1 m. V primeru, da bi vodnjaki bili v bližini kleti k2 in bi bili izdelani do max. nivoja podzemne vode (glede na 4 mesečno opazovalno dobo) in bi bila višina vode v vodnjaku 0,8 m, vpliva podzemne vode na dno temeljev kleti k2 ne bi bilo. V kolikor bo oddaljenost ponikovalnih vodnjakov izdelanih 1 m nad visoki nivo podzemne vode več, kot 50 – 60 m od dna temeljev kleti k2 lahko izračunamo, da bo nalivalni stožec ob transmisivnosti  $0,01 \text{ m}^2/\text{s}$ , efektivni poroznosti proda  $\mu = 0,2$  in trajajnu padavin 2 dni imel radij ca. 140 m. Na razdalji 50 – 60 m bi bil dvig nivoja podzemne vode pod kletjo k2 ca. 0,25 – 0,35 m.

Ker ne poznamo količin ponikanja, niti števila in lokacij ponikovalnih vodnjakov, kot tudi ne medsebojnega vpliva smo v izračune vzeli več parametrov različnih vrednosti. Ponikovalno sposobnost terena oz. vodnjaka bomo ocenili iz količine vode, ki naj bi v vodnjaku ponikala in maksimalno še dovoljeno višino vode v vodnjaku med



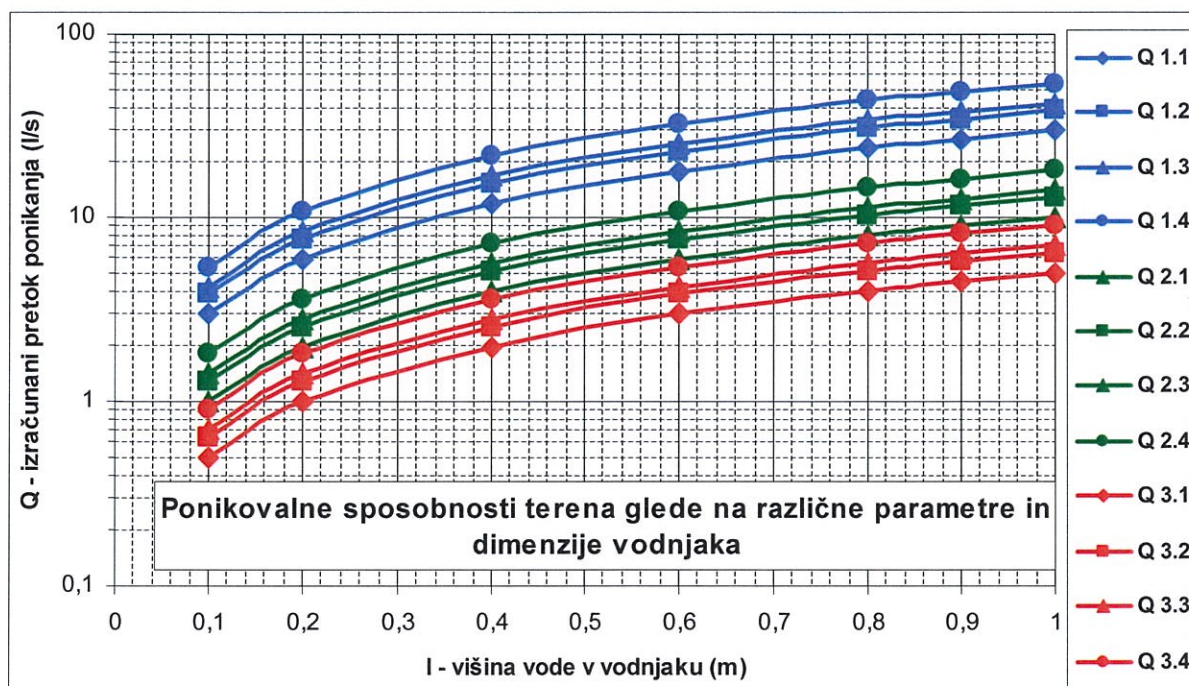
ponikanjem. Za oceno ponikovalne sposobnosti privzamemo formulo Schneebelija (1),

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot d \cdot h \cdot \sqrt{\frac{l}{d} + \frac{l}{4}} \quad (1)$$

v kateri je ponikovalna sposobnost (Q) odvisna od:  
d premera ponikovalnega vodnjaka (1,0 – 1,5 m),  
h višine vode v vodnjaku (0,5 – 1,0 m),  
l višine ponikovalnega dela vodnjaka (1,0 – 2,0 m) in  
k koeficienta prepustnosti ( $3 \cdot 10^{-3}$  –  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s).

Iz izračunov (kot tudi že iz same formule) je razvidno, da je ponikovalna sposobnost vodnjaka proporcionalna višini vode v vodnjaku oz. je po enačbi Forchaimera – Dupuit proporcionalna kvadratu višine vodnega stolpca, iz česar lahko sklepamo na možno ponikovalno količino v odvisnosti od višine vode v vodnjaku.

Ponikovalne sposobnosti različno dimenzioniranih vodnjakov prikazuje graf 5. Globina vodnjaka na izračune oz. ponikovalne sposobnosti ne igra vloge. Pomembna pa je predvsem zaradi višine nalivalnega stožca in posledično na nivo vode v radiju vpliva. Skratka pri izračunih količine ponikanja je vseeno, ali je vodnjak globok 10 m, 9 m ali pa 8 m, kot smo že omenili so pomembne le dimenzije g, h, l in k.



**Graf 5:** Ponikovalne sposobnosti terena glede na predvidene parametre in dimenzije ponikovalnega vodnjaka in višino vode v vodnjaku.

### LEGENDA:

Z modro barvo (oznaka Q 1) so označene ponikovalne sposobnosti vodnjaka pri koeficientu prepustnosti  $k = 3 \cdot 10^{-3}$  m/s in dimenzijah:

- 1  $d = 1,0$  m in  $l = 2$  m
- 2  $d = 1,5$  m in  $l = 2$  m
- 3  $d = 1,0$  m in  $l = 4$  m
- 4  $d = 1,5$  m in  $l = 4$  m

Z zeleno barvo (oznaka Q 2) so označene ponikovalne sposobnosti vodnjaka pri koeficientu prepustnosti  $k = 1 \cdot 10^{-3}$  m/s in dimenzijah:

- 1  $d = 1,0$  m in  $l = 2$  m
- 2  $d = 1,5$  m in  $l = 2$  m
- 3  $d = 1,0$  m in  $l = 4$  m
- 4  $d = 1,5$  m in  $l = 4$  m

Z rdečo barvo (oznaka Q 3) so označene ponikovalne sposobnosti vodnjaka pri koeficientu prepustnosti  $k = 5 \cdot 10^{-4}$  m/s in dimenzijah:

- 1  $d = 1,0$  m in  $l = 2$  m
- 2  $d = 1,5$  m in  $l = 2$  m
- 3  $d = 1,0$  m in  $l = 4$  m
- 4  $d = 1,5$  m in  $l = 4$  m

Iz rezultatov izračuna (graf 5) je razvidno, da bi imel optimalne rezultate ponikanja ponikovalni vodnjak, kopanega premera 1,5 m in dolžine filtrov v spodnjem delu  $l = 4$  m. V kolikor bi bil cevljen z AB cevmi manjšega premera, npr.  $\Phi 1,2/1,0$  m bi se moral vmesni prostor med steno cevitve in izkopom obvezno zasipati s pranim prodcem oz. agregatom premera min. 20 mm. Takšen vodnjak bi ob ugodnih hidrogeoloških razmerah oz. koeficientu prepustnosti  $k = 3 \cdot 10^{-3}$  m/s in višini vode v vodnjaku  $l = 0,8$  m ponikal pretok 43,3 l/s. Pri  $k = 1 \cdot 10^{-3}$  m/s in višini vode v vodnjaku  $l = 0,8$  m bi ponikal 14,4 l/s in pri  $k = 5 \cdot 10^{-4}$  m/s in višini vode v vodnjaku  $l = 0,8$  m pa le slabih 10 l/s.

Zaradi navedenega predlagamo, da se po izdelavi posameznega ponikovalnega vodnjaka obvezno izdela nekaj urni test ponikanja.



## 5. LABORATORIJ

### 5.1 UVOD

Laboratorijske preiskave so bile izvedene na skupno 12 vzorcih proda, glin in peska, ki so bili odvzeti iz vrtin. Izvedene so bile naslednje preiskave: vlažnost, naravne gostote, lezne meje, direktni strig ter sejalna analiza. Vrtine iz katerih so bili odvzeti vzorci so prikazani na preglednici v *prilogi G.5*, kjer so tudi prikazane izvedene preiskave na posameznih vzorcih.

Preiskave so bile izvedene v laboratoriju IRGO v oktobru 2009. Opisi preiskav in rezultati so v *prilogi G.4*. Povzetek preiskav podajamo v poglavju 5.2.

### 5.2 REZULTATI PREISKAV

#### Naravna vlaga

Vlažnost je bila ugotovljena na 12 vzorcih. Povprečna vrednost naravne vlage  $w_{povp}$  za *vezljive zemljine* znaša 22.654 %, za *peske* znaša 8.515 % ter za *prode* znaša 2.176.

#### Naravna gostota

Gostota je bila ugotovljena na 10 vzorcih. Povprečna vrednost naravne gostote  $\rho_{povp}$  za *vezljive zemljine* znaša 2.071 Mg/m<sup>3</sup>, za *peske* znaša 1.982 Mg/m<sup>3</sup>, ter za *prode* znaša 1.933 Mg/m<sup>3</sup>.

#### Lezne meje

Lezne meje so bile določene na 5 vzorcih. Povprečna vrednost meje židkosti  $w_{L/povp}$  na preiskani *CL, pusti glini* znaša  $w_L = 29.907$  %, vrednost meje plastičnosti  $w_{p/povp}$  znaša 14.910 % (preiskani 4 vzorci). Vrednost meje židkosti  $w_L$  veziva na preiskani *CL, pusti glini s peskom* znaša  $w_L = 35.345$  %, vrednost meje plastičnosti  $w_p$  znaša 15.403 % (preiskan 1 vzorec).

#### Zrnavost

Granulometrijska sestava je bila določena na 6 vzorcih. Preiskušani vzorci so na podlagi zrnivosti klasificirani kot: *SM zameljen pesek s prodom*, *GW-GC dobro ganuliran prod s glino in peskom*, *GM zameljen prod s peskom*, *GC zaglinjen prod s peskom*, *GM zameljen prod s peskom ter GM zameljen prod s peskom*.

#### Strižne karakteristike

Direktne strižne preiskave smo izvedli na 5 vzorcih. Povprečna vrednost kota notranjega trenja -  $\phi$  za *CL, pusto glino* znaša 26.6° vrednost kohezijske trdnosti -  $c$  znaša 27.2 kPa (število vzorcev: 3). Vrednost kota notranjega trenja -  $\phi$  za *CL, pusto glino s peskom* znaša 31.2° vrednost kohezijske trdnosti -  $c$  znaša 11.3 kPa (število vzorcev: 1). Vrednost kota notranjega trenja -  $\phi$  za *SC, zaglinjen pesek* znaša 40.5° vrednost kohezijske trdnosti -  $c$  znaša 12.6 kPa (število vzorcev: 1).

## 6. GEOMEHANSKI PARAMETRI

Na podlagi terenskih raziskav smo na obravnavanem območju določili tri značilne plasti: nasip (1), prod (2) ter glina/pesek (3). Posamezne plasti so podrobno opisane v poglavu 4.

Geomehanski parametri za nasipa so ocenjeni na podlagi rezultatov meritev SPT, za prod in glino/pesek pa tudi na podlagi rezultatov laboratorijskih meritev. Parametri so podani v preglednici 9.

**Preglednica 9:** Geomehanski parametri značilnih plasti

Plast	Material	Kategorizacija izkopa	Prostorninska teža $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Izračunani oz. izmerjeni trdnostnih parametri		Elastični modul E [MPa]
				c [kPa]	$\phi$ [°]	
1	nasip	III	19	0	30	8
2	prod	III	19	0	36	22
3	glina/pesek	III	20	11	27	6

*Karakteristična vrednost 95% stopnja zaupanja*

Podane geomehanske karakteristike predstavljajo osnovo za analizo stabilnosti izkopa gradbene jame ter izračun pogojev temeljenja objektov.



## 7. GEOTEHNIČNI POGOJI GRADNJE

### 7.1 NOSILNOST TEMELJNIH TAL

Iz predlog, ki nam jih je posredoval naročnik, je razvidno, da bodo temelji objekta segali od 4 do 9m globoko, večina objekta pa bo temeljenega v prodnatih plasteh. Naredili smo izračune nosilnosti temeljnih tal pod različnimi dimenzijami točkovnih in pasovnih temeljev. Privzeli smo, da bodo temelji vkopani minimalno 0,80m. Pri pasovnih temeljih smo za referenco vzeli temelj dolžine 10m. Podzemna voda se preceja na stiku plasti prodov in malo prepustnih glin. Gladina podzemne vode, ki je bila določena v piezometrih, leži glede na štiri mesečno opazovalno obdobje in izdelano karto nivojev na proučevanem območju (priloga G 1.3) le 0,35 m pod spodnjo koto najnižjih temeljev kleti K-2. Ker se bo najvišjo gladino podzemne vode lahko določilo šele na podlagi enoletnega opazovalnega obdobja, smo zato opravili tri sklope izračunov nosilnosti temeljnih tal in sicer:

- A) gladina vode se nahaja pod koto najnižjih temeljev in ne vpliva na nosilnost
- B) gladina vode se nahaja na spodnji koti temeljev – dno temeljev je potopljeno
- C) gladina vode se nahaja višje od temeljev – temelji so v celoti potopljeni

Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal znašajo  $q_{R,d} = 600\text{kPa}$  do  $q_{R,d} = 1160\text{kPa}$  za primer A, za primer B so malenkost nižje, za primer C pa so vrednosti od  $q_{R,d} = 380\text{kPa}$  do  $q_{R,d} = 810\text{kPa}$ , odvisno od dimenzije temelja. Izračuni so prikazani na prilogi G.5, povzeti pa so v preglednicah 10, 11 in 12.

**Preglednica 10:** Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer A.

tip temelja	$R_d$	$q_{R,d}$	$q'_{R,d}$
	[kN]	[kPa]	[kN/m']
pasovni širine 0,50m	3 002	600	300
pasovni širine 0,60m	3 827	638	383
pasovni širine 0,80m	5 697	712	570
pasovni širine 1,00m	7 855	785	785
točkovni 1,0×1,0m	904	904	-
točkovni 1,5×1,5m	2 320	1 031	-
točkovni 2,0×2,0m	4 633	1 158	

**Preglednica 11:** Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer B.

tip temelja	$R_d$	$q_{R,d}$	$q'_{R,d}$
	[kN]	[kPa]	[kN/m']
pasovni širine 0,50m	2 863	573	286
pasovni širine 0,60m	3 660	610	366
pasovni širine 0,80m	5 471	648	547

pasovni širine 1,00m	7 569	757	757
točkovni 1,0×1,0m	862	862	-
točkovni 1,5×1,5m	2 224	988	-
točkovni 2,0×2,0m	4 461	1 115	

**Preglednica 12:** Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer C.

tip temelja	$R_d$	$q_{R,d}$	$q'_{R,d}$
	[kN]	[kPa]	[kN/m']
pasovni širine 0,50m	1 892	378	189
pasovni širine 0,60m	2 487	415	249
pasovni širine 0,80m	3 890	486	389
pasovni širine 1,00m	5 571	557	557
točkovni 1,0×1,0m	562	562	-
točkovni 1,5×1,5m	1 550	689	-
točkovni 2,0×2,0m	3 262	816	

Legenda k preglednicam 10, 11 in 12:

$R_d$  projektna vrednost nosilnosti tal pod temeljem,

$q_{R,d}$  projektna vrednost nosilnosti temeljnih tal na enoto površine in

$q'_{R,d}$  projektna vrednost nosilnosti temeljnih tal na tekoči meter (pri pasovnih temeljih).

Iz rezultatov je razvidno, da lahko odpornost temeljnih tal pade skoraj za polovico, v primeru, da bo talna voda segla višje od temeljev objekta. Zato je potrebno gladino talne vode opazovati vsaj skozi obdobje enega leta, da se lahko oceni njena najbolj kritična višina.

Krovno plast na lokaciji tvorijo nasipi, ki so sestavljeni iz ugaskov in raznih komunalnih odpadkov. V kolikor bodo temelji objekta segali v to plast, je potrebno nasip pod temelji v celoti odstraniti vse do prodnatih plasti in ga nadomestiti s tamponskim prodnatim nasutjem. O kvaliteti temeljnih tal naj presodi prisotni geomehanik.

Glinene plasti so bile ugotovljene vsaj 3,5m pod spodnjo koto temeljev. Če bi se pri izkopu gradbene jame naletelo na lokalne glinene leče v območju temeljev, bo potrebno glino pod temelji odstraniti in nadomestiti s tamponom debeline minimalno 0,30m. Debelino tampona naj se določi na podlagi dejanske obremenitve temeljev.

Zaradi razmeroma velike razbremenitve tal pri izkopu globine 4 do 9m globoko, menimo da bodo končni posedki objekta manjši od 1cm, večina posedkov pa se bo razvila že med samo gradnjo.

Modul reakcije tal ocenjujemo na  $k = 17\,000\text{kN/m}^3$ .

## 7.2 PREDLOG ZAŠČITE GRADBENE JAME

Načrtovana gradnja se nahaja sredi urbaniziranega območja. Na jugu je območje omejeno z Gruberjevim prekopom, na vzhodu in severu pa z večnadstropnimi stavbami v neposredni bližini. Na tem delu bo zaradi pomanjkanja prostora in omejitve vpliva na sosednje objekte, potrebno varovati gradbeno jamo s sidrano pilotno ali jet-grouting steno. Drugod se bodo začasni izkopi lahko izvedli v naklonu 1:1 in po potrebi varovali pred erozijo (s PVC folijami ali brizganim betonom).



## **8. ZAKLJUČEK**

Na območju Spodnjih Poljan, kjer je predvidena gradnja treh akademij so bile opravljene terenske raziskave.

V pričujočem poročilu podajamo geološke in hidrogeološke razmere, rezultate terenskih raziskav, rezultate laboratorijskih raziskav, kategorizacija temeljnih tal za izračun potresne obtežbe, nosilnost tal ter usmeritev za zaščito gradbene jame in ponikovalne sposobnosti terena na območju bodočih 3 Akademij.

Monitoring nivojev podzemne vode je trajal le 4 mesece. Glede na hidrogeološko prakso in standarde IAH je minimalno opazovalno obdobje za bilo kakršno resnejšo analizo nivoja podzemne vode vsaj eno hidrološko leto. Zaradi navedenega dopuščamo možnost višjega nivoja podzemne vode, kot pa smo ga izmerili med monitoringom. Predlagamo, da se vsi trije piezometri ponovno opremijo z avtomatskimi nivometri oz. da se monitoring nadaljuje.

# ***PRILOGE***

**PRILOGA G.1.1:**    *Pregledna situacija z raziskovalnimi deli,*  
*M 1:500*

**PRILOGA G.3.1:**    *Geološko geotehnični profili vrtin in  
razkopov.*

Datum vrtanja: 28-31.8.2009

Kartirala: Teja Fabjan

Globina:  
20,0m

Koordinate:

Izvajalec vrtanja: GEOINVEST d.o.o.

Obdelala: Teja Fabjan

Merilo:  
1:50

X:100354,68

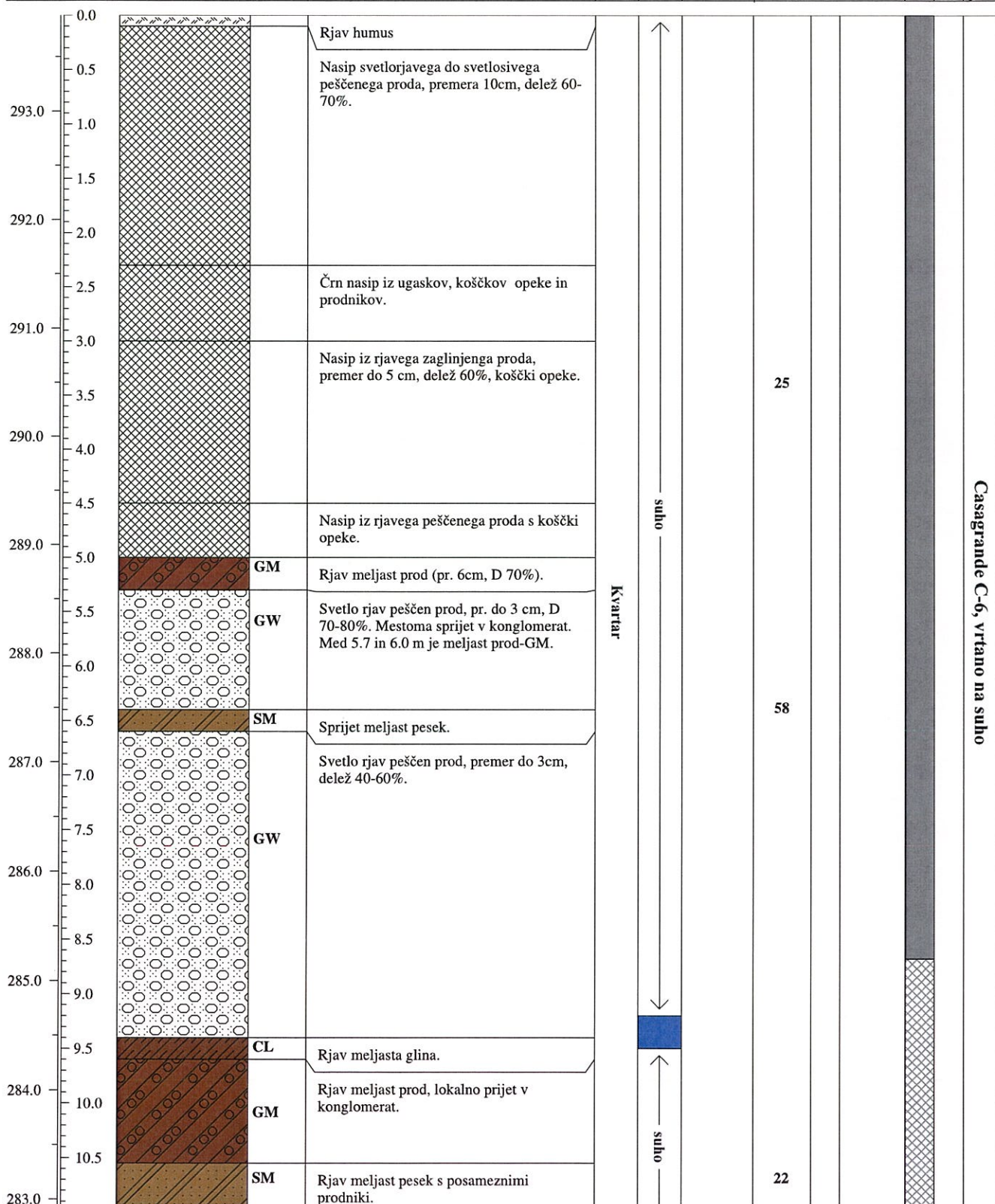
Y:463372,15

Investitor: GEOINVEST d.o.o.

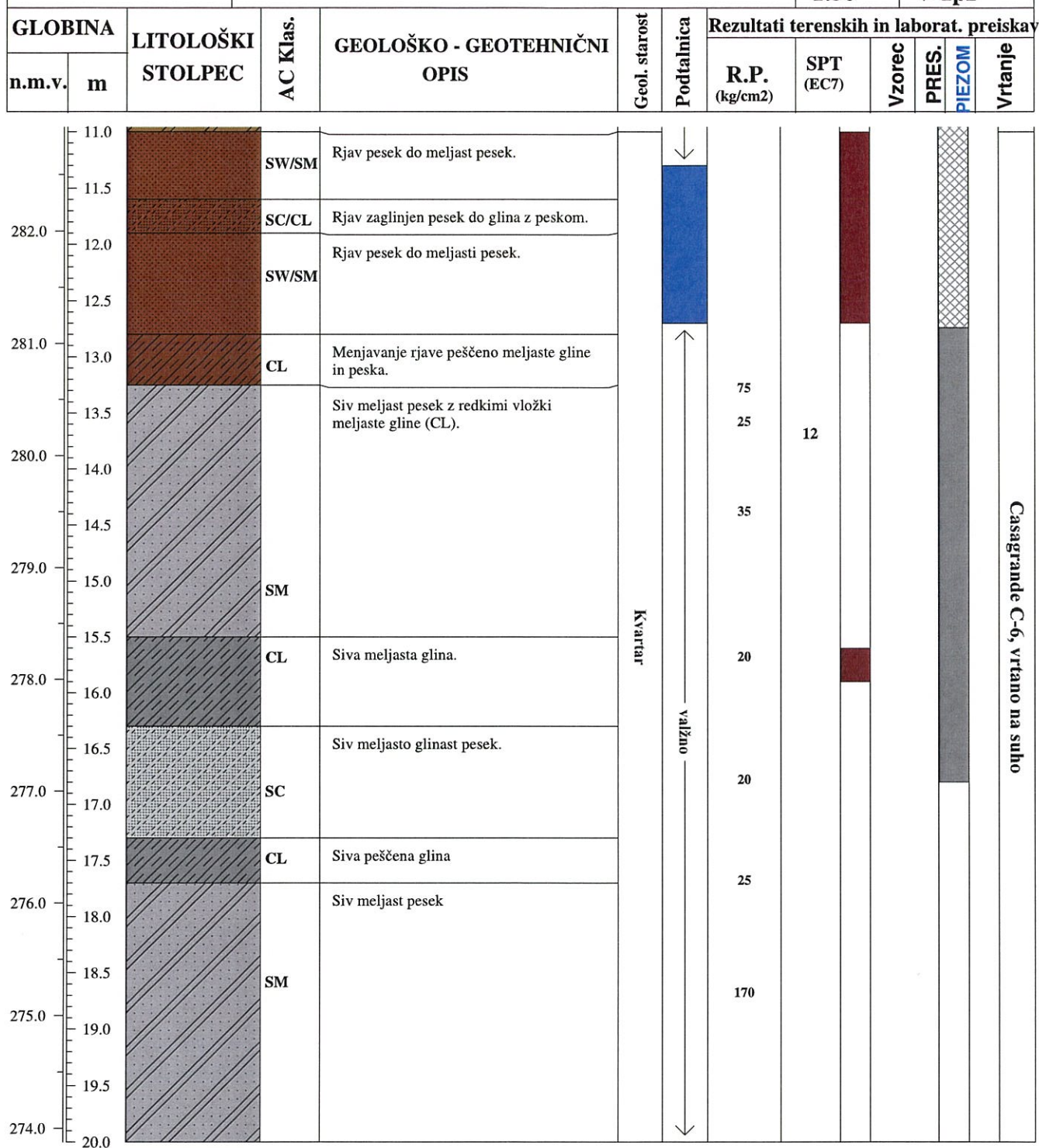
Pregledal: Albin Križnič

Z: 293,88 m

GLOBINA		LITOLOŠKI  STOLPEC	USCS klasif.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI  OPIS	Geol. starost	Podz. voda	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
n.m.v.	m						R.P. (kg/cm2)	SPT (EC7)	Vzorec	PRES. Em/Er (MPa)	PIEZOM	k m/s







Datum vrtanja: 21-25.8.2009

Kartirala: Teja Fabjan

Globina:  
20,0m

Koordinate:

Izvajalec vrtanja: GEOINVEST d.o.o.

Obdelala: Teja Fabjan

Merilo:  
1:50

X:100398,78

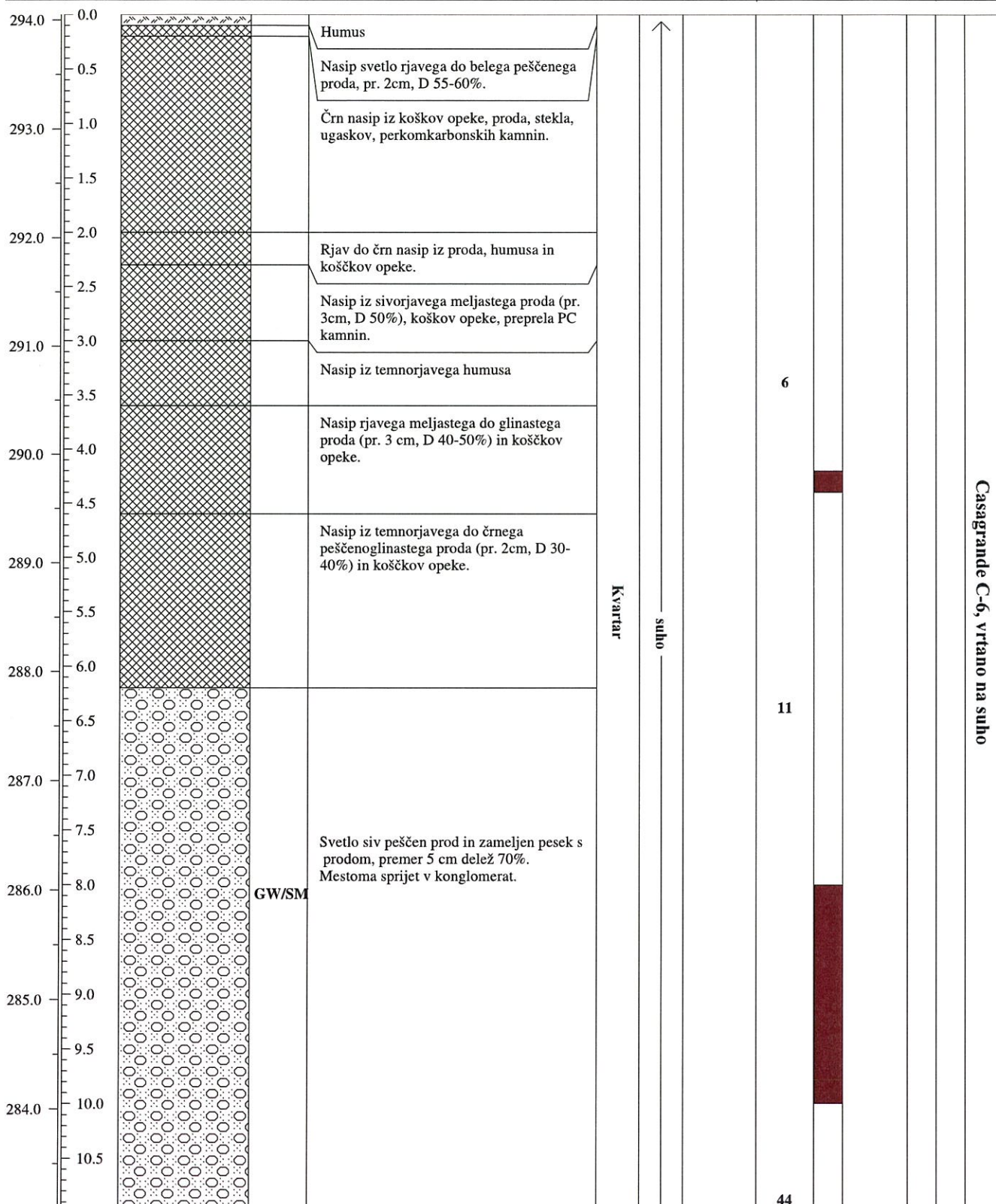
Y:463363,80

Investitor: GEOINVEST d.o.o.

Pregledal: Albin Križnič

Z: 294,05 m

GLOBINA		LITOLOŠKI STOLPEC	USCS klasif.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI OPIS	Geol. starost	Podz. voda	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
n.m.v.	m						R.P. (kg/cm <sup>2</sup> )	SPT (EC7)	Vzorec	PRES. Em/Er (MPa)	PIEZOM	k m/s





GLOBINA		LITOLOŠKI STOLPEC	AC Klas.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI OPIS	Geol. starost	Podtalnica	Rezultati terenskih in laborat. preiskav				
n.m.v.	m						R.P. (kg/cm <sup>2</sup> )	SPT (EC7)	Vzorec	PRES. PIEZOM	Vrtanje
283.0	11.0										
	11.5										
282.0	12.0		GC/GM	Rjav do svetlorjav zaglinjen do zameljen peščen prod, premer do 3cm, delež 60-70%. V zg. delu sprijet v konglomerat.							
	12.5		CL/SC	Rjava meljna glina in zaglinjen pesek, srednje gnetno.			170				
281.0	13.0		GC	Rjav zaglinjen prod (pr. 2cm, D 70%) s vložki zaglinjenega peska.							
	13.5		CL	Rjava peščena glina, lahkognetna.			30				
280.0	14.0		SC	Rjav do sivo rjav zaglinjen pesek.			95				
	14.5						45				
279.0	15.0		SC	Siv zaglinjen pesek.							
	15.5										
278.0	16.0			Siva meljna do peščena glina, lahkognetna.			30				
	16.5						40				
277.0	17.0		CL					18			
	17.5						40				
276.0	18.0										
	18.5						30				
275.0	19.0			Siv zaglinjen pesek.							
	19.5		SC								
	20.0										

Casagrande C-6, vrtano na suho



Datum vrtanja: 25-27.8.2009

Kartirala: Teja Fabjan

Globina:

20,0m

Koordinate:

X:100434,67

Izvajalec vrtanja: GEOINVEST d.o.o.

Obdelala: Teja Fabjan

Merilo:

1:50

Y:463366,84

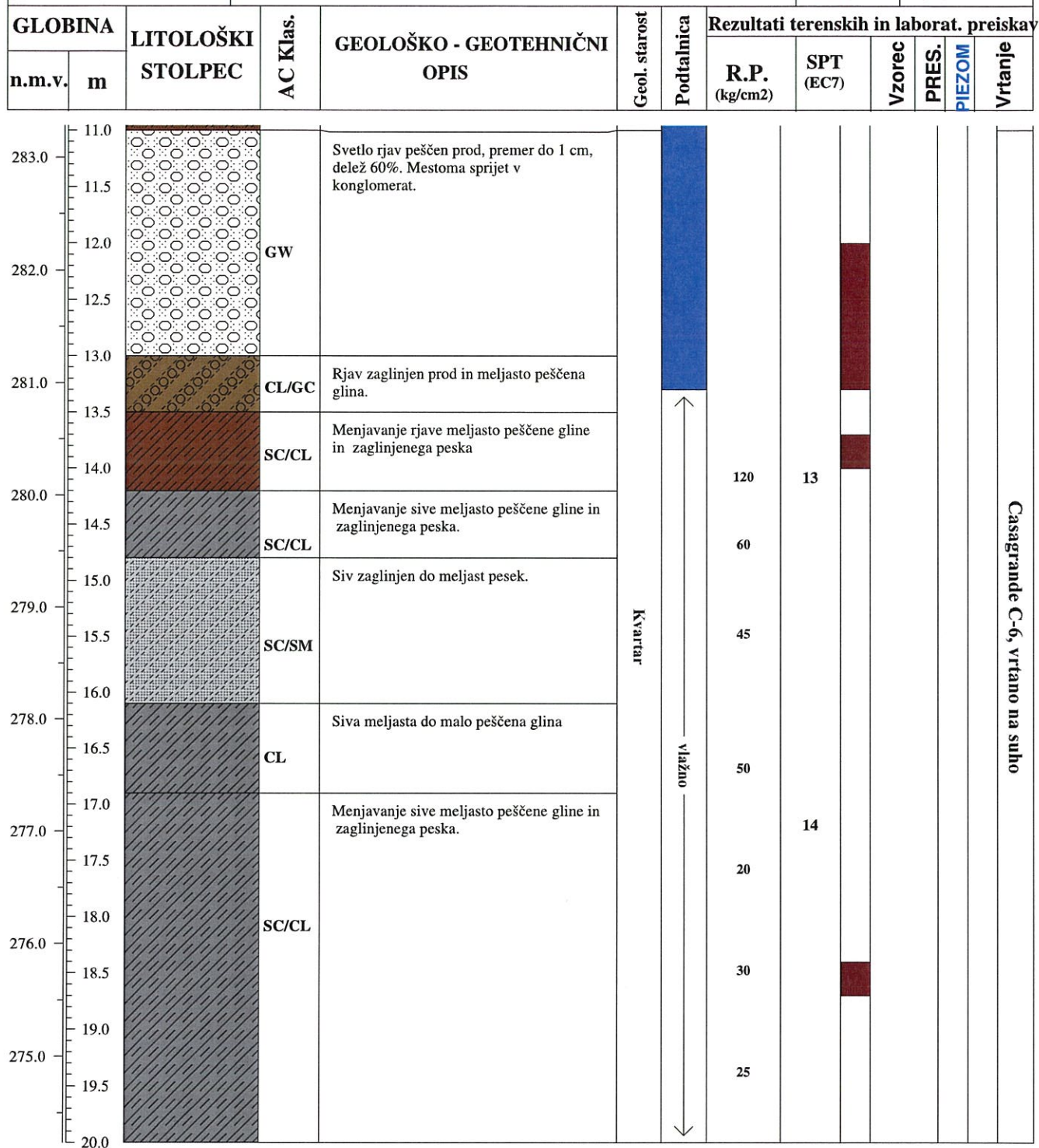
Investitor: GEOINVEST d.o.o.

Pregledal: Albin Križnič

Z: 294,24 m

GLOBINA		LITOLOŠKI	USCS klasif.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI OPIS	Geol. starost	Podz. voda	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
n.m.v.	m	STOLPEC					R.P. (kg/cm <sup>2</sup> )	SPT (EC7)	Vzorec	PRES. Em/Er (MPa)	PIEZOM	k m/s
	0.0			Humus								
294.0	0.5			Nasip svetlo rjavega peščenega proda (pr. 5cm, D 60%) in opeke.								
	1.0			Črn nasip iz ugaskov.								
293.0	1.5			Nasip iz rjavega meljastega proda (pr. 5cm, 40%) in opeke								
	2.0											
292.0	2.5											
	3.0											
291.0	3.5			Svetlo siv peščen prod, premer do 5 cm, delež 70%. Mestoma sprijet v konglomerat.				51				
	4.0											
290.0	4.5											
	5.0											
289.0	5.5											
	6.0											
288.0	6.5							29cm/60ud				
	7.0											
287.0	7.5		GW									
	8.0											
286.0	8.5											
	9.0											
285.0	9.5		SW	Siv pesek s prodom								
	10.0											
284.0	10.5		GW	Svetlo siv peščen prod, premer do 5 cm, delež 70%.								
			SC/SM	Rjav meljast do glinast pesek.				24				

Casagrande C-6, vrtano na suho



Casagrande C-6, vrtano na suho



Datum vrtanja: 27-28.8.2009

Kartirala: Teja Fabjan

Globina:  
20,0m

Koordinate:  
X:100482,01

Izvajalec vrtanja: GEOINVEST d.o.o.

Obdelala: Teja Fabjan

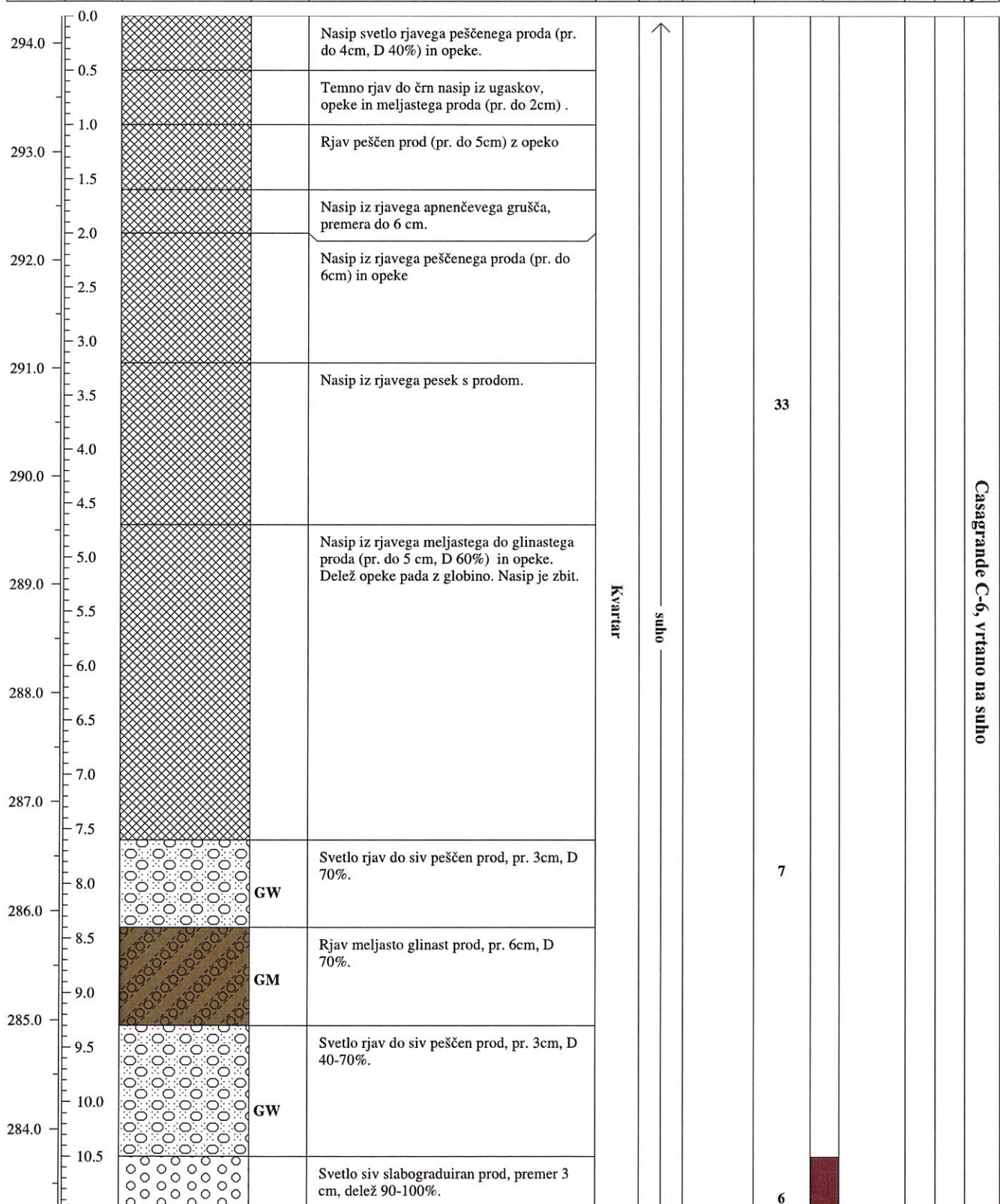
Merilo:  
1:50

Y:463371,87  
Z: 294,25 m

Investitor: GEOINVEST d.o.o.

Pregledal: Albin Križnič

GLOBINA	LITOLOŠKI	USCS	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI	Geol. starost	Podz. voda	Rezultati terenskih in laborat. preiskav				
						R.P.	SPT	Vzorec	PRES.	PIEZOM
n.m.v.	m	STOLPEC	OPIS			(kg/cm2)	(EC7)		Em/Er (MPa)	k m/s

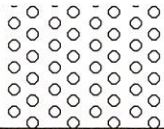







Casagrande C-6, vrtano na suho

33

7

6

GLOBINA		LITOLOŠKI STOLPEC	AC Klas.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI OPIS	Geol. starost	Podtalnica	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
n.m.v.	m						R.P. (kg/cm <sup>2</sup> )	SPT (EC7)	Vzorec	PRES.	PIEZOM	Vrtanje
283.0	11.0		GP	Svetlo siv slabogradiiran prod, premer 3 cm, delež 90-100%.	Kvarter	 vlazno						Casagrande C-6, vrtano na suho
282.0	11.5		GM	Rjav meljasto glinast prod, pr. 3 cm, D 60-70%.								
	12.0		CL	Rjava meljasta glina.								
	12.5			Siva meljasta do peščena glina								
	13.0		CL				40					
281.0	13.5							12				
	14.0						80					
	14.5			Menjavanje sive meljasto peščene gline in zaglinjenega peska.			70					
	15.0						40					
279.0	15.5		CL/SC				90					
	16.0						65					
278.0	16.5						70					
	17.0			Siv meljasta do peščena glina, lahko do težkognetna.								
277.0	17.5						170					
	18.0		CL				65	13				
276.0	18.5						50					
	19.0						70					
275.0	19.5						65					
	20.0						50					



Datum vrtanja: 2-3.9.2009

Kartirala: Teja Fabjan

Globina:  
20 m

Koordinate:

Izvajalec vrtanja: GEOINVEST d.o.o.

Obdelala: Teja Fabjan

Merilo:  
1:50

X:100497,43

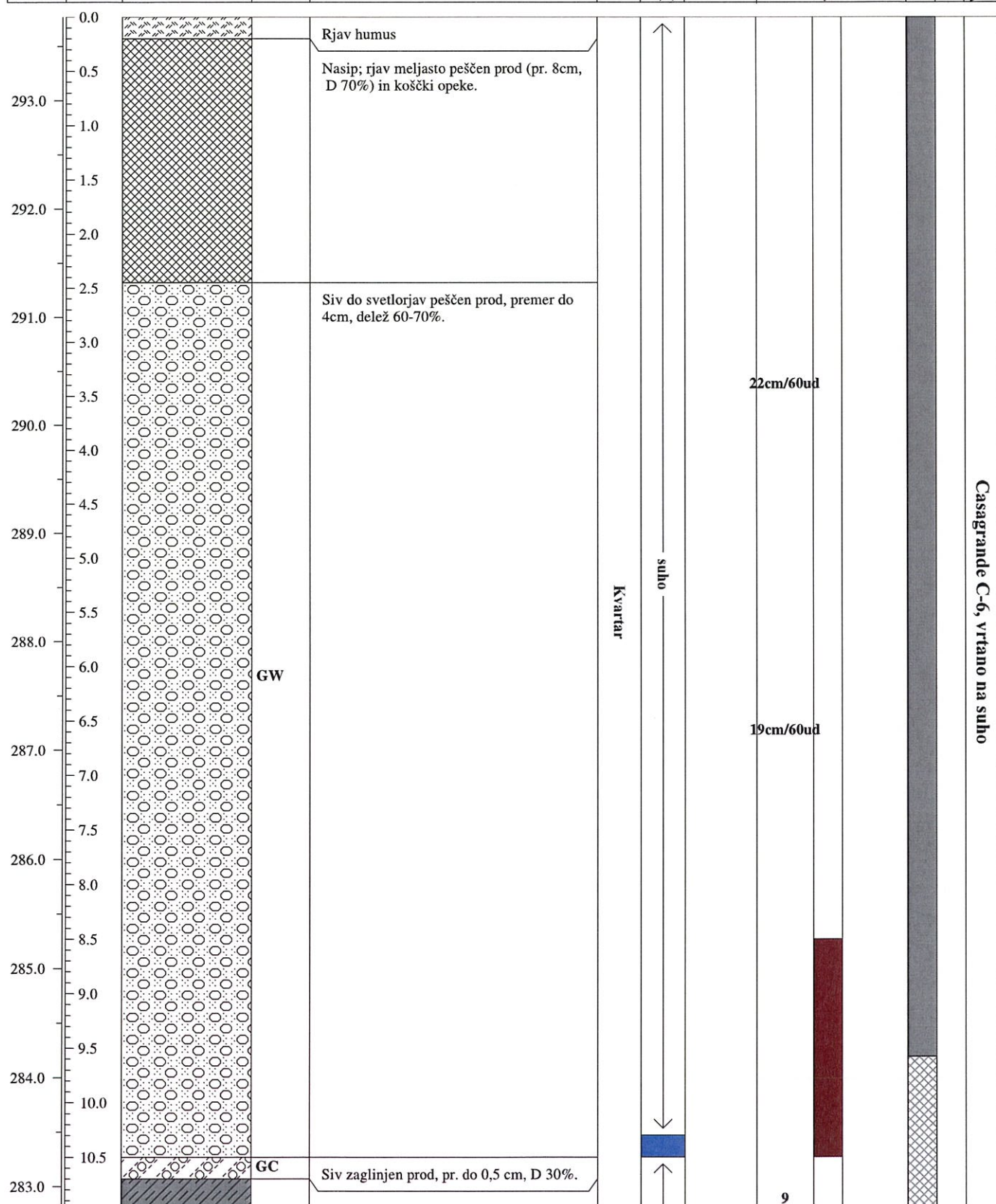
Y:463285,53

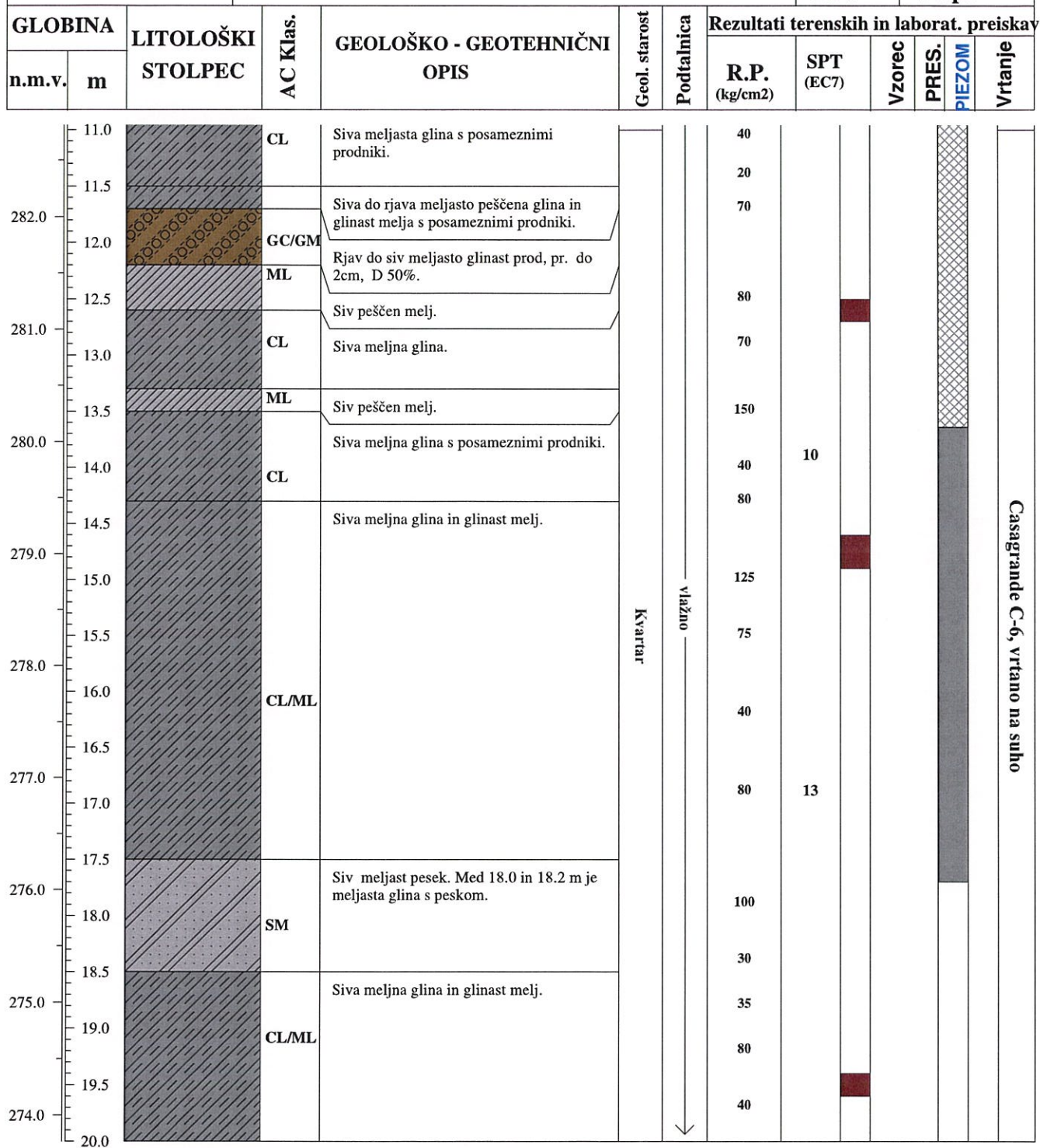
Investitor: GEOINVEST d.o.o.

Pregledal: Albin Križnič

Z: 293,77 m

GLOBINA	LITOLOŠKI	USCS	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI	Geol. starost	Podz. voda	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					k	Vrtanje
						R.P.	SPT	Vzorec	PRES.	PIEZOM		
n.m.v.	m	STOLPEC	OPIS			(kg/cm2)	(EC7)		Em/Er (MPa)		m/s	











GLOBINA		LITOLOŠKI STOLPEC	AC Klas.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI OPIS	Geol. starost	Podtalnica	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
n.m.v.	m						R.P. (kg/cm <sup>2</sup> )	SPT (EC7)	Vzorec	PRES.	PIEZOM	Vrtanje
283.0	11.0		CL	srednjegnetna meljna glina.		↑ vlažno	110	6				
	11.5		GC	Siva do sivorjava meljna in peščena glina. Srednje do težkognetna		↓ oužja	50					
	12.0		GM	Siv do rjav zaglinjen prod, pr. 2 cm, delež 50%. Vezivo je lahogn. meljna glina.			150					
282.0	12.5		GW	Rjav meljast do peščeno meljast prod, pr. 2 cm, D 50%.								
	13.0		GC	Rjav peščen prod, pr. do 5cm, D 70-80%.								
	13.5		SC/SM	Rjav zaglinjen prod, pr. do 3 cm, D 50%.			100					
281.0	14.0		CL	Sivo rjava meljna glina, srednjegnetna.			220					
	14.5			Siva peščena glina s prehodi v glinast pesek. Srednje do lahkognetna.			100	22				
280.0	15.0						20					
279.0	15.5						30					
	16.0		CL/SC									
278.0	16.5						90					
	17.0						10	7				
277.0	17.5						80					
	18.0						30					
276.0	18.5						40					
	19.0						35					
275.0	19.5						40					
	20.0											

Casagrande C-6, vrtano na suho

Datum vrtanja: 19.8.2009

Kartirala: Teja Fabjan

Globina:  
20,0m

Koordinate:

Izvajalec vrtanja: GEOINVEST d.o.o.

Obdelala: Teja Fabjan

Merilo:  
1:50

X:100400,74

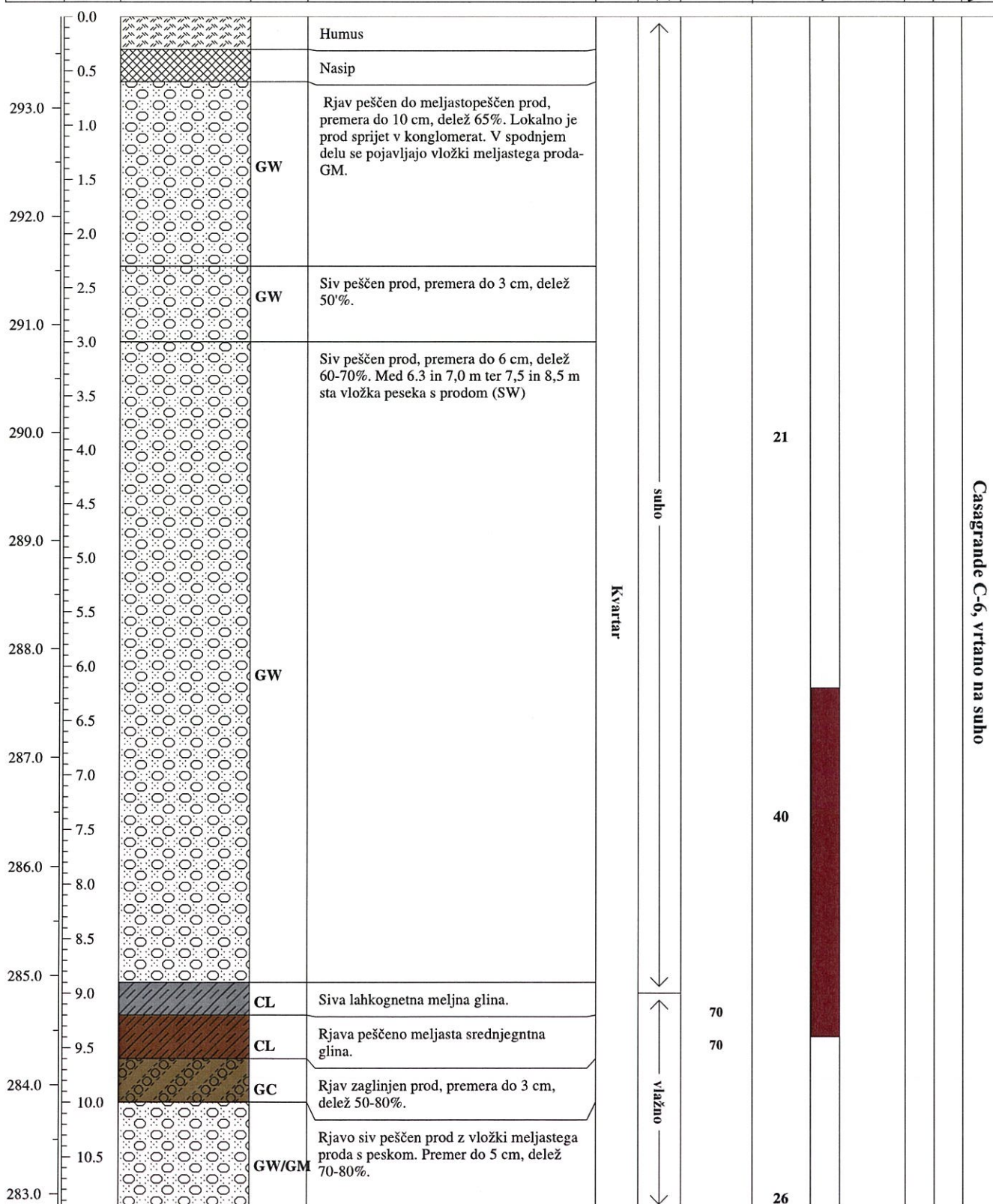
Y:463260,59

Investitor: GEOINVEST d.o.o.

Pregledal: Albin Križnič

Z: 293,84 m

GLOBINA	LITOLOŠKI	USCS	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI	Geol. starost	Podz. voda	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
						R.P.	SPT	Vzorec	PRES.	PIEZOM	k
n.m.v.	m	STOLPEC	OPIS			(kg/cm <sup>2</sup> )	(EC7)		Em/Er (MPa)		m/s





GLOBINA		LITOLOŠKI STOLPEC	AC Klas.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI OPIS	Geol. starost	Podtalnica	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
n.m.v.	m						R.P. (kg/cm <sup>2</sup> )	SPT (EC7)	Vzorec	PRES.	PIEZOM	Vrtanje
282.0	11.0		GW/GM	Rjav siv peščen prod z vložki meljastega proda s peskom. Premer do 5 cm, delež 70-80%.	Kvartar	vlažno						Casagrande C-6, vrtano na suho
281.0	12.0											
	12.5											
	13.0		GC/CL	Rjav peščen glinast prod in peščena glina. Srednje do težkognetno. Premer do 3cm, delež do 30%.			170					
	13.5		SM	Rjavosiv meljast pesek			110					
280.0	14.0		CL-SC	Siva peščena glina s prehodi v glinast pesek. Posamezni prodniki premera do 1cm			25					
279.0	15.0			Brez jedra. Predvidevamo da je na temu odseku siva glina	Kvartar	vlažno	34					Casagrande C-6, vrtano na suho
278.0	15.5											
	16.0											
	16.5											
277.0	17.0			Siva do sivorjava lahkognetna peščena do meljasta glina. Vložki zaglinjenega peska, z globino se delež peska povečuje.			30					
276.0	17.5		CL/SC									
275.0	18.0				Kvartar	vlažno						Casagrande C-6, vrtano na suho
	18.5											
	19.0											
	19.5											
274.0	20.0						50					



Datum vrtanja: 1.9.2009

Kartirala: Teja Fabjan

Globina:  
15,2 m

Koordinate:  
X:100408,33

Izvajalec vrtanja: GEOINVEST d.o.o.

Obdelala: Teja Fabjan

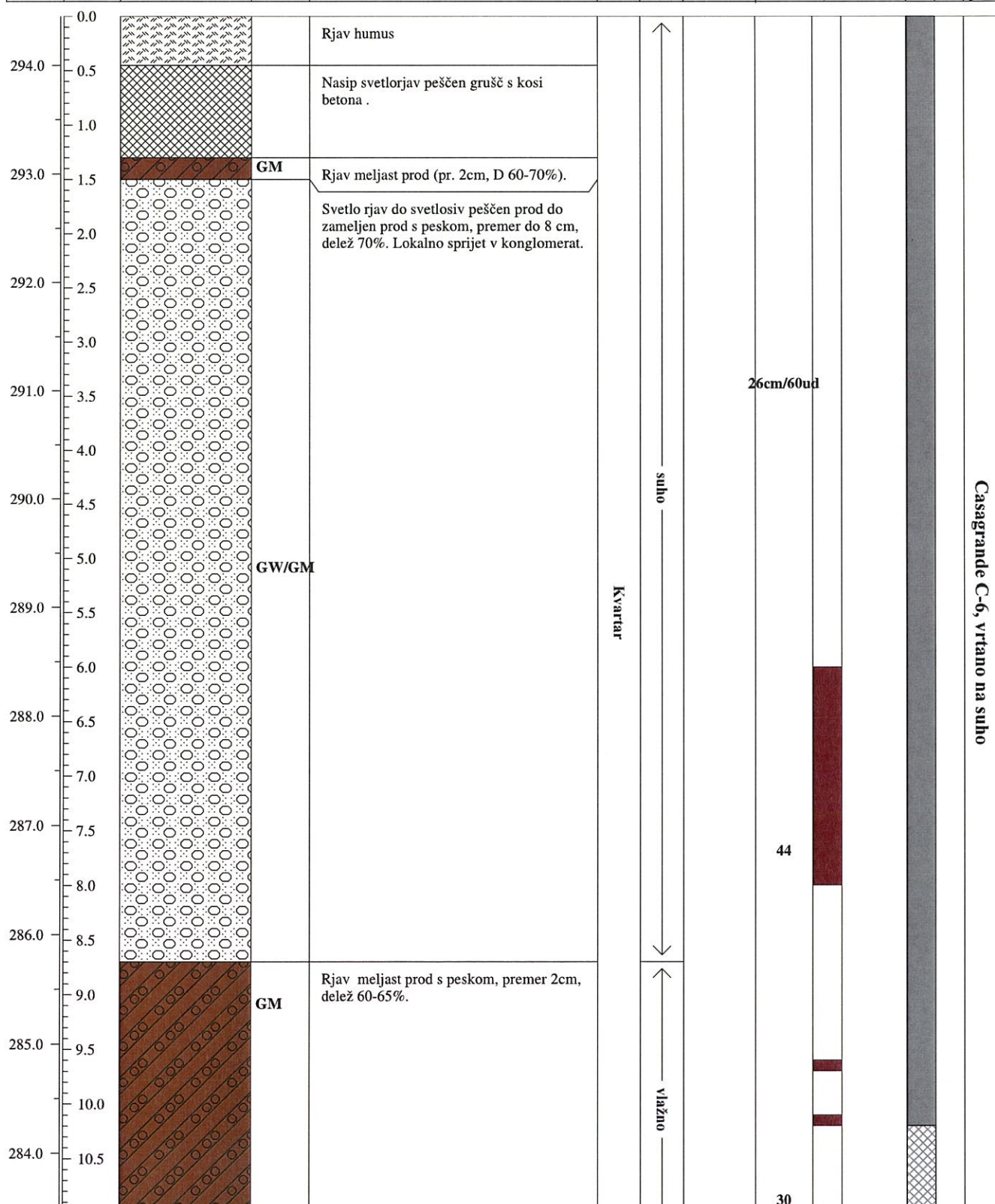
Merilo:  
1:50






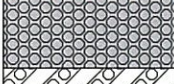



Y:463204,92  
Z: 294,45 m

Investitor: GEOINVEST d.o.o.

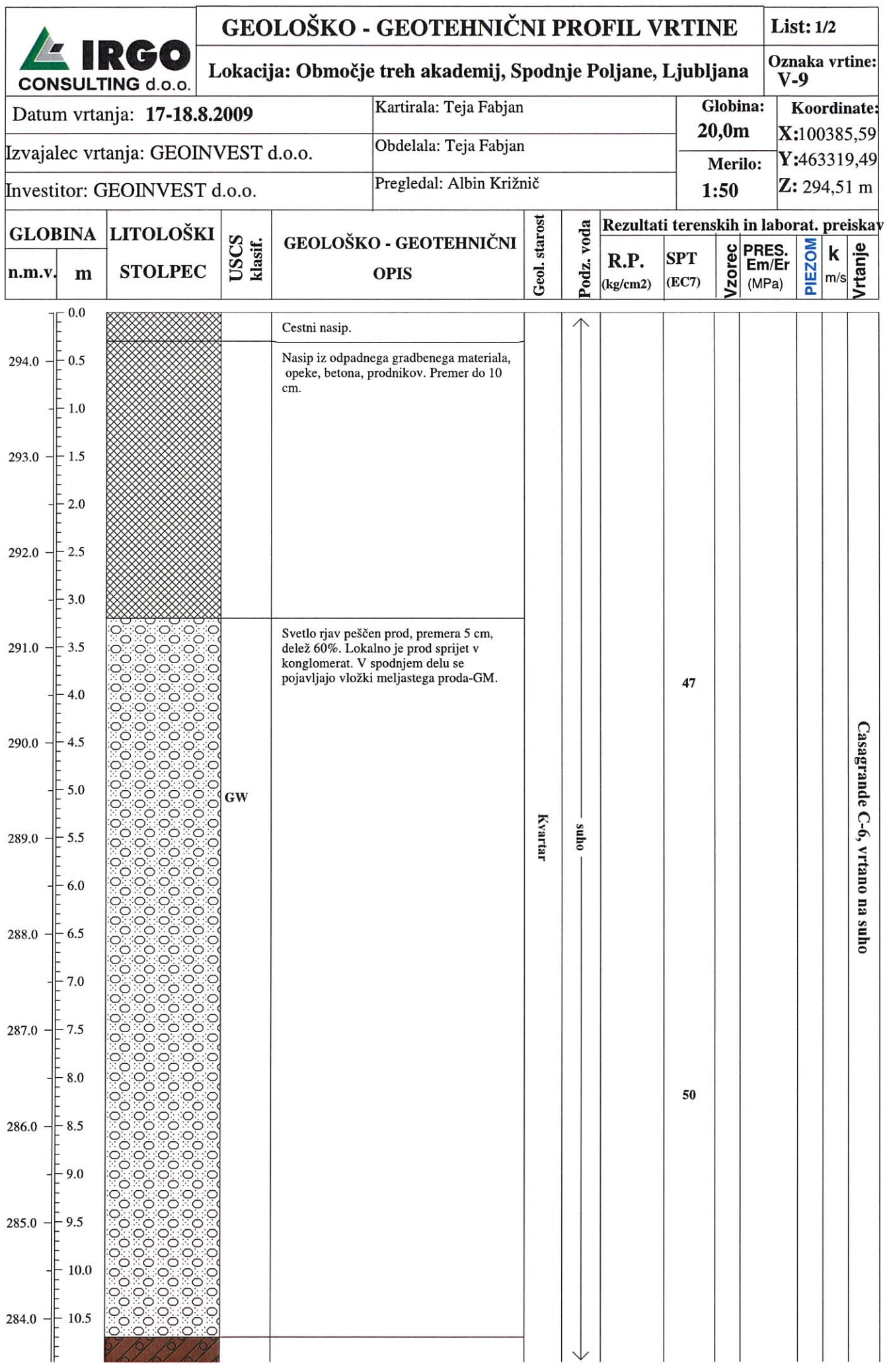
Pregledal: Albin Križnič

GLOBINA	LITOLOŠKI	USCS	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI	Geol. starost	Podz. voda	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
						R.P.	SPT	Vzorec	PRES.	PIEZOM	k
n.m.v.	m	STOLPEC	OPIS			(kg/cm <sup>2</sup> )	(EC7)		Em/Er (MPa)		m/s



GLOBINA		LITOLOŠKI STOLPEC	AC Klas.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI OPIS	Geol. starost	Podtalnica	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
n.m.v.	m						R.P. (kg/cm2)	SPT (EC7)	Vzorec	PRES. PIEZOM	Vrtanje	
	11.0		GM		Kvartar							Casagrande C-6, vrtano na suho
283.0	11.5		GC	Rjav zaglinjen prod (pr. do 6cm, D 60-70%).								
	12.0		GM	Rjav meljast prod v spodnjem delu je sprijet.								
282.0	12.5			Konglomerat								
	13.0											
281.0	13.5		GM	Svetlo rjav do siv peščeno meljast prod, premer do 8cm, delež 70-80%. Lokalno sprijet v konglomerat.		5cm/60ud						
	14.0											
280.0	14.5											
	15.0		GM	Rjav meljast prod.								







GLOBINA		LITOLOŠKI STOLPEC	AC Klas.	GEOLOŠKO - GEOTEHNIČNI OPIS	Geol. starost	Podtalnica	Rezultati terenskih in laborat. preiskav					
n.m.v.	m						R.P. (kg/cm <sup>2</sup> )	SPT (EC7)	Vzorec	PRES.	PIEZOM	Vrtanje
283.0	11.0		GM	Rjav meljast prod do peščeno meljast prod, premera 2 cm, delež 60%.	Kvarter	ohus						Casagrande C-6, vrtano na suho
	11.5		CL	Rjava peščena glina, srednje do težko gnetna.			175					
	12.0		GC/SC	Rjav peščeno glinast prod, premera do 2 cm.			100					
282.0	12.5		CL	Rjava peščeno meljasta glina, težkognetna.			125					
	13.0		GC	Rjav zaglinjen prod, premera do 3 cm, delež 50%. Vezivo je srednje gnetno.			130	19				
281.0	13.5		CL	Rjava meljasta glina s posameznimi prodniki								
280.0	14.0		CL	Rjava meljasta glina s posameznimi prodniki			140					
	14.5		CL/SC	Siva peščena glina in glinast pesek, lahkognetna								
	15.0		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.				10				
279.0	15.5		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.			120					
	16.0		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.			175					
278.0	16.5		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.			45					
	17.0		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.								
	17.5		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.			80					
277.0	18.0		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.			80					
	18.5		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.			20					
276.0	19.0		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.			60					
	19.5		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.			25					
275.0	20.0		CL	Rjavo siva do siva peščeno meljasta glina. mestoma se pojavljajo 20cm debeli vložki zaglinjenega peska-SC.								



**V-1(P):**



V-1(P); 0 do 5 m



V-1(P); 5 do 10 m





V-1(P); 10 do 15 m



V-1(P); 15 do 20 m



**V-2:**



V-2; 0 do 5 m



V-2; 5 do 10 m





V-2; 10 do 15 m



V-2; 15 do 20 m



**V-3:**



V-3; 0 do 5 m



V-3; 5 do 10 m





V-3; 10 do 15 m



V-3; 15 do 20 m



**V-4:**



V-4; 0 do 5 m



V-4; 5 do 10 m





V-4; 10 do 15 m



V-4; 15 do 20 m



**V-5 (P):**



V-5(P); 0 do 5 m



V-5(P); 5 do 10 m





V-5(P); 10 do 15 m



V-5(P); 15 do 20 m



**V-6:**



V-6; 0 do 5 m



V-6; 5 do 10 m





V-6; 10 do 15 m



V-6; 15 do 20 m



V-7:



V-7; 0 do 5 m



V-7; 5 do 10 m





V-7; 10 do 15 m



V-7; 15 do 20 m



V-8 (P):



V-8(P); 0 do 5 m



V-8(P); 5 do 10 m





V-8(P); 10 do 15 m



V-8(P); 15 do 15,2 m



**V-9:**



V-9; 0 do 5 m



V-9; 5 do 10 m





V-9; 10 do 15 m



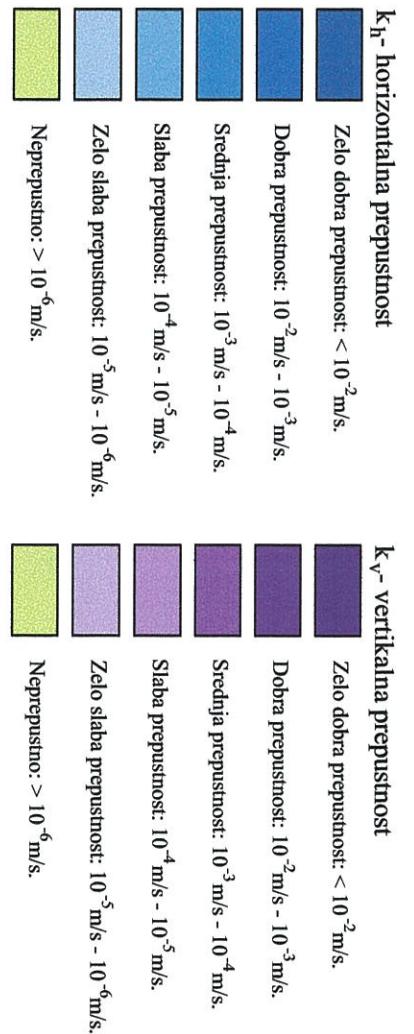
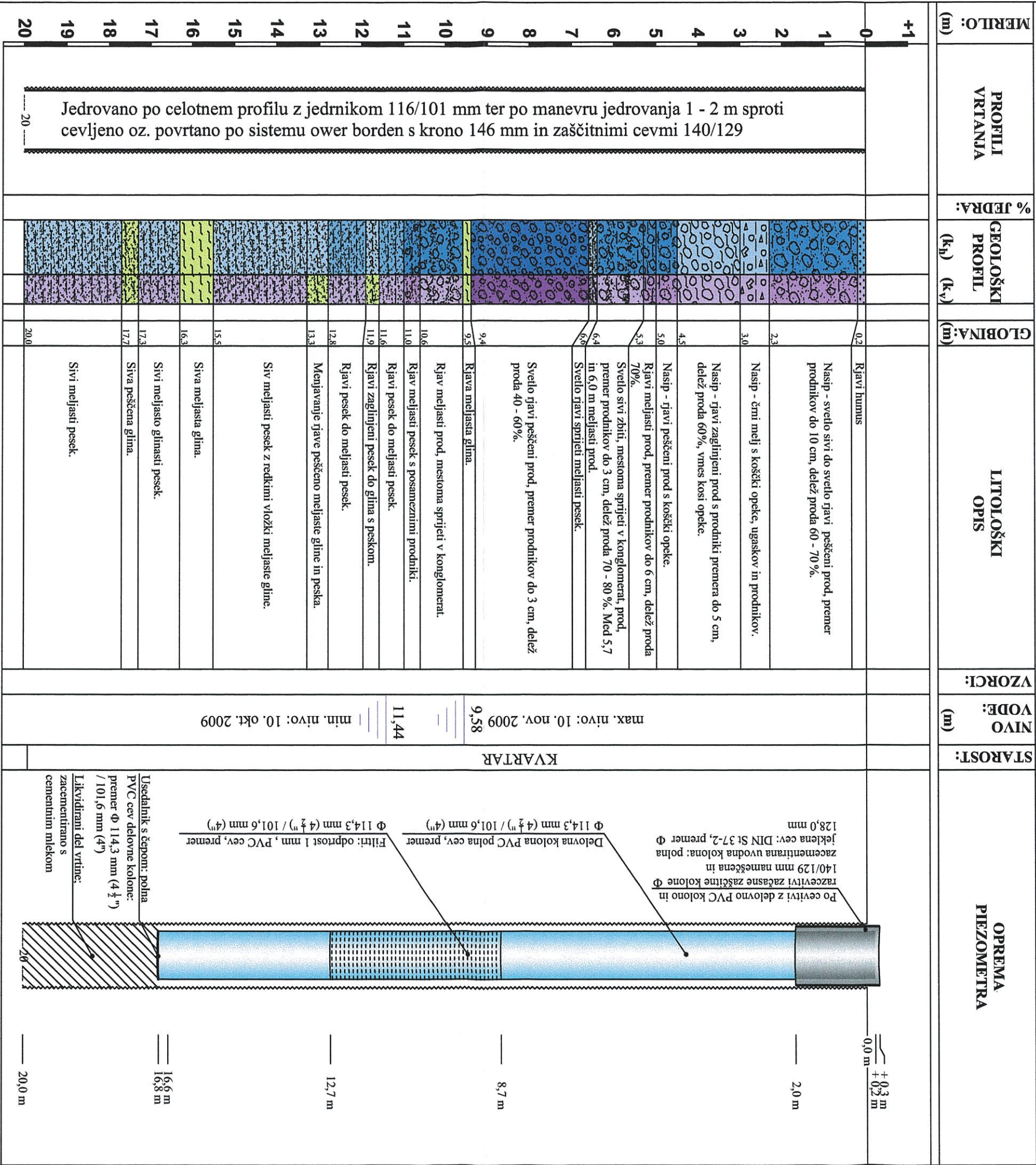
V-9; 15 do 20 m



**PRILOGA G.3.2:**    *Tehnični geološko hidrogeološki profili  
piezometrov.*



**GEOLOŠKE, HIDROGEOLOŠKE IN TEHNIČNE ZNAČILNOSTI PIEZOMETRA**







CONSULTING d.o.o.

Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana

PREDMET: GEOLOŠKO TEHNIČNI PROFIL VRTINE

OBJEKT: PIEZOMETER V-5(p)

COORDINATE  
USTJA VRTINE

Y: 463285,53  
X: 100497,38  
Z: 294,178

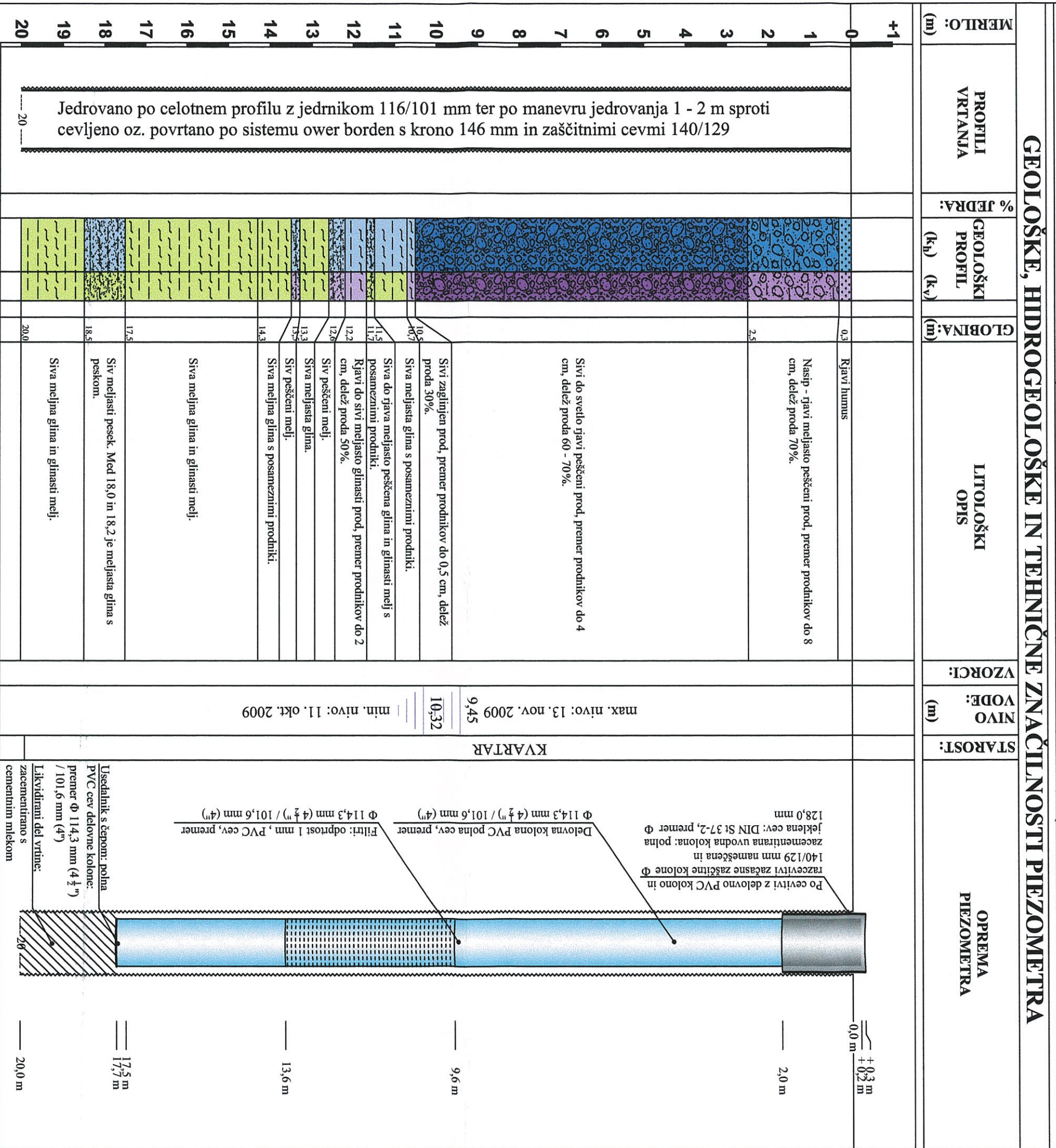
NAROČNIK: GEOINVEST D.O.O.

OBDELAL: Boštjan IVAČIČ, abs. geol.

DATUM VRTANJA: 02. - 03. SEPT. 2009

PREGLADALA: Melhior PREGI, u.d.i. rud.

M: L=1:10, H=1:100  
GLOBINA: 20,0 m





**PREDMET: GEOLOŠKO TEHNIČNI PROFIL VRTINE**

**KOORDINATE  
USTJA VRTINE**

**OBJEKT: PIEZOMETR V-8(p)**

Y: 463204,92  
X: 100408,33  
Z: 294,447

**NAROČNIK: GEOINVEST D.O.O.**

**OBDELAL: Boštjan IVAČIČ, abs. geol.**

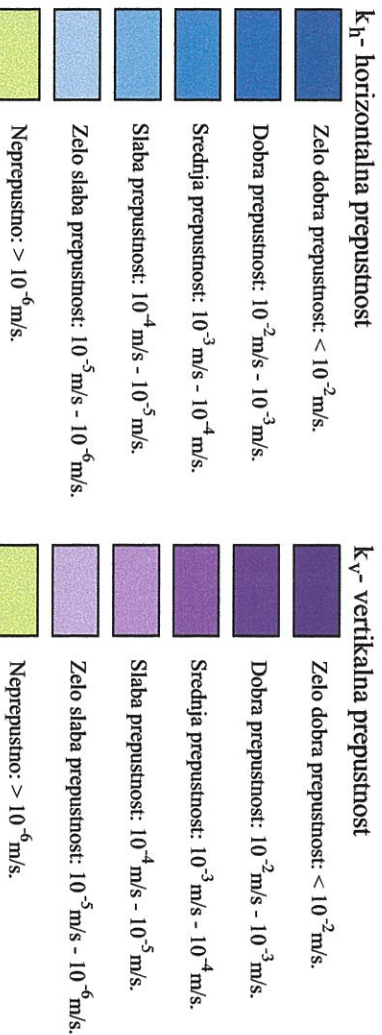
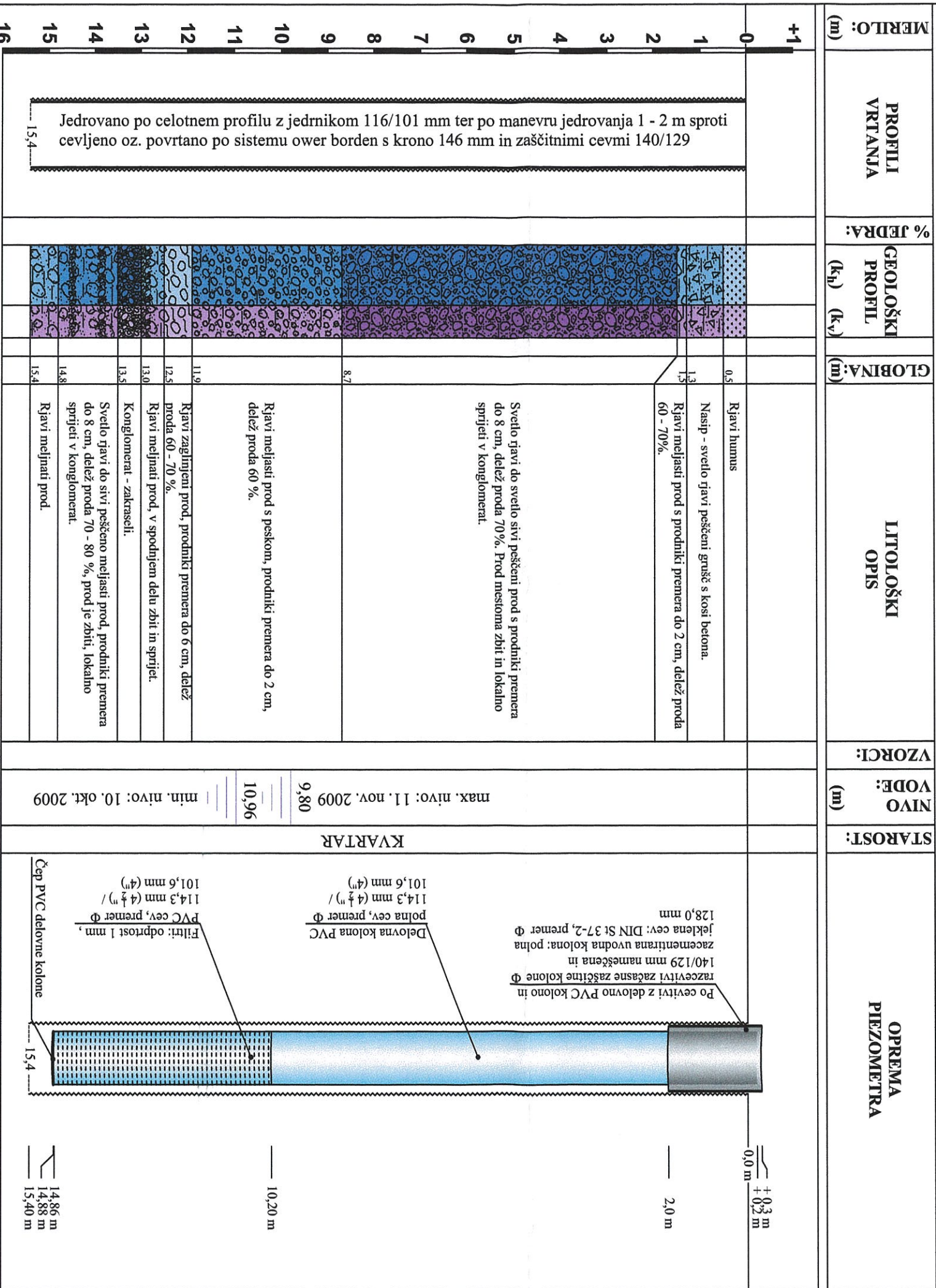
M: L=1:10, H=1:100

**DATUM VRTANJA: 01. - 02. SEPT. 2009**

**PREGLEDALA: Melhior PREGL, u.d.l. rud.**

GLOBALNA: 15,4 m

**GEOLOŠKE, HIDROGEOLOŠKE IN TEHNIČNE ZNAČILNOSTI PIEZOMETRA**





**PRILOGA G.4:**     *Laboratorij*

## **POROČILO**

### **LABORATORIJSKIH PREISKAV Z LOKACIJE**

#### **»3 AKADEMIJE, SPODNJE POLJANE, LJUBLJANA«**

Ljubljana, oktober 2009



Avtor poročila: Maja Rojšek, u.d.i.geol.

Sodelavci: Miha Peternel, abs.geoteh.  
Blaž Pečnik, abs.geol.

---

## VSEBINA:

### TEKSTUALNI DEL:

1. Uvod
2. Potek in rezultati preiskav
  - 2.1 Preiskava naravne vlažnosti
  - 2.2 Preiskave naravne in suhe gostote
  - 2.3 Preiskava Atterbergovih meja
  - 2.4 Preiskava zrnivosti
  - 2.5 Preiskave direktnega striga

### GRAFIČNE PRILOGE:

- |               |  |
|---------------|--|
| PREGLEDNICA 1 | Zbirna preglednica rezultatov laboratorijskih preiskav z lokacije »3 AKADEMIJE, Ljubljana« |
| PRILOGA 1     | Atterbergove meje plastičnosti v <i>PRILOGI 1</i>  |
| PRILOGA 2     | Zrnavost v <i>PRILOGI 2</i>  |
| PRILOGA 3     | Direktni strig <i>PRILOGI 3</i>  |

## 1. Uvod

V mesecu oktobru 2009 smo v Geomehanskem laboratoriju IRGO preiskali 12 vzorcev zemljin, odvzetih iz razkopov V – 2, V – 3, V – 5, V – 6, V – 7, V – 8 in V – 9 z območja 3 AKADEMIJE, Spodnje Poljane, Ljubljana..

Preiskave so bile opravljene v okviru standarda SIST ENV 1997-2:2004. Rezultati preiskav z zbirno tabelo so podani v PREGLEDNICI 1, v nadaljevanju pa podajamo opis posameznih preiskav.

## 2. Potek in rezultati preiskav

### 2.1 Preiskava vlažnosti

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-1:2004

Vzorci, katerim smo določili naravno vlažnost, smo v sušilniku pri temperaturi 105°C osušili do stanja, ko se masa ni več spreminjala.

Povprečna vrednost naravne vlage  $w_{povp}$  za *vezljive zemljine* znaša 22.654 %, za *peske* znaša 8.515 % ter za *prode* znaša 2.176.

Rezultate preiskav podajamo v *PREGLEDNICI 1*.

### 2.2 Preiskave naravne in suhe gostote $\rho, \rho_d$

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-2:2004

Prostorninsko težo smo določevali na preizkušancih, katere smo stehali in izmerili geometrijske lastnosti, ki smo jih potrebovali za izračun. Naravna gostota  $\rho$  je bila na zemljini določena po metodi s cilindrom. S pomočjo naravne vlažnosti smo izračunali suho gostoto  $\rho_d$ .

Povprečna vrednost naravne gostote  $\rho_{povp}$  za *vezljive zemljine* znaša 2.071 Mg/m<sup>3</sup>, za *peske* znaša 1.982 Mg/m<sup>3</sup>, ter za *prode* znaša 1.933 Mg/m<sup>3</sup>.

### 2.3 Preiskava Atterbergovih meja plastičnosti

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-12:2004

ASTM D2487

Mejo plastičnosti  $w_p$  smo določili s postopkom svaljkanja zemljine po gladki podlagi. Z dodajanjem destilirane vode ali sušenjem smo zagotovili potrebno vlago, ki jo ima material pri prehodu iz plastičnega v poltrdno stanje oz., ko so se svaljki premera 3 mm začeli trgati na dolžini 3 cm. Mejo židkosti  $w_L$  smo določili s konusnim penetrometrom, 80g/30°. Vzorec smo predhodno pri naravni vlagi naribali, navlažili in pregnetli. Na podlagi izračunanih parametrov smo iz vrednotili indeks plastičnosti  $I_p$  in indeks konsistence  $I_c$ , zemljine pa klasificirali po USCS klasifikaciji (ASTM D2487).



Povprečna vrednost meje židkosti  $w_{L,povp}$  na preiskani *CL,pusti glini* znaša  $w_L = 29.907 \%$ , vrednost meje plastičnosti  $w_{p,povp}$  znaša  $14.910 \%$  (preiskani 4 vzorci).  
Vrednost meje židkosti  $w_L$  veziva na preiskani *CL,pusti glini s peskom* znaša  $w_L = 35.345 \%$ , vrednost meje plastičnosti  $w_p$  znaša  $15.403 \%$  (preiskan 1 vzorec).

Rezultate preiskav podajamo v *PREGLEDNICI 1* ter v *PRILOGI 1*.

## **2.4 Preiskave zrnivosti**

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-4:2004

ASTM D2487

Vzorcem zemljin smo določili granulometrijsko sestavo po metodi z mokrim sejanjem v kombinaciji z areometrično preiskavo, kar nam je služilo tudi za klasifikacijo grobozrnatih zemljin.

Preiskušani vzorci so na podlagi zrnivosti klasificirani kot: SM zameljen pesek s prodom, GW-GC dobro ganuliran prod s glino in peskom, GM zameljen prod s peskom, GC zaglinjen prod s peskom, GM zameljen prod s peskom ter GM zameljen prod s peskom.

Rezultate preiskav podajamo v *PREGLEDNICI 1* ter v *PRILOGI 2*.

## **2.5 Preiskave direktnega striga**

SIST-TS CEN ISO/TS 17892-10:2004

Direktne strižne preiskave so potekale na preplavljenih in konsolidiranih vzorcih zemljin. Vzorci so bili vstavljeni v cilindre v intaktnem in v porušenem stanju. Hitrost večanja strižnih deformacij pri strigu smo določili na podlagi časa konsolidacije posameznega vzorca.

### **Direktni strig na intaktnih vzorcih**

Povprečna vrednost kota notranjega trenja -  $\phi$  za *CL,pusto glino* znaša  $26.6^\circ$  vrednost kohezijske trdnosti -  $c$  znaša  $27.2 \text{ kPa}$  (število vzorcev: 2).

Vrednost kota notranjega trenja -  $\phi$  za *CL,pusto glino s peskom* znaša  $31.2^\circ$  vrednost kohezijske trdnosti -  $c$  znaša  $11.3 \text{ kPa}$  (število vzorcev: 1).

Vrednost kota notranjega trenja -  $\phi$  za *SC,zaglinjen pesek* znaša  $40.5^\circ$  vrednost kohezijske trdnosti -  $c$  znaša  $12.6 \text{ kPa}$  (število vzorcev: 1).

### **Direktni strig na porušeni vzorcih**

Vrednost kota notranjega trenja -  $\phi$  za *SC,zaglinjen pesek* znaša  $36.6^\circ$  vrednost kohezijske trdnosti -  $c$  znaša  $11.6 \text{ kPa}$  (število vzorcev: 1).

Rezultate preiskav podajamo v *PREGLEDNICI 1* ter v *PRILOGI 3*.

**PREGLEDNICA GEOTEHNIČNIH PARAMETROV ZEMLJIN**

Lokacija: 3 AKADEMIJE, Ljubljana

datum raziskav: september, oktober 2009

Vzorec		USCS klasifikacija	Naravna vlaga w	Gostota		Konsistenčni meji		Indeks plast. I <sub>p</sub>	Indeks kons. I <sub>c</sub>	Zrnavost		Trdnost zemljine		
zapor. št.	oznaka			naravna p	suha p <sub>d</sub>	plast. w <sub>p</sub>	židk. w <sub>L</sub>			Cu	% zrn pod 0.063 mm	direktni strig vrhunska strižna trdnost		
-	-	-	%	(Mg/m <sup>3</sup> )	(Mg/m <sup>3</sup> )	%	%	%	-	-	%	intaktni vzorec	φ	c
												φ	c	kPa
1	V - 2	8.0 - 10.0	2,794	1,655	1,610					647,10	2,88	27,51		
2		13.4 - 13.6	14,236	2,309	2,021							40,5	12,6	36,6
3	V - 3	12.0 - 13.3	5,617	2,154	2,112					66,58	1,80	8,70		
4		13.7 - 14.0	21,450			15,619	28,045	15,619	0,53					
5	V - 5	12.5 - 12.7	23,050	2,079	1,690	13,588	29,874	16,29	0,42			27,5	11,5	
6	V - 6	6.0 - 8.0	0,975	1,916	1,897					323,35	5,13	13,66		
7		14.5 - 14.8	21,434	2,081	1,714	15,723	33,195	17,47	0,67			25,7	42,8	
8	V - 7	6.2 - 9.4	1,986							268,59	8,09	14,99		
9		14.6 - 14.9	25,424	2,084	1,661	14,709	28,515	13,81	0,22				26,1	18,9
10	V - 8	6.0 - 8.0	1,033	1,850	1,832					478,75	8,9	18,19		
11	V - 9	9.0 - 11.0	1,267	1,810	1,788					3438,95	4,19	26,61		
12		12.8 - 13.0	21,914	2,038	1,671	15,403	35,345	19,94	0,67			31,2	11,3	



## PRILOGA 1

Preiskave konsistenčnih mej po Atterbergu

## UGOTAVLJANJE ATTERBERGOVIH MEJA PLASTIČNOSTI

PRESKUS S KONUSOM 80g/30°

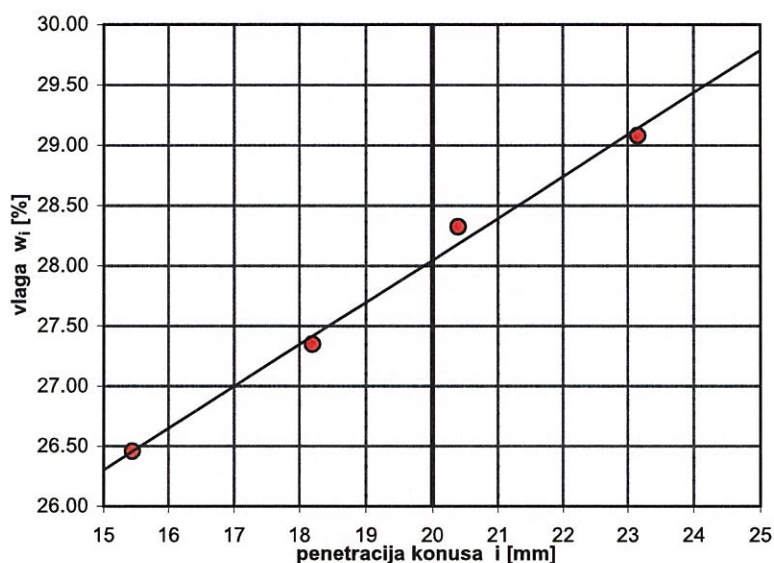
SIST - TS CEN ISO/TS 17892-12:2004

Zap.  
št.

4

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	27.8.2009
datum obdelave:	22.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Blaž Pečnik, abs.geol.

vzorec:	V - 3
globina:	13.7 - 14.0 m
material:	CL, pusta glina
oznaka vzorca:	Lm_V5_28



ostanek na situ 0,4mm

 $p_a$  : - [%]

naravna vlaga

 $w$  : 21.450 [%]

meja židkosti

 $w_L$  : 28.045 [%]

meja plastičnosti

 $w_P$  : 15.619 [%]

indeks plastičnosti

 $I_P$  : 12.43 [%]

indeks konsistence

 $I_c$  : 0.53

indeks tečenja

 $I_L$  : 0.47

klasifikacija vzorca

CL- sg. kons.

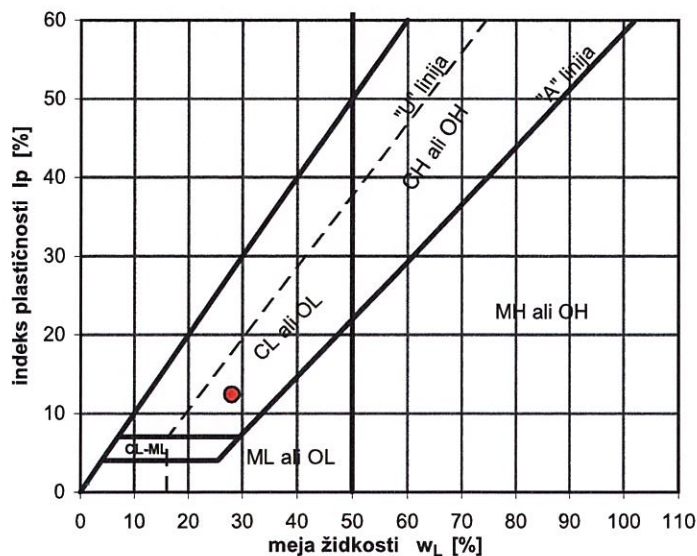
priprava materiala za  $w_P$ :navlažen, pregneten,  
svaljkan na  
filterskem papirjupriprava materiala za  $w_L$ navlažen,  
homogeniziran

## KONSISTENČNO STANJE

židko	lahkognetno	srednjegnetno	težkognetno	poltrdno	trdno
0	0.33	0.66	1.00	1.25	

indeks konsistence  $I_c$  [%]

## DIAGRAM PLASTIČNOSTI (ASTM D 2487)







LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO

## UGOTAVLJANJE ATTERBERGOVIH MEJA PLASTIČNOSTI

PRESKUS S KONUSOM 80g/30°

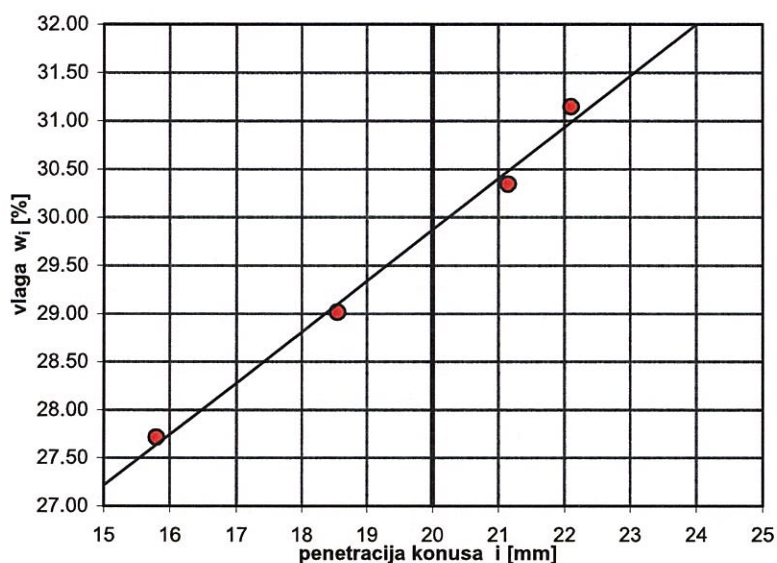
SIST - TS CEN ISO/TS 17892-12:2004

Zap.  
št.

5

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	3.9.2009
datum obdelave:	30.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Blaž Pečnik, abs.geol.

vzorec:	V - 5
globina:	12.5 - 12.7 m
material:	CL, pusta glina
oznaka vzorca:	Lm_V5_28



ostanek na situ 0,4mm

 $p_a$  : - [%]

naravna vlaga

 $w$  : 23.050 [%]

meja židkosti

 $w_L$  : 29.874 [%]

meja plastičnosti

 $w_P$  : 13.588 [%]

indeks plastičnosti

 $I_P$  : 16.29 [%]

## KONSISTENČNO STANJE

židko	lahkognetno	srednjegnetno	težkognetno	poltrdno	trdno
0	0.33	0.66	1.00	1.25	

indeks konsistence  $I_c$  [%]

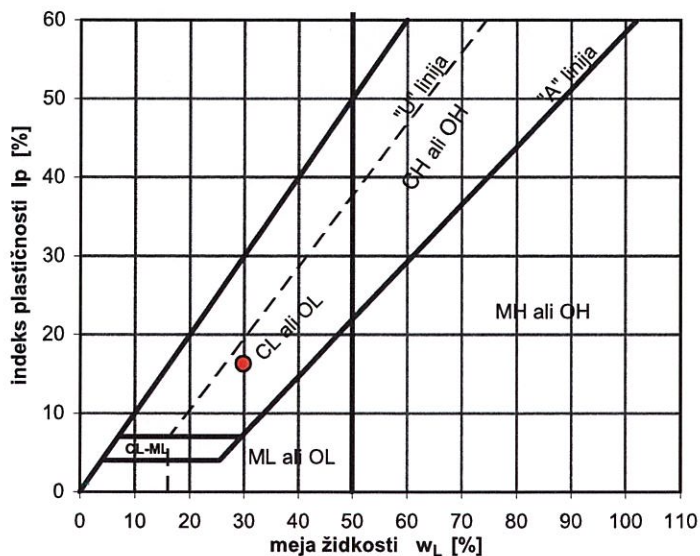
indeks konsistence

 $I_c$  : 0.42

indeks tečenja

 $I_L$  : 0.58

## DIAGRAM PLASTIČNOSTI (ASTM D 2487)



klasifikacija vzorca

CL- sg. kons.

priprava materiala za  $w_P$ :navlažen, pregneten,  
svaljkan na  
filterskem papirjupriprava materiala za  $w_L$ navlažen,  
homogeniziran

## UGOTAVLJANJE ATTERBERGOVIH MEJA PLASTIČNOSTI

PRESKUS S KONUSOM 80g/30°

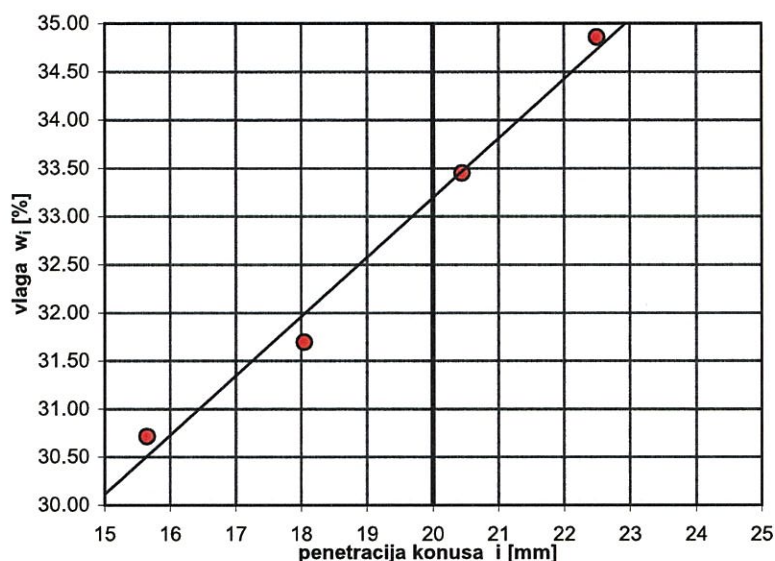
SIST - TS CEN ISO/TS 17892-12:2004

Zap.  
št.

7

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	19.8.2009
datum obdelave:	30.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Blaž Pečnik, abs.geol.

vzorec:	V - 6
globina:	14.5 - 14.8 m
material:	CL, pusta glina
oznaka vzorca:	Lm_V6_12



ostanek na sítu 0,4mm

 $p_a$  : - [%]

naravna vlaga

 $w$  : 21.434 [%]

meja židkosti

 $w_L$  : 33.195 [%]

meja plastičnosti

 $w_p$  : 15.723 [%]

indeks plastičnosti

 $I_p$  : 17.47 [%]

## KONSISTENČNO STANJE

židko	lahkognetno	srednjegnetno	težkognetno	poltrdno	trdno
0	0.33	0.66	1.00	1.25	

indeks konsistence  $I_c$  [%]

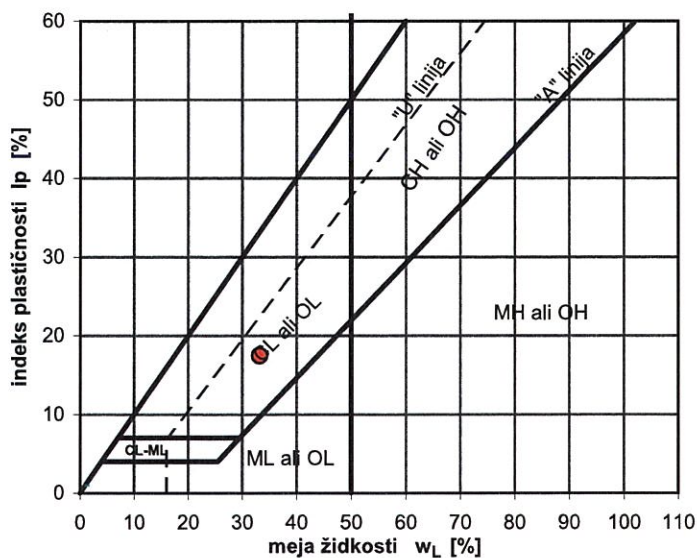
indeks konsistence

 $I_c$  : 0.67

indeks tečenja

 $I_L$  : 0.33

## DIAGRAM PLASTIČNOSTI (ASTM D 2487)

klasifikacija vzorca  
CL- tg. kons.priprava materiala za  $w_p$ :  
navlažen, pregneten,  
svaljkan na  
filterskem papirjupriprava materiala za  $w_L$ :  
navlažen,  
homogeniziran





LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO

## UGOTAVLJANJE ATTERBERGOVIH MEJA PLASTIČNOSTI

PRESKUS S KONUSOM 80g/30°

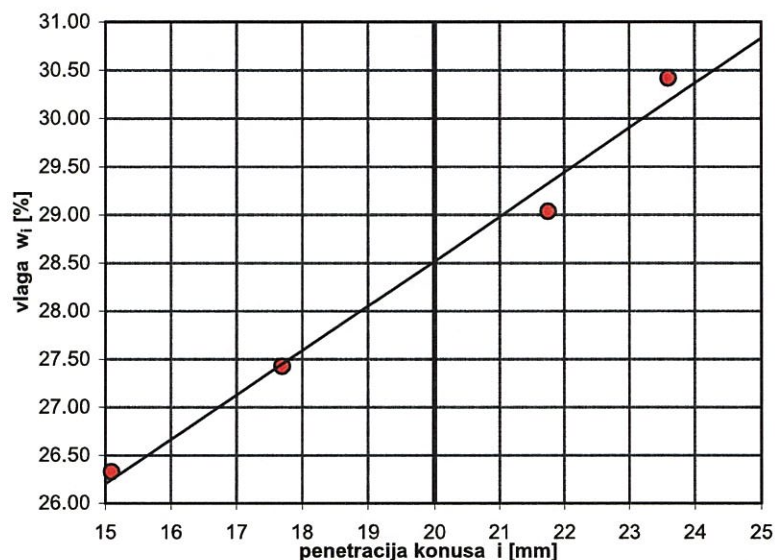
SIST - TS CEN ISO/TS 17892-12:2004

Zap.  
št.

9

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	19.8.2009
datum obdelave:	30.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Blaž Pečnik, abs.geol.

vzorec:	V - 7
globina:	14.6 - 14.9 m
material:	CL, pusta glina
oznaka vzorca:	Lm_V7_8



ostanek na situ 0,4mm

 $p_a$  : - [%]

naravna vlaga

 $w$  : 25.424 [%]

meja židkosti

 $w_L$  : 28.515 [%]

meja plastičnosti

 $w_P$  : 14.709 [%]

indeks plastičnosti

 $I_P$  : 13.81 [%]

## KONSISTENČNO STANJE

židko	lahkognetno	srednjegnetno	težkognetno	poltrdno	trdno
0	0.33	0.66	1.00	1.25	

indeks konsistence  $I_c$  [%]

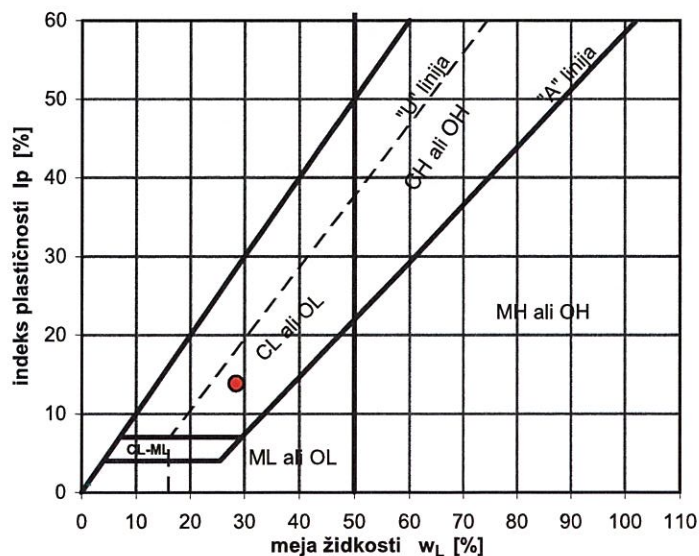
indeks konsistence

 $I_c$  : 0.22

indeks tečenja

 $I_L$  : 0.78

## DIAGRAM PLASTIČNOSTI (ASTM D 2487)

klasifikacija vzorca  
CL- lg. kons.priprava materiala za  $w_P$ :  
navlažen, pregneten,  
svaljkan na  
filterskem papirjupriprava materiala za  $w_L$ :  
navlažen,  
homogeniziran

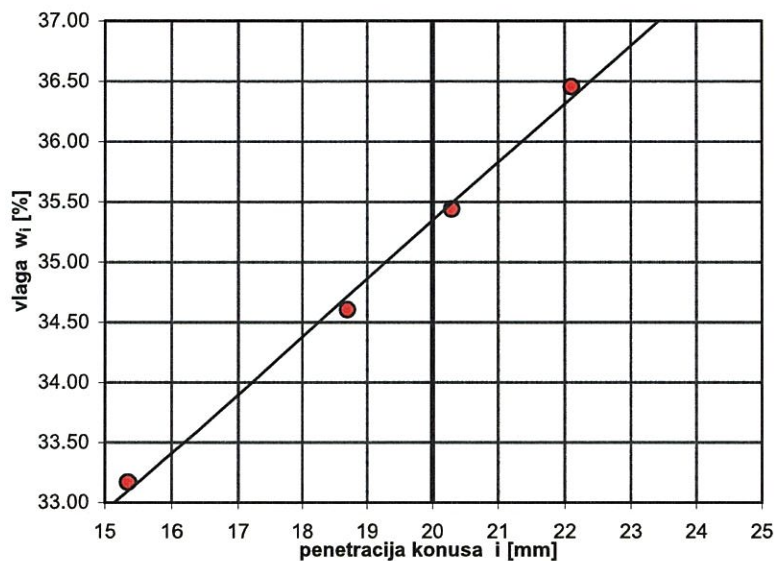
**UGOTAVLJANJE ATTERBERGOVIH MEJA PLASTIČNOSTI**

**PRESKUS S KONUSOM 80g/30°**  
 SIST - TS CEN ISO/TS 17892-12:2004

Zap.  
št.  
12

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	18.8.2009
datum obdelave:	30.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Blaž Pečnik, abs.geol.

vzorec:	V - 9
globina:	12.8 - 13.0 m
material:	CL, pusta glina s peskom
oznaka vzorca:	Lm_V9_2



ostanek na situ 0,4mm

 $p_a$  : - [%]

naravna vlaga

 $w$  : 21.914 [%]

meja židkosti

 $w_L$  : 35.345 [%]

meja plastičnosti

 $w_P$  : 15.403 [%]

indeks plastičnosti

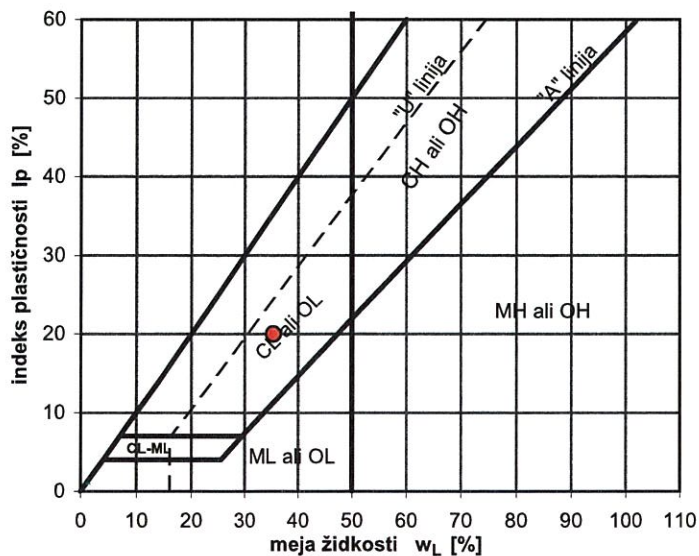
 $I_P$  : 19.94 [%]**KONSISTENČNO STANJE**

židko	lahkognetno	srednjegnetno	težkognetno	poltrdno	trdno
0	0.33	0.67	1.00	1.25	

indeks konsistence

 $I_c$  : 0.67

indeks tečenja

 $I_L$  : 0.33**DIAGRAM PLASTIČNOSTI (ASTM D 2487)**

klasifikacija vzorca  
**CL- tg. kons.**

priprava materiala za  $w_p$ :  
 navlažen, pregneten,  
 svaljkan na  
 filterskem papirju

priprava materiala za  $w_L$ :  
 navlažen,  
 homogeniziran



## PRILOGA 2

Preiskave zrnave sestave

## UGOTAVLJANJE ZRNAVOSTNE SESTAVE

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-4:2004

Zap  
št.

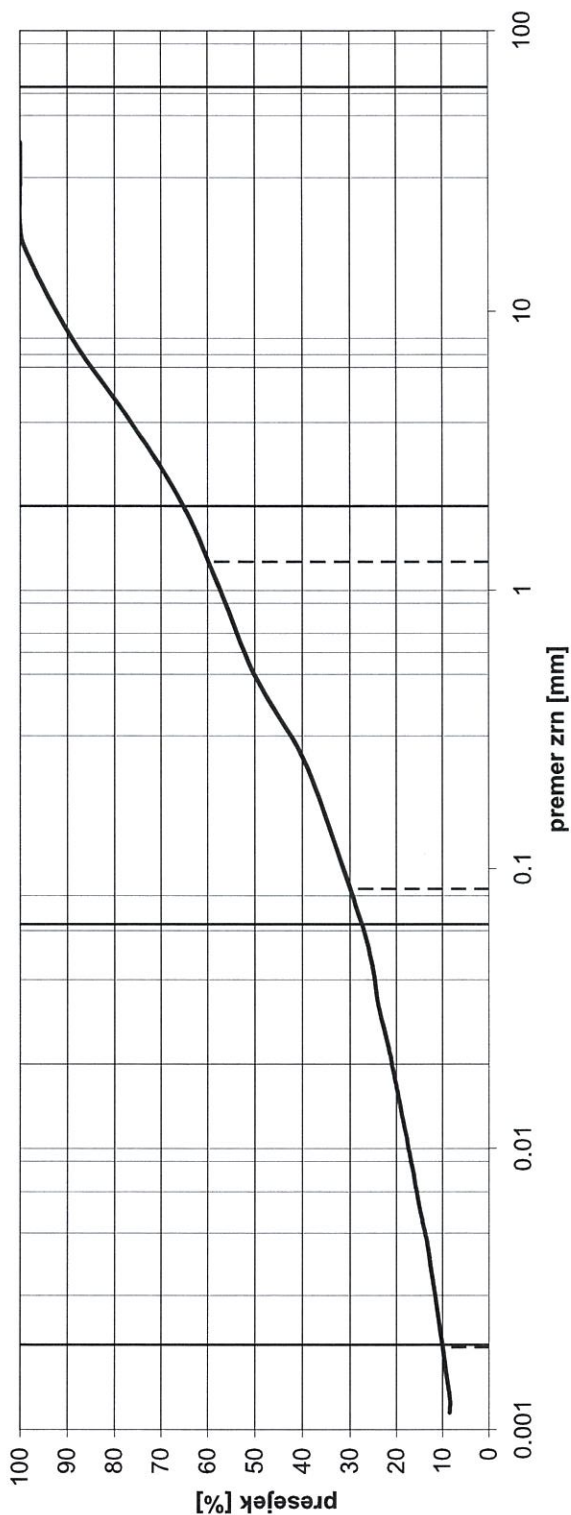
1

lokacija: 3. Akademije  
datum odvzema: 24.8.2009  
začetek raziskave: 1.10.2009  
konec raziskave: 5.10.2009

vrtna: V - 2  
globina: 8.0 - 10.0 m  
material: SM, zameljen pesek s prodrom

masa suhega vzorca pred preiskavo  $m_s(g)$ : 918.50  
masa suhega vzorca po preiskavi  $m_s'(g)$ : 918.34  
povp. vlaga vzorca pred preiskavo  $w_0(\%)$ : 2.794  
oznaka vzorca: Se\_V2\_16

GLINA	MELJ	PESEK			GRAMOZ		
		DROBNI	SREDNJI	DEBELI	DROBNI	SREDNJI	DEBELI




$D_{10} = 0.002$  mm  
 $D_{30} = 0.084$  mm  
 $D_{60} = 1.266$  mm

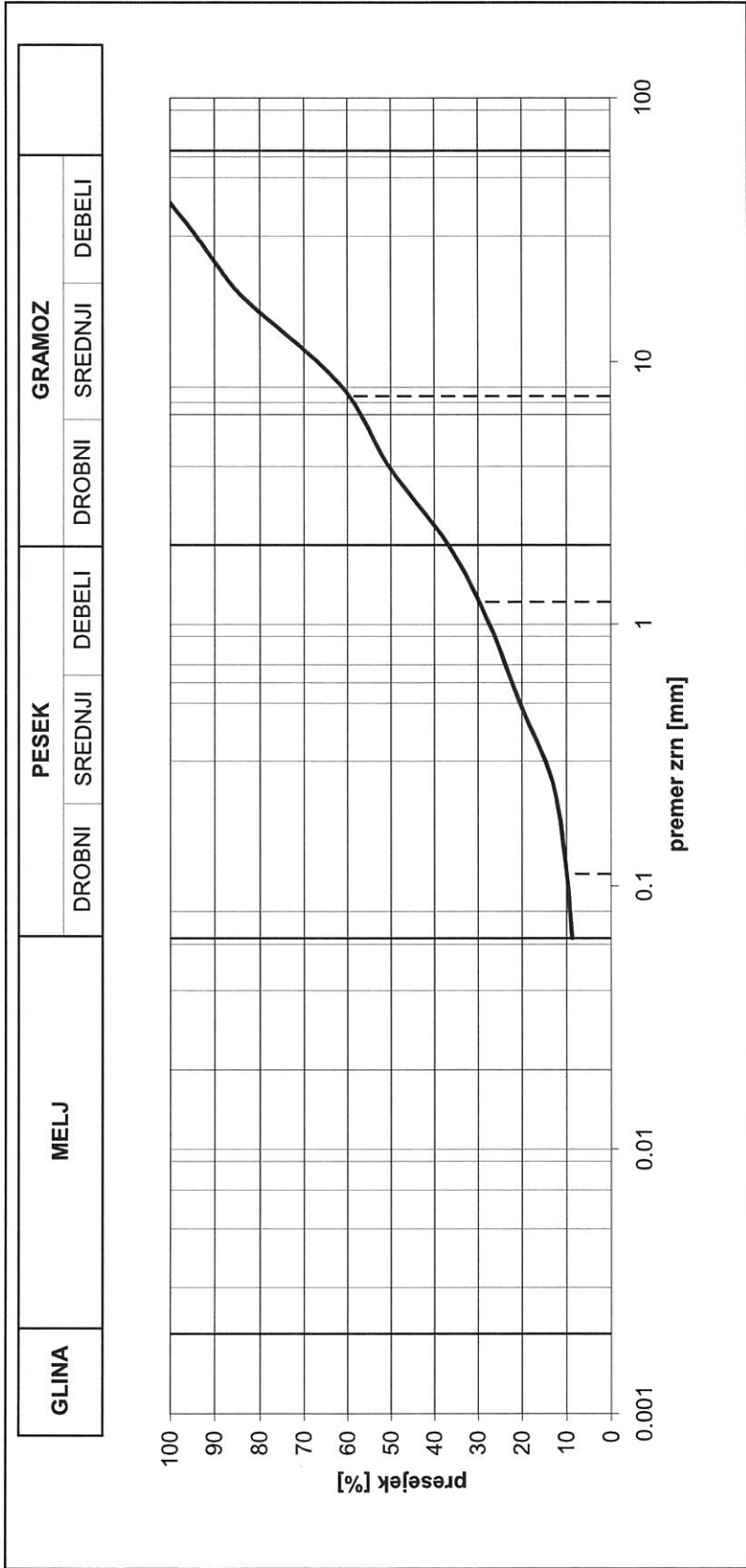
% zrn pod 0.063mm= 27.51%  
 $C_u = 647.10$   
 $C_c = 2.88$

OBDELAL: Maja Rojšek, u.d.i.geol.  
Miha Peternel, abs.geoteh.



 <b>IRGO</b> <small>INSTITUT ZA RUDARSTVO, GEOTEHNIKO IN OKOLJE</small> LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO	<b>UGOTAVLJANJE ZRNAVOSTNE SESTAVE</b> SIST - TS CEN ISO/TS 17892-4:2004		Zap št.
			3

lokacija: 3. Akademije datum odvzema: 27.8.2009 začetek raziskave: 15.9.2009 konec raziskave: 19.9.2009	vrtna: V - 3 globina: 12.0 - 13.3 m material: GW-GC, dobro granuliran prod z glino in peskom	masa suhega vzorca pred preiskavo $m_s(g)$ : 1342.80 masa suhega vzorca po preiskavi $m_s'(g)$ : 1333.84 povp. vlaga vzorca pred preiskavo $w_0(\%)$ : 5.617 oznaka vzorca: Se_V3_24
--	--	---



$D_{10} =$	0.111	mm	% zrn pod 0.063mm =	8.70%	<b>OBDELAL:</b> Maja Rojšek, u.d.i.geol. Miha Peternel, abs.geoteh.
$D_{30} =$	1.213	mm	$C_u =$	66.58	
$D_{60} =$	7.384	mm	$C_c =$	1.80	

## UGOTAVLJANJE ZRNAVOSTNE SESTAVE

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-4:2004

Zap  
šl.

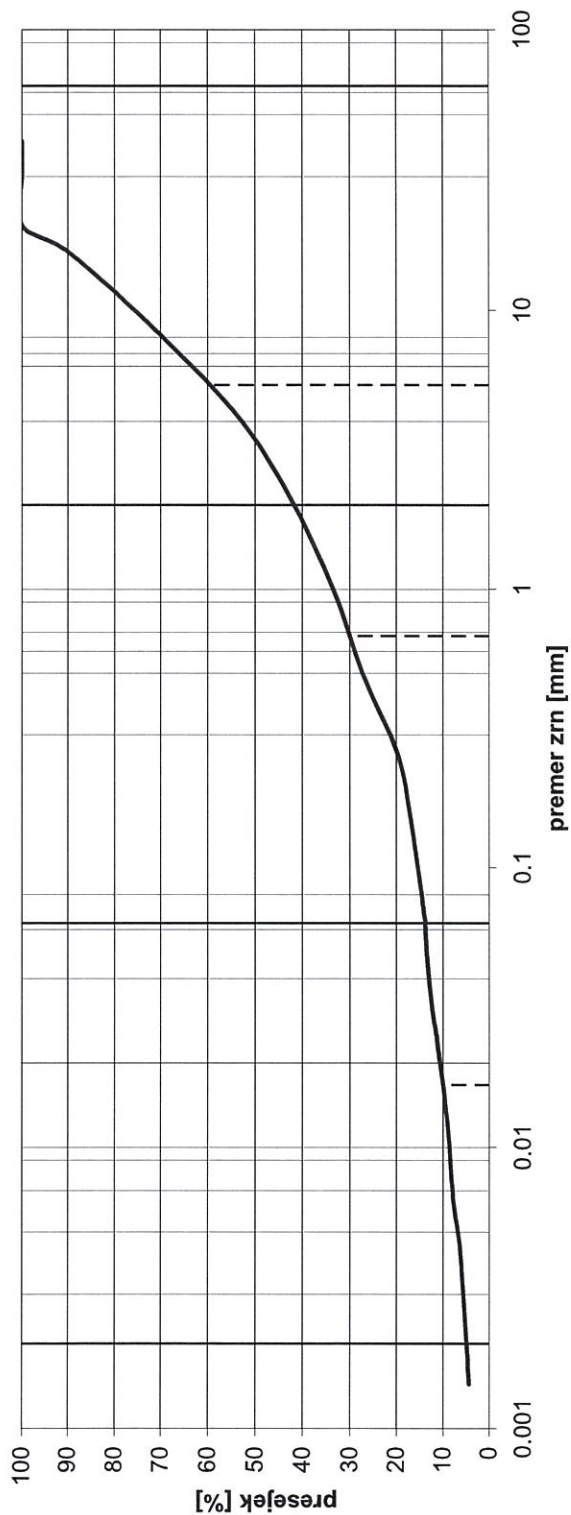
6

lokacija: 3. Akademije  
datum odvzema: 21.8.2009  
začetek raziskave: 1.10.2009  
konec raziskave: 5.10.2009

vrtna: V - 6  
globina: 6.0 - 8.0 m  
material: GM, zameljen prod s peskom

masa suhega vzorca pred preiskavo  $m_s(g)$ : 1565.12  
masa suhega vzorca po preiskavi  $m_s(g)$ : 1563.46  
povp. vlaga vzorca pred preiskavo  $w_0(\%)$ : 0.975  
oznaka vzorca: Se\_V6\_11

GLINA	MELJ	PESEK			GRAMOZ		
		DROBNI	SREDNJI	DEBELI	DROBNI	SREDNJI	DEBELI



$D_{10} = 0.017$  mm  
 $D_{30} = 0.078$  mm  
 $D_{60} = 0.385$  mm

% zrn pod 0.063mm = 13.66%  
 $C_u = 323.35$   
 $C_c = 5.13$

OBDELAL: Maja Rojšek, u.d.i.geol.  
Miha Peternel, abs.geoteh.



## UGOTAVLJANJE ZRNAVOSTNE SESTAVE

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-4:2004

Zap  
šl.

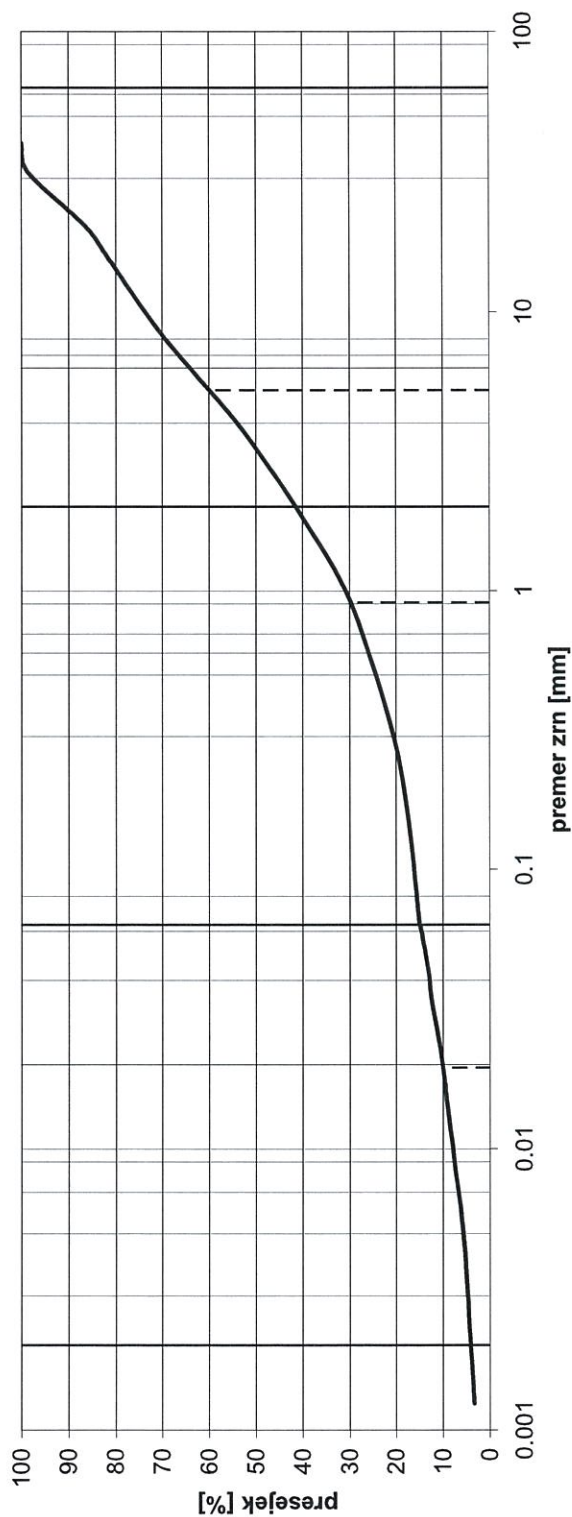
8

lokacija: 3. Akademije  
datum odvzema: 19.8.2009  
začetek raziskave: 15.9.2009  
konec raziskave: 19.9.2009

vršina: VT - 7  
globina: 6.2 - 9.4 m  
material: GC, zaglinjen prod s peskom

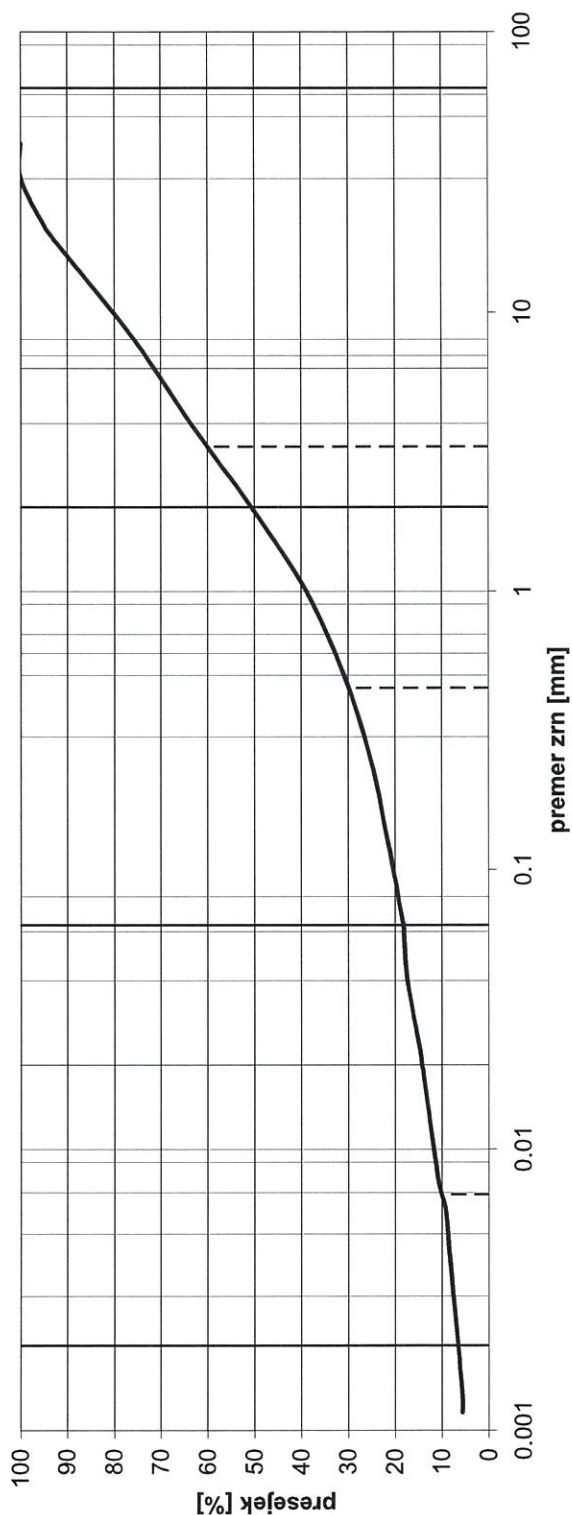
masa suhega vzorca pred preiskavo  $m_s(g)$ : 1238.46  
masa suhega vzorca po preiskavi  $m_s(g)$ : 1238.13  
povp. vlaga vzorca pred preiskavo  $w_0(\%)$ : 1.986  
oznaka vzorca: Se\_V7\_6

GLINA	MELJ	PESEK			GRAMOZ		
		DROBNI	SREDNJI	DEBELI	DROBNI	SREDNJI	DEBELI



masa suhega vzorca pred preiskavo  $m_s(g)$ : 875.34  
masa suhega vzorca po preiskavi  $m_s'(g)$ : 874.44  
povp. vlaga vzorca pred preiskavo  $w_0(\%)$ : 1.033  
oznaka vzorca: Se\_V8(P)\_27

GLINA	MELJ	PESEK			GRAMOZ		
		DROBNJ	SREDNJI	DEBELI	DROBNJ	SREDNJI	DEBELI



**OBDELAL:** Maja Rojšek, u.d.i.geol.  
Miha Peternel, abs.geoteh.



# UGOTAVLJANJE ZRNAVOSTNE SESTAVE

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-4:2004

Zap  
št.

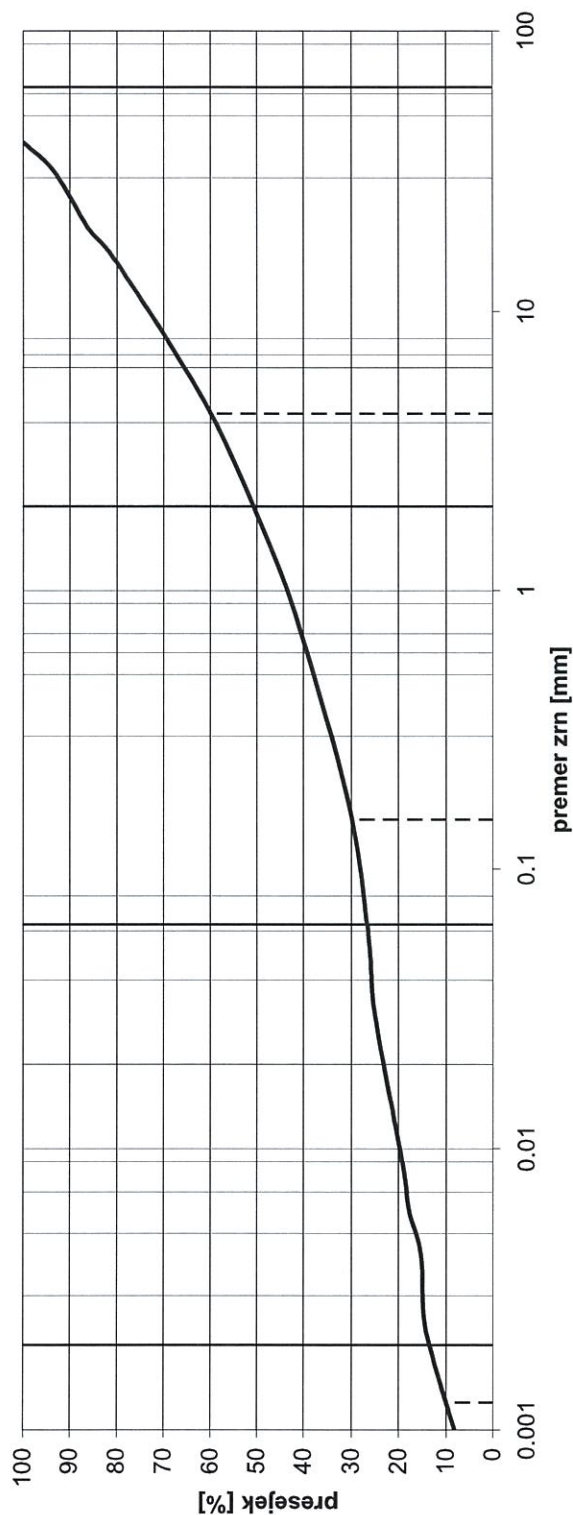
11

lokacija: 3. Akademije  
 datum odvzema: 18.8.2009  
 začetek raziskave: 1.10.2009  
 konec raziskave: 5.10.2009

vrtna: V - 9  
 globina: 9.0 - 11.0 m  
 materiali: GM, zameljen prod s peskom

masa suhega vzorca pred preiskavo  $m_s(g)$ : 999.12  
 masa suhega vzorca po preiskavi  $m_s'(g)$ : 998.85  
 povp. vlaga vzorca pred preiskavo  $w_0(\%)$ : 1.267  
 oznaka vzorca: Se\_V9\_1

GLINA	MELJ	PESEK			GRAMOZ		
		DROBNI	SREDNJI	DEBELI	DROBNI	SREDNJI	DEBELI



$D_{10} = 0.001$  mm  
 $D_{30} = 0.150$  mm  
 $D_{60} = 4.297$  mm

% zrn pod 0.063mm = 26.61%  
 $C_u = 3438.95$   
 $C_c = 4.19$

OBDELAL: Maja Rojšek, u.d.i.geol.  
 Miha Petermel, abs.geotech.

### PRILOGA 3

Preiskave trdnosti zemljine z direktnim strigom





LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO

## STRIŽNA TRDNOST ZEMLJIN

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-10:2004

Zap.
št.
2

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	24.8.2009
datum raziskav:	2.10.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Miha Peternel, abs.geoteh.

vrtna:	V - 2
globina:	13.4 - 13.6 m
material:	SC, zaglinjen pesek
oznaka vzorca:	S1_V5_18

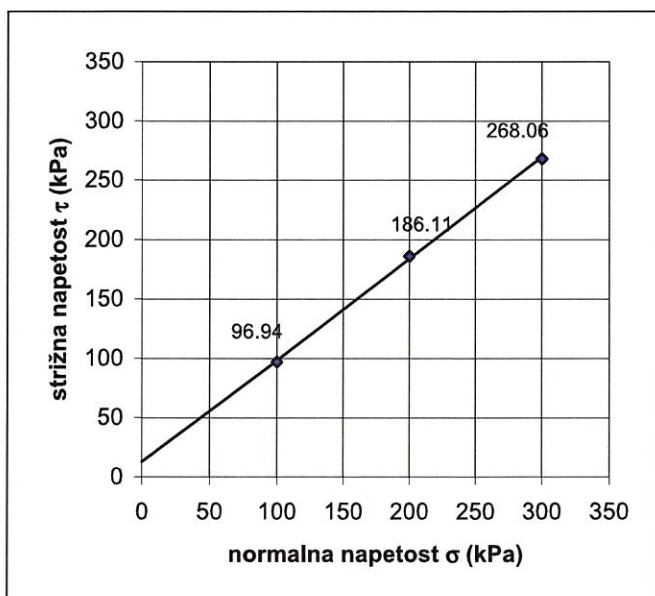
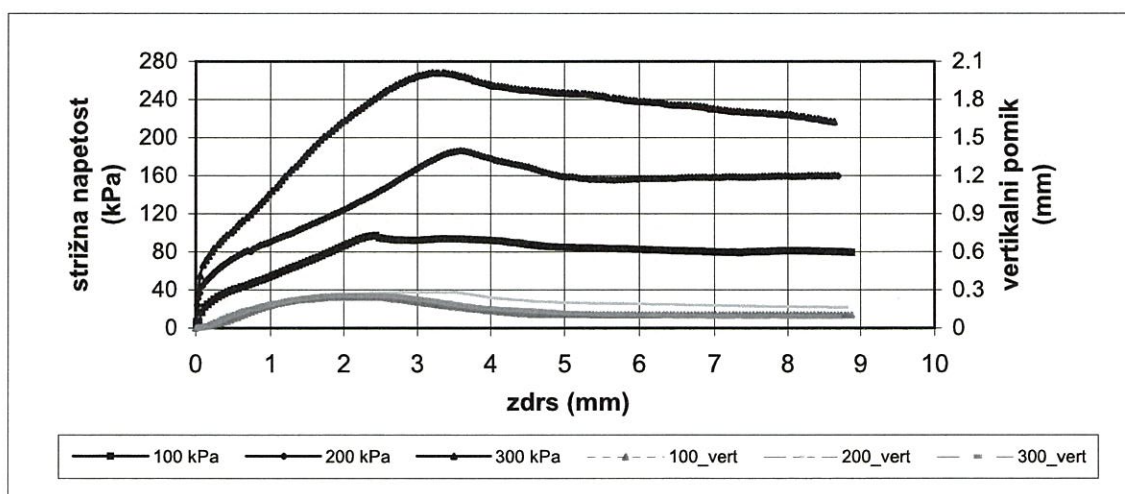
dimenzije vzorca:	širina = 5.90 cm, višina = 2.3 cm, prerez = 34.8 cm <sup>2</sup> , volumen = 80.06 cm <sup>3</sup>
vzorec:	intakten, konsolidiran in preplavljen

hitrost stiga:	$\sigma$ (kPa):	100	200	300
	v [mm/min] =	0.233	0.237	0.225

naravna vlaga pred strigom ( $\omega$ ):	14.236 %
--	----------

vlaga po strigu :	$\sigma$ (kPa):	100	200	300
	w(%):	12.059	11.614	10.992
	w <sub>pov</sub> (%):	11.555		

prostorninska teža ( $\gamma$ ) =	22.648 kN/m <sup>3</sup>
gostota( $\rho$ ) =	2.309 Mg/m <sup>3</sup>
suha gostota ( $\rho_d$ ) =	2.021 Mg/m <sup>3</sup>



$\phi =$	40.5 °
$c =$	12.6 kPa



LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO

## STRIŽNA TRDNOST ZEMLJIN

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-10:2004

Zap.

št.

2

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	24.8.2009
datum raziskav:	6.10.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Miha Peternel, abs.geotech.

vrtnina:	V - 2
globina:	13.4 - 13.6 m
material:	SC, zaglinjen pesek
oznaka vzorca:	S1_V5_18porušen

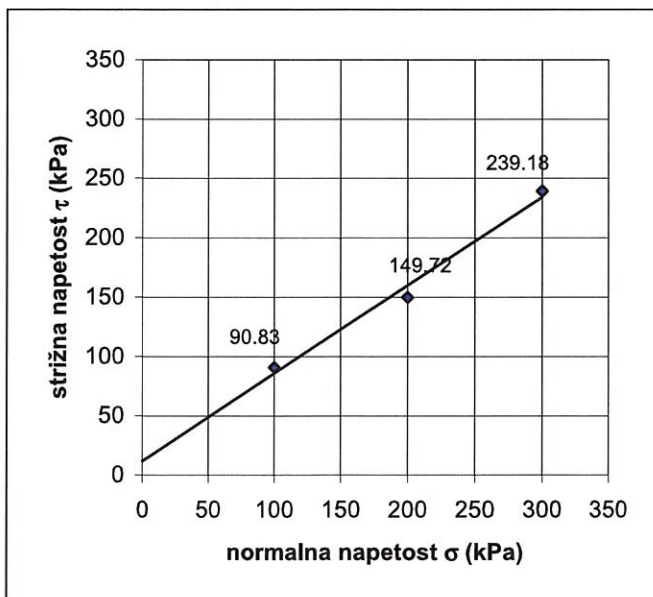
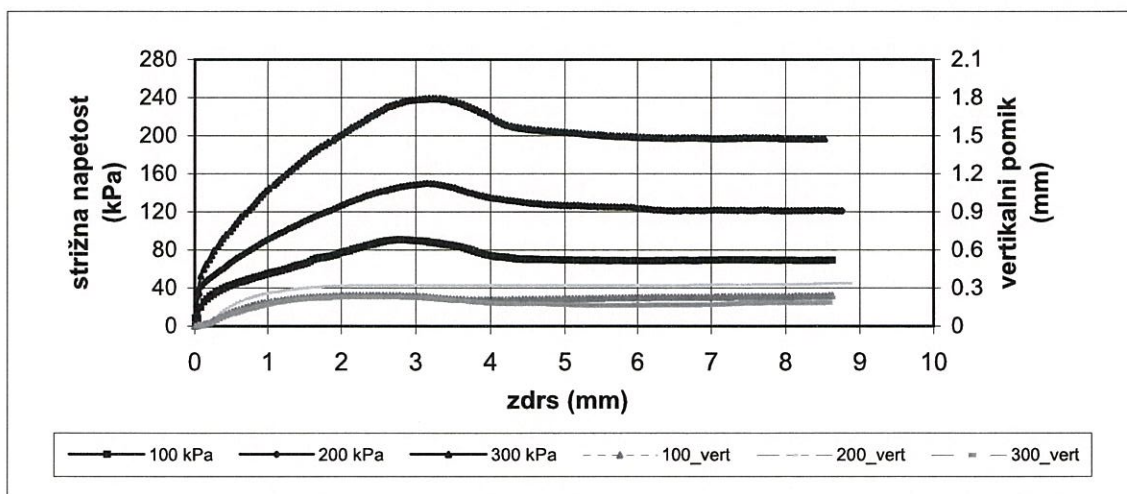
dimenzije vzorca:	širina = 5.90 cm, višina = 2.3 cm, prerez = 34.8 cm <sup>2</sup> , volumen = 80.06 cm <sup>3</sup>
vzorec:	porušen, konsolidiran in preplavljen

hitrost stiga:	$\sigma$ (kPa):	100	200	300
	v [mm/min] =	0.226	0.227	0.242

naravna vlaga pred strigom ( $\omega$ ):	19.672 %
--	----------

vlaga po strigu :	$\sigma$ (kPa):	100	200	300
	w(%):	13.231	12.491	12.011
	w <sub>pov</sub> (%):	12.578		

prostorninska teža ( $\gamma$ ) =	22.648 kN/m <sup>3</sup>
gostota ( $\rho$ ) =	2.309 Mg/m <sup>3</sup>
suha gostota ( $\rho_d$ ) =	1.929 Mg/m <sup>3</sup>



$\phi =$	36.6 °
$c =$	11.6 kPa





LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO

## STRIŽNA TRDNOST ZEMLJIN

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-10:2004

Zap.
št.
5

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	21.8.2009
datum raziskav:	30.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Miha Peternel, abs.geotech.

vrtna:	V - 5
globina:	12.5 - 12.7 m
material:	CL, pusta glina
oznaka vzorca:	S1_V5_28

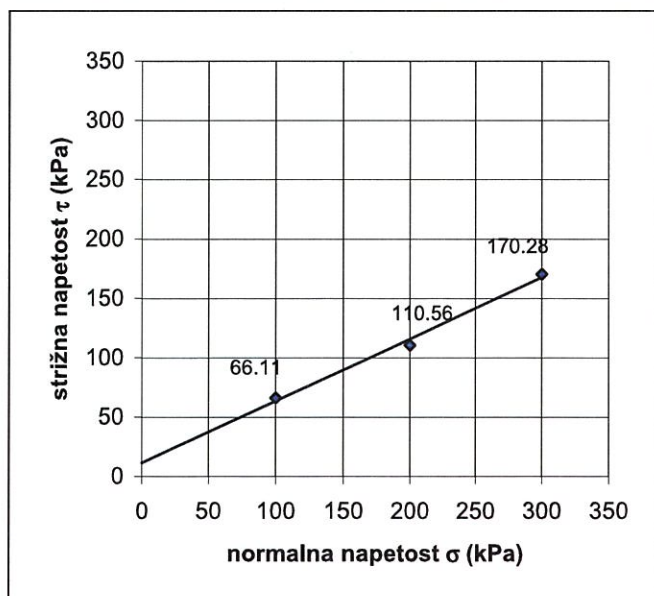
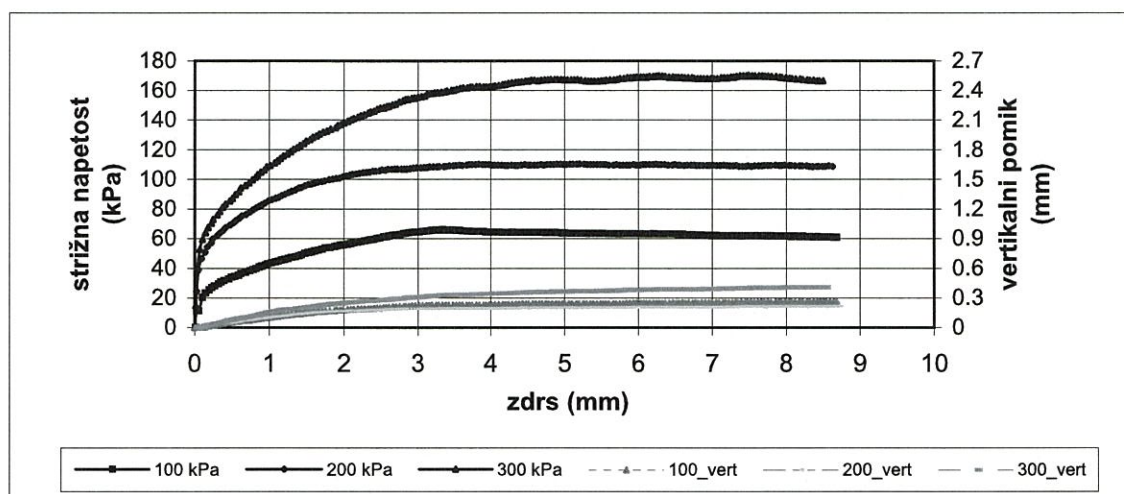
dimenzije vzorca:	širina = 5.90 cm, višina = 2.3 cm, prerez = 34.8 cm <sup>2</sup> , volumen = 80.06 cm <sup>3</sup>
vzorec:	intakten, konsolidiran in preplavljen

hitrost stiga:	$\sigma$ (kPa):	100	200	300
	v [mm/min] =	0.150	0.139	0.120

naravna vlaga pred strigom ( $\omega$ ):	23.050 %
--	----------

vlaga po strigu :	$\sigma$ (kPa):	100	200	300
	w(%):	19.248	19.147	18.583
	w <sub>pov</sub> (%):	18.993		

prostorninska teža ( $\gamma$ ) =	20.395 kN/m <sup>3</sup>
gostota( $\rho$ ) =	2.079 Mg/m <sup>3</sup>
suha gostota ( $\rho_d$ ) =	1.690 Mg/m <sup>3</sup>



$\phi =$	27.5 °
$c =$	11.5 kPa



LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO

## STRIŽNA TRDNOST ZEMLJIN

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-10:2004

Zap.
št.
7

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	21.8.2009
datum raziskav:	30.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Miha Peternel, abs.geoteh.

vrtna:	V - 6
globina:	14.5 - 14.8 m
material:	CL, pusta glina
oznaka vzorca:	S2_V6_12

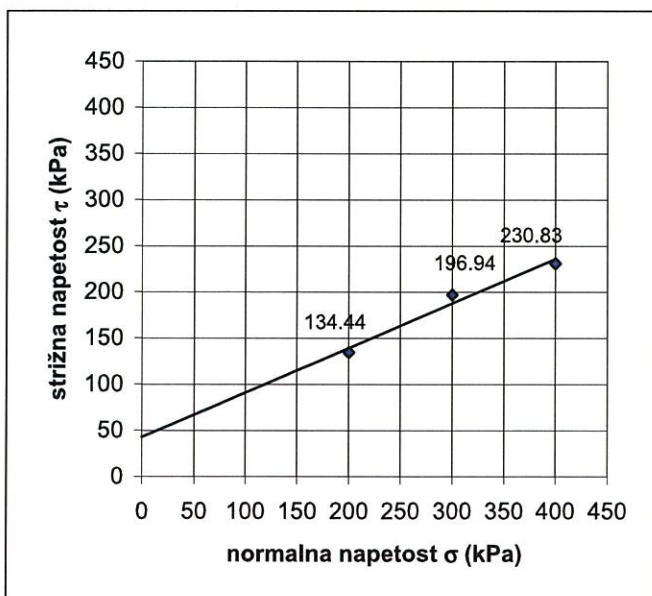
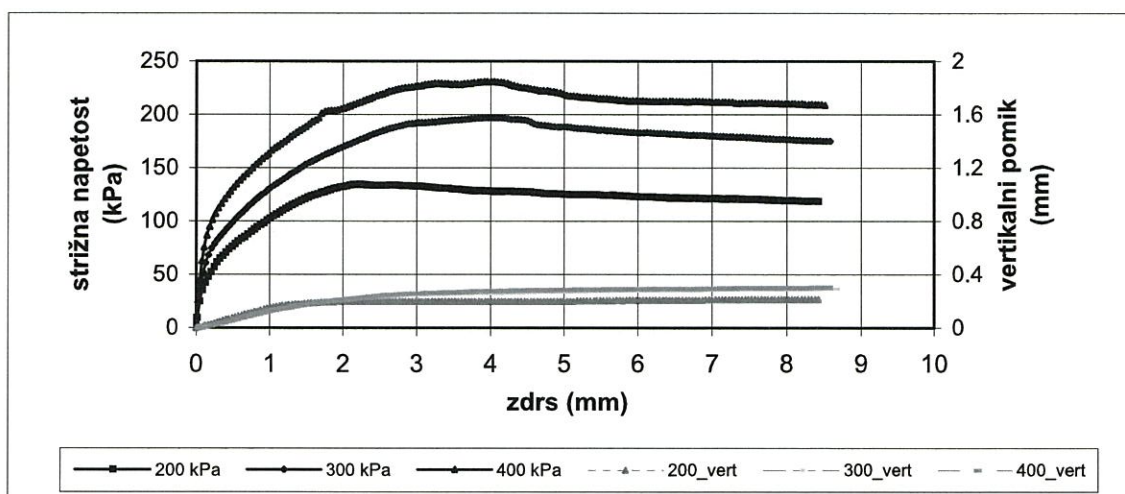
dimenzije vzorca:	širina = 5.90 cm, višina = 2.3 cm, prerez = 34.8 cm <sup>2</sup> , volumen = 80.06 cm <sup>3</sup>
vzorec:	intakten, konsolidiran in preplavljen

hitrost stiga:	$\sigma$ (kPa):	200	300	400
	v [mm/min] =	0.157	0.141	0.116

naravna vlaga pred strigom ( $\omega$ ):	21.434 %
--	----------

vlaga po strigu :	$\sigma$ (kPa):	200	300	400
	w(%):	19.391	19.382	19.150
	w <sub>pov</sub> (%):	19.308		

prostorninska teža ( $\gamma$ ) =	20.415 kN/m <sup>3</sup>
gostota( $\rho$ ) =	2.081 Mg/m <sup>3</sup>
suha gostota ( $\rho_d$ ) =	1.714 Mg/m <sup>3</sup>



$\phi =$	25.7 °
$c =$	42.8 kPa





LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO

## STRIŽNA TRDNOST ZEMLJIN

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-10:2004

Zap.
št.
9

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	19.8.2009
datum raziskav:	23.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Miha Peternel, abs.geoteh.

vrtna:	V - 7
globina:	14.6 - 14.9 m
material:	CL, pusta glina
oznaka vzorca:	S1_V7_8porušen

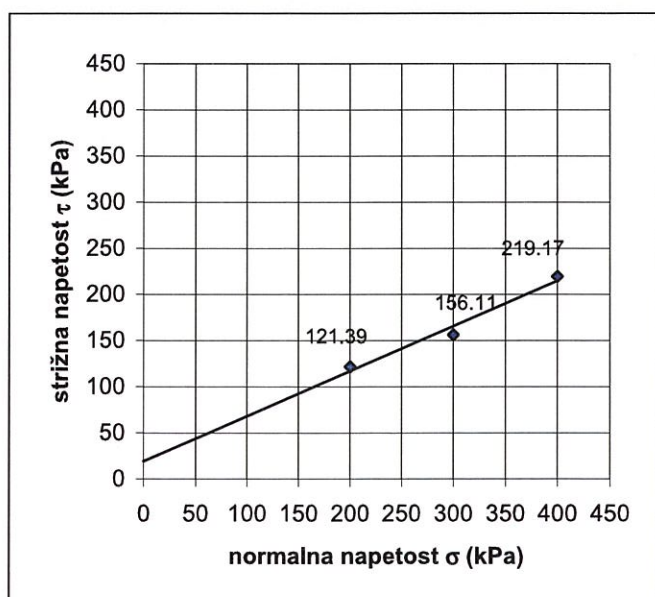
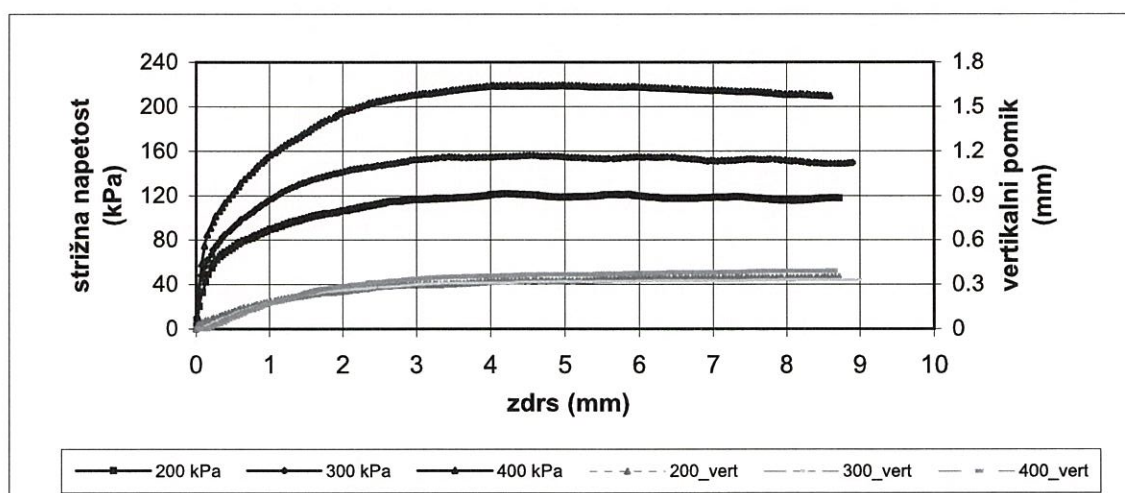
dimenzije vzorca:	širina = 5.90 cm, višina = 2.3 cm, prerez = 34.8 cm <sup>2</sup> , volumen = 80.06 cm <sup>3</sup>
vzorec:	porušen, konsolidiran in preplavljen

hitrost stiga:	$\sigma$ (kPa):	200	300	400
	v [mm/min] =	0.027	0.027	0.027

naravna vlaga pred strigom ( $\omega$ ):	25.424 %
--	----------

vlaga po strigu :	$\sigma$ (kPa):	200	300	400
	w(%):	18.178	17.855	17.142
	w <sub>pov</sub> (%):	17.725		

prostorninska teža ( $\gamma$ ) =	20.441 kN/m <sup>3</sup>
gostota( $\rho$ ) =	2.084 Mg/m <sup>3</sup>
suha gostota ( $\rho_d$ ) =	1.661 Mg/m <sup>3</sup>



$\phi =$	26.1 °
$c =$	18.9 kPa



LABORATORIJ ZA GEOTEHNIKO

## STRIŽNA TRDNOST ZEMLJIN

SIST - TS CEN ISO/TS 17892-10:2004

Zap.

št.

12

lokacija:	3 AKADEMIJE, Ljubljana
datum odvzema:	14.5.2009
datum raziskav:	17.9.2009
obdelal:	Maja Rojšek, u.d.i.geol. Miha Peternel, abs.geotech.

vrtna:	V - 9
globina:	12.8 - 13.0 m
material:	CL, pusta glina s peskom
oznaka vzorca:	S1_V9_2

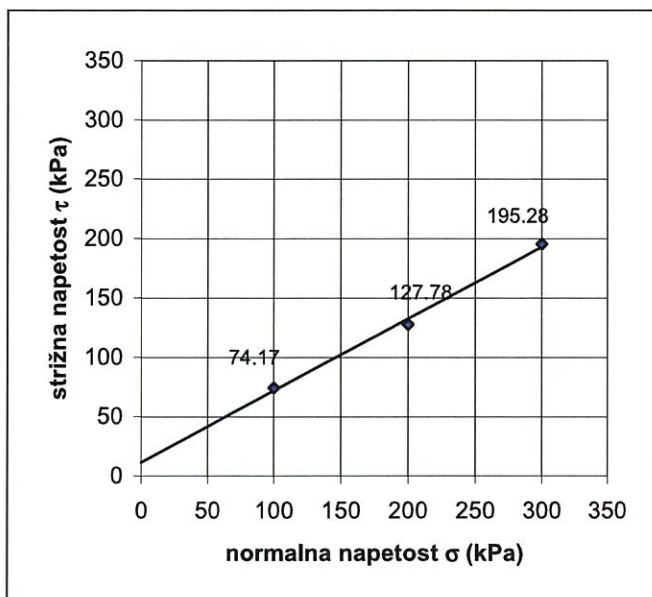
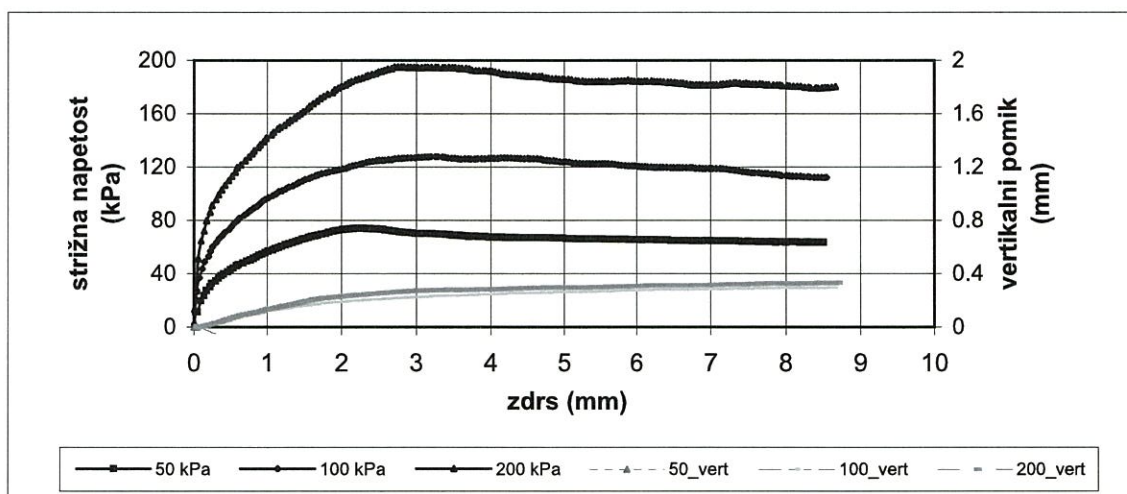
dimenzije vzorca:	širina = 5.90 cm, višina = 2.3 cm, prerez = 34.8 cm <sup>2</sup> , volumen = 80.06 cm <sup>3</sup>
vzorec:	intakten, konsolidiran in preplavljen

hitrost stiga:	$\sigma$ (kPa):	100	200	300
	v [mm/min] =	0.102	0.106	0.112

naravna vlaga pred strigom ( $\omega$ ):	21.914 %
--	----------

vlaga po strigu :	$\sigma$ (kPa):	100	200	300
	w(%):	22.291	20.466	19.992
	w <sub>pov</sub> (%):	20.916		

prostorninska teža ( $\gamma$ ) =	19.990 kN/m <sup>3</sup>
gostota ( $\rho$ ) =	2.038 Mg/m <sup>3</sup>
suha gostota ( $\rho_d$ ) =	1.671 Mg/m <sup>3</sup>



$\phi =$	31.2 °
$c =$	11.3 kPa



**PRILOGA G.5.1:**    *Izračun nosilnosti temeljnih tal*

**PRILOGA G.5.1 A:**  
**IZRAČUN NOSILNOSTI TEMELJNIH TAL**  
**VODA NIŽJE OD TEMELJEV**



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,50m  
voda ne vpliva na nosilnost tal

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

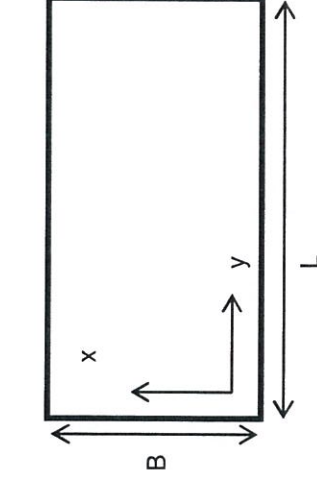
$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	2	m pod koto izkopa

#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,50	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

Izračun	$q' =$	15,20	kPa
$D^* =$	0,80	m	
$B^* =$	0,50	m	
$N_q =$	37,75		
$N_c =$	50,59		
$N_\gamma =$	53,40		
$e_x =$	0,00	m	
$e_y =$	0,00	m	
$B' =$	0,50	m	
$L' =$	10,00	m	
$s_q =$	1,029		
$s_c =$	1,030		
$s_\gamma =$	0,985		
$i_q =$	1,000		
$i_c =$	1,000		
$i_\gamma =$	1,000		

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 5 \text{ m}^2$$

$$R_d = 3\,002 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 600 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 300 \text{ kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,60m  
voda ne vpliva na nosilnost tal

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	2	m pod koto izkopa

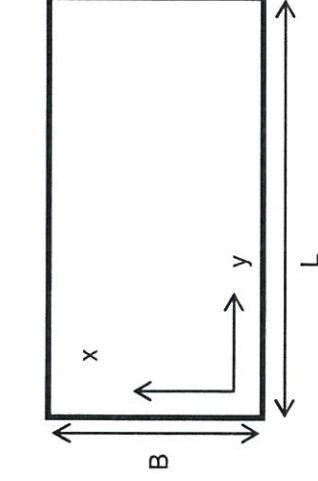
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,60	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	15,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	0,60	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	0,60	m
$L'$	=	10,00	m
$s_q$	=	1,035	
$s_c$	=	1,036	
$s_\gamma$	=	0,982	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 6 \text{ m}^2$$

$$R_d = 3\,827 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 638 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 383 \text{ kN/m}^2$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,80m  
voda ne vpliva na nosilnost tal

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	2	m pod koto izkopa

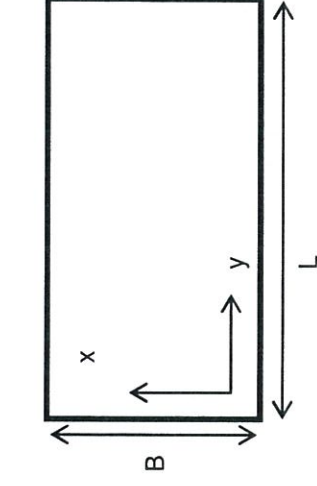
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,80	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	15,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	0,80	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	0,80	m
$L'$	=	10,00	m
$s_q$	=	1,047	
$s_c$	=	1,048	
$s_\gamma$	=	0,976	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 8 \text{ m}^2$$

$$R_d = 5\,697 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 712 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 570 \text{ kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 1,00m  
voda ne vpliva na nosilnost tal

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

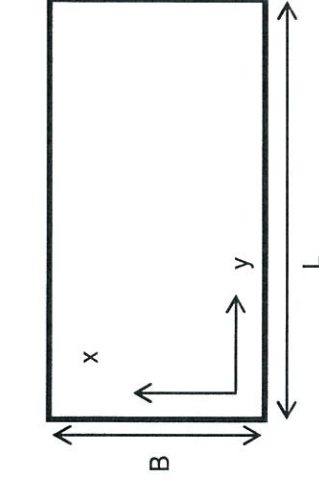
$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	2	m pod koto izkopa

#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,00	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

Izračun		
$q'$	=	15,20 kPa
$D^*$	=	0,80 m
$B^*$	=	1,00 m
$N_q$	=	37,75
$N_c$	=	50,59
$N_\gamma$	=	53,40
$e_x$	=	0,00 m
$e_y$	=	0,00 m
$B'$	=	1,00 m
$L'$	=	10,00 m
$s_q$	=	1,059
$s_c$	=	1,060
$s_\gamma$	=	0,970
$i_q$	=	1,000
$i_c$	=	1,000
$i_\gamma$	=	1,000

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 10 \text{ m}^2$$

$$R_d = 7\,855 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 785 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 785 \text{ kN/m}^2$$



## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

točkovni temelji dimenzij 1,00x1,00m  
voda ne vpliva na nosilnost tal

### Vhodni podatki

### Materialne karakteristike

prod

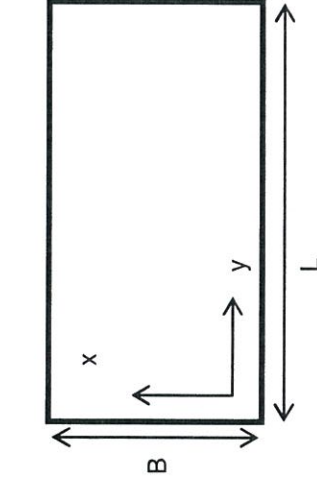
$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	2	m pod koto izkopa

### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,00	m - v smeri x
L	=	1,00	m - v smeri y

Izračun	$q'$	=	15,20	kPa
	$D^*$	=	0,80	m
	$B^*$	=	1,00	m
	$N_q$	=	37,75	
	$N_c$	=	50,59	
	$N_\gamma$	=	53,40	
	$e_x$	=	0,00	m
	$e_y$	=	0,00	m
	$B'$	=	1,00	m
	$L'$	=	1,00	m
	$s_q$	=	1,588	
	$s_c$	=	1,604	
	$s_\gamma$	=	0,700	
	$i_q$	=	1,000	
	$i_c$	=	1,000	
	$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$R_d = 904 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 904 \text{ kPa}$$

Nosilnost temeljnih tal

3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 1,50x1,50m  
voda ne vpliva na nosilnost tal

Vhodni podatki

Materialne karakteristike

prod

c'	=	0	kPa
φ'	=	36	°
γ	=	19	kN/m <sup>3</sup>
z <sub>w</sub>	=	2	m pod koto izkopa

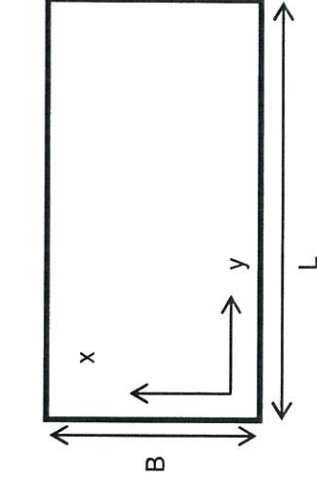
Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,50	m - v smeri x
L	=	1,50	m - v smeri y

Izračun

q'	=	15,20	kPa
D*	=	0,80	m
B*	=	1,50	m
N <sub>q</sub>	=	37,75	
N <sub>c</sub>	=	50,59	
N <sub>γ</sub>	=	53,40	
e <sub>x</sub>	=	0,00	m
e <sub>y</sub>	=	0,00	m
B'	=	1,50	m
L'	=	1,50	m
S <sub>q</sub>	=	1,588	
S <sub>c</sub>	=	1,604	
S <sub>γ</sub>	=	0,700	
i <sub>q</sub>	=	1,000	
i <sub>c</sub>	=	1,000	
i <sub>γ</sub>	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$S_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$S_c = \frac{S_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$S_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

A = 2,25 m<sup>2</sup>

R<sub>d</sub> = 2 320 kN

q<sub>R,d</sub> = 1 031 kPa



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

točkovni temelji dimenzij 2,00×2,00m  
voda ne vpliva na nosilnost tal

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	2	m pod koto izkopa

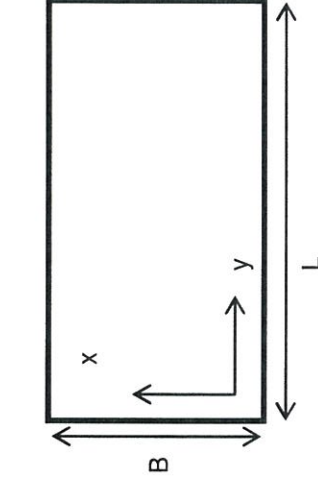
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	2,00	m - v smeri x
L	=	2,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	15,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	2,00	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	2,00	m
$L'$	=	2,00	m
$s_q$	=	1,588	
$s_c$	=	1,604	
$s_\gamma$	=	0,700	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 4 \text{ m}^2$$

$$R_d = 4\,633 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 1\,158 \text{ kPa}$$

**PRILOGA G.5. 1 B:**  
**IZRAČUN NOSILNOSTI TEMELJNIH TAL**  
**VODA NA DNU TEMELJEV**



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,50m  
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0,7	m pod koto izkopa

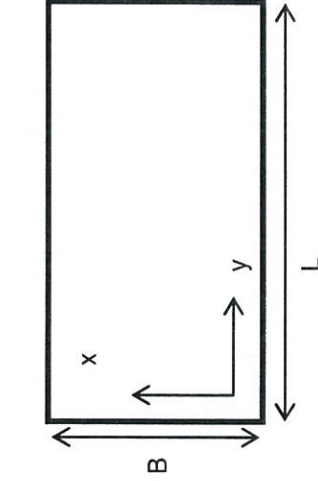
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,50	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	14,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,50	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,50	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,029	
$s_c =$	1,030	
$s_\gamma =$	0,985	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 5 \text{ m}^2$$

$$R_d = 2\,863 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 573 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 286 \text{ kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,60m  
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0,7	m pod koto izkopa

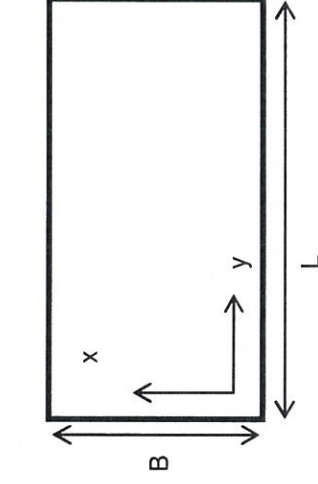
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,60	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	14,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	0,60	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	0,60	m
$L'$	=	10,00	m
$s_q$	=	1,035	
$s_c$	=	1,036	
$s_\gamma$	=	0,982	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 6 \text{ m}^2$$

$$R_d = 3\,660 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 610 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 366 \text{ kN/m}^2$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,80m  
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0,7	m pod koto izkopa

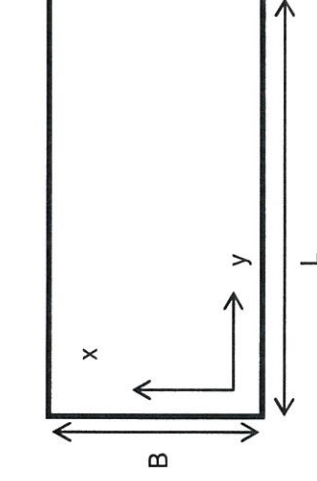
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,80	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	14,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	0,80	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	0,80	m
$L'$	=	10,00	m
$s_q$	=	1,047	
$s_c$	=	1,048	
$s_\gamma$	=	0,976	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 8 \text{ m}^2$$

$$R_d = 5\,471 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 684 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 547 \text{ kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temeli širine 1,00m  
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

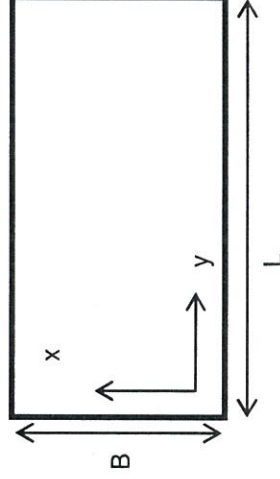
$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0,7	m pod koto izkopa

#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,00	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

Izračun			
$q' =$	14,20	kPa	
$D^* =$	0,80	m	
$B^* =$	1,00	m	
$N_q =$	37,75		
$N_c =$	50,59		
$N_\gamma =$	53,40		
$e_x =$	0,00	m	
$e_y =$	0,00	m	
$B' =$	1,00	m	
$L' =$	10,00	m	
$s_q =$	1,059		
$s_c =$	1,060		
$s_\gamma =$	0,970		
$i_q =$	1,000		
$i_c =$	1,000		
$i_\gamma =$	1,000		

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 10 \text{ m}^2$$

$$R_d = 7\,569 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 757 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 757 \text{ kN/m}^2$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

točkovni temelji dimenzij  $1,00 \times 1,00 \text{ m}$   
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

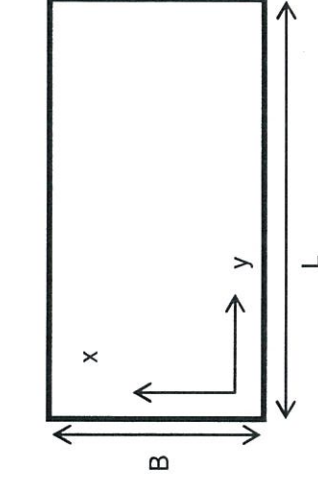
$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0,7	m pod koto izkopa

#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,00	m - v smeri x
L	=	1,00	m - v smeri y

Izračun			
$q' =$	14,20	kPa	
$D^* =$	0,80	m	
$B^* =$	1,00	m	
$N_q =$	37,75		
$N_c =$	50,59		
$N_\gamma =$	53,40		
$e_x =$	0,00	m	
$e_y =$	0,00	m	
$B' =$	1,00	m	
$L' =$	1,00	m	
$s_q =$	1,588		
$s_c =$	1,604		
$s_\gamma =$	0,700		
$i_q =$	1,000		
$i_c =$	1,000		
$i_\gamma =$	1,000		

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$R_d = 862 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 862 \text{ kPa}$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

točkovni temeli dimenzij  $1,50 \times 1,50 \text{ m}$   
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

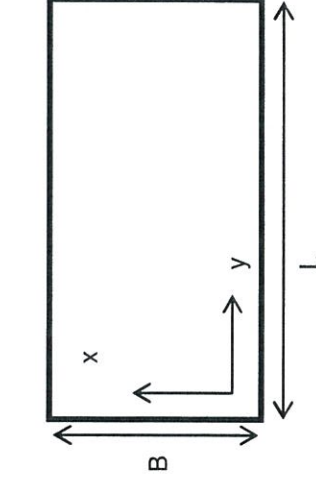
$c' =$	0	kPa
$\varphi' =$	36	°
$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w =$	0,7	m pod koto izkopa

#### Dimenzije temelja

$D =$	0,80	m pod koto izkopa
$B =$	1,50	m - v smeri x
$L =$	1,50	m - v smeri y

$q' =$	14,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	1,50	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	1,50	m
$L' =$	1,50	m
$s_q =$	1,588	
$s_c =$	1,604	
$s_\gamma =$	0,700	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 2,25 \text{ m}^2$$

$$R_d = 2\,224 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 988 \text{ kPa}$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3. Akademije

točkovni temelji dimenzij 2,00x2,00m  
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0,7	m pod koto izkopa

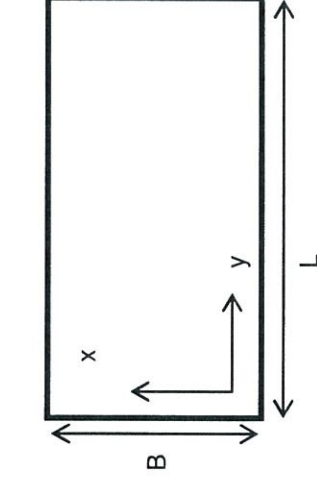
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	2,00	m - v smeri x
L	=	2,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	14,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	2,00	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	2,00	m
$L'$	=	2,00	m
$s_q$	=	1,588	
$s_c$	=	1,604	
$s_\gamma$	=	0,700	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 4 \text{ m}^2$$

$$R_d = 4\,461 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 1\,115 \text{ kPa}$$

**PRILOGA G.5. 1 C:**  
**IZRAČUN NOSILNOSTI TEMELJNIH TAL**  
**TEMELJI SO POTOPLJENI**



## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

pasovni temeli širine 0,50m  
temelji so potopljeni

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

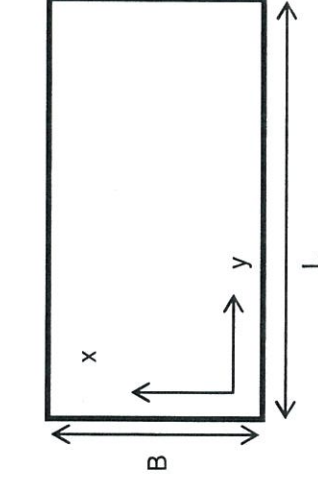
prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0	m pod koto izkopa

#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,50	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 5 \text{ m}^2$$

$$R_d = 1892 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 378 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 189 \text{ kN/m}^2$$

$$q' = 7,20 \text{ kPa}$$

$$D^* = 0,80 \text{ m}$$

$$B^* = 0,50 \text{ m}$$

$$N_q = 37,75$$

$$N_c = 50,59$$

$$N_\gamma = 53,40$$

$$e_x = 0,00 \text{ m}$$

$$e_y = 0,00 \text{ m}$$

$$B' = 0,50 \text{ m}$$

$$L' = 10,00 \text{ m}$$

$$s_q = 1,029$$

$$s_c = 1,030$$

$$s_\gamma = 0,985$$

$$i_q = 1,000$$

$$i_c = 1,000$$

$$i_\gamma = 1,000$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 0,60m  
temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0	m pod koto izkopa

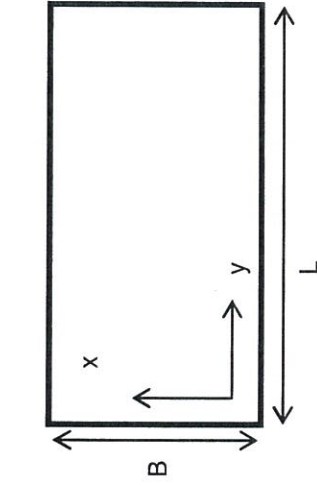
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,60	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	7,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	0,60	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	0,60	m
$L'$	=	10,00	m
$s_q$	=	1,035	
$s_c$	=	1,036	
$s_\gamma$	=	0,982	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 6 \text{ m}^2$$

$$R_d = 2\,487 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 415 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 249 \text{ kN/m}^2$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,80m  
temelji so potopljani

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0	m pod koto izkopa

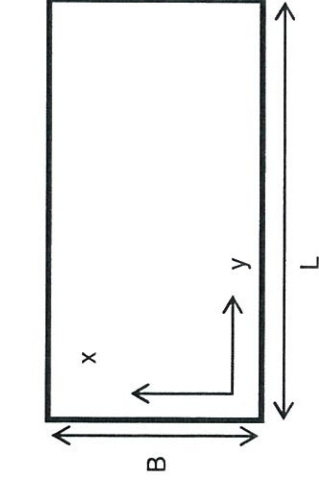
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	0,80	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	7,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	0,80	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	0,80	m
$L'$	=	10,00	m
$s_q$	=	1,047	
$s_c$	=	1,048	
$s_\gamma$	=	0,976	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 8 \text{ m}^2$$

$$R_d = 3\,890 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 486 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 389 \text{ kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temeli širine 1,00m  
temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

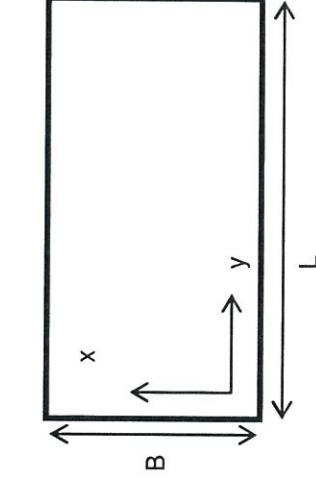
$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0	m pod koto izkopa

#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,00	m - v smeri x
L	=	10,00	m - v smeri y

Izračun	$q' =$	7,20	kPa
$D^* =$	0,80	m	
$B^* =$	1,00	m	
$N_q =$	37,75		
$N_c =$	50,59		
$N_\gamma =$	53,40		
$e_x =$	0,00	m	
$e_y =$	0,00	m	
$B' =$	1,00	m	
$L' =$	10,00	m	
$s_q =$	1,059		
$s_c =$	1,060		
$s_\gamma =$	0,970		
$i_q =$	1,000		
$i_c =$	1,000		
$i_\gamma =$	1,000		

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 10 \text{ m}^2$$

$$R_d = 5\,571 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 557 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 557 \text{ kN/m}^2$$



## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

točkovni temeli dimenzij  $1,00 \times 1,00 \text{ m}$   
temelji so potopljeni

### Vhodni podatki

### Materialne karakteristike

prod

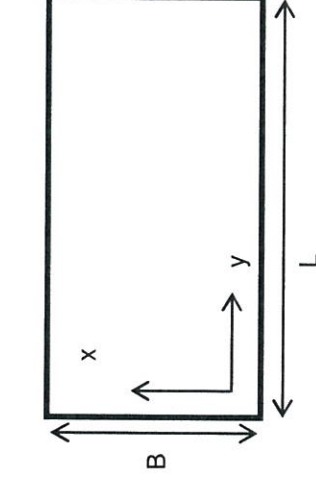
$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0	m pod koto izkopa

### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,00	m - v smeri x
L	=	1,00	m - v smeri y

Izračun	$q' =$	7,20	kPa
$D^* =$	0,80	m	
$B^* =$	1,00	m	
$N_q =$	37,75		
$N_c =$	50,59		
$N_\gamma =$	53,40		
$e_x =$	0,00	m	
$e_y =$	0,00	m	
$B' =$	1,00	m	
$L' =$	1,00	m	
$s_q =$	1,588		
$s_c =$	1,604		
$s_\gamma =$	0,700		
$i_q =$	1,000		
$i_c =$	1,000		
$i_\gamma =$	1,000		

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\text{tg} \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$R_d = 562 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 562 \text{ kPa}$$

## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

točkovni temeli dimenzij  $1,50 \times 1,50 \text{ m}$   
temelji so potopljeni

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

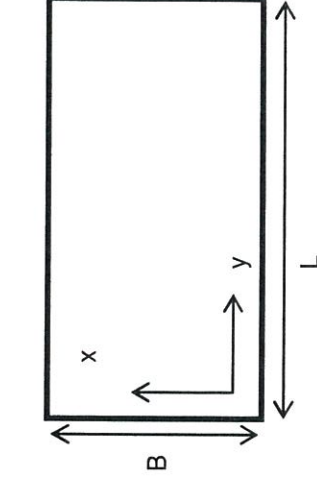
$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0	m pod koto izkopa

#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,50	m - v smeri x
L	=	1,50	m - v smeri y

Izračun	$q' =$	7,20	kPa
$D^* =$	0,80	m	
$B^* =$	1,50	m	
$N_q =$	37,75		
$N_c =$	50,59		
$N_\gamma =$	53,40		
$e_x =$	0,00	m	
$e_y =$	0,00	m	
$B' =$	1,50	m	
$L' =$	1,50	m	
$s_q =$	1,588		
$s_c =$	1,604		
$s_\gamma =$	0,700		
$i_q =$	1,000		
$i_c =$	1,000		
$i_\gamma =$	1,000		

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 2,25 \text{ m}^2$$

$$R_d = 1\,550 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 689 \text{ kPa}$$



Nosilnost temeljnih tal

3 Akademije

točkovni temelji dimenzij 2,00x2,00m  
temelji so potopljeni

Vhodni podatki

Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_w$	=	0	m pod koto izkopa

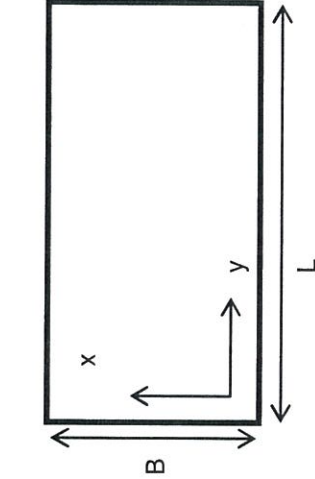
Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	2,00	m - v smeri x
L	=	2,00	m - v smeri y

Izračun

$q'$	=	7,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	2,00	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	2,00	m
$L'$	=	2,00	m
$s_q$	=	1,588	
$s_c$	=	1,604	
$s_\gamma$	=	0,700	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

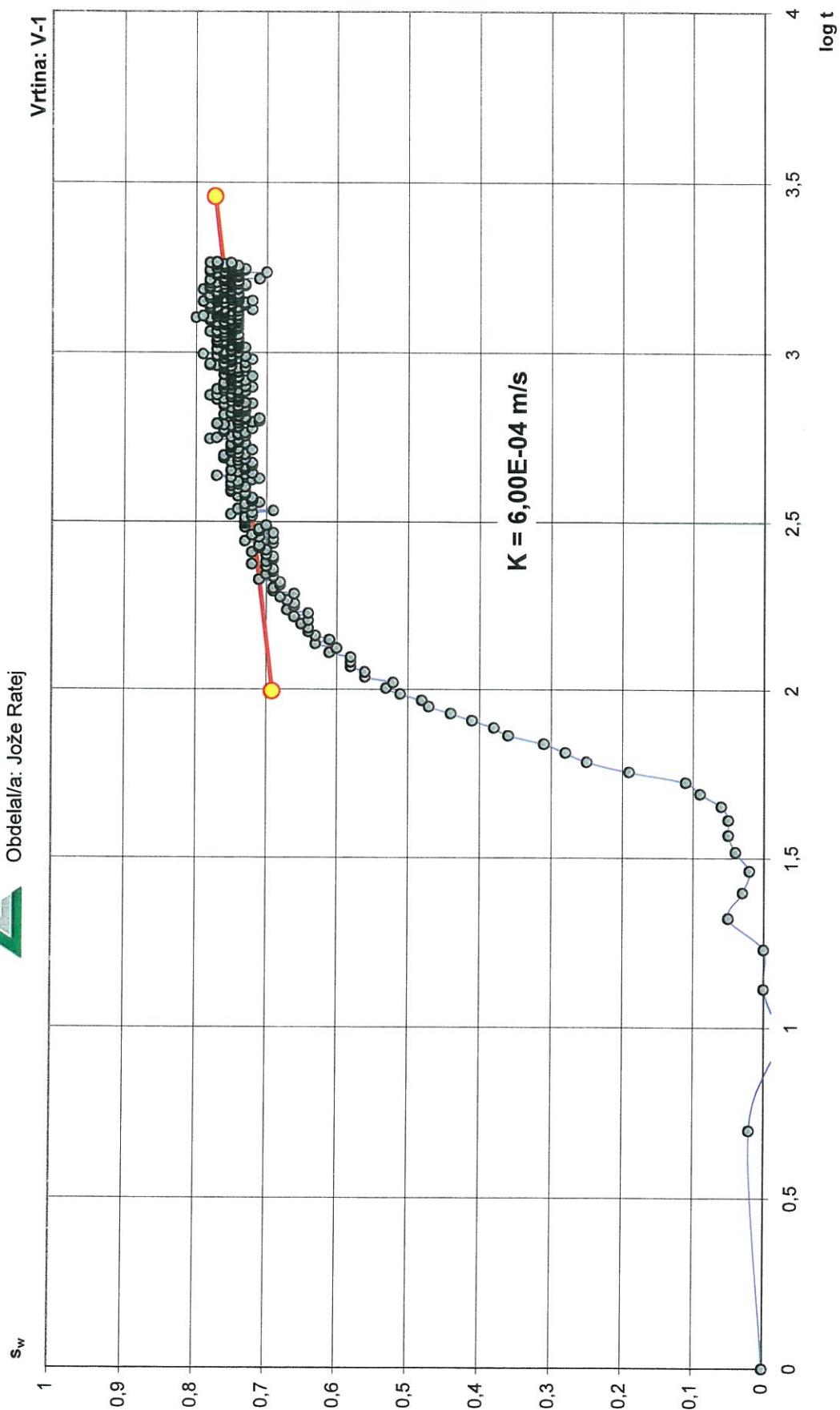
$$A = 4 \text{ m}^2$$

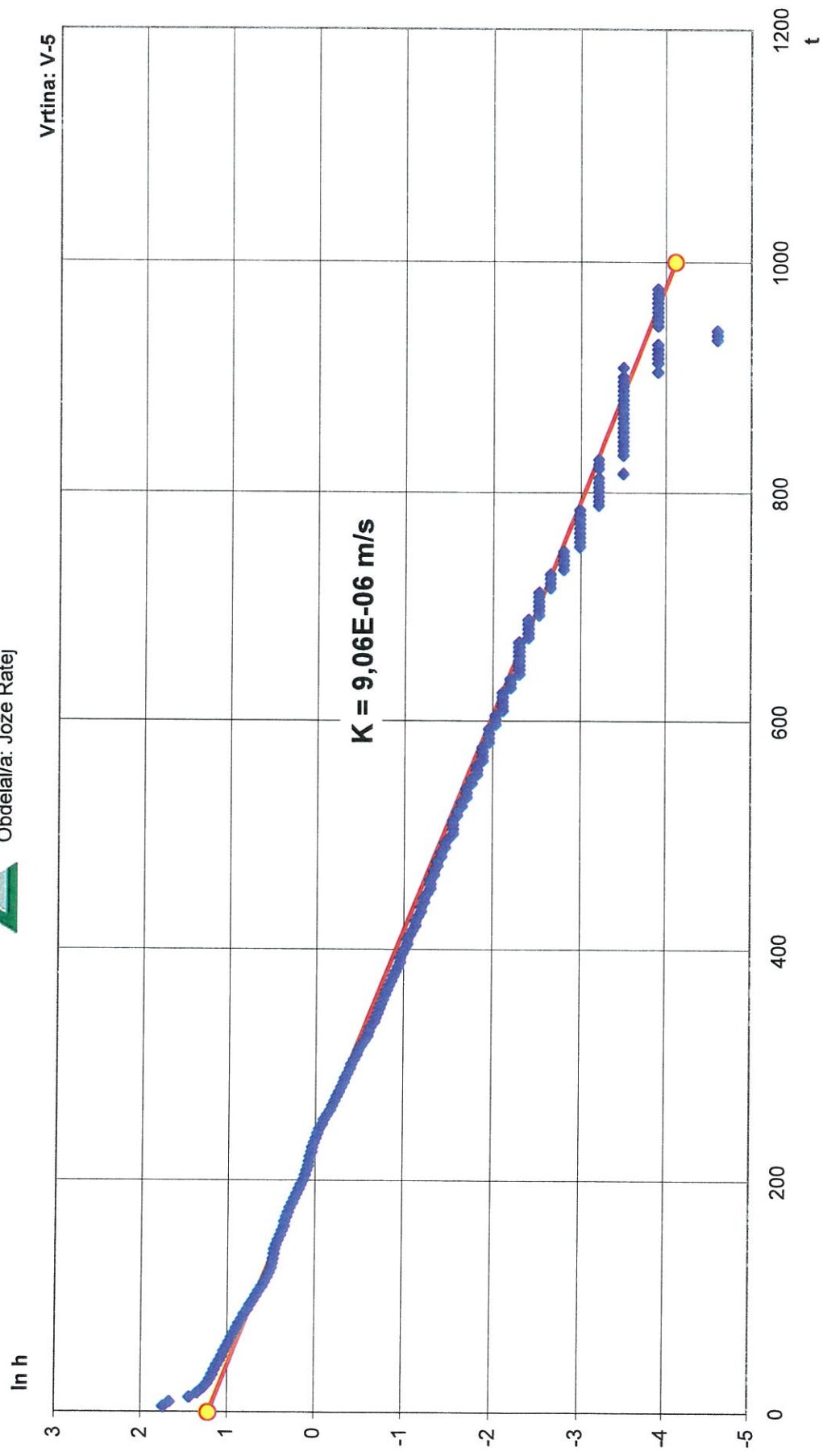
$$R_d = 3\,262 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 816 \text{ kPa}$$

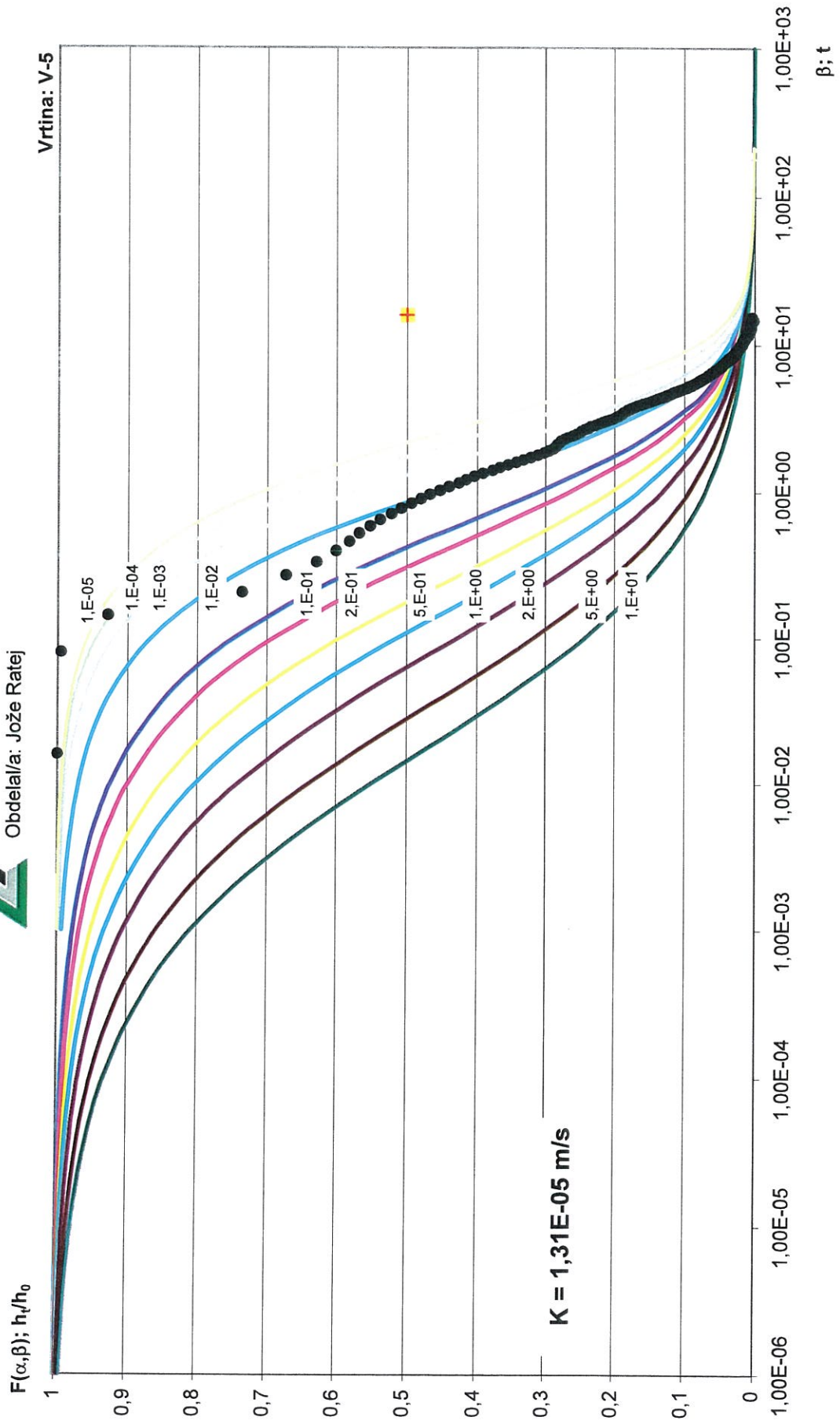
**PRILOGA G.5.2:**    *Izračun in obdelava črpalnih poskusov*

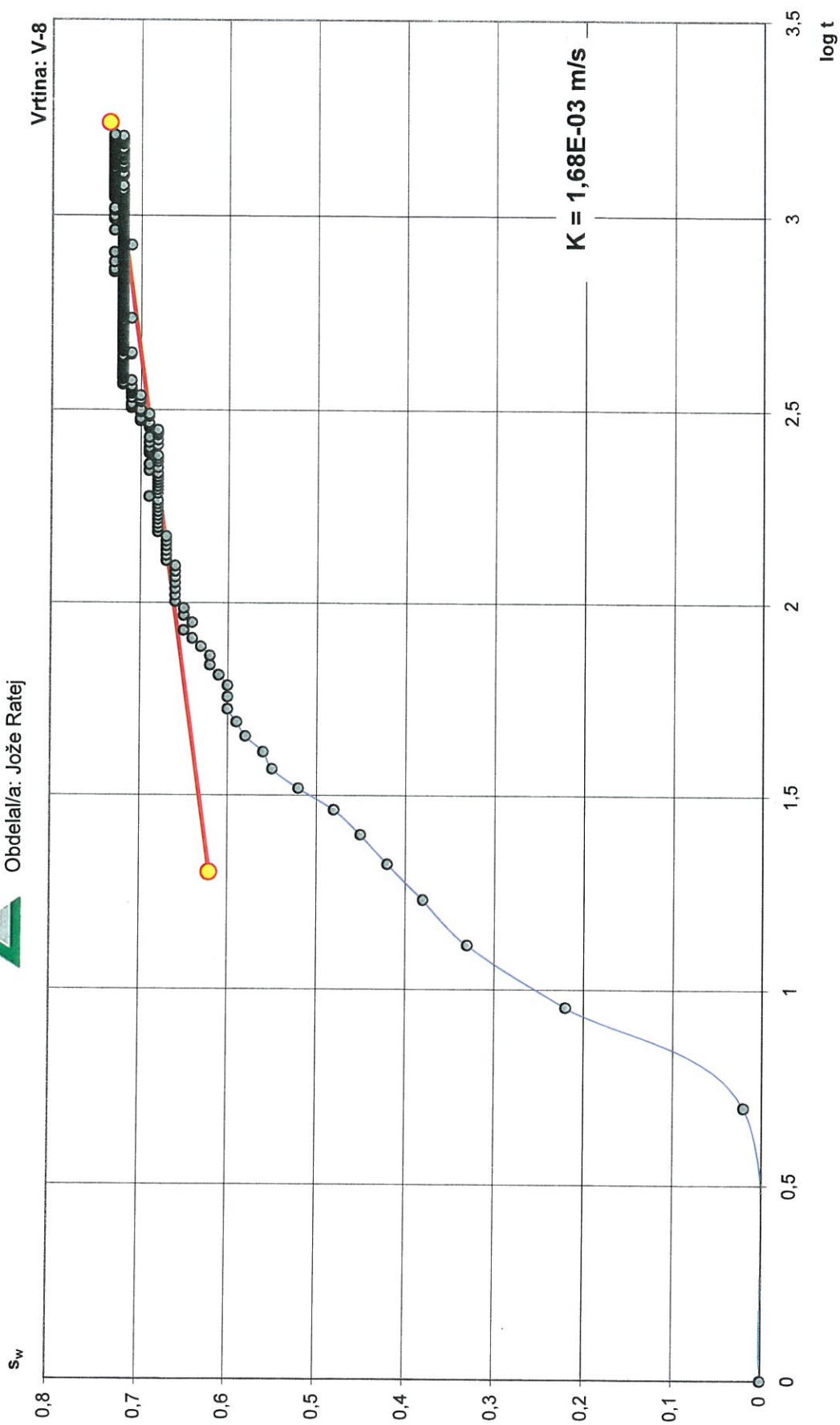






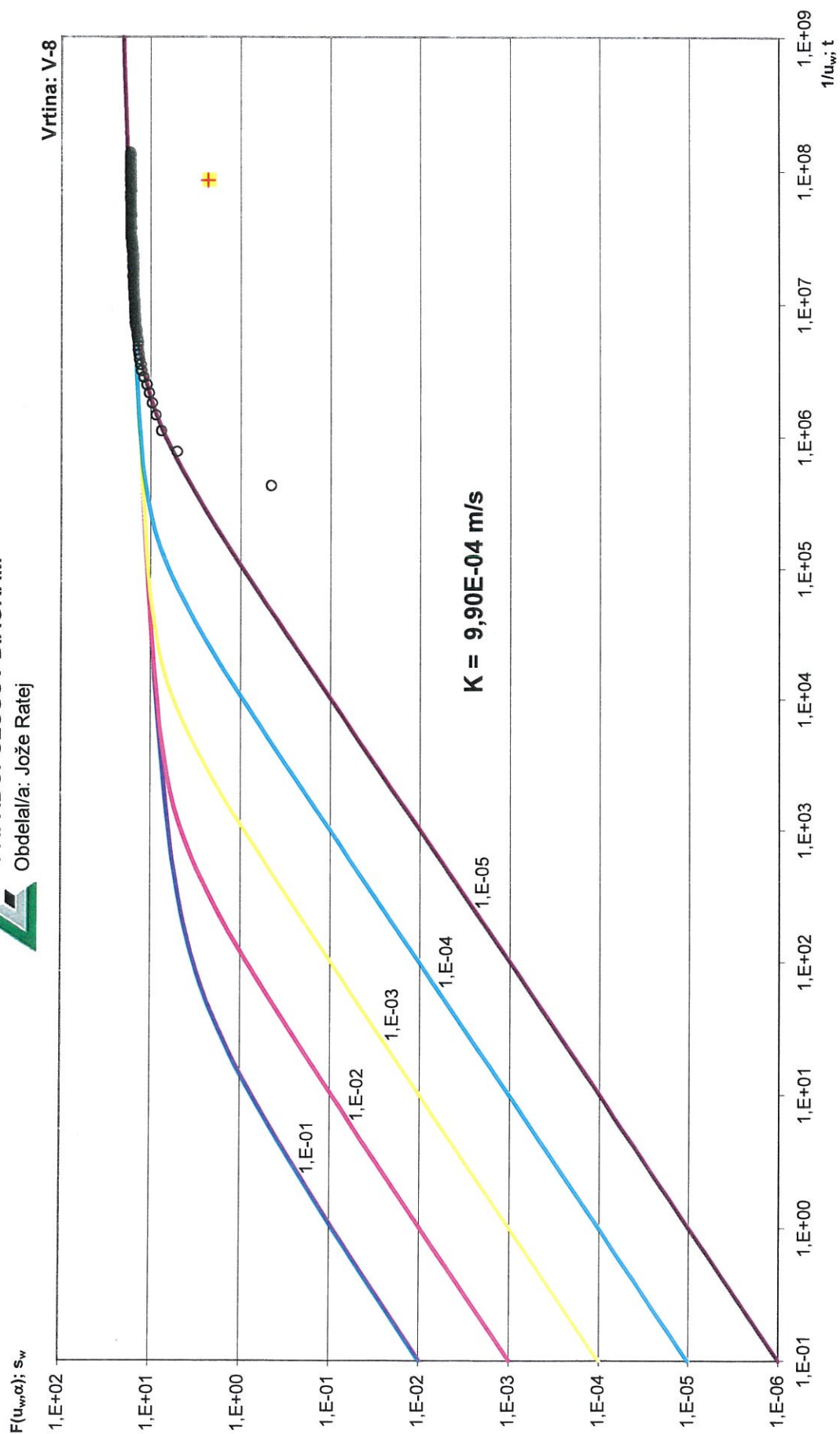






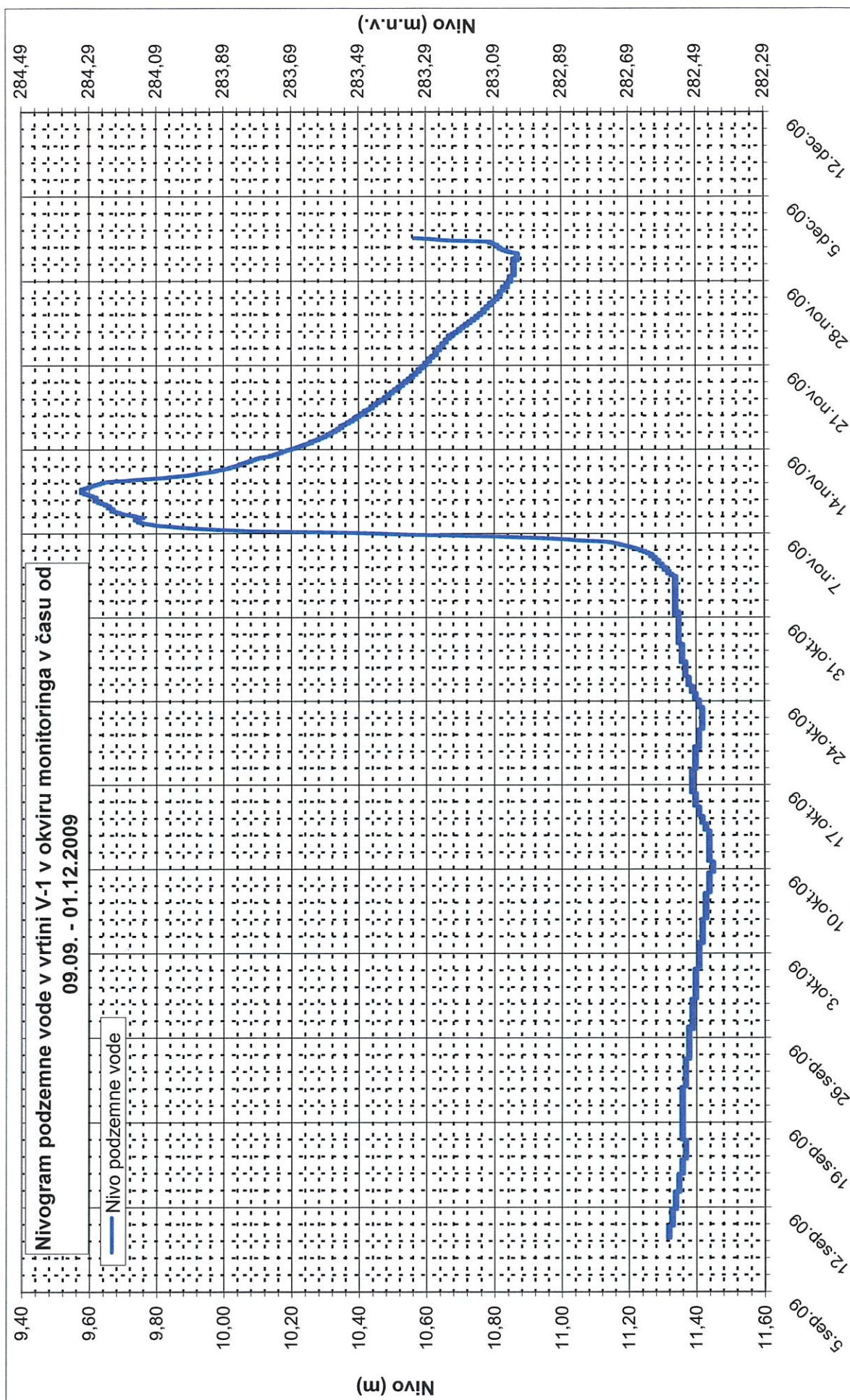


**PAPADOPOULOSOV DIAGRAM**  
Obdelal/a: Jože Ratej

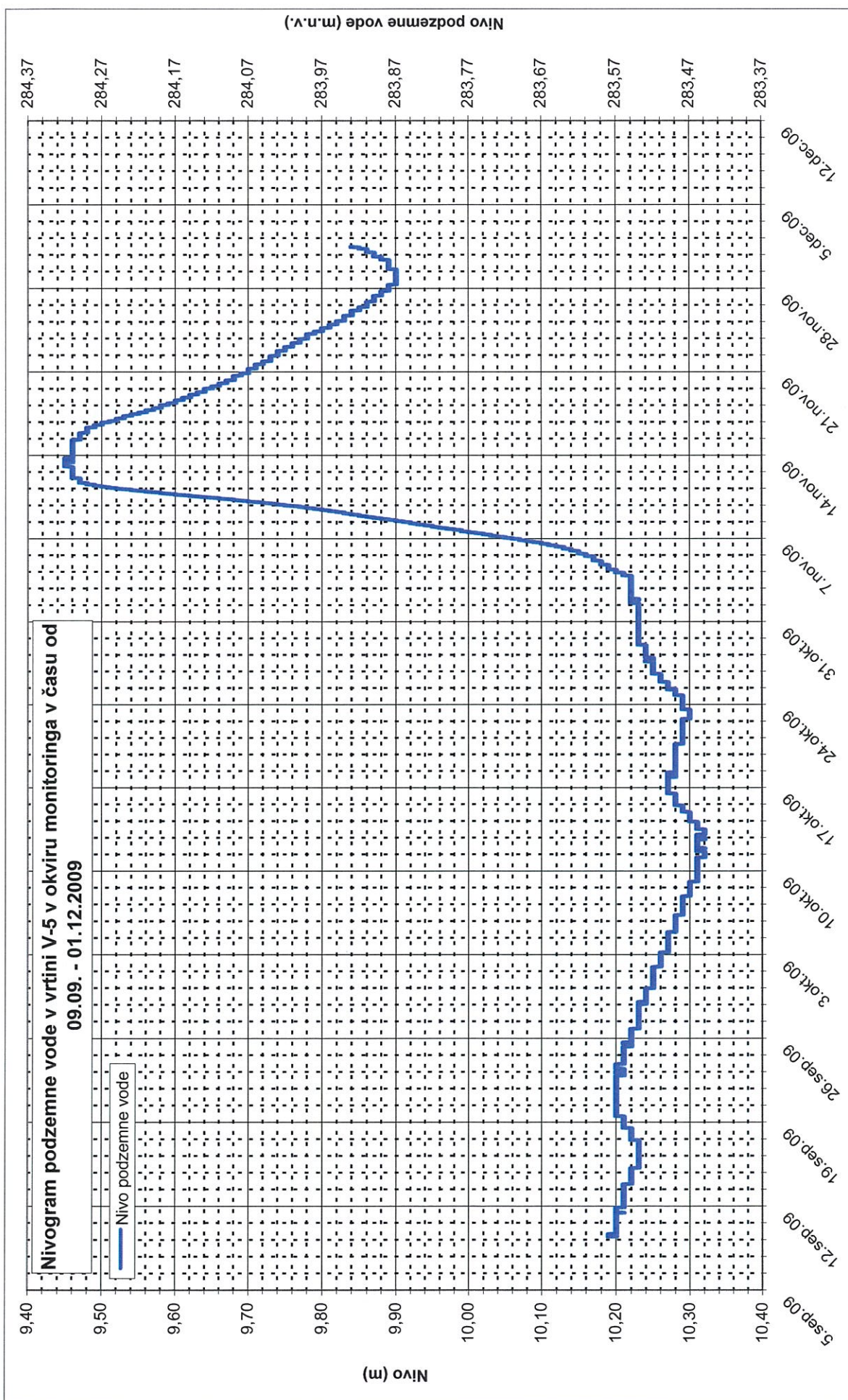


**PRILOGA G.6:**     *Nivogrami piezometrov V-1 (p), V-5 (p) in V-8 (p).*

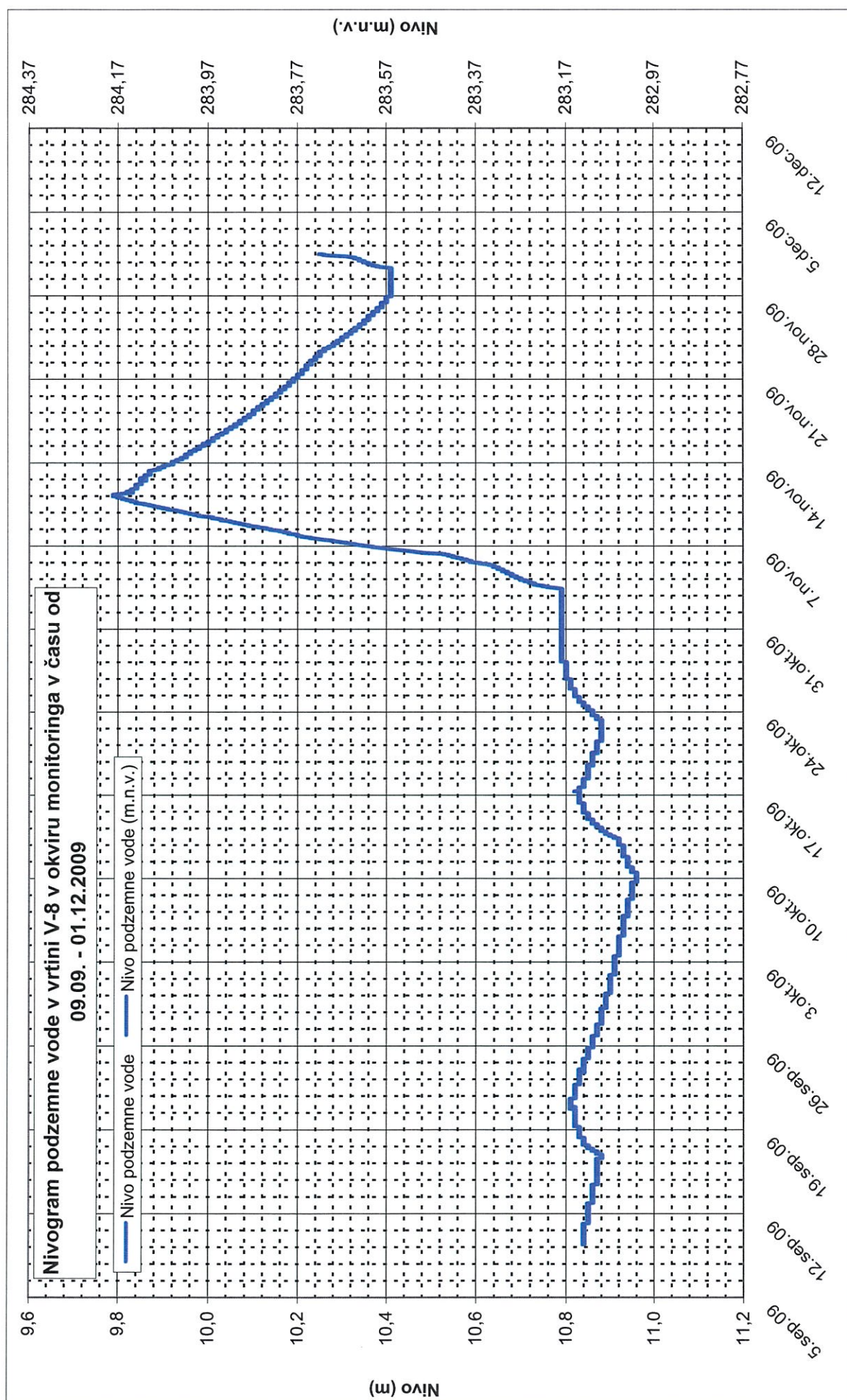












***DODATNO GEOMEHANSKO IN HIDROGEOLOŠKO POROČILO  
GRADBENE JAME NA SPODNJIH POLJANAH V LJUBLJANI  
– OBMOČJE TREH AKADEMIJ***



---

**Naslov projekta:** DODATNO GEOMEHANSKO IN HIDRO-GEOLOŠKO  
POROČILO GRADBENE JAME NA SPODNJIH  
POLJANAH V LJUBLJANI – OBMOČJE TREH  
AKADEMIJ

**Naročnik:** GEOINVEST d.o.o  
Dimičeva 16, Ljubljana

**Naročilnica:** Naročilo z dne 12.02.2010

**Izvajalec:** IRGO Consulting, d.o.o.  
Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana

**Direktor:** doc. dr. Vojkan Jovičič, u.d.i.gradb.

**Številka poročila:** ic 67/10

**Datum:** februar 2010

**Izdelava poročila:** mag. Albin Križnič, u.d.i.geol.  
Melhior Pregl, u.d.i.geol.  
Saša Galuf, u.d.i.grad.  
Boštjan Ivačič, abs.geol.

**VSEBINA:**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>5</b>
<b>2. HIDROGEOLOŠKE RAZMERE .....</b>	<b>6</b>
2.1    HIDROGEOLOŠKI MONITORING NA PROUČEVANEM OBMOČJU .....	6
2.2    HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PROUČEVANEGA OBMOČJA...	8
<b>3. GEOMEHANSKI PARAMETRI .....</b>	<b>10</b>
<b>4. GEOTEHNIČNI POGOJI GRADNJE.....</b>	<b>11</b>
4.1    NOSILNOST TEMELJNIH TAL .....	11
4.2    PREDLOG ZAŠČITE GRADBENE JAME.....	13
<b>5. ZAKLJUČEK.....</b>	<b>14</b>



**PRILOGE:**

- PRILOGA G.1.1:** *Karta visokih nivojev podzemne vode v obdobju od septembra 2009 do februarja 2010, M 1:500.*
- PRILOGA G.1.2:** *Inženirsko-geološko-hidrogeološki prerezi glede na visoki nivo podzemne vode na proučevanem območju, M 1:200*
- PRILOGA G.1.3:** *Nivogrami piezometrov V-1 (p), V-5 (p) in V-8 (p).*
- PRILOGA G.2:** *Izračun nosilnosti temeljnih tal*

**PREGLEDNICE:**

<i>Preglednica 1: Koordinate piezometrov na lokaciji 3 Akademije. ....</i>	<i>6</i>
<i>Preglednica 2: Izračunani preliminarni koeficienti prepustnosti (k) črpalnih poskusov.....</i>	<i>6</i>
<i>Preglednica 3: Maksimalni in minimalni nivoji podzemne vode v piezometrih in razpon nihanja podzemne vode. ....</i>	<i>9</i>
<i>Preglednica 4: Geomehanski parametri značilnih plasti.....</i>	<i>10</i>
<i>Preglednica 5: Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer A. ....</i>	<i>11</i>
<i>Preglednica 6: Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer B. ....</i>	<i>11</i>
<i>Preglednica 7: Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer C. ....</i>	<i>12</i>

**GRAFI:**

<i>Graf 1: Nivogrami podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) med 09. sept. 2009 in 19. feb. 2010.....</i>	<i>7</i>
--	----------

## **1. UVOD**

Na delu spodnjih Poljan v Ljubljani, Univerza v Ljubljani načrtuje izgradnjo treh akademij. Za naročnika GEOINVEST d.o.o. (pogodba št. 28/09) smo v oktobru 2009 izdelali *Geomehansko in hidro-geološko poročilo gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij, IC 468/09*.

Zaradi obilnih padavin in topljenja snega ter posledično povodnji ob koncu lanskega decembra in posledično zaradi dviga podzemne vode je naročnik podal dodatno naročilo za izmero nivoja podzemne vode in posledično izračun nosilnosti tal za temeljno ploščo in oceno modula reakcije tal ter modula stisljivosti za temeljno ploščo.



## 2. HIDROGEOLOŠKE RAZMERE

V okviru geomehansko hidrogeoloških raziskav je izvajalec oz. naročnik te naloge v letu 2009 izvrtal tri strukturne vrtine, ki so bile zacevljene kot piezometer. Lokacije teh piezometrov, kot prikazuje *preglednica 1* so prikazane tudi v karti maksimalnih piezometričnih nivojev podzemne vode na proučevanem območju, *priloga G 1.1*.

**Preglednica 1:** Koordinate piezometrov na lokaciji 3 Aklademije.

Posnete vrtine				
		Y	X	H
<b>V-5(P)</b>	ustje	463285.53	100497.43	294,178
	teren	463285.52	100497.38	293,767
<b>V-1(P)</b>	ustje	463372.15	100354.68	294,197
	teren	463372.21	100354.78	293,882
<b>V-8(P)-pri šoli</b>	ustje	463204.92	100408.33	294,447
	teren	463204.96	100408.36	293,965

Tehnični, geološko hidrogeološki profil piezometrov V-1(p), V-5(p) in V-8(p) smo podali v *Geomehansko in hidro-geološko poročilo gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij, IC 468/09*.

V omenjenem poročilu smo podali tudi rezultate izračunov koeficientov prepustnosti (k), ki jih ponovno navajamo v *preglednici 2*.

**Preglednica 2:** Izračunani preliminarni koeficienti prepustnosti (k) črpalnih poskusov.

Vrtina	K <sub>Jacob</sub>	K <sub>Papadopoulos &amp; Cooper</sub>	K <sub>Hvorslev</sub>	K <sub>Cooper</sub>	Povprečje
V-1(p)	6,00E-04				<b>6,00E-04</b>
V-5(p)			9,06E-06	1,31E-05	<b>1,09E-05</b>
V-8(p)	1,68E-03	9,90E-04			<b>1,29E-03</b>

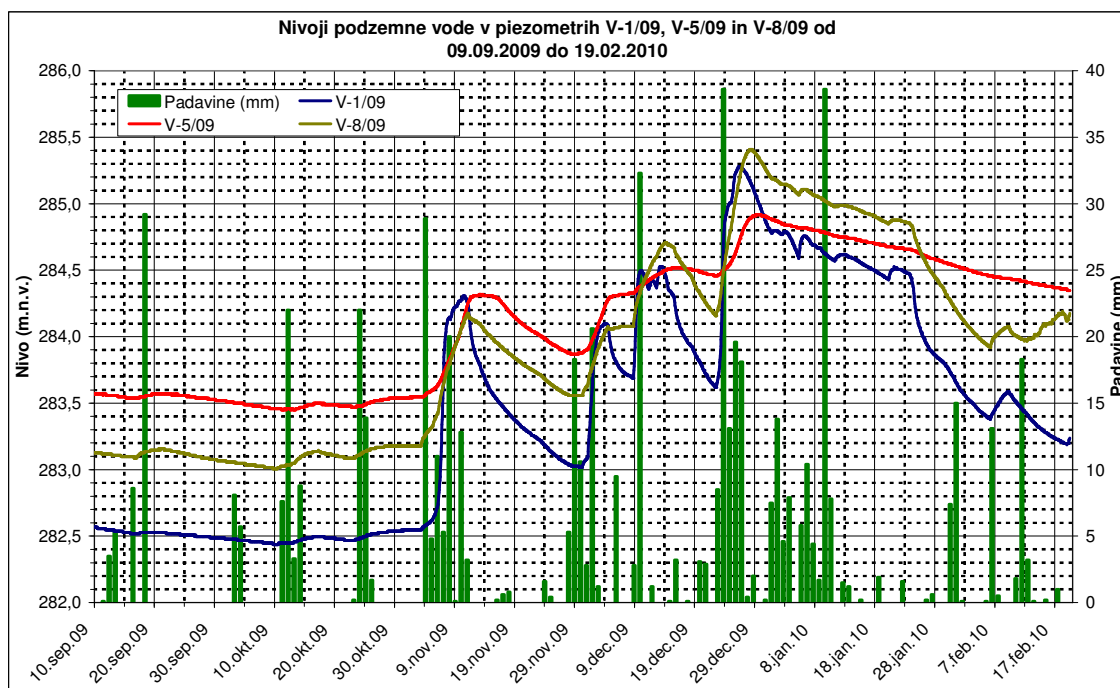
Iz *preglednice 2* je razvidno, da je omočena plast v piezometru V-8(p) najboljše prepustna, in sicer je izračunani koeficient prepustnosti (k)  $1,29 \cdot 10^{-3}$  m/s. Za ca. 1,4 dekade je slabše prepustna omočena plast v piezometru V-1(p), kjer je izračunani koeficient prepustnosti (k) enak  $6,00 \cdot 10^{-4}$  m/s, še najslabše pa je prepusten piezometer V-5(p) katerega prepustnost ocenjujemo na slabo do zelo slabo oz. je (k) enak  $1,09 \cdot 10^{-5}$  m/s.

### 2.1 HIDROGEOLOŠKI MONITORING NA PROUČEVANEM OBMOČJU

Od oddaje končnega poročila »*Geomehansko in hidro-geološko poročilo gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij, IC 468/09*«, smo v opazovanih piezometrih pustili mersko opremo saj smo smatrali, da je bilo

opazovano obdobje za bilo kakršno resnejšo analizo prekratko. Odvzem podatkov iz tlačnih sond smo nastavili na 1 uro.

Nivogram podzemne vode v vseh treh piezometrih je prikazan na *grafu 1*, medtem ko so nivogrami za posamezni piezometer posebej prikazani v *prilogi G 1.3*. V *prilogi G 1.3* oz. nivogramih podzemne vode za vsaki piezometer posebej smo poleg nadmorske višine podali tudi absolutna koto podzemne vode oz. nivo od terena.



**Graf 1:** Nivogrami podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) med 09. sept. 2009 in 19. feb. 2010.

Iz nivogramov je razvidno, da je nivo podzemne vode v največji meri odvisen od količine padlih ter poniklih padavin. V fazi izdelave dodatnega poročila nismo razpolagali s podatki nivoja Ljublanice v Grubarjevem kanalu. Iz opazovanih nivojev podzemne vode je razvidno, da oscilira nivo podzemne vode v vseh piezometrih podobno.

Iz *grafa 1* je razvidno, da pri naraščanju nivoja podzemne vode najhitreje reagira območje okoli piezometra V-1(p), ki je tudi najbližje Grubarjevemu kanalu. Dopuščamo možnost, da ob visokem vodostaju reka napaja podzemno vodo. V piezometrih V-5(p) in V-8(p) je dvig nivoja podzemne vode hkraten (28. in 29. dec. 2009). Je pa amplituda dviga v piezometru V-5(p) nižja, kot pa v piezometru V-8(p). najslabše prepustna.

Maksimalni nivoji v piezometrih so bili ob koncu leta 2009, in sicer so bili kot posledica obilnih padavin in poplavnega vala Ljublanice. Maksimalni nivo podzemne



vode je prvi dosegel dne 26.12.2009 piezometer V-1(p), in sicer je znašal nivo 285,28 m.n.v. Dne 28.12.2009 je maksimum dosegel nivo podzemne vode v piezometru V-8(p), in sicer 285,41 m.n.v., medtem ko je podzemne voda v piezometru V-5(p) dosegla maksimum dne 29.12.2009, ki je znašal 284,92. Karta nivojev glede na maksimalne kote podzemne vode v posameznem piezometru je prikazana v *prilogi G 1.11*

Praznjenje oz. padanje nivoja podzemne vode pa je obratno sorazmerno dvigu. Tako začne najhitreje padati nivo podzemne vode v piezometru V-1(p), nato v piezometru V-8(p) ter ca. po 1 – 3 dneh nivo v piezometru V-5(p). Od maksimalnega nivoja podzemne vode v piezometru V-5(p), ki je znašal dne 29.12.2009 284,92 m.n.v. je bil padec do konca meritev 19.02.2010 sorazmerno linearen.

Minimum nivojev je podzemna voda v vseh treh piezometrih dosegla praktično v enakem obdobju (med 28. in 29. nov.).

## 2.2 HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PROUČEVANEGA OBMOČJA

Hidrogeološke karakteristike proučevanega območja smo dobili na podlagi strukturnih vrtin, izvedenih črpalnih poskusov in monitoringa nivojev podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p). Monitoring nivojev podzemne vode je trajal do 19.02.2010, kar je glede na standarde in hidrogeološko prakso ca. ½ hidrološkega obdobja. Eno hidrološko obdobje se šteje, kot minimum za resnost analize monitoringa.

Karta nivojev podzemne vode je prikazana v *prilogi G 1.1*. Iz pridobljenih podatkov je razvidno, da se podzemna voda na proučevanem območju napaja iz poniklih padavin, ob visokem vodnem stanju Ljubljani pa po vsej verjetnosti tudi iz Grubarjevega kanala.

Smer toka podzemne vode je ob visokem vodnem stanju (tudi glede na maksimume v posameznem piezometru) usmerjena od jugozahoda proti severovzhodu. Izračun hidroizohips oz. usmerjenost toka podzemne vode smo za maksimalni nivo delali glede na maksimalni nivo v posameznem piezometru. Tako smo dobili v bistvu tri stanja oz. toka podzemne vode maksimalnega nivoja, in sicer:

- ▶ tok podzemne vode na dan 26.12.2009, ko je bil maksimum podzemne vode v piezometru V-1(p),
- ▶ tok podzemne vode na dan 28.12.2009, ko je bil maksimum podzemne vode v piezometru V-8(p) in
- ▶ tok podzemne vode na dan 29.12.2009, ko je bil maksimum podzemne vode v piezometru V-5(p).

Iz *grafa 1* je razvidno, da je nivo v piezometru V-1(p) najhitreje dosegel maksimum, medtem ko sta preostala piezometra z maksimumom zaostajala ca. 2 – 3 dni. Smer toka visokega nivoja podzemne vode med 26.12. in 30.12.2009 je proti severozahodu, strmec nivoja podzemne vode pa znaša med 3,6 in 4,5 ‰.

Glede na to, ker je dvig podzemne vode oz. »poplavni val« toka podzemne vode najprej v piezometru V-(p), nato v piezometru V-8(p) ter nazadnje v V-5(p) in glede na to, ker je za maksimumom v posameznem piezometru potekal padec nivoja, je tok podzemne vode v obdobju med 26.12. in 29.12.2009 potekal sprva od juga oz. jug, jugozahoda proti severu oz. severovzhodu. Odklon toka podzemne vode na proučevanem obdobju je bil vedno bolj proti severovzhodu, tako da je na dan 29.12.2009 znašal tok podzemne vode od jugozahoda proti severovzhodu.

Ob nizkem vodnem stanju 09. – 10. okt. 2009 pa je tok podzemne vode usmerjen proti jugu – jugovzhodu. Iz karte nivojev (poročilo IC 468/09) je razvidno, da teče podzemna voda pod Ljubljano oz. pod Grubarjevim kanalom. Strmec nivoja podzemne vode ob nizkem stanju znaša ca. 6‰.

Maksimalne in minimalne kote nivoja podzemne vode opazovane v obdobju od 09. sept. 2009 do 19.02.2010 prikazuje *preglednica 3*.

**Preglednica 3:** Maksimalni in minimalni nivoji podzemne vode v piezometrih in razpon nihanja podzemne vode.

	Datum	V-1(p)	Datum	V-5(p)	Datum	V-8(p)
max. nivo (m.n.v.)	26.dec.10	285,28	29.dec.10	284,92	28.dec.10	285,41
min. nivo (m.n.v.)	10.okt.09	282,44	11.okt.09	283,46	10.okt.09	283,01
razpon (m)		2,84		1,46		2,40

Iz *preglednice 3* je razvidno, da podzemna voda najbolj oscilira na območju piezometra V-1(p) oz. na južnem do jugovzhodnem delu bodočega gradbišča, na območju ob Grubarjevem prekopu. Razpon v piezometru V-1(p) je znašal 2,84 m. Nihanje podzemne vode se proti zahodu zmanjša in znaša na območju piezometra V-8(p) 2,40 m, najmanjše pa je nihanje podzemne vode na severnem delu bodočega gradbišča, kjer znaša na območju piezometra V-5(p) 1,46 m.



### 3. GEOMEHANSKI PARAMETRI

Na podlagi terenskih raziskav smo na obravnavanem območju določili tri značilne plasti: nasip (1), prod (2) ter glina/pesek (3). Posamezne plasti so podrobno opisane v poglavu 4.

Geomehanski parametri za nasipa so ocenjeni na podlagi rezultatov meritev SPT, za prod in glino/pesek pa tudi na podlagi rezultatov laboratorijskih meritev. Parametri so podani v *preglednici 4*.

**Preglednica 4:** Geomehanski parametri značilnih plasti.

		Kategorizacija izkopa	Prostorninska teža	Izračunani oz. izmerjeni trdnostnih parametri		Elastični modul
Plast	Material		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kPa]	$\phi$ [°]	E [MPa]
1	nasip	III	19	0	30	8
2	prod	III	19	0	36	22
3	glina/pesek	III	20	11	27	6

OPOMBA: Karakteristična vrednost 95% stopnja zaupanja

Podane geomehanske karakteristike predstavljajo osnovo za analizo stabilnosti izkopa gradbene jame ter izračun pogojev temeljenja objektov.

## 4. GEOTEHNIČNI POGOJI GRADNJE

### 4.1 NOSILNOST TEMELJNIH TAL

Iz predlog, ki nam jih je posredoval naročnik, je razvidno, da bodo kleti objekta segale od 4 do 9 m globoko, večina objekta pa bo temeljenega v prodnatih plasteh. Naredili smo izračune nosilnosti temeljnih tal pod različnimi dimenzijami točkovnih in pasovnih temeljev. Privzeli smo, da bodo temelji vkopani minimalno 0,80 m globoko pod koto kleti. Pri pasovnih temeljih smo za referenco vzeli temelj dolžine 10 m. Na podlagi šest mesečnega opazovalnega obdobja gladine talne vode, ki je zajelo tudi obdobje visokega nivoja v času od 26-29.12.2009, je bil najvišji nivo talne vode na območju predvidenega objekta ugotovljen na koti od 284,90 do 285,40 m.n.v. Iz prilog G 1.1 in G1.2 je tako razvidno, da je najvišja izmerjena gladina talne vode ponekod segala skoraj do spodnje kote kleti K-2. Ker obstaja resna možnost, da se bo lahko v prihodnosti gladina talne vode dvignila še višje, smo zato opravili tri sklope izračunov nosilnosti temeljnih tal in sicer:

- A) gladina talne vode se nahaja pod koto najnižjih temeljev in ne vpliva na nosilnost.
- B) gladina talne vode se nahaja na spodnji koti temeljev – dno temeljev je potopljeno.
- C) gladina talne vode se nahaja višje od temeljev – temelji so v celoti potopljeni.

Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal znašajo  $q_{R,d} = 600$  kPa do  $q_{R,d} = 1160$  kPa za primer A, za primer B so malenkost nižje, za primer C pa so vrednosti od  $q_{R,d} = 380$  kPa do  $q_{R,d} = 810$  kPa, odvisno od dimenzije temelja. Izračuni so prikazani na prilogi G.2, povzeti pa so v preglednicah 5, 6 in 7.

**Preglednica 5:** Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer A.

tip temelja	$R_d$	$q_{R,d}$	$q'_{R,d}$
	[kN]	[kPa]	[kN/m']
pasovni širine 0,50m	3 002	600	300
pasovni širine 0,60m	3 827	638	383
pasovni širine 0,80m	5 697	712	570
pasovni širine 1,00m	7 855	785	785
točkovni 1,0×1,0m	904	904	-
točkovni 1,5×1,5m	2 320	1 031	-
točkovni 2,0×2,0m	4 633	1 158	

**Preglednica 6:** Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer B.

tip temelja	$R_d$	$q_{R,d}$	$q'_{R,d}$
	[kN]	[kPa]	[kN/m']



pasovni širine 0,50m	2 863	573	286
pasovni širine 0,60m	3 660	610	366
pasovni širine 0,80m	5 471	648	547
pasovni širine 1,00m	7 569	757	757
točkovni 1,0×1,0m	862	862	-
točkovni 1,5×1,5m	2 224	988	-
točkovni 2,0×2,0m	4 461	1 115	

**Preglednica 7:** Velikosti projektnih odpornosti temeljnih tal – primer C.

tip temelja	$R_d$	$q_{R,d}$	$q'_{R,d}$
	[kN]	[kPa]	[kN/m']
pasovni širine 0,50m	1 892	378	189
pasovni širine 0,60m	2 487	415	249
pasovni širine 0,80m	3 890	486	389
pasovni širine 1,00m	5 571	557	557
točkovni 1,0×1,0m	562	562	-
točkovni 1,5×1,5m	1 550	689	-
točkovni 2,0×2,0m	3 262	816	

Legenda k preglednicam 5, 6 in 7:

$R_d$  projektna vrednost odpornosti tal pod temeljem,

$q_{R,d}$  projektna vrednost odpornosti temeljnih tal na enoto površine in

$q'_{R,d}$  projektna vrednost odpornosti temeljnih tal na tekoči meter (pri pasovnih temeljih).

Iz rezultatov je razvidno, da lahko odpornost temeljnih tal pade skoraj za polovico, v primeru, da bo talna voda segla višje od temeljev objekta. Zato je potrebno gladino talne vode opazovati vsaj skozi obdobje enega hidrološkega leta, da se lahko oceni njena najbolj kritična višina. Projektant naj pri zasnovi temeljenja upošteva, da bo lahko pri pojavu visoke talne vode prišlo do poplavitve najnižjih kletnih prostorov. V primeru temeljenja na temeljni plošči projektna odpornost temeljnih tal ne bi bila ogrožena.

Krovno plast na lokaciji tvorijo nasipi, ki so sestavljeni iz ugaskov in raznih komunalnih odpadkov. V kolikor bodo temelji objekta segali v to plast, je potrebno nasip pod temelji v celoti odstraniti vse do prodnatih plasti in ga nadomestiti s tamponskim prodnatim nasutjem. O kvaliteti temeljnih tal naj presodi prisotni geomehanik.

Glinene plasti so bile ugotovljene vsaj 3,5m pod spodnjo koto temeljev. Če bi se pri izkopu gradbene jame naletelo na lokalne glinene leče v območju temeljev, bo potrebno glino pod temelji odstraniti in nadomestiti s tamponom debeline minimalno 0,30 m. Debelino tampona naj se določi na podlagi dejanske obremenitve temeljev.

Zaradi razmeroma velike razbremenitve tal pri izkopu globine 4 do 9 m globoko, menimo da bodo končni posedki objekta manjši od 1 cm, večina posedkov pa se bo razvila že med samo gradnjo. Modul reakcije tal ocenjujemo na  $k = 17000 \text{ kPa/m}$ .

## **4.2 PREDLOG ZAŠČITE GRADBENE JAME**

Načrtovana gradnja se nahaja sredi urbaniziranega območja. Na jugu je območje omejeno z Gruberjevim prekopom, na vzhodu in severu pa z večnadstropnimi stavbami v neposredni bližini. Na tem delu bo zaradi pomanjkanja prostora in omejitve vpliva na sosednje objekte, potrebno varovati gradbeno jamo s sidrano pilotno ali jet-grouting steno. Drugod se bodo začasni izkopi lahko izvedli v naklonu 1:1 in po potrebi varovali pred erozijo (s PVC folijami ali brizganim betonom).

Priporočamo, da se izkop gradbene jame izvaja v sušnem obdobju. V nasprotnem primeru lahko pride do poplavitve dna gradbene jame, potrebno bo črpanje vode iz gradbene jame ali pa umetno znižanje gladine talne vode s sistemom črpalnih vodnjakov.

## **5. ZAKLJUČEK**

Na območju Spodnjih Poljan, kjer je predvidena gradnja treh akademij so bile opravljena vrtna dela, opravljene so bile terenske raziskave, laboratorijske raziskave, kategorizacija temeljnih tal, nosilnost tal, ponikovalne sposobnosti tal, ipd. Rezultate teh obsečnih preiskav smo podali v Končnem geomehanskem in hidrogeološkem poročilu gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij (IC 468/09).

Zaradi povodnji in dviga podzemne vode na proučevanem območju v decembru 2009 smo izdelali dodatek k končnemu poročilu IC 468/09, v katerem smo upoštevali nova dejstva, predvsem pa novi maksimalni nivo podzemne vode. V pričujočem poročilu podajamo tako dodatne hidrogeološke in posledično geotehnične razmere, kategorizacija temeljnih tal za izračun potresne obtežbe in nosilnost tal ter usmeritev za zaščito gradbene jame na območju bodočih 3 Akademij.

Monitoring nivojev podzemne vode je trajal le slabih 6 mesecev. Glede na hidrogeološko prakso in standarde IAH je minimalno opazovalno obdobje za bilo kakršno resnejšo analizo nivoja podzemne vode vsaj eno hidrološko leto. Zaradi navedenega dopuščamo možnost še višjega nivoja podzemne vode, kot pa smo ga izmerili med monitoringom oz. med 26 in 29. 12. 2009. Predlagamo, da se opazovanje nivoja podzemne vode v vseh treh piezometrih nadaljuje oz. da se vrtine ponovno opremijo z avtomatskimi nivometri ter se monitoring nadaljuje.

Priporočamo, da se izkop gradbene jame in izdelava temeljev izvaja v sušnem obdobju.



***DRUGO DODATNO HIDROGEOLOŠKO POROČILO GRADBENE  
JAME NA SPODNJIH POLJANAH V LJUBLJANI  
– OBMOČJE TREH AKADEMIJ***

**avgust 2010**

---

**Naslov projekta:** DRUGO DODATNO HIDROGEOLOŠKO  
POROČILO GRADBENE JAME NA SPODNJIH  
POLJANAH V LJUBLJANI – OBMOČJE TREH  
AKADEMIJ

**Naročnik:** GEOINVEST d.o.o.  
Dimičeva 16, Ljubljana

**Naročilnica:** Naročilo z dne 14. 07. 2010

**Izvajalec:** IRGO Consulting, d.o.o.  
Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana

**Direktor:** doc. dr. Vožjan Jovičič, u.d.i.gradb.

**Številka poročila:** ic 306/10

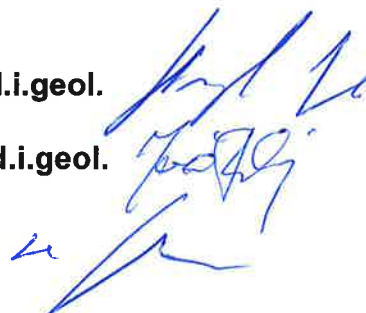


**Datum:** Avgust 2010

**Izdelava poročila:** Melhior Pregl, u.d.i.geol.

dr. Jože Ratej, u.d.i.geol.

Boštjan Ivačič



**VSEBINA:**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIDROGEOLOŠKE IN HIDROLOŠKE MERITVE.....</b>	<b>2</b>
2.1    HIDROGEOLOŠKI IN HIDROLOŠKI MONITORING NA PROUČEVANEM OBMOČJU .....	3
<b>3. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PROUČEVANEGA     OBMOČJA IN INTERPRETACIJA MERITEV.....</b>	<b>6</b>
3.1    PREGLED NIVOGRAMOV .....	6
3.2    REŽIM TOKA LJUBLJANICE V GRUBARJEVEM KANALU .....	7
3.3    KORELACIJA MED NIVOGRAMI REKE LJUBLJANICE IN NIVOGRAMI PODZEMNE VODE .....	8
<b>4. ZAKLJUČEK.....</b>	<b>10</b>



## **PRILOGE:**

- PRILOGA 1:** Nivogrami piezometrov V-1 (p), V-5 (p) in V-8 (p).
- PRILOGA 2:** Grafi odvisnosti nivoja podzemne vode v posameznem piezometru glede na nivo reke Ljubljanice merjen na vodomerni postaji Moste-LJ v obdobju med septembrom 2009 in avgustom 2010
- PRILOGA 3:** Grafi prikaza vrednosti časovnega zamika med osciliranjem reke Ljubljanice oz. širjenja tlačne motnje v vodonosnik in osciliranjem podzemne vode v posameznem piezometru.

## **PREGLEDNICE:**

- Preglednica 1: Koordinate piezometrov na proučevani lokaciji treh akademij. .... 2*
- Preglednica 2: Izračunani preliminarni koeficienti prepustnosti (k) črpalnih poskusov..... 2*
- Preglednica 3: Maksimalni in minimalni nivoji podzemne vode v piezometrih in razpon nihanja podzemne vode..... 6*
- Preglednica 4: Oddaljenost piezometrov od zapornice na Grubarjevem kanalu in od struge reke. .... 8*
- Preglednica 5: Korelacijski koeficient (R), determinacijski koeficient ( $R^2$ ) ter časovni zamik med nihanjem gladine reke Ljubljanice in nihanjem podzemne vode v posameznem piezometru..... 9*

## **GRAFI:**

- Graf 1: Nivogram podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) med 09. sept. 2009 in 01. avg. 2010. .... 3*
- Graf 2: Nivogram reke Ljubljanice na merskem mestu Moste-LJ v obdobju od 09.09.2009 do 01.08.2010. .... 4*

## **SLIKE:**

- Slika 1: Lokacija jezua na Grubarjevem kanalu in lokacija proučevanih piezometrov. .... 7*

## 1. UVOD

Na območju spodnjih Poljan v Ljubljani, Univerza v Ljubljani načrtuje izgradnjo večjega kompleksa z imenom tri akademija. Za naročnika GEOINVEST d.o.o. (pogodba št. 28/09) smo v oktobru 2009 izdelali *Geomehansko in hidro-geološko poročilo gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij, IC 468/09*. Ker je bil časovni razpon monitoringa nivojev podzemne vode merjen na piezometrih V-1pz, V-5pz in V-8pz v času med izvedbo vrtin in oddajo poročila prekratek, je revizor zahteval dodatne meritve. Poročilo o dodatnih meritvah nivojev podzemne vode smo oddali februarja 2010 (IRGO Consulting d.o.o., IC 67/10). V tem poročilu smo tudi:

- ▶ opisali dinamiko podzemnih voda na proučevanem območju,
- ▶ ponovno pojasnili, da je za bilo kakršen resnejši monitoring potrebno izvajati meritve nivojev vsaj eno hidrološko leto,
- ▶ podali hidrogeološko karto smeri toka podzemne vode ob maksimumu v posameznem piezometru,
- ▶ podali smo sum o napajanju podzemne vode iz Gruberjevega kanala,
- ▶ ponovno podali geotehnične pogoje gradnje glede na nova dejstva oz. nove izmerjene max. nivoje podzemne vode, itd.

V juliju 2010 je izdelovalec projekt IMOS d.d. ponovno dobil negativno revizijsko poročilo s strani revizorjev, ki pregledujejo načrt zaklonišča v okviru omenjenega projekta. Glavna bojazen revidenta je namreč bila, da hidrogeološko poročilo, ki je bilo pri projektiranju upoštevano, ni merodajno, saj opazovanja višine talne vode niso bila izvajana dovolj dolgo, to je vsaj eno leto. S problematiko, katero je navedel revident se strinjamo oz. smo vsaj enoletni monitoring zagovarjali že v fazi vrtnih del, zato smo ne glede na končanje pogodbenih del v piezometrih pustili mersko opremo ter tako nadaljevali z izvajanjem monitoringa.

Zaradi negativne ocene revizijskega poročila s strani revizorjev, ki pregledujejo načrt zaklonišča v okviru izgradnje treh akademij je naročnik v juliju 2010 podal naročilo za drugo dodatno izmero nivojev podzemne vode.

## 2. HIDROGEOLOŠKE IN HIDROLOŠKE MERITVE

V okviru geomehansko hidrogeoloških raziskav je izvajalec oz. naročnik te naloge (Geoinvest d.o.o.) v letu 2009 med ostalim izvrtil tri strukturne vrtine, ki so bile zacevljene kot piezometer. Lokacije teh piezometrov, kot prikazuje *preglednica 1* so prikazane tudi na karti maksimalnih piezometričnih nivojev podzemne vode proučevanega območja, ki smo jo podali v prejšnjem poročilu oz. v *prilogi G 1.1. Dodatnega poročila IC 67/10, IRGO Consulting d.o.o., feb. 2010*).

**Preglednica 1:** Koordinate piezometrov na proučevani lokaciji treh akademij.

Posnete vrtine				
		Y	X	H
<b>V-5(P)</b>	ustje	463285.53	100497.43	294,178
	teren	463285.52	100497.38	293,767
<b>V-1(P)</b>	ustje	463372.15	100354.68	294,197
	teren	463372.21	100354.78	293,882
<b>V-8(P)</b>	ustje	463204.92	100408.33	294,447
	teren	463204.96	100408.36	293,965

Tehnični, geološko hidrogeološki profil piezometrov V-1(p), V-5(p) in V-8(p) pa smo podali v *Geomehansko in hidro-geološko poročilo gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij, IC 468/09*.

V omenjenem poročilu smo podali tudi rezultate izračunov koeficientov prepustnosti (k), ki jih ponovno navajamo v *preglednici 2*.

**Preglednica 2:** Izračunani preliminarni koeficienti prepustnosti (k) črpalnih poskusov.

Vrtina	K <sub>Jacob</sub>	K <sub>Papadopoulos &amp; Cooper</sub>	K <sub>Hvorslev</sub>	K <sub>Cooper</sub>	Povprečje
V-1(p)	6,00E-04				<b>6,00E-04</b>
V-5(p)			9,06E-06	1,31E-05	<b>1,09E-05</b>
V-8(p)	1,68E-03	9,90E-04			<b>1,29E-03</b>

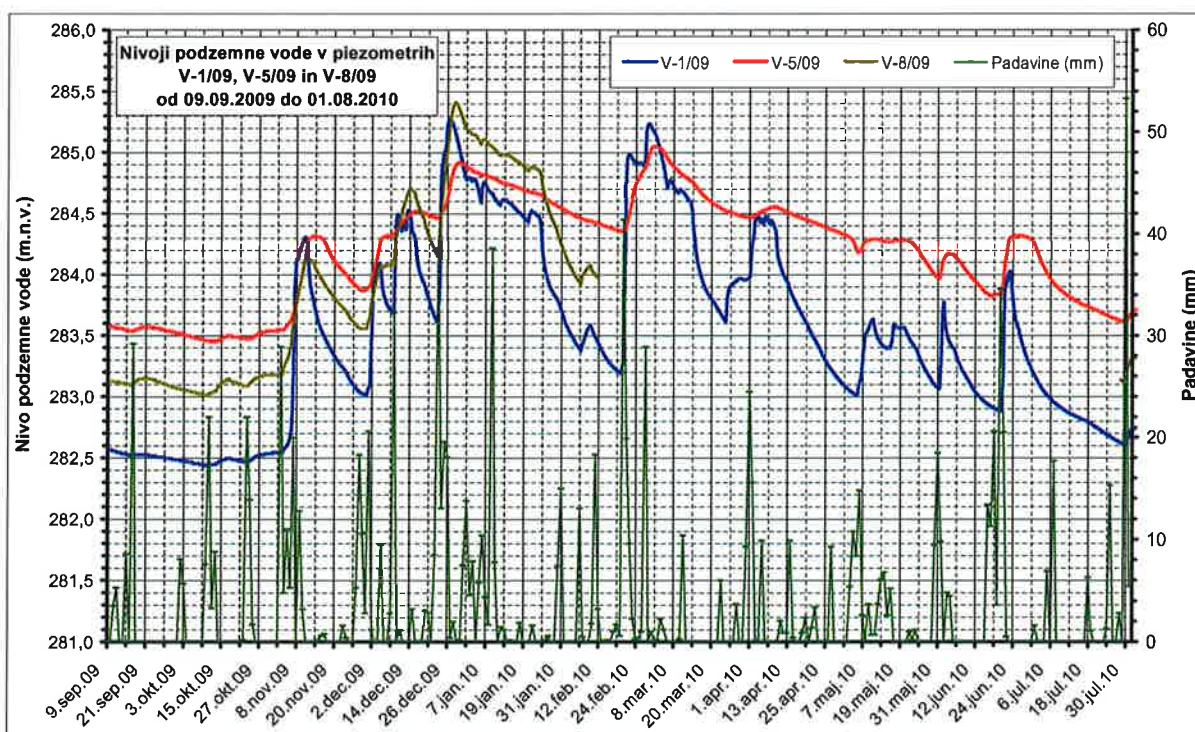
Iz *preglednice 2* je razvidno, da je omočena plast v piezometru V-8(p) najbolj prepustna, in sicer je izračunani koeficient prepustnosti (k)  $1,29 \cdot 10^{-3}$  m/s. Za ca. 1,4 dekade je slabše prepustna omočena plast v piezometru V-1(p), kjer je izračunani koeficient prepustnosti (k) enak  $6,00 \cdot 10^{-4}$  m/s, še najslabše pa je prepusten piezometer V-5(p) katerega prepustnost ocenjujemo na slabo do zelo slabo oz. je (k) enak  $1,09 \cdot 10^{-5}$  m/s.



## 2.1 HIDROGEOLOŠKI IN HIDROLOŠKI MONITORING NA PROUČEVANEM OBMOČJU

Od oddaje končnega poročila »Geomehansko in hidro-geološko poročilo gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij, IC 468/09«, smo v opazovanih piezometrih pustili mersko opremo saj, kot smo že omenili, smo smatrali, da je bilo opazovano obdobje za bilo kakršno resnejšo analizo prekratko. Odvzem podatkov iz tlačnih sond smo nastavili na 1 uro.

Nivogram podzemne vode v vseh treh piezometrih je prikazan na grafu 1, medtem ko so nivogrami za posamezni piezometer posebej prikazani v prilogi 1. V prilogi 1 oz. nivogramih podzemne vode smo za vsaki piezometer posebej poleg nadmorske višine podali tudi količino dnevnih padavin. Podatke o padavinah smo dobili od ARSO.

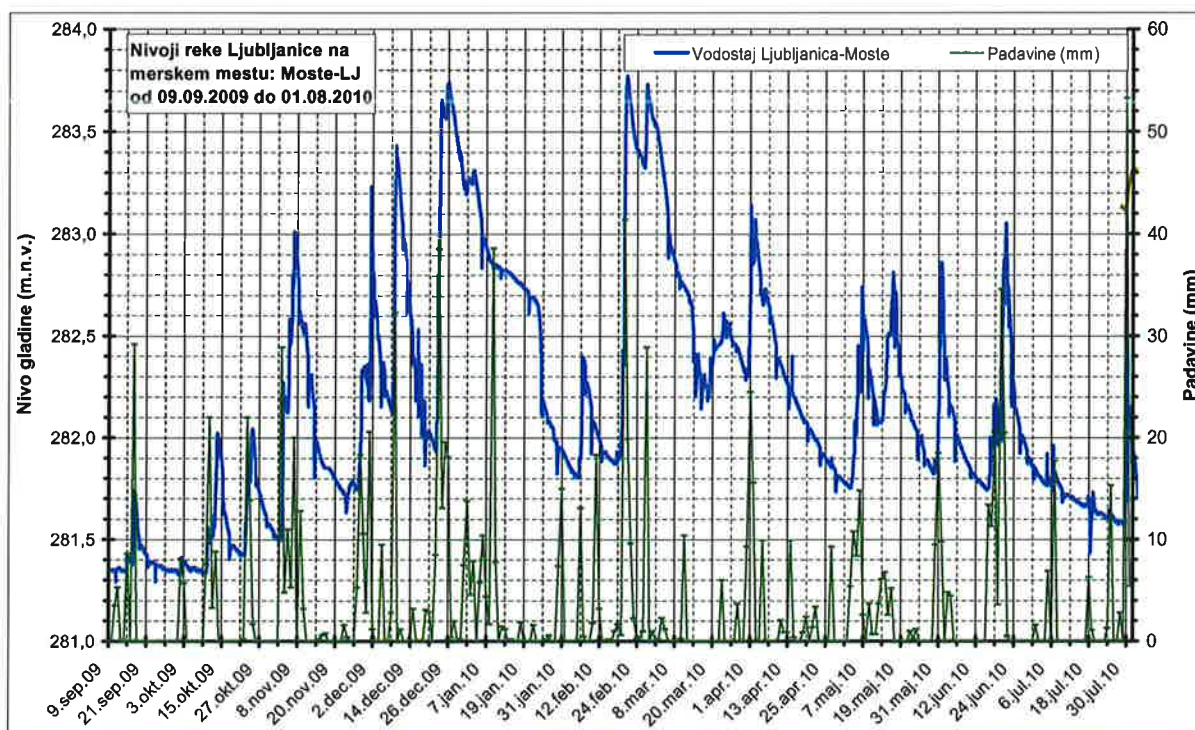


**Graf 1:** Nivogram podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) med 09. sept. 2009 in 01. avg. 2010.

Iz nivogramov je razvidno, da nivo podzemne vode niha v odvisnosti od količine padlih ter poniklih padavin. Iz opazovanih nivojev podzemne vode je razvidno, da oscilira nivo podzemne vode v vseh piezometrih podobno. Ker je napajalno zaledje padavinskih voda za posamezni piezometer različno, smo že med izdelavo prvotnega poročila posumili, da je oscilacija podzemne vode odvisna tudi od nivoja reke Ljubljanice v Grubarjevem kanalu.

Iz *grafa 1* je razvidno, da pri naraščanju nivoja podzemne vode najhitreje reagira območje okoli piezometra V-1(p), ki je tudi najbližje Gruberjevemu kanalu. V prejšnjih poročilih smo zapisali, da dopuščamo možnost, da ob visokem vodostaju reka napaja podzemno vodo. V nadaljevanju pa bomo to tudi poskušali dokazati.

V fazi izdelave dodatnega poročila smo razpolagali tudi s podatki nivoja Ljubljanice, in sicer za mersko mersko mesto Moste-Ljubljana. Nivogram reke Ljubljanice je prikazan na *grafu 2*. Iz *grafa 2* je tudi razvidno, da je vodostaj Ljubljanice odvisen predvsem od padavin v zaledju porečja ter predvsem Ljubljanskega barja.



**Graf 2:** Nivogram reke Ljubljanice na merskem mestu Moste-LJ v obdobju od 09.09.2009 do 01.08.2010.

Iz *grafa 1* je razvidno, da je bil med poplavami, ki so bile blizu 100 letnim vodam reke Ljubljanice (dne 28. in 29. dec. 2009) v piezometrih V-5(p) in V-8(p) dvig nivoja podzemne vode hkraten. Največja amplituda dviga pa je bila v tem obdobju v piezometru V-1(p), nato v piezometru V-8(p), medtem ko je bila najnižja v piezometru V-5(p).

Maksimalna nivoja v piezometrih V-1(p) in V-8(p) sta bila dosežena ob koncu leta 2009, medtem ko je bil maksimalni nivo v piezometru V-5(p) dosežen v začetku marca 2010 (*graf 1*) in sicer so bili doseženi zaradi poplavnega vala Ljubljanice oz. posledično obilnih padavin (*graf 2*). V začetku marca 2010, ko je bil dosežen maksimalni nivo v piezometru V-5(p), je bil nivo v piezometru V-1(p) le 5 cm nižji kot ob koncu leta 2009, ko je podzemna voda dosegla maksimalni nivo. Žal ne moremo potegniti še vzporednic za piezometer V-8(p) zaradi manjkajočih podatkov. Zaradi

tehnične okvare avtomatskega regulatorja tlaka, ki je vgrajen v piezometru V-8(p) manjkajo podatki za nivoje podzemne vode v piezometru V-8(p) med februarjem in koncem julija 2010. Tlačna sonda je v piezometer V-8(p) zopet nastavljena od 29.7.2010 dalje.

Iz pregleda nivogramov podzemne vode (*graf 1 in priloga 1*) za obdobje od 09.09.2009 do 01.08.2010 je razvidno da je bil v piezometru V-1(p) maksimalni nivo podzemne vode dosežen dne 26.12.2009, in sicer je znašal nivo 285,28 m.n.v. (8,61 m od terena). Piezometer V-8(p) je svoj maksimum nivoja podzemne vode dosegel dne 28.12.2009, in sicer je znašal nivo 285,41 m.n.v. (8,56 m od terena), medtem ko je podzemna voda v piezometru V-5(p) dosegla maksimum dne 01.03.2010, ki je znašal 285,05 m.n.v. (8,72 m od terena). Iz nivograma reke Ljubljanice (*graf 2*) je razvidno, da je v zadnjem letu imela reka tri večje poplavne vale, in sicer 25/26 decembra 2009 ter 20. in 27. februarja 2010. Glede na prejšnji maksimalni nivo v decembru je bil nivo podzemne vode v piezometru V-5(p) februarja 2010 višji za 13 cm.

Praznjenje oz. padanje nivoja podzemne vode pa je obratno sorazmerno dvigu. Tako začne najhitreje padati nivo podzemne vode v piezometru V-1(p), nato v piezometru V-8(p) ter ca. po 1 – 3 dneh nivo v piezometru V-5(p).



### 3. HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PROUČEVANEGA OBMOČJA IN INTERPRETACIJA MERITEV

#### 3.1 PREGLED NIVOGRAMOV

Hidrogeološke karakteristike proučevanega območja smo dobili na podlagi strukturnih vrtin, izvedenih črpalnih poskusov meritev nivojev podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) in pridobljenih nivogramov reke Ljubljanice za obdobje izvajanja monitoringa v piezometrih.

Karto nivojev glede na maksimalne kote podzemne vode v posameznem piezometru, ki smo jo prikazali v *prilogi G 1.1. (IRGO Consulting d.o.o. IC 67/10, februar 2010)* ne podajamo, saj bi jo le podvajali. Iz primerjave *grafa 1 in grafa 2* je razvidno, da vsi nivogrami oscilirajo zelo podobno. Maksimumi in minimumi nivogramov podzemne vode glede na nivo reke Ljubljanice se odzivajo z določenim časovnim zaostankom. Iz karte nivojev (*priloga G 1.1. IRGO Consulting, IC 67/10, feb. 2010*) je razvidno, da teče podzemna voda na proučevanem območju, ob visokem vodnem stanju Ljubljanice v Gruberjevem kanalu sprva od jug-jugozahoda proti sever-severovzhodu nato pa se po prehodu poplavnega vala usmerja v smeri toka Ljubljanice (v smeri Grubarjevega kanala).

Iz *grafa 1* je razvidno, da je nivo v piezometru V-1(p) najhitreje dosegel maksimum, medtem ko sta preostala piezometra z maksimumom zaostajala ca. 2 – 3 dni. Smer toka visokega nivoja podzemne vode med 26.12. in 30.12.2009 oz. ob prehodu poplavnega vala je bil proti severozahodu, strmec nivoja podzemne vode pa je znašal med 3,6 in 4,5 ‰.

Ob nizkem vodnem stanju 09. – 10. okt. 2009 pa je bil tok podzemne vode usmerjen proti jugu – jugovzhodu. Iz karte nivojev (poročilo IC 468/09) domnevamo, da Ljubljanica oz. pod Grubarjev kanal podzemno vodo celo drenira. Strmec nivoja podzemne vode ob nizkem stanju znaša ca. 6‰.

Maksimalne in minimalne kote nivoja podzemne vode opazovane v obdobju od 09. sept. 2009 do 01.08.2010 prikazuje *preglednica 3*.

**Preglednica 3:** Maksimalni in minimalni nivoji podzemne vode v piezometrih in razpon nihanja podzemne vode.

	Datum	V-1(p) (m.n.v.)	Datum	V-5(p) (m.n.v.)	Datum	V-8(p) (m.n.v.)
max.nivo (m.n.v.)	26.dec.09	285,28	01.mar.10	285,05	28.dec.09	285,41
min. nivo (m.n.v.)	10.okt.09	282,44	13.okt.09	283,45	09.okt.09	283,01
razpon (m)	2,84		1,60		2,40	

Iz preglednice 3 je razvidno, da podzemna voda najbolj oscilira na območju piezometra V-1(p) oz. na južnem do jugovzhodnem delu bodočega gradbišča, na območju ob Grubarjevem prekopu. Razpon v piezometru V-1(p) je znašal 2,84 m. Nihanje podzemne vode se proti zahodu zmanjša in znaša na območju piezometra V-8(p) 2,40 m, najmanjše pa je nihanje podzemne vode na severnem delu bodočega gradbišča, kjer znaša na območju piezometra V-5(p) 1,46 m.

### 3.2 REŽIM TOKA LJUBLJANICE V GRUBARJEVEM KANALU

Kot smo že omenili, reko Ljubljanico merijo na vodomerni postaji Moste-Ljubljana, in sicer meritve izvaja ARSO. Nivo reke merijo za pregrado (zapornico). Ta vodomerna postaja, katere nivogram reke je prikazan na grafu 2 zaradi oddaljenosti od proučevanega območja ni merodajna za primerjavo nadmorskih višin reke in podzemne vode. Kot je znano se struga reke Ljubljanice na Špici v Ljubljani razdeli v dva kraka, in sicer Grubarjev kanal in Ljubljanico. V Štepanškem naselju se oba kraka združita. Reka Ljubljanica, ki teče po severni strani grajskega hriba, skozi Ljubljano, teče po betonskem kanalu (J. Plečnik), nivo gladine v kanalu pa uravnava zapornica v Mostah, kjer ima ARSO tudi vodomerno postajo. Grubarjev kanal pa teče od Špice po južni strani grajskega hriba. Struga Grubarjevega kanala oz. korito kanala je obdano s kamnitimi bloki, ki so za vodo slabo prepustni. Gladino reke v Grubarjevem kanalu uravnavajo na zapornici *slika 1*.



**Slika 1:** Lokacija jezu na Grubarjevem kanalu in lokacija proučevanih piezometrov.

Vloga zapornice na Gruberjevem kanalu je predvsem uravnavanje reke Ljubljanice na Ljubljanskem barju ter skladno z zapornico v Mostah tudi nivo v koritu struge skozi Ljubljano. Zaradi tega (ARSO) vzdržujejo na zapornici na Gruberjevem kanalu (*slika 1*) konstantno koto nivoja reke, in sicer 285,60 m.n.v. Po podatkih ARSO reka tudi ob poplavih nikoli ni presegla te kote, saj ob povodnjih odprejo vse zapornice. Ob povodnjih se torej na našem proučevanem območju lahko pričakuje poplavni val z max. koto 285,60 m.n.v.

Iz prikazanega se lahko interpretira višina nivoja podzemne vode na proučevanem območju. Kot smo že povedali, so bile padavine in odjuga v decembru 2009 blizu 100 letnim nivojem reke Ljubljanice. Glede na to, ker sta bili zapornici v Mostah in na Gruberjevem kanalu odprti, koto nivoja reke za zapornico ni presegla kote 285,60 m.n.v. Zaradi tega je razumljivo, zakaj je max. kota v piezometru V-1(p) ob poplavnem valu (če smo dosledni po ca. 25 urah) znašala 285,28 m.n.v., šele po ca. treh dneh pa je svoj max. dosegel piezometer V-8(p), in sicer je znašal nivo 285,41 m.n.v., kar je 0,13 m višje, kot pa je znašal nivo podzemne vode v piezometru V-1(p), ki leži najbližje reki.

Za širjenje tlačne motnje v vodonosniku glede na poplavni val in nivo reke za jezom so očitno pomembne oddaljenosti piezometrov od pregrade (zapornice) in struge Gruberjevega kanala. Ti parametri so prikazani v *preglednici 4*.

**Preglednica 4:** Oddaljenost piezometrov od zapornice na Gruberjevem kanalu in od struge reke.

	V-1(p)	V-5(p)	V-8(p)
<b>Oddaljenost od zapornic (m)</b>	305	360	240
<b>oddaljenost od struge Gruberjevega kanala* (m)</b>	50	215	165

\* OPOMBA: merjeno pravokotno na strugo.

### 3.3 KORELACIJA MED NIVOGRAMI REKE LJUBLJANICE IN NIVOGRAMI PODZEMNE VODE

Iz primerjave *grafa 1* in *grafa 2* je razvidno, da imajo nivogrami podzemne vode v piezometrih na našem proučevanem območju neko soodvisnost z nivojem reke Ljubljanice. To soodvisnost smo preverili s korelacijsko analizo.

Korelacijska analiza proučuje soodvisnost (oz. povezanost, stopnjo usklajenosti) med dvema (lahko tudi večimi) statističnima spremenljivkama, brez da bi katero od njiju posebej smatrali za neodvisno oz. odvisno. Soodvisnost med dvema statističnima spremenljivkama lahko povzroča tudi kakšna tretja spremenljivka npr. v našem primeru padavine.

Predhodno smo nivograme piezometrov v odvisnosti od nivograma reke Ljubljanice časovno uskladili s pokrivanjem maksimuma (oz. ker so nivogrami sovpadali so se pokrivali vsi maksimumi in minimumi). Grafični prikaz oz. grafi odvisnosti nivoja podzemne vode v posameznem piezometru glede na nivo reke Ljubljanice merjen na vodomerni postaji Moste-LJ v obdobju med 09. septembrom 2009 in 01. avgustom 2010 so prikazani v *prilogi 2*.



Iz *priloge 2* je razvidno, da je kvadrat korelacijskega koeficienta oz. determinacijski koeficient ( $R^2$ ), ki je v bistvu delež pojasnjene variance v primeru linearne regresije in v našem primeru določa soodvisnost med nivojem Ljubljance in nivojem podzemne vode v posameznem piezometru največji za nivo podzemne vode v piezometru V-1(p) in znaša 0,877, v piezometru V-8(p) znaša  $R^2$  0,852, medtem ko znaša  $R^2$  za nivo podzemne vode v piezometru V-5(p) 0,736.

Na podlagi dobljenih korelacijskih koeficientov oz. determinacijskih koeficientov ( $R^2$ ) med nivoji reke Ljubljance in nivoji podzemne vode v posameznem piezometru smo nato analizirali časovni zamik med nivojem reke in nivojem podzemne vode (širjenje hidravlične motnje) v vodonosniku za vsak piezometer posebej. To smo naredili tako, da smo v odvisnosti nivoja reke Ljubljance, ki je prikazan v realnem času premikali čas oz. časovno odvisne nivoje podzemne vode za posamezni piezometer od časa  $t_0$  (oba nivograma reke in nivo podzemne vode v posameznem piezometru imata enako časovno skalo in  $R^2$  je najmanjši) do časa  $t_R$ , ko je soodvisnost med nivojem reke in podzemno vodo v posameznem piezometru največja, časovna skala pa je zamaknjena za vrednost  $t_R$ . Ta vrednost pa ne predstavlja nič drugega, kot čas, ki je potreben da ob spremembi nivoja reke, npr. ob poplavnem valu pride tlačna motnja do posameznega piezometra.

Statistično obdelane in dobljene vrednosti časovnega zamika so prikazane v *preglednici 5*, medtem ko so grafi prikazani v *prilogi 3*.

**Preglednica 5:** Korelacijski koeficient ( $R$ ), determinacijski koeficient ( $R^2$ ) ter časovni zamik med nihanjem gladine reke Ljubljance in nihanjem podzemne vode v posameznem piezometru.

	V-1(p)	V-5(p)	V-8(p)
<b>korelacijski koeficient (<math>R</math>) med Ljubljanco in</b>	0,936	0,858	0,923
<b>determinacijski koeficient (<math>R^2</math>) med Ljubljanco in</b>	0,877	0,736	0,852
<b>časovni zamik med nivogrami (ura)</b>	28	105	75

Iz *preglednice 5* je razvidno, da je čas širjenja tlačne motnje zaradi osciliranja reke Ljubljance v Gruberjevem kanalu od reke do piezometra V-1(p) 28 ur, do piezometra V-8(p) 75 ur in do piezometra V-5(p) ca. 105 ur.

## **4. ZAKLJUČEK**

Na območju Spodnjih Poljan je predvidena gradnja treh akademij. Zaradi prekratkega časa izvajanja monitoringa je naročnik dobil zavrnjeno revizijsko poročilo. Zaradi tega je naročnik podal zahtevo za drugo hidrogeološko mnenje za dodatno izmero nivojev podzemne vode.

Monitoring nivojev podzemne vode je trajal 11 mesecev. Zaradi tehnične okvare tlačne sonde v piezometru V-8(p) manjkajo podatki med februarjem in koncem julija 2010.

Iz pregleda nivogramov podzemne vode za obdobje od 09.09.2009 do 01.08.2010 je razvidno da je bil v piezometru V-1(p) maksimalni nivo podzemne vode dosežen dne 26.12.2009, in sicer je znašal nivo 285,28 m.n.v. (8,61 m od terena). V piezometru V-8(p) je bil maksimum nivoja podzemne vode dosežen dne 28.12.2009, in sicer je znašal nivo 285,41 m.n.v. (8,56 m od terena), medtem ko je podzemna voda v piezometru V-5(p) dosegla maksimum dne 01.03.2010, nivo je znašal 285,05 m.n.v. (8,72 m od terena). Iz nivograma reke Ljubljanice je razvidno, da je v zadnjem letu imela reka tri večje poplavne vale (maksimume), in sicer 25/26 december 2009 ter 20. in 27. februarja 2010. Glede na prejšnji maksimalni nivo v decembru je nivo podzemne vode v piezometru V-5(p) februarja 2010 bil višji za 13 cm.

Rezultati vseh geomehanskih preiskav so bili podani že v Končnem geomehanskem in hidrogeološkem poročilu gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij (IC 468/09). Zaradi povodnji in dviga podzemne vode na proučevanem območju je bilo v decembru 2009 izdan še dodatek h končnemu poročilu IC 468/09, v katerem smo upoštevali nove maksimalne nivoje podzemne vode. Glede na predhodna poročila je novi maksimum nivoja podzemne vode bil dosežen le v vrtini V-5(p), in sicer je znašal 285,05 m.n.v..

Poleg dodatnih meritev nivojev podzemne vode smo v drugem dodatnem poročilu podali meritve gladine reke Ljubljanice (v.p. Moste-LJ), podali smo korelacijsko analizo med nivojem reke Ljubljanice in nivojem podzemne vode v posameznem piezometru, izračunali smo čas prihoda širjenja hidravlične motnje glede na nivo reke do posameznega piezometra in izvedli meritve na zapornici Grubarjevega kanala ca. 300 m zahodno od proučevanega območja.

Iz poročila je razvidno, da je po podatkih ARSO kota reke Ljubljanice v Grubarjevem kanalu za zapornico korigirana na 385,60 m.n.v. Dolvodno od zapornice pa je kota reke občutno nižja, ob sušah tudi več, kot 4 m. Ob povodnjih, v primeru ko je zapornica maksimalno odprta, pa lahko znaša kota reke ob našem proučevanem območju malo manj, ali pa celo 385,60 m.n.v. V decembru 2009, ko je Ljubljanica dosegla skoraj 100 letne vode je bil maksimum nivoja podzemne vode v V-8(p) na 285,41 m.n.v.

Zaradi navedenega, višje kote podzemne vode od kote **285,60 m.n.v.** na našem proučevanem območju ne pričakujemo. Kljub temu predlagamo, da se opazovanje nivoja podzemne vode v vseh treh piezometrih nadaljuje.

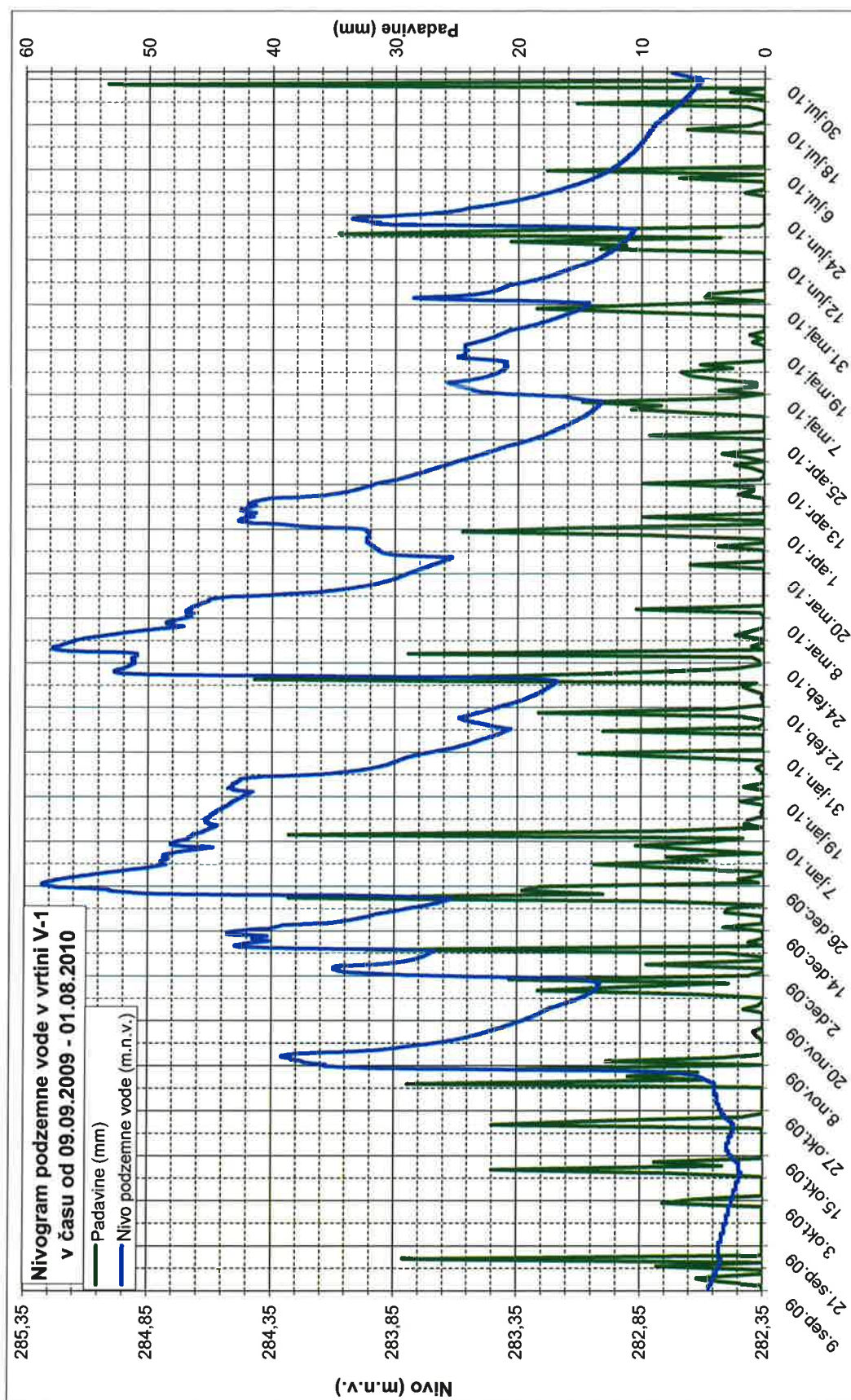
Da ima reka Ljubljanica v Grubarjevem kanalu veliki vpliv na nivo podzemne vode smo dokazali tudi s korelacijsko analizo, kjer smo ugotovili soodvisnost oz. odvisnost nivoja podzemne vode od nivoja reke Ljubljanice v Grubarjevem kanalu. V okviru statistične analize smo izračunali tudi časovni zamik med nivojem reke Ljubljanice in nivoji podzemne vode v posameznem piezometru. Časovni zamik širjenja tlačne motnje iz reke v podzemno vodo znaša do piezometra V-1(p) 28 ur, do piezometra V-8(p) 75 ur in do piezometra V-5(p) 105 ur.

Priporočamo, da se izkop gradbene jame in izdelava temeljev izvaja v sušnem obdobju. V tem obdobju se mora nujno spremljati nivo reke Ljubljanice, najbolje kar za zapornico v Grubarjevem kanalu in seveda nivo podzemne vode v piezometrih. Ob morebitnem povišanem nivoju reke pa se naj, kot preventiva upoštevajo časovni zamiki širjenja tlačne motnje iz reke v vodonosnik oz. do posameznega piezometra.

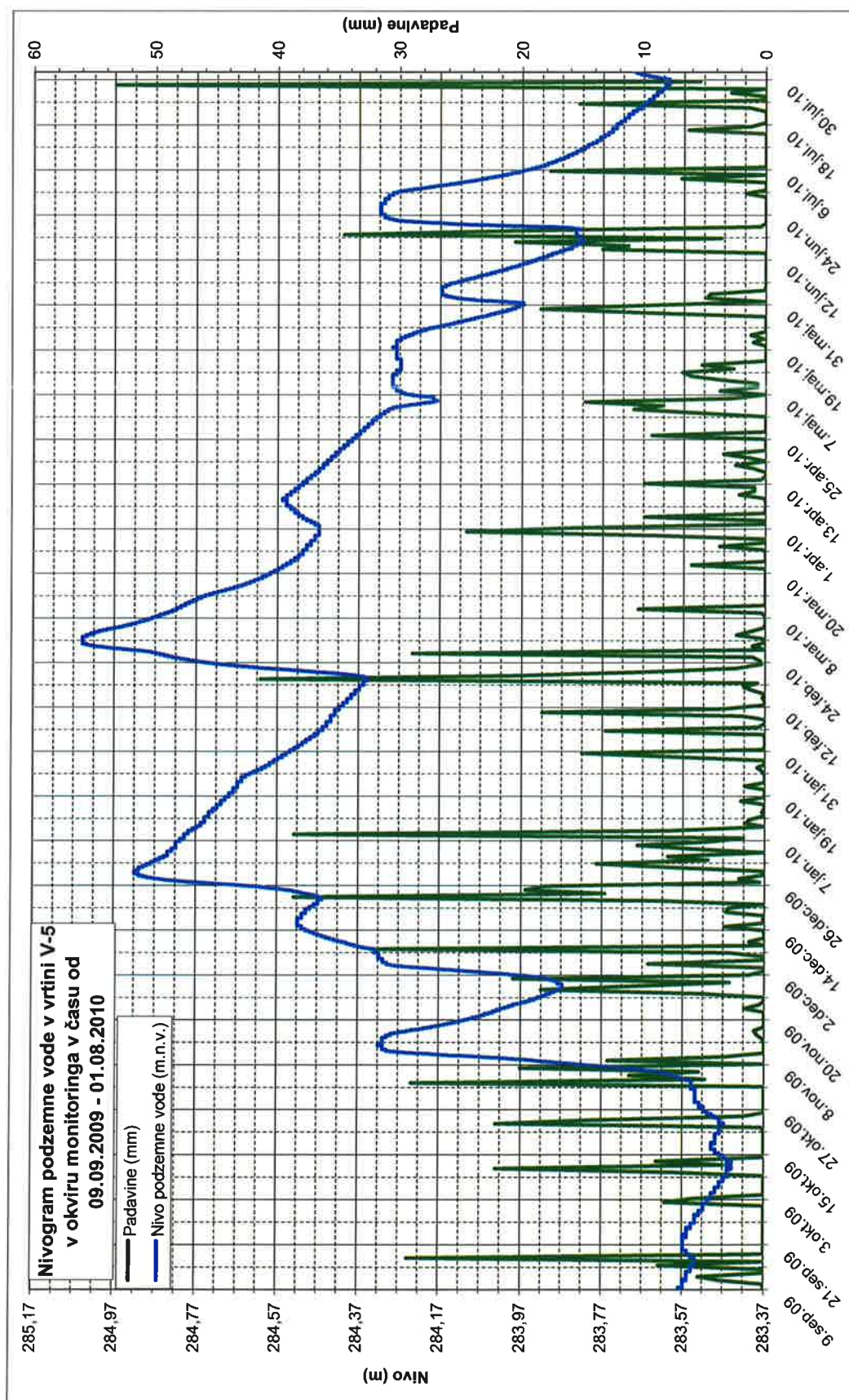


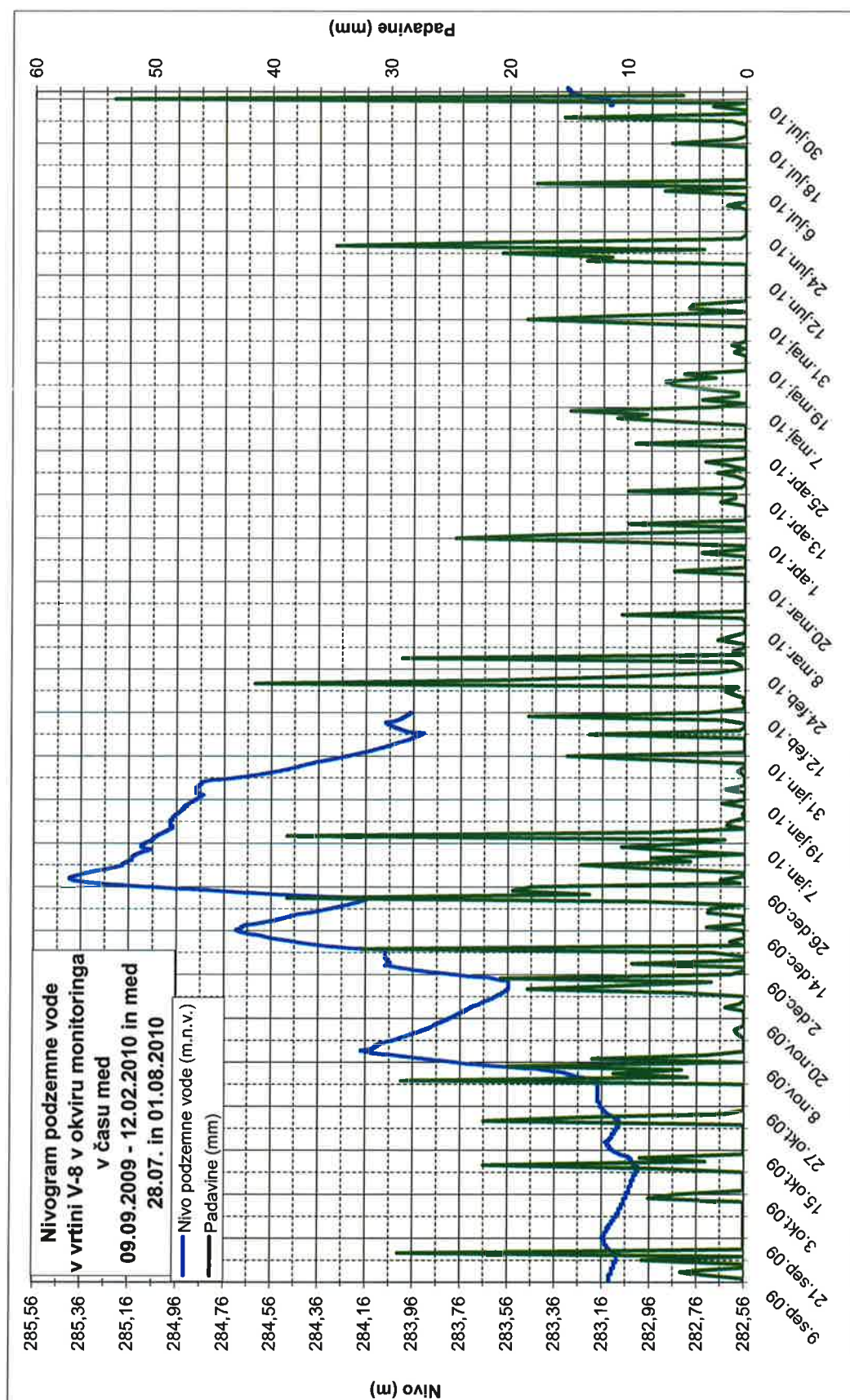
# PRILOGE

**PRILOGA 1:**     *Nivogrami piezometrov V-1 (p), V-5 (p) in V-8 (p).*



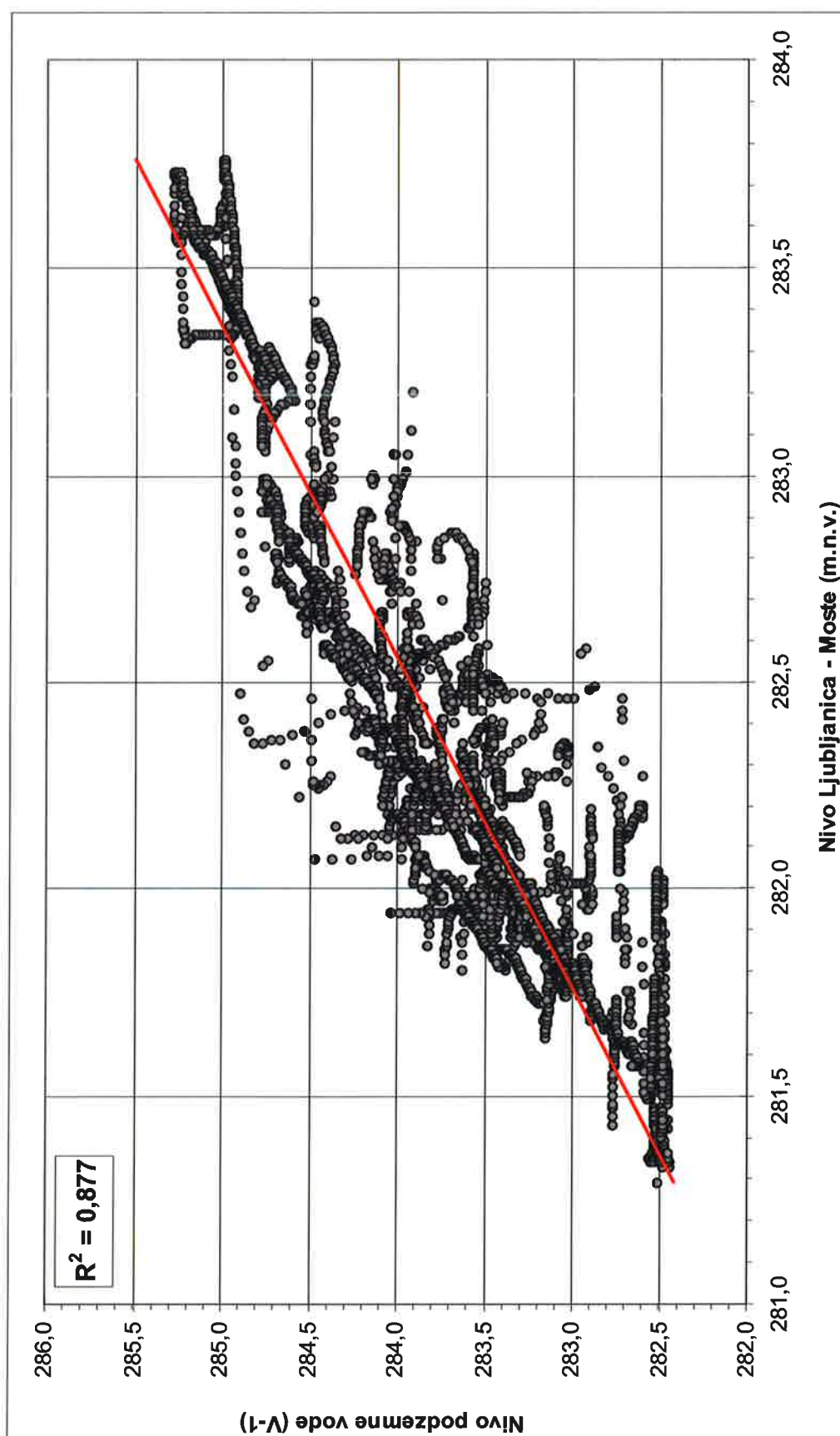


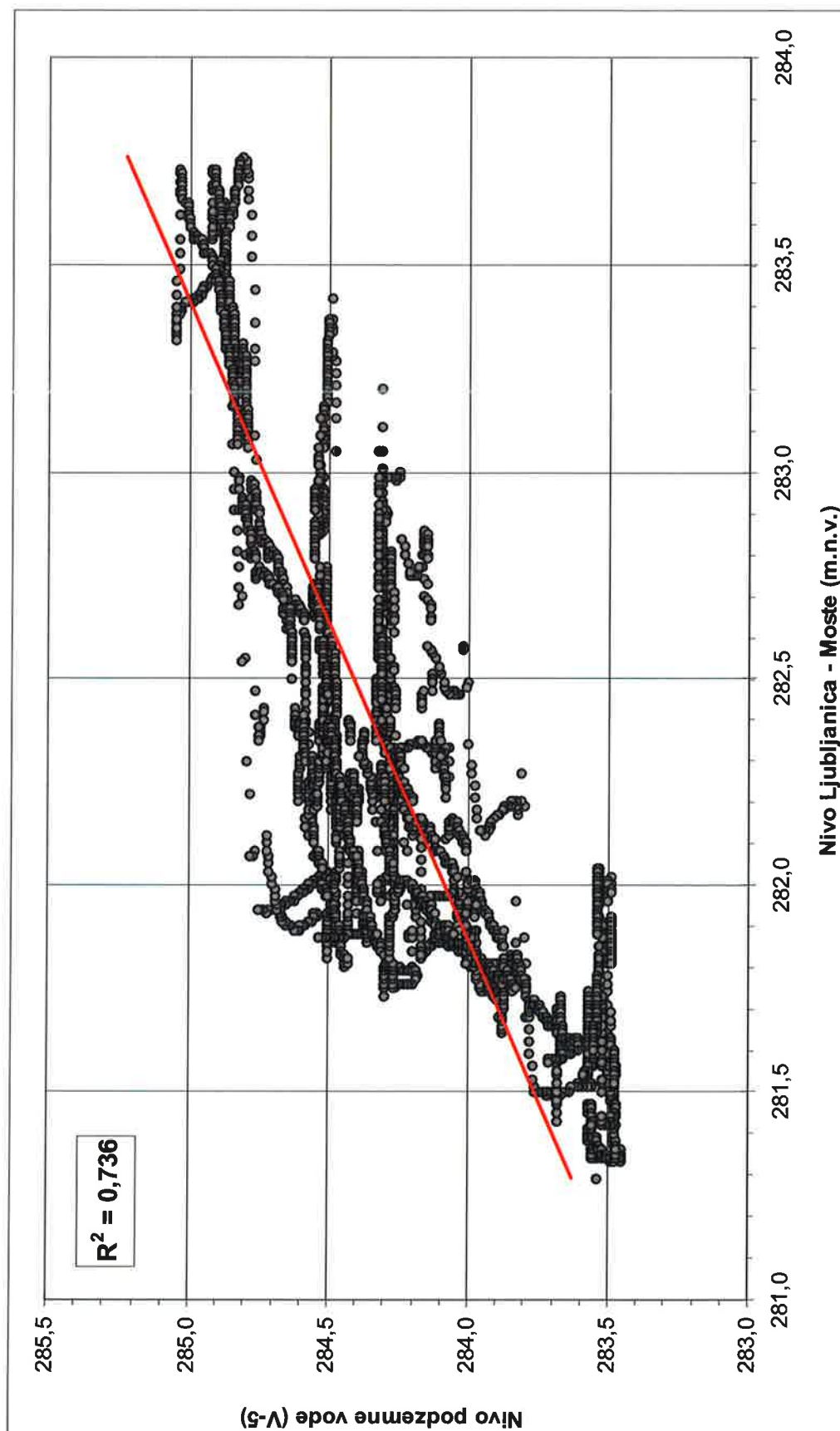


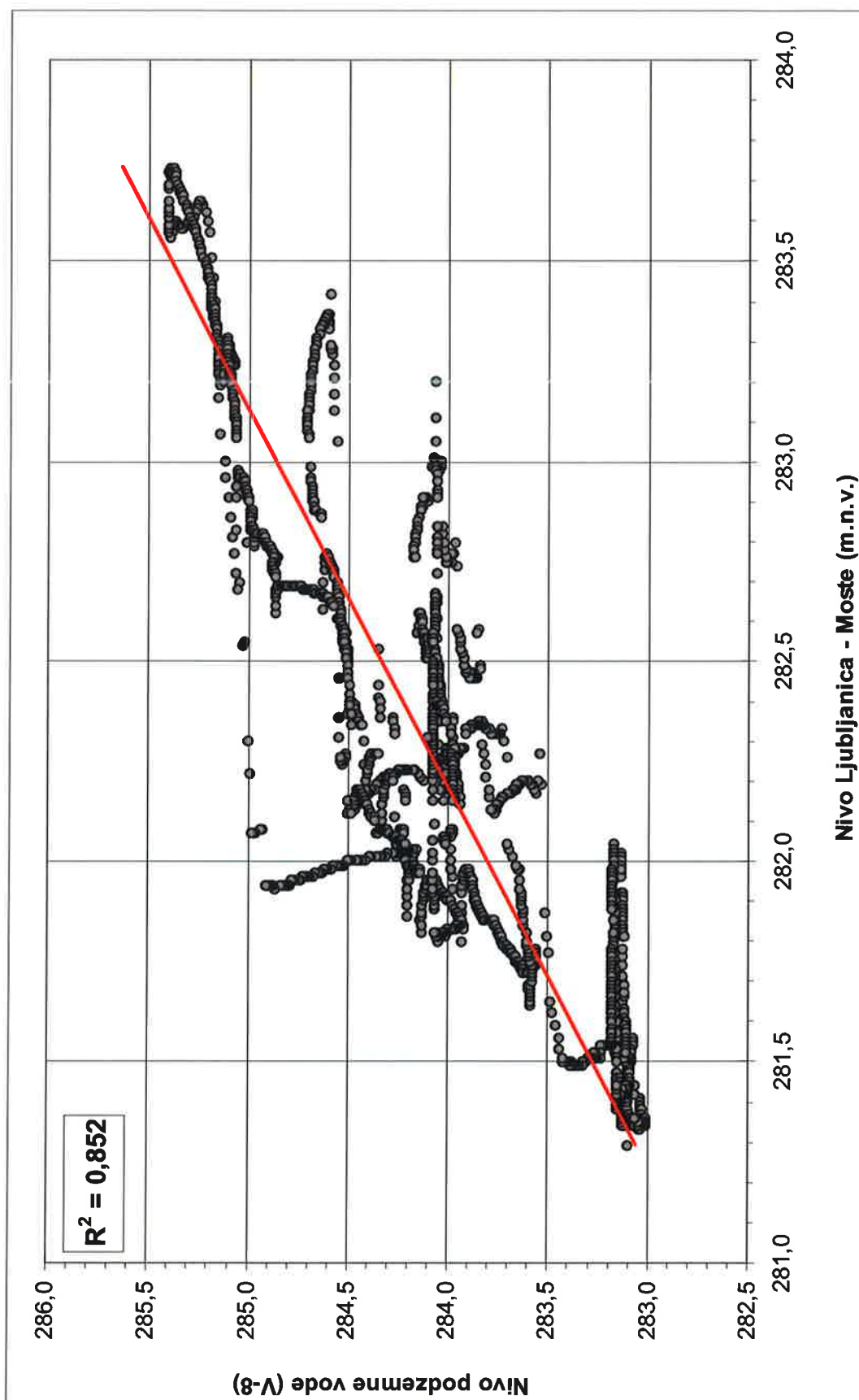


**PRILOGA 2:** Grafi odvisnosti nivoja podzemne vode v posameznem piezometru glede na nivo reke Ljubljanice merjen na vodomerni postaji Moste-LJ v obdobju med septembrom 2009 in avgustom 2010





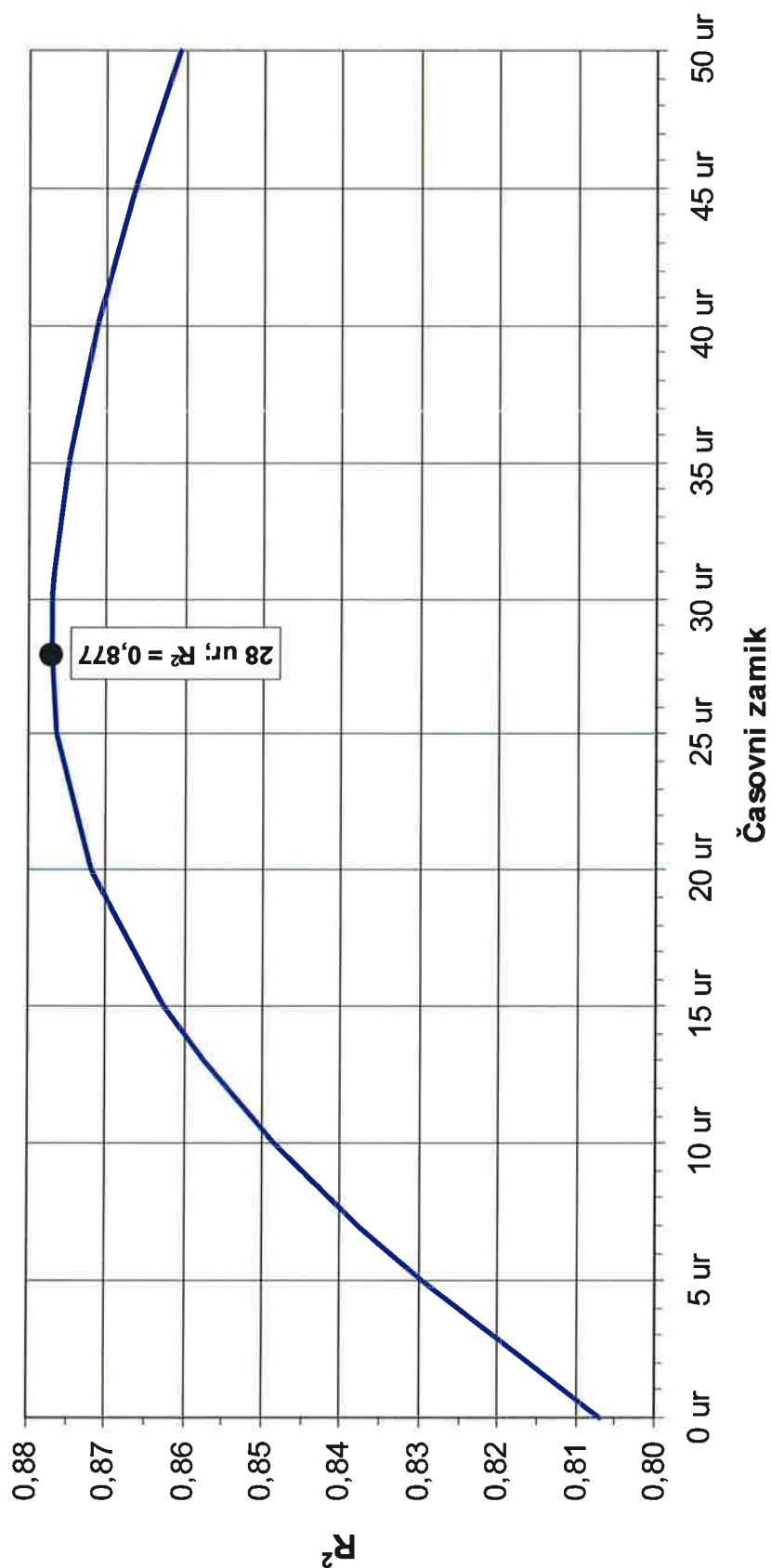


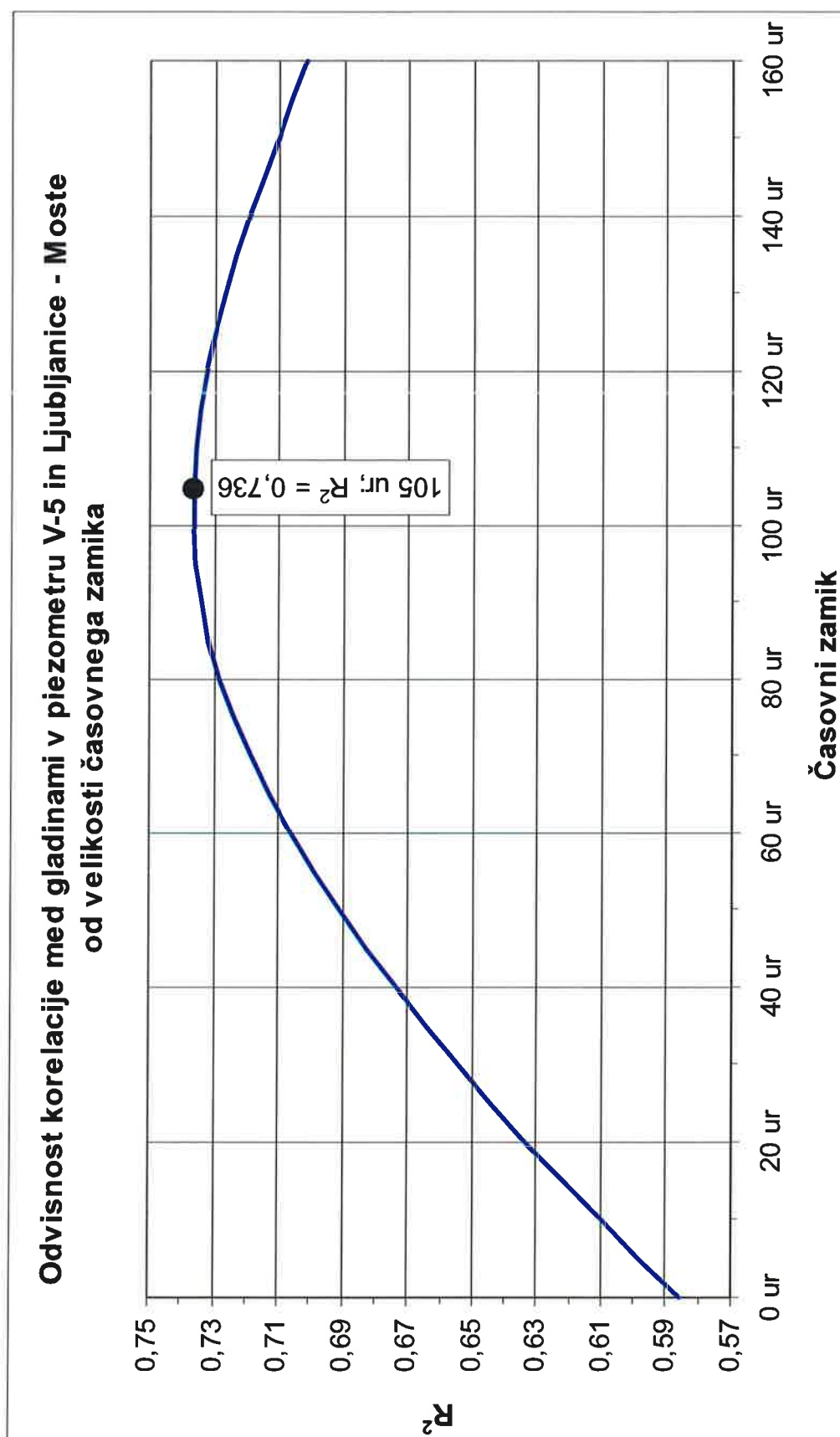




**PRILOGA 3:** Grafi prikaza vrednosti časovnega zamika med osciliranjem reke Ljubljanice oz. širjenja tlačne motnje v vodonosnik in osciliranjem podzemne vode v posameznem piezometru.

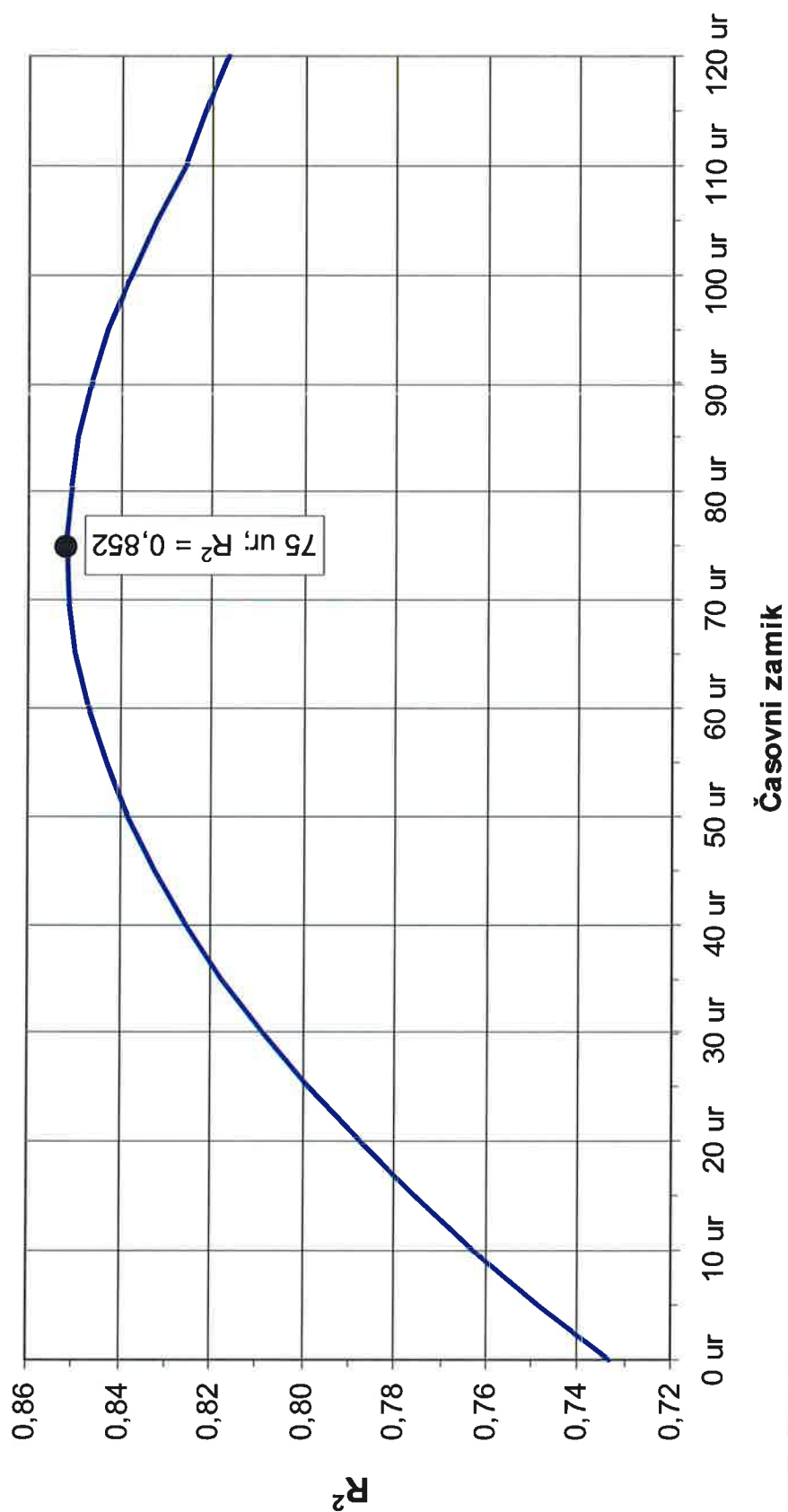
# **Odvisnost korelacije med gladinami v piezometru V-1 in Ljubljanice - Moste** **od velikosti časovnega zamika**







**Odvisnost korelacije med gladinami v piezometru V-8 in Ljubljanice - Moste  
od velikosti časovnega zamika**



**TRETJE DODATNO HIDROGEOLOŠKO POROČILO GRADBENE  
JAME NA SPODNJIH POLJANAH V LJUBLJANI  
– OBMOČJE TREH AKADEMIJ-  
(NIVO PODZEMNE VODE MED POPLAVAMI V SEPT. 2010)**

**november 2010**

---

**Naslov projekta:** TRETJE DODATNO HIDROGEOLOŠKO  
POROČILO GRADBENE JAME NA SPODNJIH  
POLJANAH V LJUBLJANI – OBMOČJE TREH  
AKADEMIJ  
NIVO PODZEMNE VODE MED POPLAVAMI V  
SEPTEMBRU 2010

**Naročnik:** GEOINVEST d.o.o  
Dimičeva 16, Ljubljana

**Naročilnica:** Naročilo z dne 11. 11. 2010 – po e-pošti

**Izvajalec:** IRGO Consulting, d.o.o.  
Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana

**Direktor:** doc. dr. Vojkan Jovčič, u.d.i.gradb.  

**Številka poročila:** ic 470/10

**Datum:** November 2010

**Izdelava poročila:** Melhior Pregl, u.d.i.geol.

Boštjan Ivačič 



**VSEBINA:**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIDROGEOLOŠKE IN HIDROLOŠKE MERITVE.....</b>	<b>2</b>
2.1 <b>HIDROGEOLOŠKI IN HIDROLOŠKI MONITORING NA PROUČEVANEM             OBMOČJU – REZULTATI MERITEV.....</b>	<b>2</b>

## **PRILOGE:**

**PRILOGA 1:** Nivogrami piezometrov V-1 (p), V-5 (p) in V-8 (p).

## **PREGLEDNICE:**

<i>Preglednica 1: Koordinate piezometrov na proučevani lokaciji treh akademij. ....</i>	<i>2</i>
<i>Preglednica 2: Maksimalni nivoji podzemne vode v piezometrih med poplavami na območju treh akademij. ....</i>	<i>4</i>

## **GRAFI:**

<i>Graf 1: Nivogram podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) med 09. sept. 2009 in 01. avg. 2010. ....</i>	<i>3</i>
<i>Graf 2: Nivogram reke Ljubljanice na merskem mestu Moste-LJ v obdobju od 09.09.2009 do 01.08.2010. ....</i>	<i>3</i>

## 1. UVOD

Na območju spodnjih Poljan v Ljubljani, Univerza v Ljubljani načrtuje izgradnjo večjega kompleksa z imenom tri akademija. Za naročnika GEOINVEST d.o.o. (pogodba št. 28/09) smo v oktobru 2009 izdelali *Geomehansko in hidro-geološko poročilo gradbene jame na spodnjih Poljanah v Ljubljani – območje treh akademij, IC 468/09*. Ker je bil časovni razpon monitoringa nivojev podzemne vode merjen na piezometrih V-1pz, V-5pz in V-8pz v času med izvedbo vrtin in oddajo poročila prekratek, je revizor zahteval dodatne meritve. Poročilo o dodatnih meritvah nivojev podzemne vode smo oddali februarja 2010 (IRGO Consulting d.o.o., IC 67/10). V tem poročilu smo tudi:

- ▶ opisali dinamiko podzemnih voda na proučevanem območju,
- ▶ ponovno pojasnili, da je za bilo kakršen resnejši monitoring potrebno izvajati meritve nivojev vsaj eno hidrološko leto,
- ▶ podali hidrogeološko karto smeri toka podzemne vode ob maksimumu v posameznem piezometru,
- ▶ podali smo sum o napajanju podzemne vode iz Gruberjevega kanala,
- ▶ ponovno podali geotehnične pogoje gradnje glede na nova dejstva oz. nove izmerjene max. nivoje podzemne vode, itd.

V juliju 2010 je izdelovalec projekt IMOS d.d. ponovno dobil negativno revizijsko poročilo s strani revizorjev, ki pregledujejo načrt zaklonišča v okviru omenjenega projekta. Glavna bojazen revidenta je namreč bila, da hidrogeološko poročilo, ki je bilo pri projektiranju upoštevano, ni merodajno, saj opazovanja višine talne vode niso bila izvajana dovolj dolgo, to je vsaj eno leto. S problematiko, katero je navedel revident se strinjamo oz. smo vsaj enoletni monitoring zagovarjali že v fazi vrtalnih del, zato smo ne glede na končanje pogodbenih del v piezometrih pustili mersko opremo ter tako nadaljevali z izvajanjem monitoringa.

Zaradi negativne ocene revizijskega poročila s strani revizorjev, ki pregledujejo načrt zaklonišča v okviru izgradnje treh akademij je naročnik v juliju 2010 podal naročilo za drugo dodatno izmero nivojev podzemne vode.

V avgustu 2010 smo izdelali Drugo dodatno hidrogeološko poročilo v katerem smo dodatno opisali:

- ▶ hidrogeološke in hidrološke meritve ter hidrogeološki monitoring do avgusta 2010,
- ▶ pregled nivogramov,
- ▶ režim toka Ljubljanice v Grubarjevem kanalu in
- ▶ korelacijo med nivogramom reke Ljubljanice in nivogrami podzemne vode v piezometrih.

Zaradi obilnih padavin v septembru 2010 in poplav, ki so bile blizu 100 l. vodam je naročnik zaradi preverbe naročil dodatno izmero nivojev podzemne vode na proučevanem območju. V nadaljevanju podajamo rezultate meritev do nov. 2010.



## 2. HIDROGEOLOŠKE IN HIDROLOŠKE MERITVE

Meritve nivojev podzemne vode smo izvajali na piezometrih opisanih v *preglednici 1*.

**Preglednica 1:** Koordinate piezometrov na proučevani lokaciji treh akademij.

Posnete vrtine				
		Y	X	H
V-5(P)	ustje	463285.53	100497.43	294,178
	teren	463285.52	100497.38	293,767
V-1(P)	ustje	463372.15	100354.68	294,197
	teren	463372.21	100354.78	293,882
V-8(P)	ustje	463204.92	100408.33	294,447
	teren	463204.96	100408.36	293,965

Nivo reke Ljubljanice pa smo dobili iz vodomerne postaje Moste.

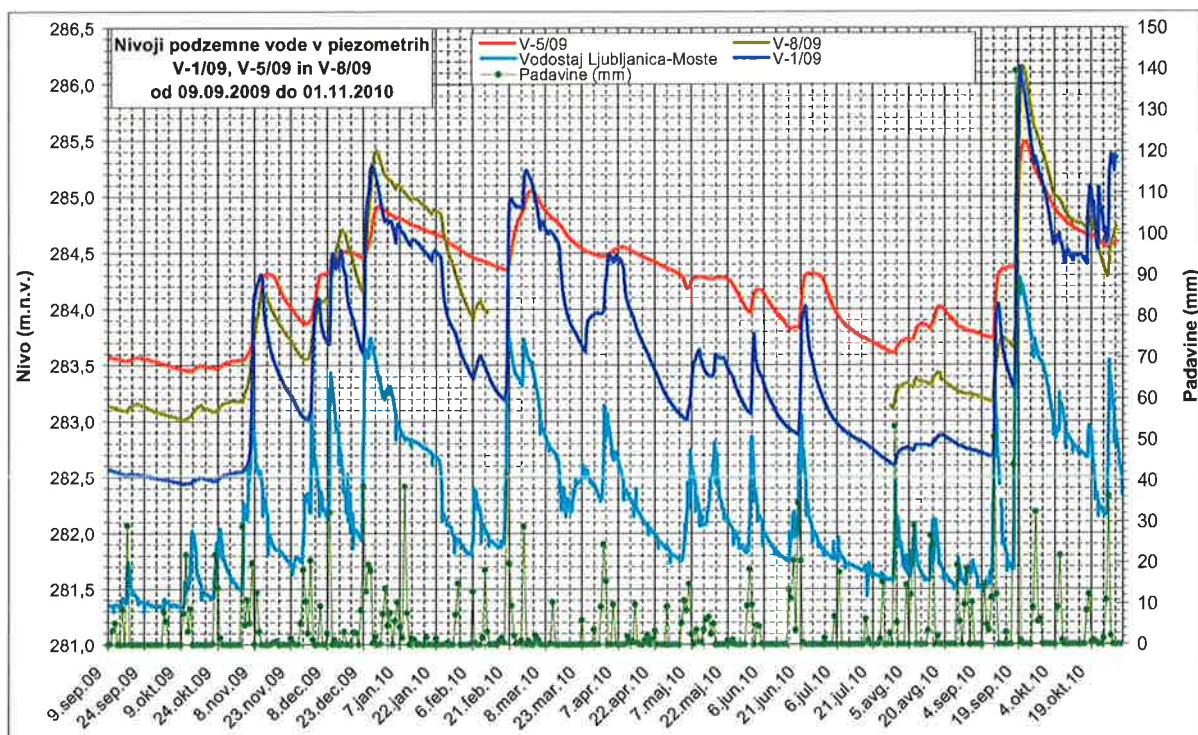
### 2.1 HIDROGEOLOŠKI IN HIDROLOŠKI MONITORING NA PROUČEVANEM OBMOČJU – REZULTATI MERITEV

Nivogram podzemne vode v vseh treh piezometrih je prikazan na *grafu 1*, medtem ko so nivogrami za posamezni piezometer posebej prikazani v *prilogi 1*. V *prilogi 1* oz. nivogramih podzemne vode smo za vsaki piezometer posebej poleg nadmorske višine podali tudi količino dnevnih padavin in absolutno koto oz. globino od tal do nivoja podzemne vode. Podatke o padavinah smo dobili od ARSO.

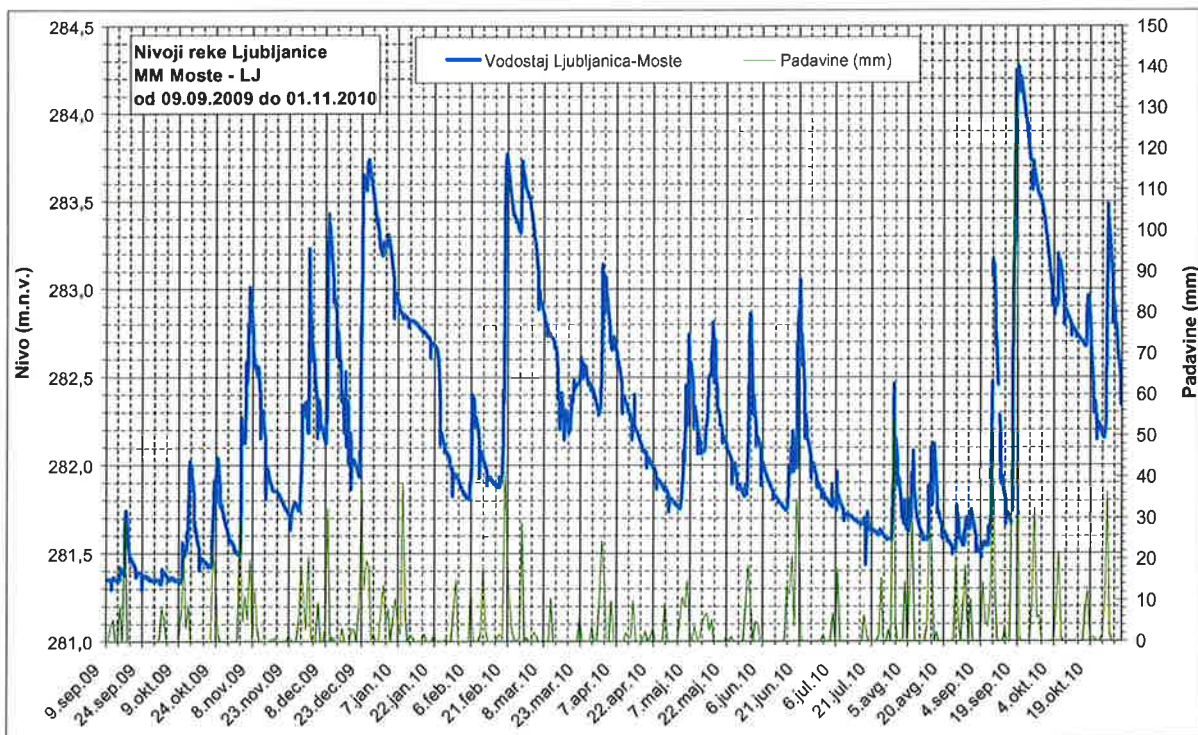
Iz nivogramov je razvidno, da nivo podzemne vode niha v odvisnosti od količine padlih ter poniklih padavin. Iz opazovanih nivojev podzemne vode je razvidno, da oscilira nivo podzemne vode v vseh piezometrih podobno. Ker je napajalno zaledje padavinskih voda za posamezni piezometer različno, smo že med izdelavo prvotnega poročila posumili, da je oscilacija podzemne vode odvisna tudi od nivoja reke Ljubljanice v Grubarjevem kanalu. To smo tudi dokazali v Drugem dodatnem hidrogeološkem poročilu (IC 306/10, avg. 2010).

Iz *grafa 1* je razvidno, da pri naraščanju nivoja podzemne vode najhitreje reagira območje okoli piezometra V-1(p), ki je tudi najbližje Gruberjevemu kanalu.

Nivogram reke Ljubljanice je prikazan na *grafu 2*. Iz *grafa 2* je tudi razvidno, da je vodostaj Ljubljanice odvisen predvsem od padavin v zaledju porečja ter predvsem Ljubljanskega barja.



**Graf 1:** Nivogram podzemne vode v piezometrih V-1(p), V-5(p) in V-8(p) med 09. sept. 2009 in 01. nov. 2010.



**Graf 2:** Nivogram reke Ljubljanice na merskem mestu Moste-LJ v obdobju od 09.09.2009 do 01.11.2010.

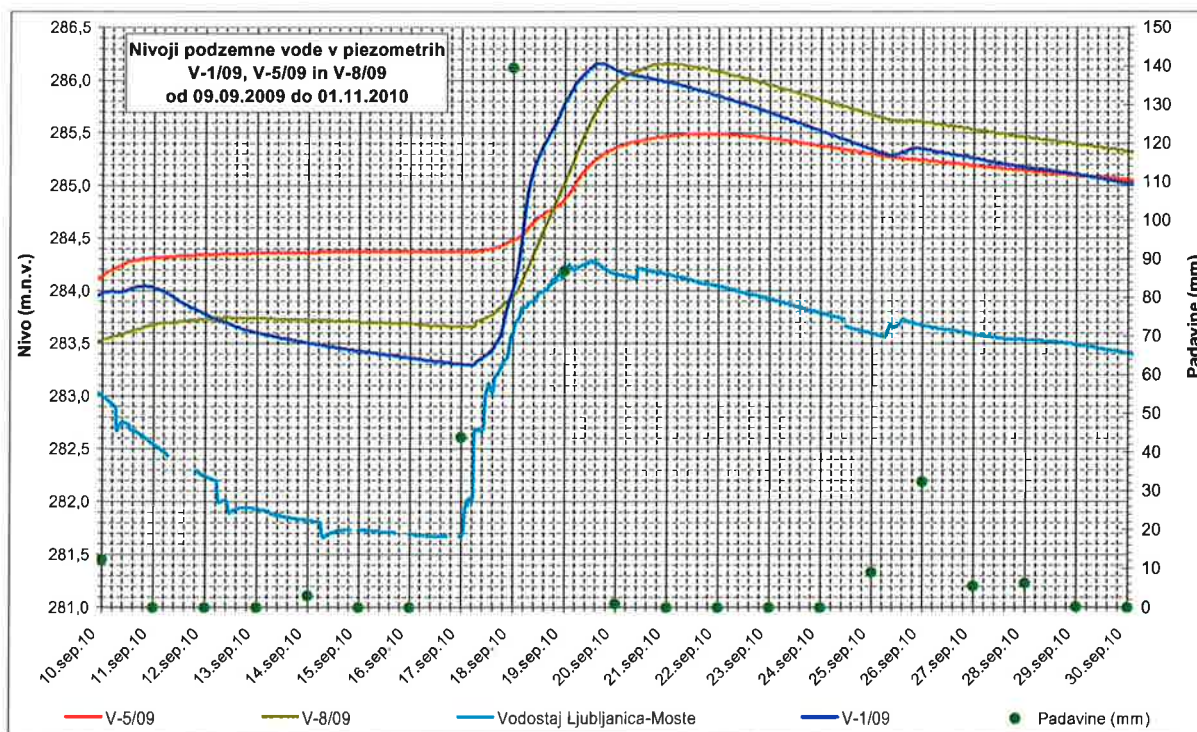


Iz *grafa 1* je razvidno, da je bil med poplavami, ki so bile v septembru 2010 (19. sept.) v piezometrih dvig nivoja podzemne vode sorazmerno hkraten. Največja amplituda dviga pa je bila v tem obdobju v piezometru V-1(p), nato v piezometru V-8(p), medtem ko je bila najnižja v piezometru V-5(p).

Vsi maksimalni nivoji so bili doseženi v septembru 2010, in sicer so znašali, kot prikazuje *preglednica 2*:

**Preglednica 2:** Maksimalni nivoji podzemne vode v piezometrih med poplavami na območju treh akademij.

piezometer	dolžina maksimuma		m.n.v.	globina (m)
	od	do		
V-1(p)	19.09.2010; 15:00	19.09.2010; 18:00	286,16	7,73
V-5(p)	21.09.2010; 08:00	22.09.2010; 04:00	285,49	8,28
V-8(p)	20.09.2010; 20:00	21.09.2010; 02:00	286,16	7,82



**Graf 3:** Nivogram podzemne vode med poplavami v sept. 2010 na območju bodočih treh akademij.

Iz pregleda nivogramov podzemne vode (*graf 1 in priloga 1*) za obdobje od 09.09.2009 do 31.10.2010 in iz *grafa 3* (obdobje od 10.09 do 30.09.2010) je razvidno da je bil v piezometru V-1(p) maksimalni nivo podzemne vode dosežen dne 19.09.2010, in sicer je znašal nivo 286,16 m.n.v. (7,73 m od terena). Trajanje maksimuma je bilo 3 ure. Piezometer V-8(p) je svoj maksimum nivoja podzemne vode dosegel dober dan kasneje oz. dne 20.09.2010, in sicer je znašal nivo 286,16



m.n.v. (7,82 m od terena). Maksimum je trajal 6 ur. Podzemna voda pa je v piezometru V-5(p) dosegla maksimum dne 21.09.2010, kar je skoraj dva dni po zabeleženem maksimumu v V-1(p). Maksimum v V-5(p) je znašal 285,49 m.n.v. (8,28 m od terena in je trajal 20 ur).

Praznjenje oz. padanje nivoja podzemne vode pa je obratno sorazmerno dvigu. Tako začne najhitreje padati nivo podzemne vode v piezometru V-1(p), nato v piezometru V-8(p) ter ca. po 1 – 3 dneh nivo v piezometru V-5(p).

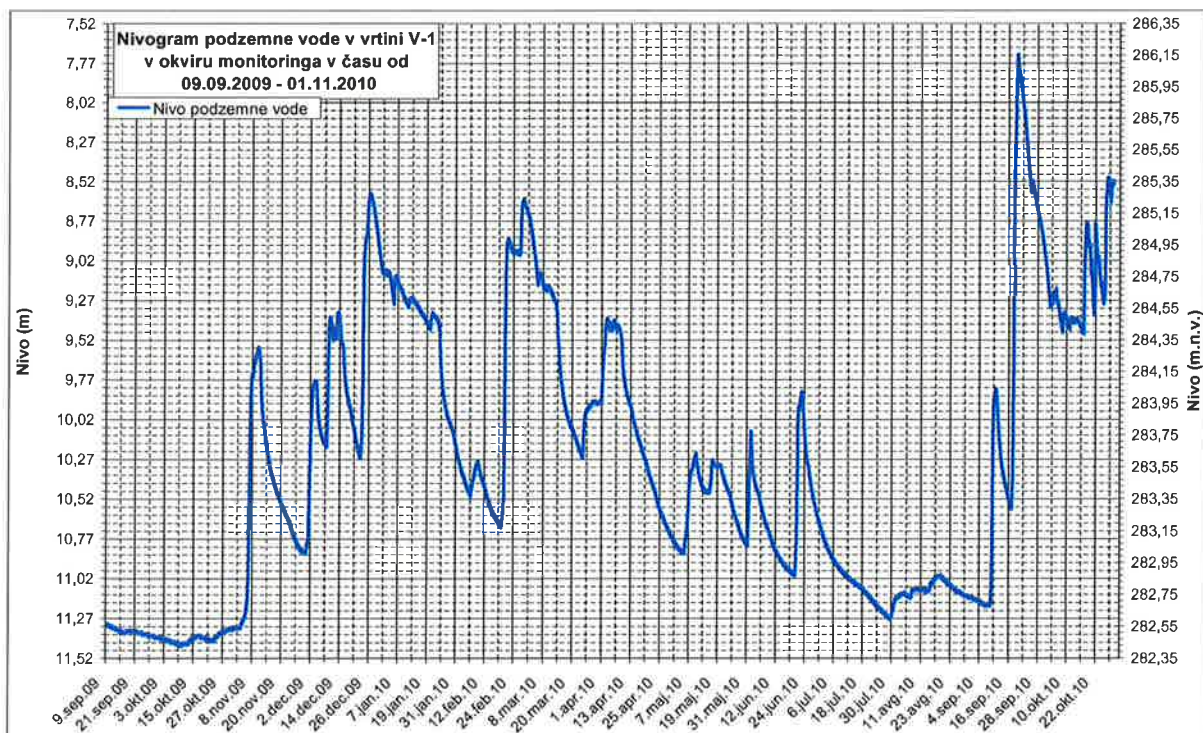
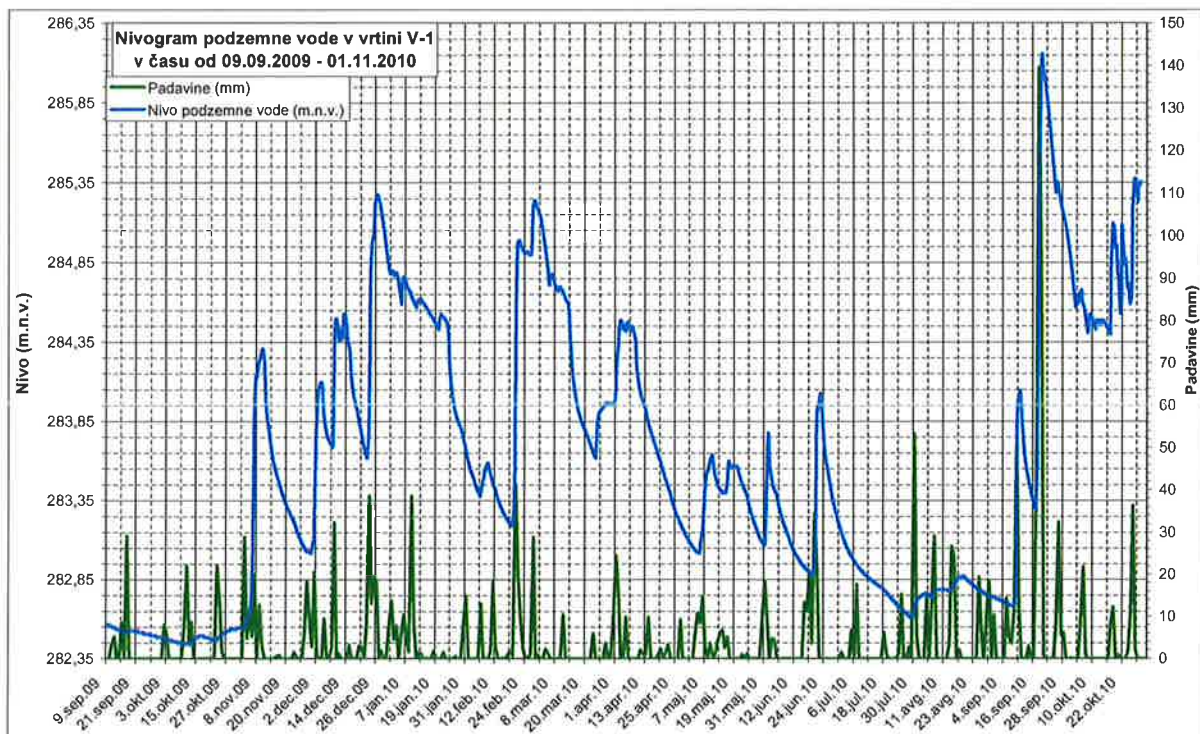
Nivogram trajanja poplav na območju treh akademij je prikazan na *grafu 3*.

# PRILOGE

**PRILOGA 1:**     *Nivogrami piezometrov V-1 (p), V-5 (p) in V-8 (p).*

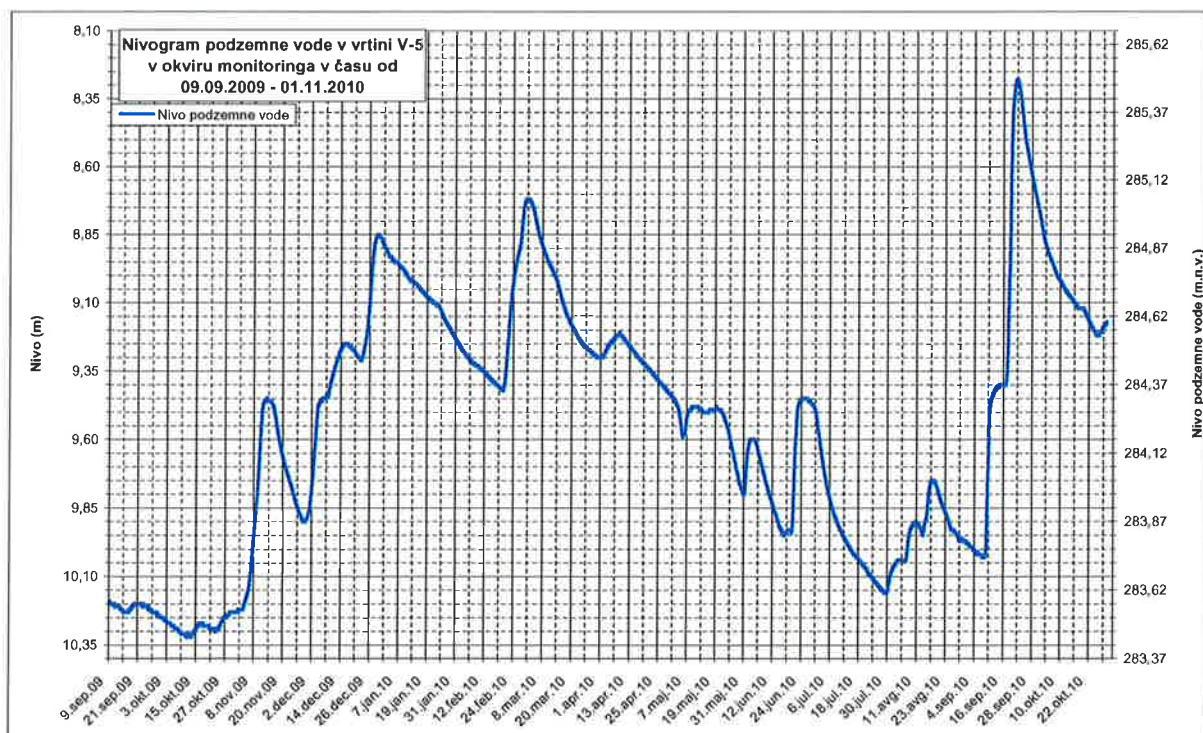
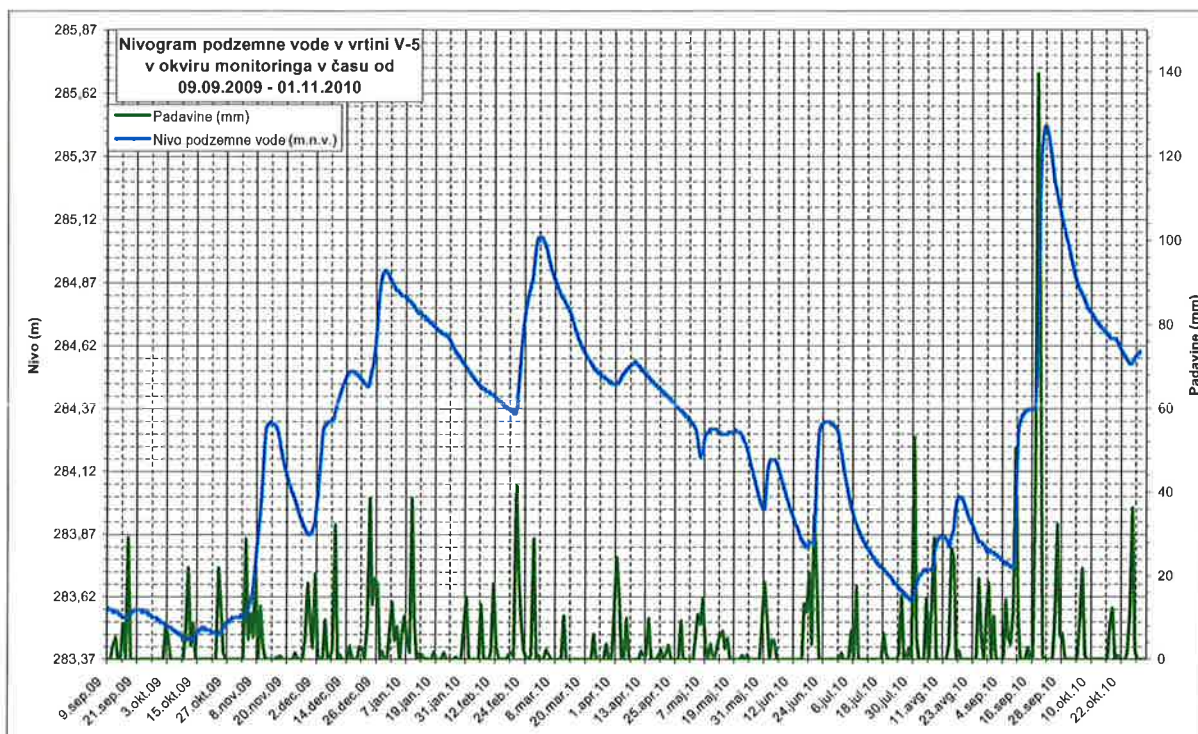


## PIEZOMETER V-1(p)



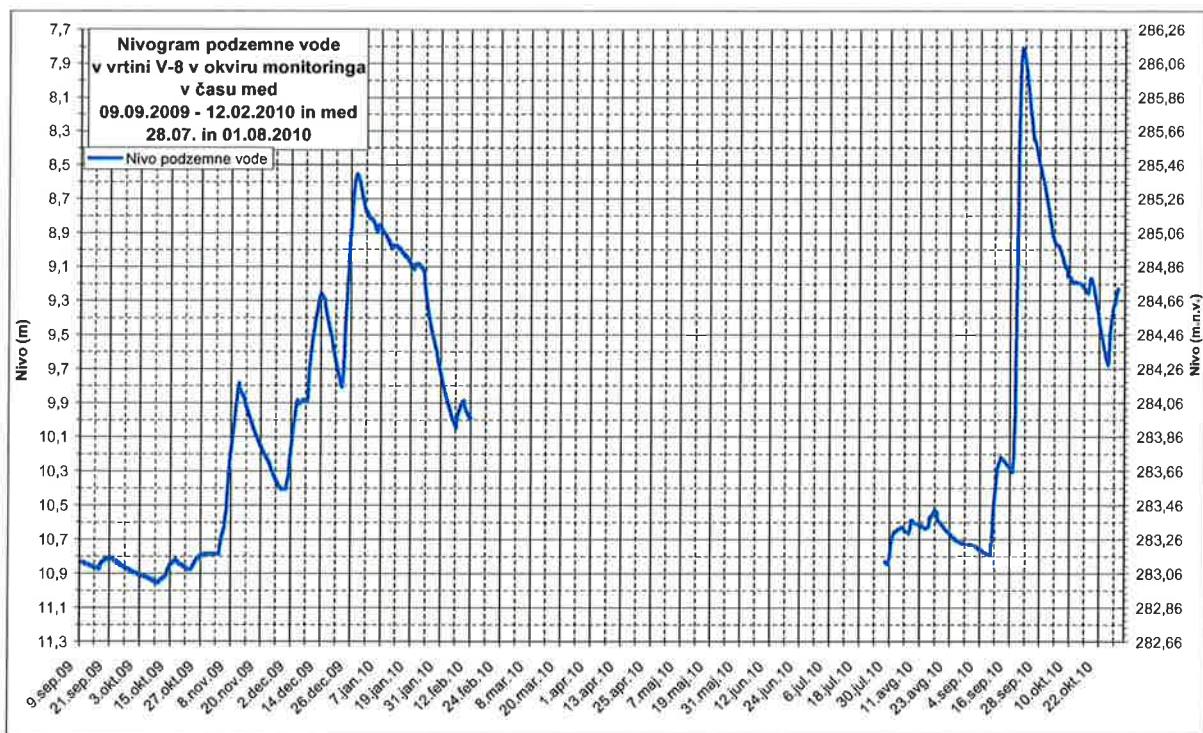
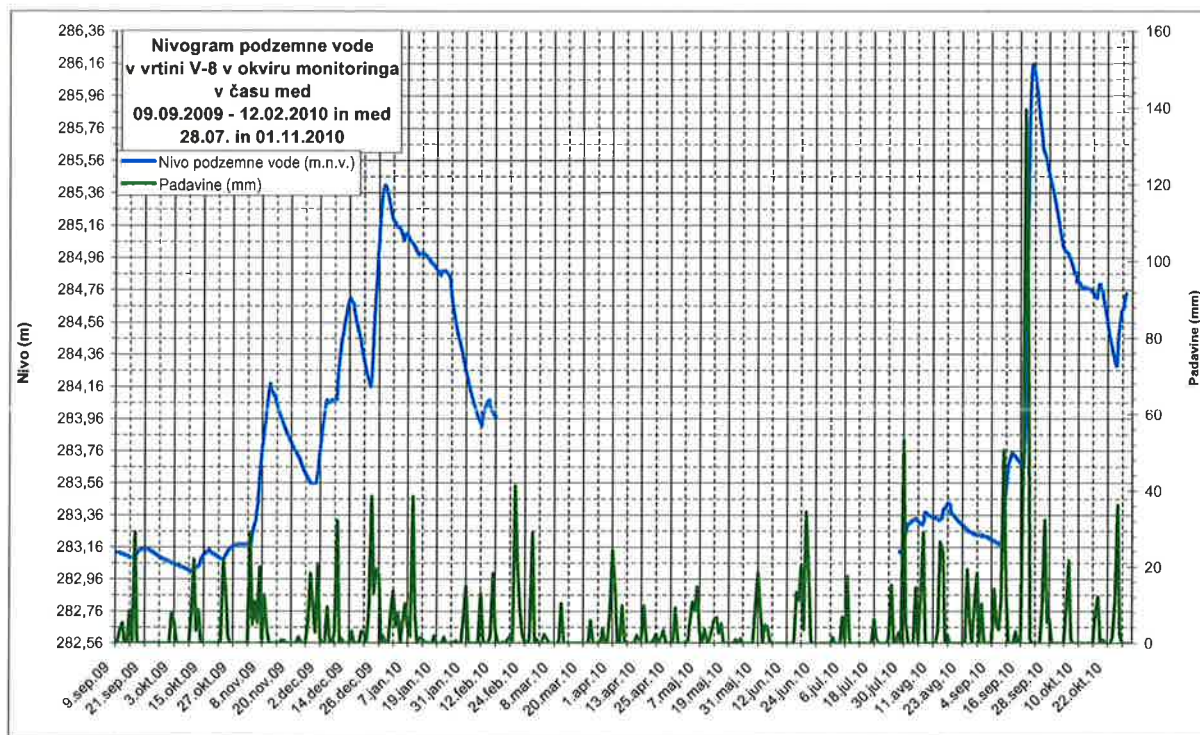


## PIEZOMETER V-5(p)

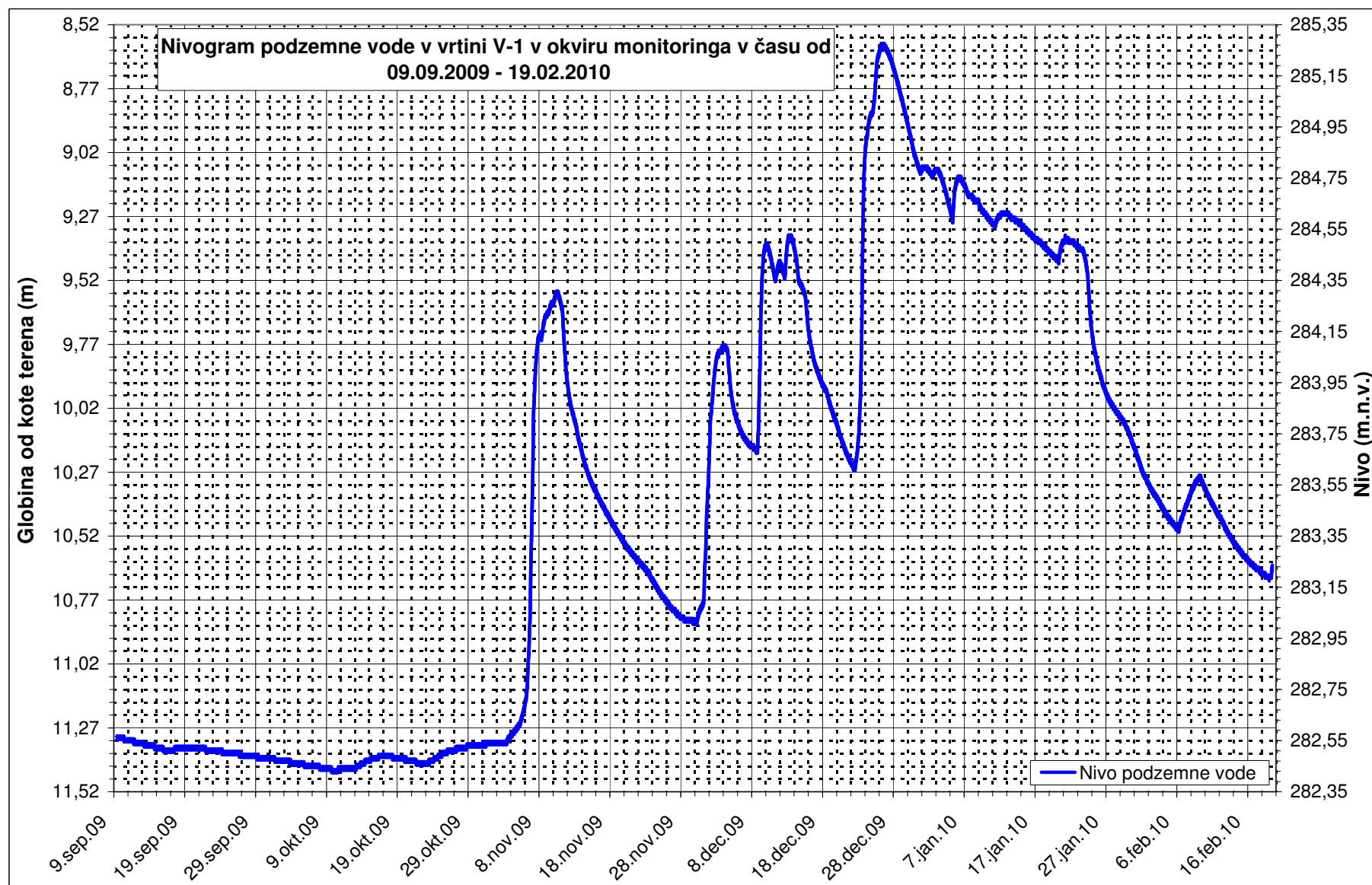


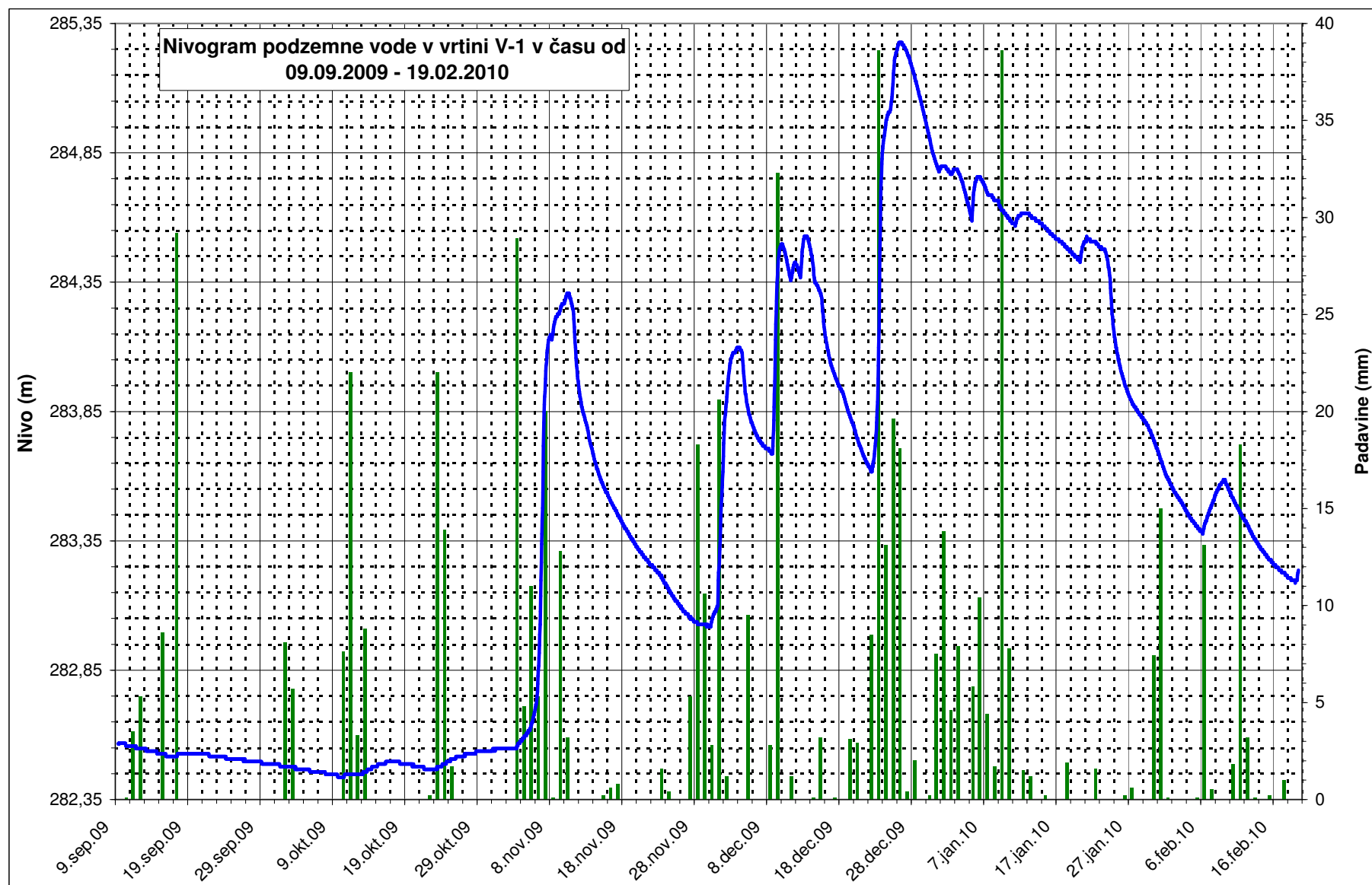


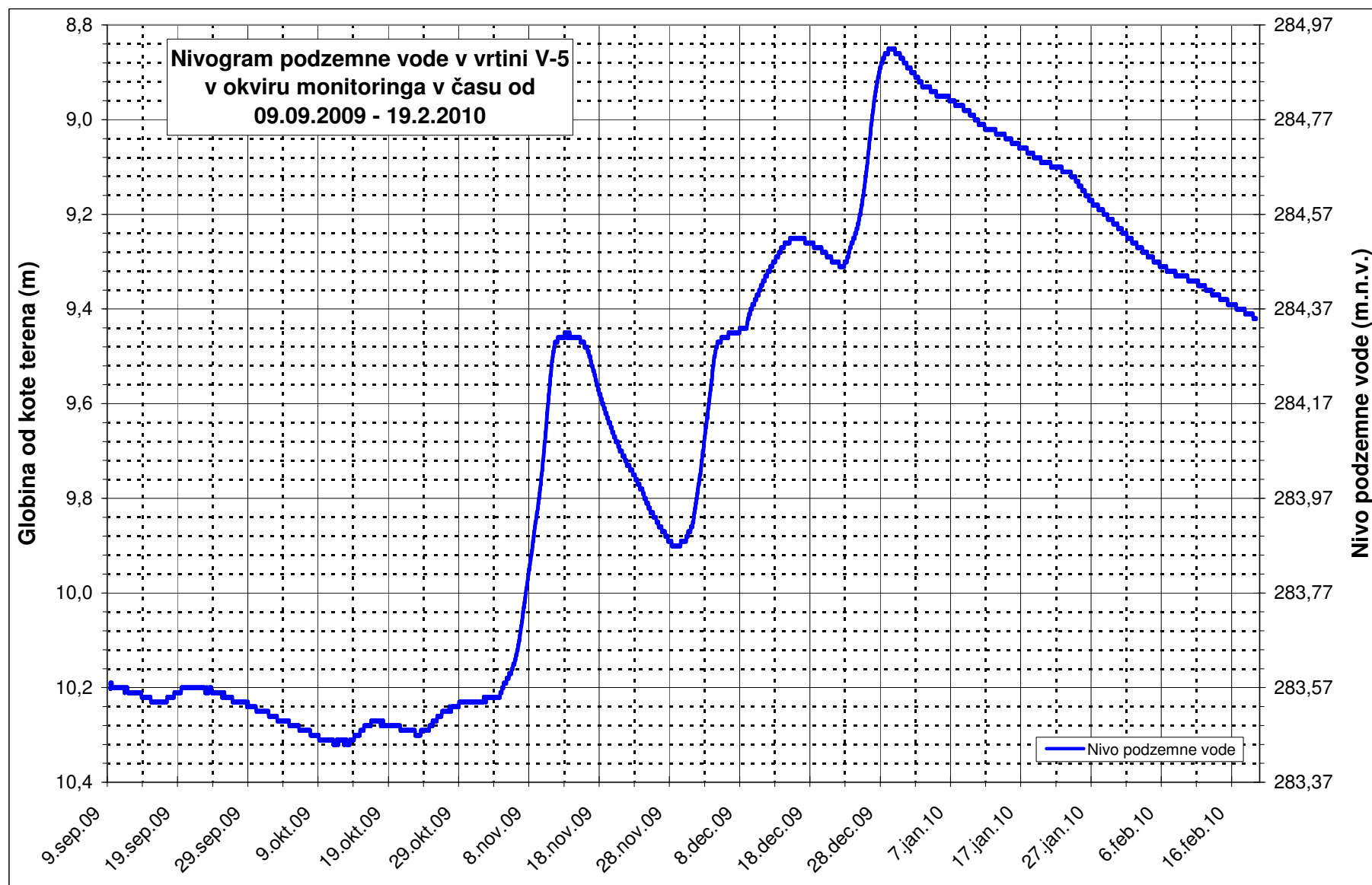
## PIEZOMETER V-8(p)



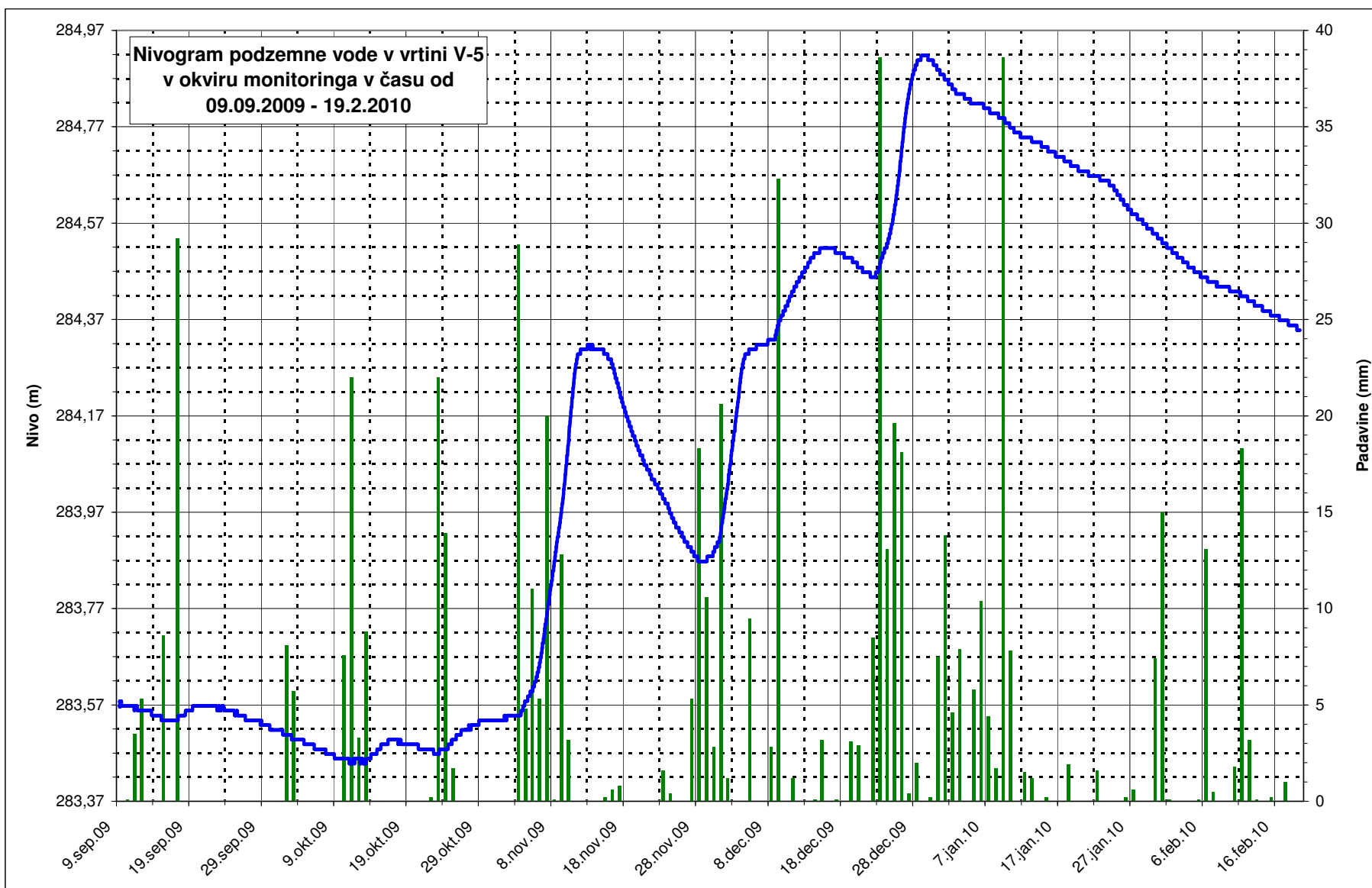


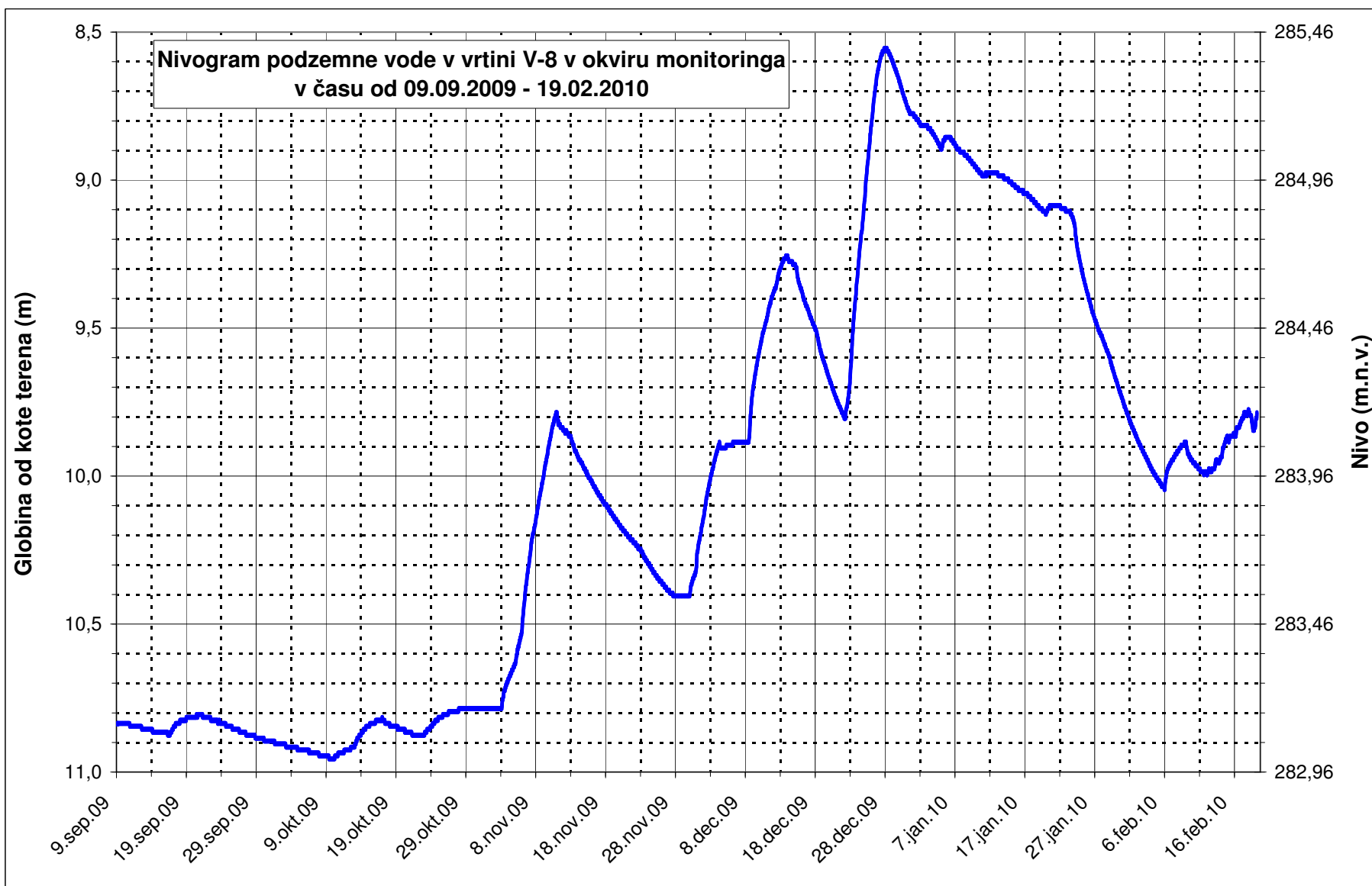


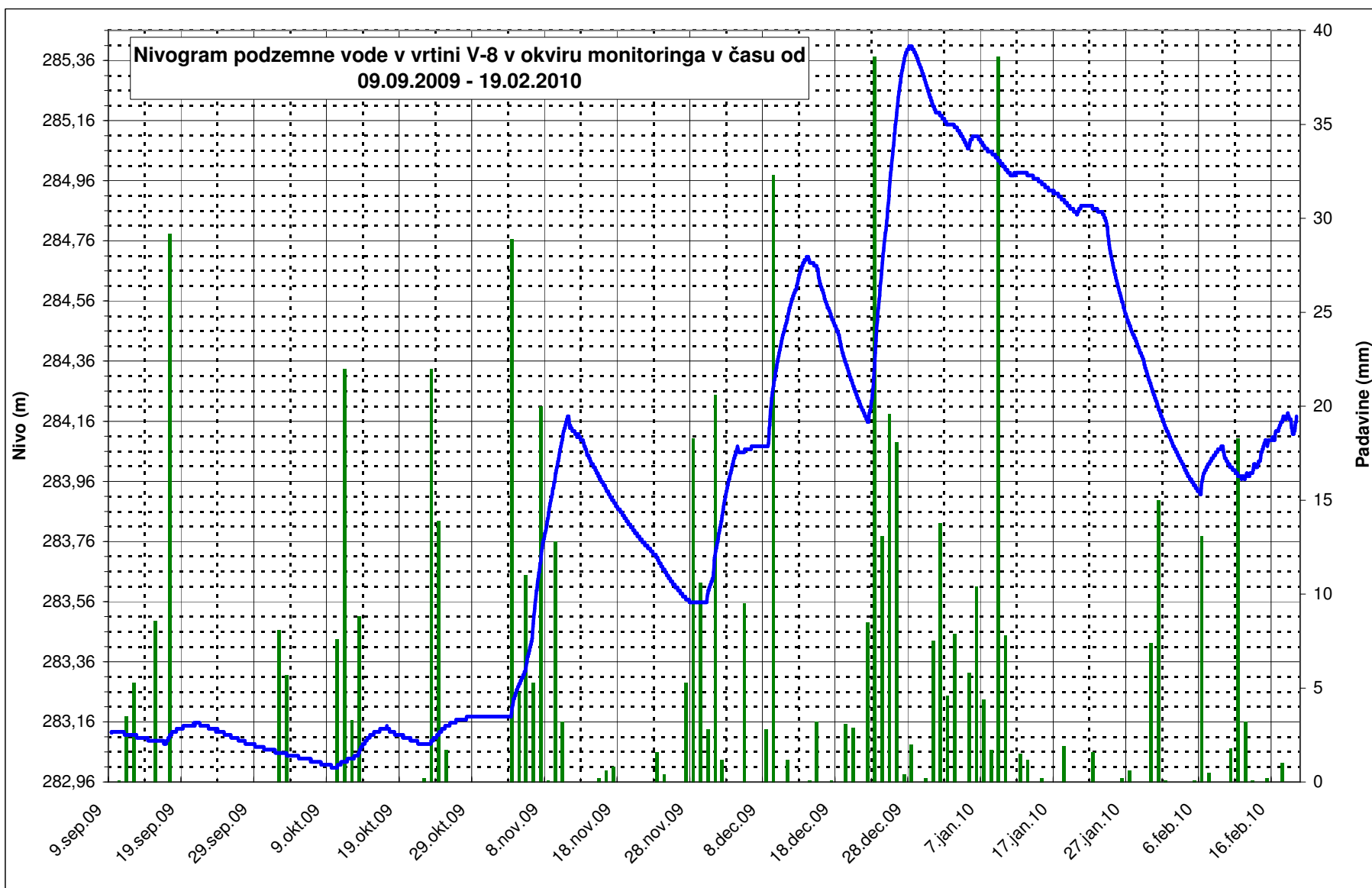




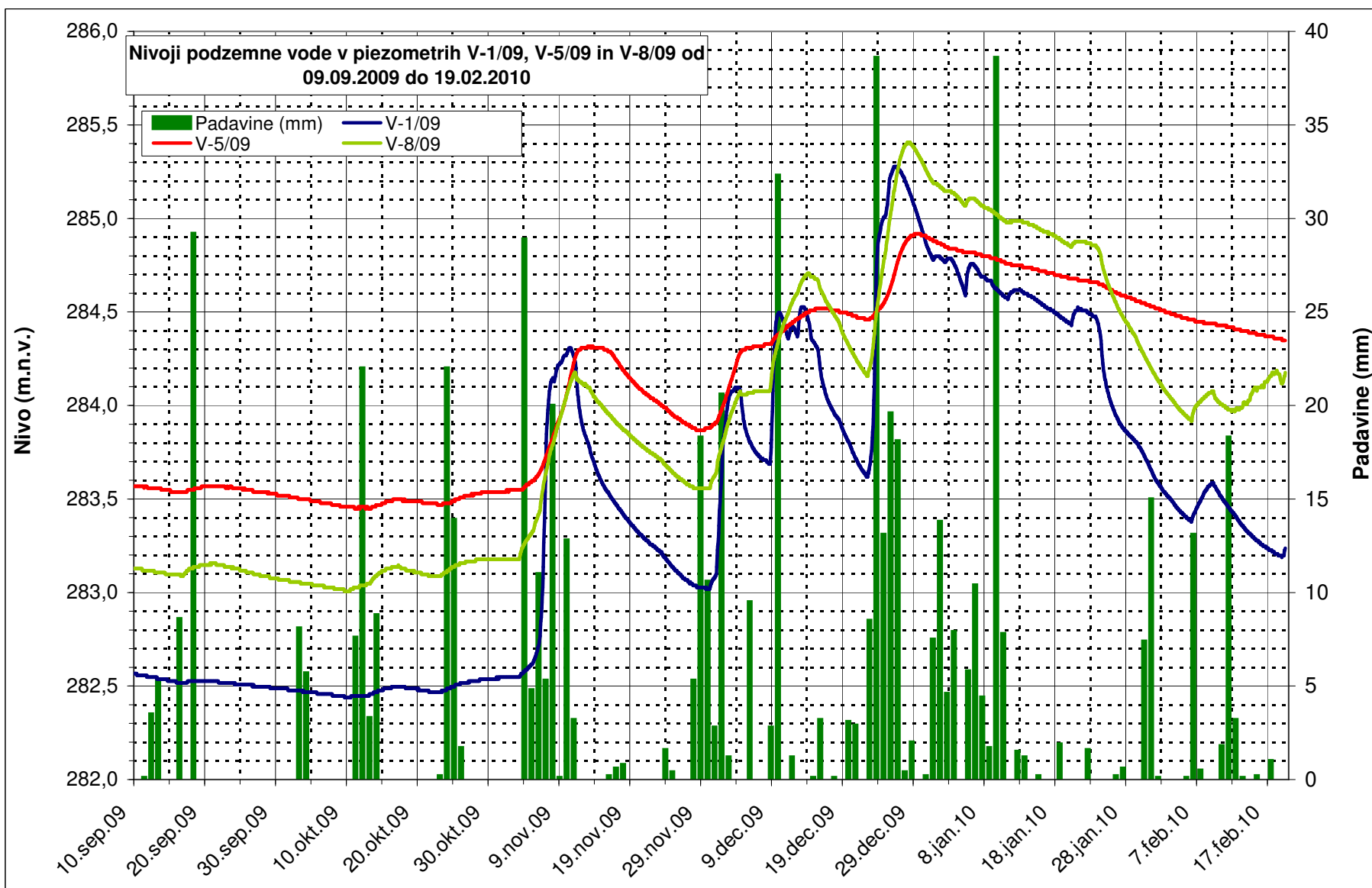


















**PRILOGA G.2A:  
IZRAČUN NOSILNOSTI TEMELJNIH TAL  
VODA NIŽJE OD TEMELJEV**



## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,50m

voda ne vpliva na nosilnost tal

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c' =$	0	kPa
$\varphi' =$	36	°
$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	2	m pod koto izkopa

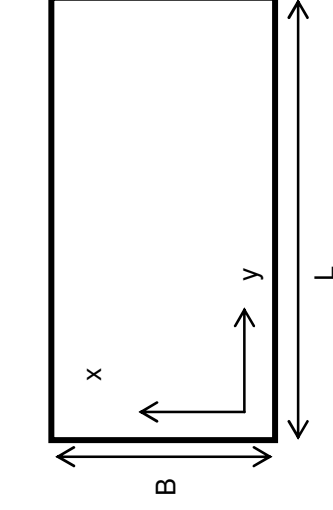
#### Dimenzije temelja

D =	0,80	m pod koto izkopa
B =	0,50	m - v smeri x
L =	10,00	m - v smeri y

### Izračun

$q' =$	15,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,50	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,50	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,029	
$s_c =$	1,030	
$s_\gamma =$	0,985	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 5 \text{ m}^2$$

$$R_d = 3\,002 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 600 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 300 \text{ kN/m}^2$$

## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,60m

voda ne vpliva na nosilnost tal

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c' =$	0	kPa
$\varphi' =$	36	°
$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	2	m pod koto izkopa

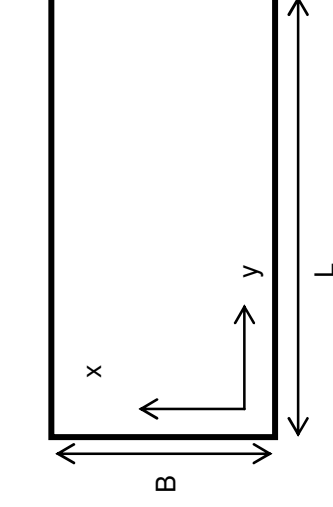
#### Dimenzije temelja

D =	0,80	m pod koto izkopa
B =	0,60	m - v smeri x
L =	10,00	m - v smeri y

### Izračun

$q' =$	15,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,60	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,60	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,035	
$s_c =$	1,036	
$s_\gamma =$	0,982	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 6 \text{ m}^2$$

$$R_d = 3\,827 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 638 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 383 \text{ kN/m}^2$$

## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,80m

voda ne vpliva na nosilnost tal

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c' =$	0	kPa
$\varphi' =$	36	°
$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	2	m pod koto izkopa

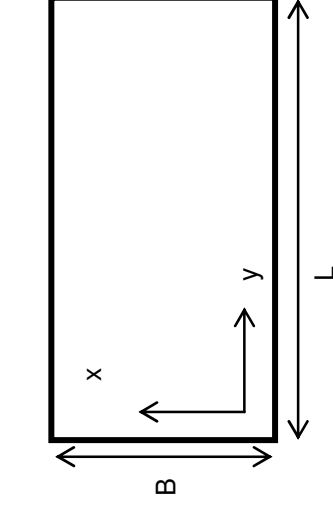
#### Dimenzije temelja

D =	0,80	m pod koto izkopa
B =	0,80	m - v smeri x
L =	10,00	m - v smeri y

### Izračun

$q' =$	15,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,80	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,80	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,047	
$s_c =$	1,048	
$s_\gamma =$	0,976	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 8 \quad \text{m}^2$$

$$R_d = 5\,697 \quad \text{kN}$$

$$q_{R,d} = 712 \quad \text{kPa}$$

$$q'_{R,d} = 570 \quad \text{kN/m}^2$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 1,00m

voda ne vpliva na nosilnost tal

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c' =$	0	kPa
$\varphi' =$	36	°
$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	2	m pod koto izkopa

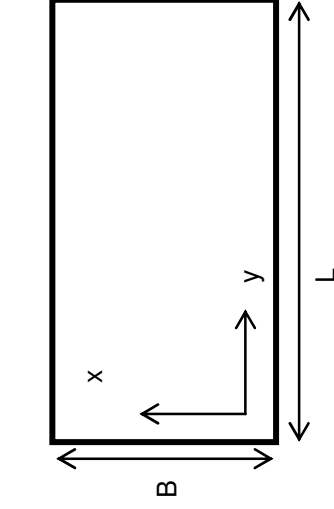
#### Dimenzije temelja

D =	0,80	m pod koto izkopa
B =	1,00	m - v smeri x
L =	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	15,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	1,00	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	1,00	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,059	
$s_c =$	1,060	
$s_\gamma =$	0,970	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 10 \text{ m}^2$$

$$R_d = 7\,855 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 785 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 785 \text{ kN/m}^2$$

## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 1,00x1,00m

voda ne vpliva na nosilnost tal

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W$	=	2	m pod koto izkopa

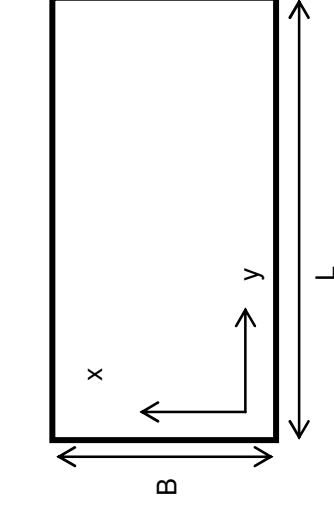
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,00	m - v smeri x
L	=	1,00	m - v smeri y

### Izračun

$q'$	=	15,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	1,00	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	1,00	m
$L'$	=	1,00	m
$s_q$	=	1,588	
$s_c$	=	1,604	
$s_\gamma$	=	0,700	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$R_d = 904 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 904 \text{ kPa}$$

## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 1,50x1,50m

voda ne vpliva na nosilnost tal

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W$	=	2	m pod koto izkopa

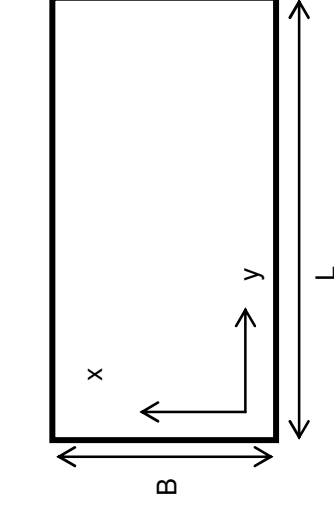
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,50	m - v smeri x
L	=	1,50	m - v smeri y

### Izračun

$q'$	=	15,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	1,50	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	1,50	m
$L'$	=	1,50	m
$s_q$	=	1,588	
$s_c$	=	1,604	
$s_\gamma$	=	0,700	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 2,25 \text{ m}^2$$

$$R_d = 2\,320 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 1\,031 \text{ kPa}$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 2,00x2,00m

voda ne vpliva na nosilnost tal

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	0	kPa
$\varphi'$	36	°
$\gamma$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W$	2	m pod koto izkopa

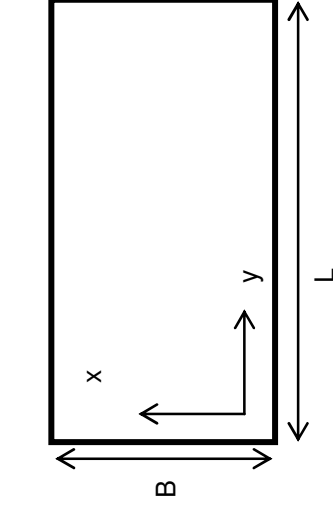
#### Dimenzije temelja

D	0,80	m pod koto izkopa
B	2,00	m - v smeri x
L	2,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	15,20	kPa
$D^*$	0,80	m
$B^*$	2,00	m
$N_q$	37,75	
$N_c$	50,59	
$N_\gamma$	53,40	
$e_x$	0,00	m
$e_y$	0,00	m
$B'$	2,00	m
$L'$	2,00	m
$s_q$	1,588	
$s_c$	1,604	
$s_\gamma$	0,700	
$i_q$	1,000	
$i_c$	1,000	
$i_\gamma$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 4 \text{ m}^2$$

$$R_d = 4\,633 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 1\,158 \text{ kPa}$$

**PRILOGA G.2B:  
IZRAČUN NOSILNOSTI TEMELJNIH TAL  
VODA NA DNU TEMELJEV**

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 0,50m  
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	$c' =$	0	kPa
	$\varphi' =$	36	°
	$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
	$z_W =$	0,7	m pod koto izkopa

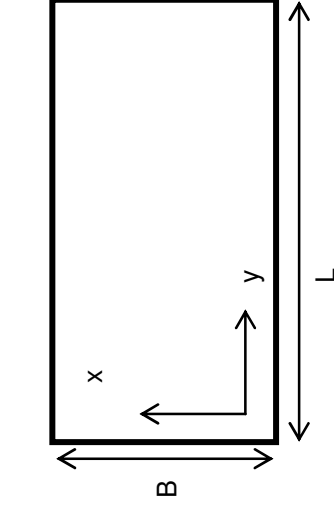
#### Dimenzije temelja

D =	0,80	m pod koto izkopa
B =	0,50	m - v smeri x
L =	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	14,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,50	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,50	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,029	
$s_c =$	1,030	
$s_\gamma =$	0,985	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 5 \text{ m}^2$$

$$R_d = 2\,863 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 573 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 286 \text{ kN/m}^2$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 0,60m  
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	
$c' =$	0 kPa
$\varphi' =$	36 °
$\gamma =$	19 kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0,7 m pod koto izkopa

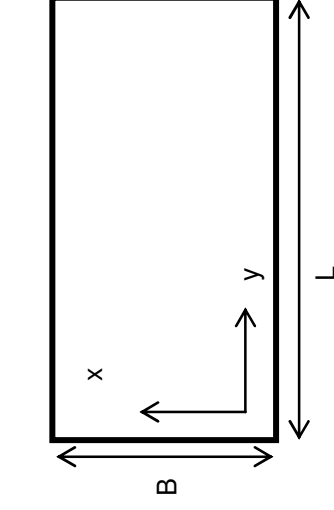
#### Dimenzije temelja

D =	0,80 m pod koto izkopa
B =	0,60 m - v smeri x
L =	10,00 m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	14,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,60	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,60	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,035	
$s_c =$	1,036	
$s_\gamma =$	0,982	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 6 \text{ m}^2$$

$$R_d = 3\,660 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 610 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 366 \text{ kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 0,80m  
voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	
$c' =$	0 kPa
$\varphi' =$	36 °
$\gamma =$	19 kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0,7 m pod koto izkopa

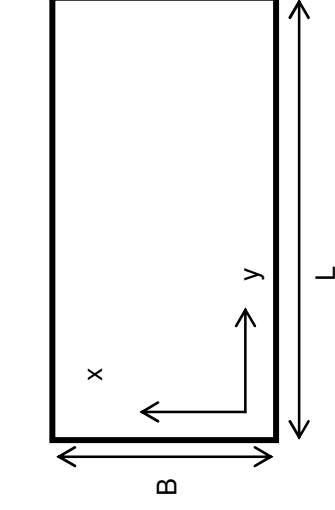
#### Dimenzije temelja

D =	0,80 m pod koto izkopa
B =	0,80 m - v smeri x
L =	10,00 m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	14,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,80	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,80	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,047	
$s_c =$	1,048	
$s_\gamma =$	0,976	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 8 \text{ m}^2$$

$$R_d = 5\,471 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 684 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 547 \text{ kN/m}^2$$

## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

pasovni temelj širine 1,00m  
voda na dnu temeljev

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	
$c' =$	0 kPa
$\varphi' =$	36 °
$\gamma =$	19 kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0,7 m pod koto izkopa

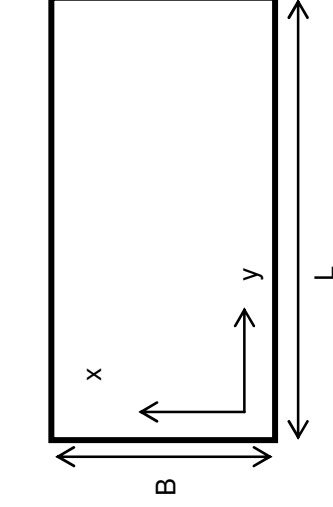
#### Dimenzije temelja

D =	0,80 m pod koto izkopa
B =	1,00 m - v smeri x
L =	10,00 m - v smeri y

### Izračun

$q' =$	14,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	1,00	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	1,00	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,059	
$s_c =$	1,060	
$s_\gamma =$	0,970	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 10 \text{ m}^2$$

$$R_d = 7\,569 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 757 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 757 \text{ kN/m}^2$$



## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 1,00x1,00m

voda na dnu temeljev

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c' =$	0	kPa
$\varphi' =$	36	°
$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0,7	m pod koto izkopa

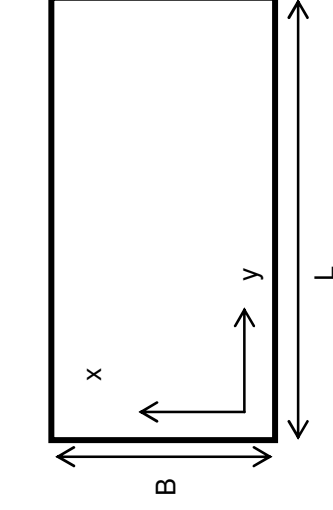
#### Dimenzije temelja

D =	0,80	m pod koto izkopa
B =	1,00	m - v smeri x
L =	1,00	m - v smeri y

### Izračun

$q' =$	14,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	1,00	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	1,00	m
$L' =$	1,00	m
$s_q =$	1,588	
$s_c =$	1,604	
$s_\gamma =$	0,700	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$R_d = 862 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 862 \text{ kPa}$$

## Nosilnost temeljnih tal

### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 1,50x1,50m

voda na dnu temeljev

### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W$	=	0,7	m pod koto izkopa

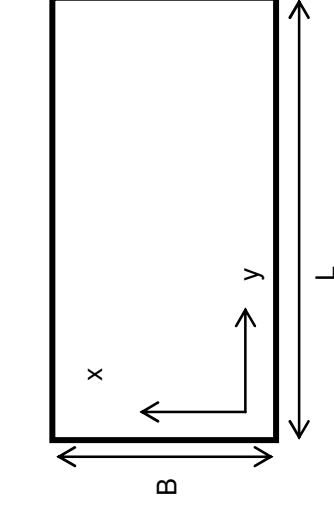
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,50	m - v smeri x
L	=	1,50	m - v smeri y

### Izračun

$q'$	=	14,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	1,50	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	1,50	m
$L'$	=	1,50	m
$s_q$	=	1,588	
$s_c$	=	1,604	
$s_\gamma$	=	0,700	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 2,25 \text{ m}^2$$

$$R_d = 2\,224 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 988 \text{ kPa}$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 2,00x2,00m

voda na dnu temeljev

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c' =$	0	kPa
$\varphi' =$	36	°
$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0,7	m pod koto izkopa

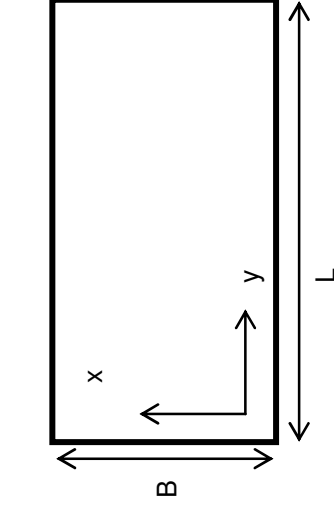
#### Dimenzije temelja

D =	0,80	m pod koto izkopa
B =	2,00	m - v smeri x
L =	2,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	14,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	2,00	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	2,00	m
$L' =$	2,00	m
$s_q =$	1,588	
$s_c =$	1,604	
$s_\gamma =$	0,700	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 4 \text{ m}^2$$

$$R_d = 4\,461 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 1\,115 \text{ kPa}$$



**PRILOGA G.2C:  
IZRAČUN NOSILNOSTI TEMELJNIH TAL  
TEMELJI SO POTOPLJENI**

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 0,50m  
temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	
$c' =$	0 kPa
$\varphi' =$	36 °
$\gamma =$	19 kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0 m pod koto izkopa

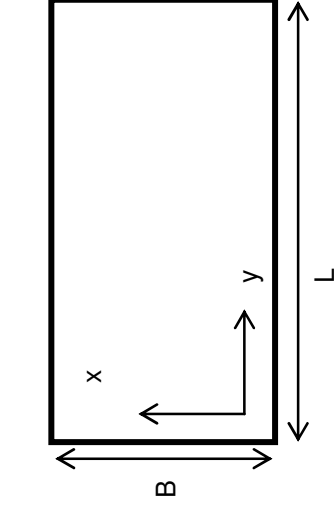
#### Dimenzije temelja

D =	0,80 m pod koto izkopa
B =	0,50 m - v smeri x
L =	10,00 m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	7,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,50	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,50	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,029	
$s_c =$	1,030	
$s_\gamma =$	0,985	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 5 \text{ m}^2$$

$$R_d = 1\,892 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 378 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 189 \text{ kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 0,60m  
temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	
$c' =$	0 kPa
$\varphi' =$	36 °
$\gamma =$	19 kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0 m pod koto izkopa

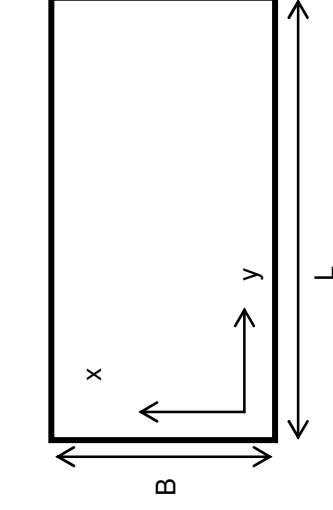
#### Dimenzije temelja

D =	0,80 m pod koto izkopa
B =	0,60 m - v smeri x
L =	10,00 m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	7,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,60	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,60	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,035	
$s_c =$	1,036	
$s_\gamma =$	0,982	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 6 \text{ m}^2$$

$$R_d = 2\,487 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 415 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 249 \text{ kN/m}^2$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelji širine 0,80m  
temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	$c' =$	0	kPa
	$\varphi' =$	36	°
	$\gamma =$	19	kN/m <sup>3</sup>
	$z_W =$	0	m pod koto izkopa

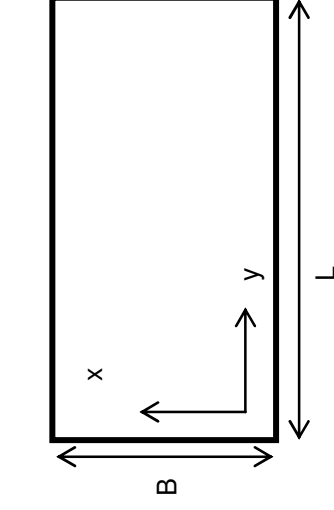
#### Dimenzije temelja

D =	0,80	m pod koto izkopa
B =	0,80	m - v smeri x
L =	10,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	7,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	0,80	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	0,80	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,047	
$s_c =$	1,048	
$s_\gamma =$	0,976	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 8 \quad \text{m}^2$$

$$R_d = 3\,890 \quad \text{kN}$$

$$q_{R,d} = 486 \quad \text{kPa}$$

$$q'_{R,d} = 389 \quad \text{kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

pasovni temelj širine 1,00m  
temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	
$c' =$	0 kPa
$\varphi' =$	36 °
$\gamma =$	19 kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0 m pod koto izkopa

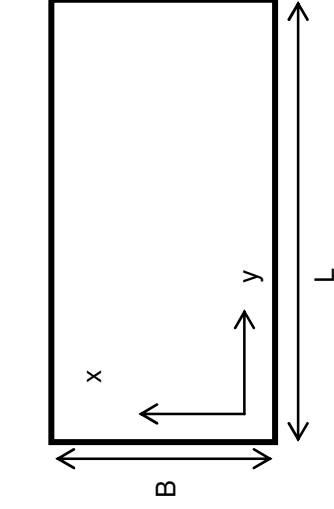
#### Dimenzije temelja

D =	0,80 m pod koto izkopa
B =	1,00 m - v smeri x
L =	10,00 m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	7,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	1,00	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	1,00	m
$L' =$	10,00	m
$s_q =$	1,059	
$s_c =$	1,060	
$s_\gamma =$	0,970	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 10 \text{ m}^2$$

$$R_d = 5\,571 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 557 \text{ kPa}$$

$$q'_{R,d} = 557 \text{ kN/m}^2$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 1,00x1,00m  
temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod	
$c' =$	0 kPa
$\varphi' =$	36 °
$\gamma =$	19 kN/m <sup>3</sup>
$z_W =$	0 m pod koto izkopa

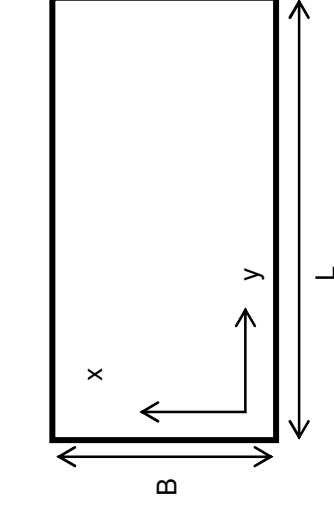
#### Dimenzije temelja

D =	0,80 m pod koto izkopa
B =	1,00 m - v smeri x
L =	1,00 m - v smeri y

#### Izračun

$q' =$	7,20	kPa
$D^* =$	0,80	m
$B^* =$	1,00	m
$N_q =$	37,75	
$N_c =$	50,59	
$N_\gamma =$	53,40	
$e_x =$	0,00	m
$e_y =$	0,00	m
$B' =$	1,00	m
$L' =$	1,00	m
$s_q =$	1,588	
$s_c =$	1,604	
$s_\gamma =$	0,700	
$i_q =$	1,000	
$i_c =$	1,000	
$i_\gamma =$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$R_d = 562 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 562 \text{ kPa}$$



### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 1,50x1,50m

temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	=	0	kPa
$\varphi'$	=	36	°
$\gamma$	=	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W$	=	0	m pod koto izkopa

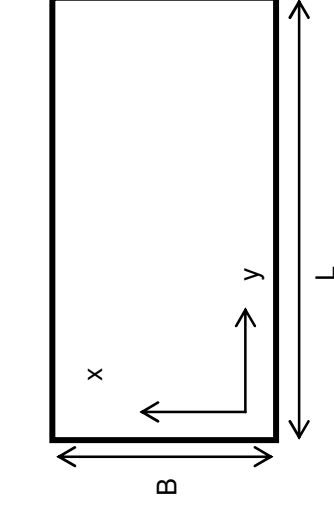
#### Dimenzije temelja

D	=	0,80	m pod koto izkopa
B	=	1,50	m - v smeri x
L	=	1,50	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	=	7,20	kPa
$D^*$	=	0,80	m
$B^*$	=	1,50	m
$N_q$	=	37,75	
$N_c$	=	50,59	
$N_\gamma$	=	53,40	
$e_x$	=	0,00	m
$e_y$	=	0,00	m
$B'$	=	1,50	m
$L'$	=	1,50	m
$s_q$	=	1,588	
$s_c$	=	1,604	
$s_\gamma$	=	0,700	
$i_q$	=	1,000	
$i_c$	=	1,000	
$i_\gamma$	=	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 2,25 \text{ m}^2$$

$$R_d = 1\,550 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 689 \text{ kPa}$$

### Nosilnost temeljnih tal

#### 3 Akademije

točkovni temelj dimenzij 2,00x2,00m

temelji so potopljeni

#### Vhodni podatki

#### Materialne karakteristike

prod

$c'$	0	kPa
$\varphi'$	36	°
$\gamma$	19	kN/m <sup>3</sup>
$z_W$	0	m pod koto izkopa

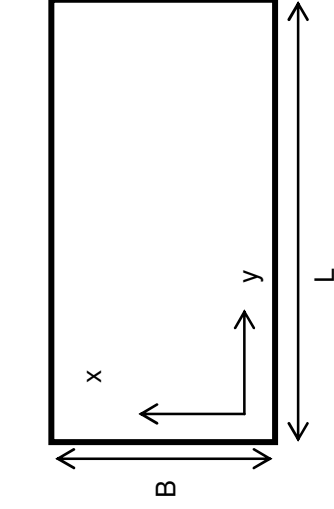
#### Dimenzije temelja

D	0,80	m pod koto izkopa
B	2,00	m - v smeri x
L	2,00	m - v smeri y

#### Izračun

$q'$	7,20	kPa
$D^*$	0,80	m
$B^*$	2,00	m
$N_q$	37,75	
$N_c$	50,59	
$N_\gamma$	53,40	
$e_x$	0,00	m
$e_y$	0,00	m
$B'$	2,00	m
$L'$	2,00	m
$s_q$	1,588	
$s_c$	1,604	
$s_\gamma$	0,700	
$i_q$	1,000	
$i_c$	1,000	
$i_\gamma$	1,000	

$$R_d = (c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma) \cdot \frac{B' \cdot L'}{\gamma_R}$$



$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \sin \varphi'$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \cdot \frac{B'}{L'} \geq 0,7$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0,7 \cdot H}{V + \frac{L' \cdot B' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$$

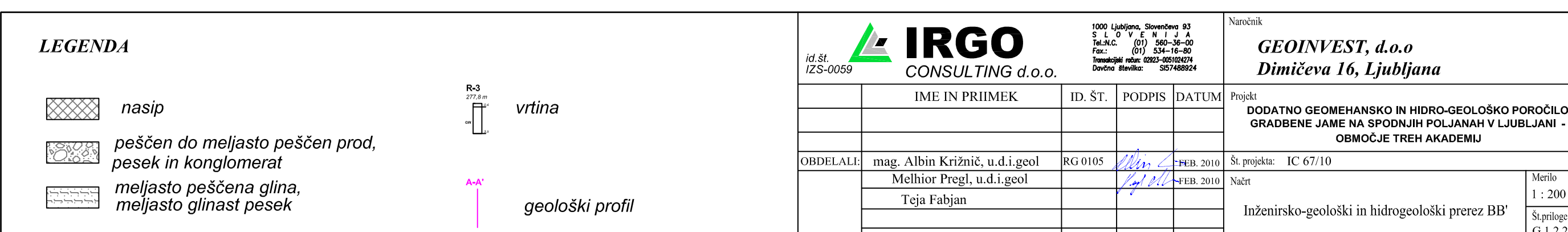
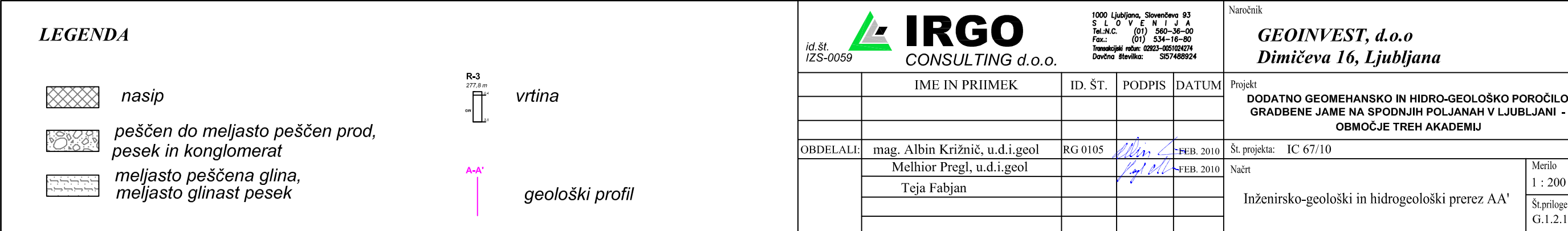
$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + \frac{B' \cdot L' \cdot c'}{\tan \varphi'}} \right]^3$$

$$A = 4 \text{ m}^2$$

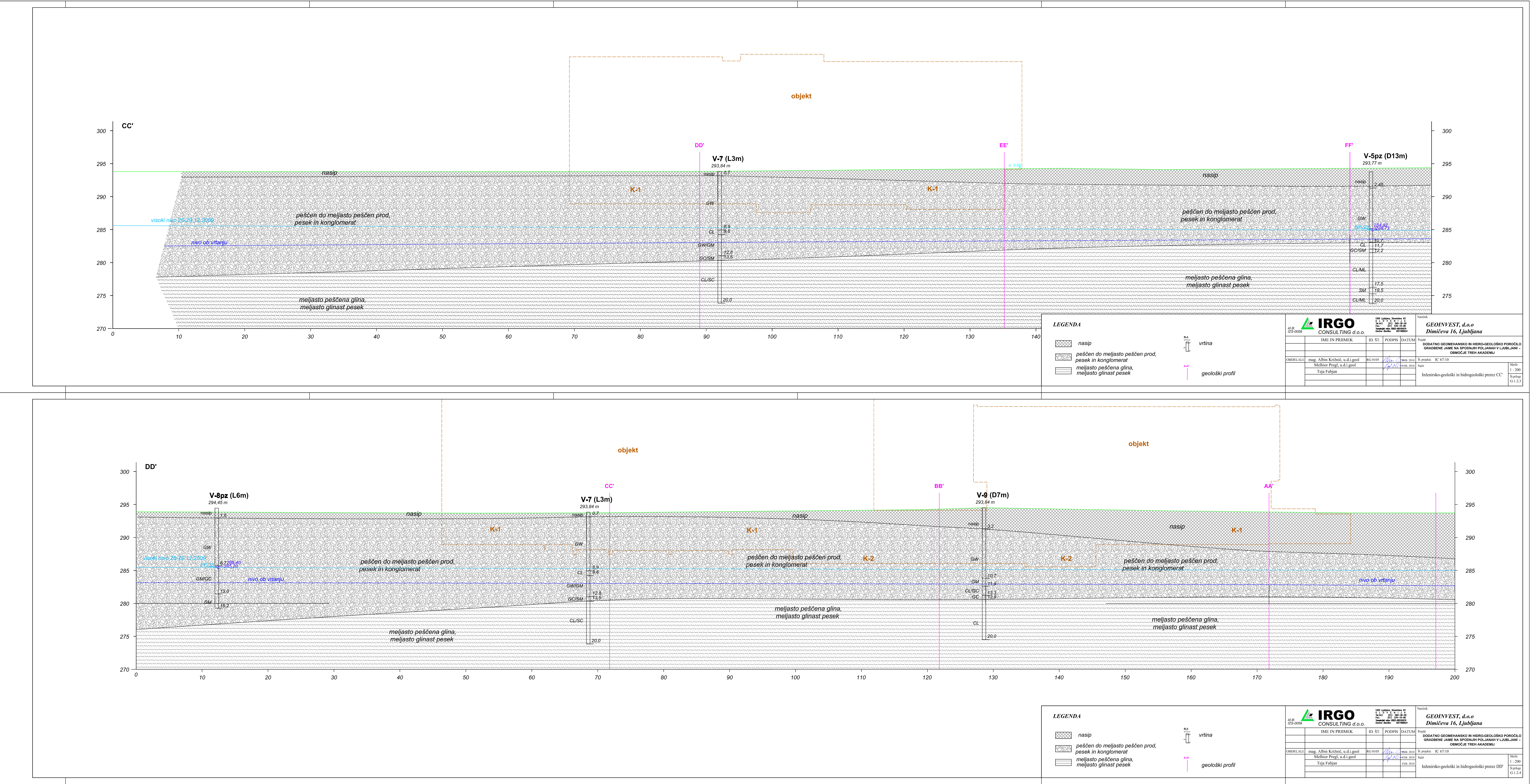
$$R_d = 3\,262 \text{ kN}$$

$$q_{R,d} = 816 \text{ kPa}$$















# ***PRILOGE***



**PRILOGA G.1.1:**    *Karta visokih nivojev podzemne vode v  
obdobju od septembra 2009 do srede  
februarja 2010, M 1:500.*

**PRILOGA G.1.2:**    *Inženirsko-geološko-hidrogeološki prerezi  
glede na visoki nivo podzemne vode na  
proučevanem območju, M 1:200*

**PRILOGA G.1.3:**    *Nivogrami piezometrov V-1 (p), V-5 (p) in V-8 (p).*



**PRILOGA G.2:**      *Izračun nosilnosti temeljnih tal*