

**Sveučilište  
Sjever**

*Završni rad br. 296/GR/2017*

**Provođenje terenskih i laboratorijskih geotehničkih  
istražnih radova**

Kristina Tomiek, 0135/336

Varaždin, srpanj 2017. godine

## Sažetak

Tema ovog završnog rada bila je analiza provedenih terenskih i laboratorijskih geotehničkih istražnih radova izvršenih na četiri lokacije u Međimurskoj županiji.

Istražni rad provodio se u dvije faze. Prvu fazu su činili terenski radovi koji su se vršili pomoću statičkog penetracijskog pokusa u svrhu izračuna otpora i trenja te pomoću standardnog penetracijskog pokusa kojim se vadio uzorak iz jezgre tla. Druga faza ispitivanja bili su laboratorijski pokusi kod kojih se ispitivala vlažnost, klasifikacija, otpor i fizikalna svojstva tla, indeksni pokazatelji te kohezija. Otpor tla pod djelovanjem opterećenja ispitivao se pomoću edometra, dok je Proctorov pokus korišten za ispitivanje vlažnosti tla pri kojoj tlo ima najveću suhu obujamsku masu. Klasifikacija tla vršena je prema važećoj USCS klasifikaciji, a kohezija je ispitivana uz pomoć krilne sonde.

**Ključne riječi:** standardni penetracijski pokus, statički penetracijski pokus, USCS klasifikacija

## Summary

The topic of this final work was an analysis of field and laboratory geotechnical investigations carried out at four locations in Međimurje County. The research work was conducted in two phases. The first phase was field work that was performed by a static penetration test for the purpose of calculating resistance and friction, and by using a standard penetration test to extract the sample from the ground core. The second phase of the test was laboratory experiments in which moisture, classification, resistance and physical properties of the soil, index indicators and cohesion were examined. Resistance to soil under load was investigated using the edometers, while the Proctor test was used to test the soil moisture, where the soil had the highest dry volume mass. The soil classification was performed according to the valid USCS classification, and cohesion was investigated by means of a wing probe.

**Key words:** Standard penetration test, static penetration test, USCS classification

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Kristina TOMIEK	MATIČNI BROJ	0135/336
DATUM	12.06.2017.	KOLEGIJ	Geotehnika
NASLOV RADA	PROVOĐENJE TERENSKIH I LABORATORIJSKIH GEOTEHNIČKIH ISTRAŽNIH RADOVA		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Conduction of field and laboratory geotechnical investigation		
MENTOR	Dr.sc. Matija Orešković, dipl.ing.građ.	ZVANJE	viši predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. prof.dr.sc. Božo Soldo 2. Dr.sc. Matija Orešković, viši predavač 3. Aleksej Aniskin, viši predavač 4. Željko Kos, predavač 5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	296/GR/2017
OPIS	Jasan geotehnički profil ili model tla na budućem gradilištu nužan je za ispravno i ekonomično projektiranje, izvođenje i uporabu građevine. U radu je potrebno opisati geotehničke istražne radove, terenske i laboratorijske s načinom provođenja te njihovom dinamikom i rezultatima. Potrebno je dati primjer iz prakse na kojem se eventualno sudjelovalo kako bi se dobio jasan uvid u studentovu involviranost i znanje.
Rad se sastoji od:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Uvod</li><li>2. Klasifikacija tla prema današnjim propisima</li><li>3. Terensko ispitivanje</li><li>4. Laboratorijska ispitivanja</li><li>5. Primjer terenskih i laboratorijskih ispitivanja iz terena</li><li>6. Rezultati ispitivanja</li><li>7. Zaključak</li><li>8. Literatura</li></ol> <p>Popis slika Popis tablica Prilozi</p>

ZADATAK URUČEN

15.07.2017.



*Matija Orešković*

Sveučilište  
Sjever

UNIVERSITY  
NORTH

SVEUČILIŠTE  
SIEVER

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnog rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, KRISTINA TOMIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROVEDENJE TER. I LAB. GEOTEHNIČKIH ISTRAŽIV. RADOVA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Kristina Tomić  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, KRISTINA TOMIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROVEDENJE TER. I LAB. GEOTEHNIČKIH ISTRAŽIV. RADOVA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Kristina Tomić  
(vlastoručni potpis)

## Popis korištenih kratica

<b>CPT</b>	Statički penetracijski pokus
<b>FVT</b>	Krilna sonda
<b>SPT</b>	Standardni penetracijski pokus
<b>FDMT</b>	Savitljivi dilatometar
<b>MPMT</b>	Menardov presiometar
<b>PU</b>	Poremećeni uzorak
<b>C</b>	Glina
<b>M</b>	Prah
<b>G</b>	Šljunak
<b>S</b>	Pijesak
<b>W</b>	Dobro graduirano tlo
<b>P</b>	Slabo graduirano tlo
<b>U</b>	Jednolično graduirano tlo
<b>M</b>	Slabo graduirana tla sa mnogo prašinih čestica
<b>C</b>	Slabo graduirana tla sa mnogo glinovitih čestica
<b>GW</b>	Dobro graduirani šljunak
<b>GM</b>	Prašnasti šljunci, loše graduirane mješavine, šljunak - pijesak
<b>SM</b>	Prašnasti pijesci, loše graduirane mješavine, pijesak - prah
<b>SC</b>	Zaglinjeni pijesak, loše graduirane mješavine pijesak - glina
<b>ML</b>	Anorganski prah i vrlo sitni pijesci, kameno brašno
<b>CL</b>	Anorganske gline niske do srednje plastičnosti, šljunkovite gline

### Simboli:

<b>w</b>	Vlažnost
<b>V</b>	Ukupni volumen uzorka
<b>V<sub>v</sub></b>	Volumen pora
<b>V<sub>s</sub></b>	Volumen čvrstih čestica
<b>V<sub>g</sub></b>	Volumen plina
<b>V<sub>w</sub></b>	Volumen vode
<b>m</b>	Ukupna masa uzorka
<b>m<sub>g</sub></b>	Masa plina
<b>m<sub>w</sub></b>	Masa vode

<b>ms</b>	Masa čvrstih čestica
<b>v</b>	Brzina taloženja
<b><math>\rho_s</math></b>	Specifična masa tla
<b><math>\rho_w</math></b>	Specifična masa vode
<b><math>\eta_t</math></b>	Viskozitet vode pri temperaturi t
<b>D</b>	Promjer kuglastog zrna tla
<b>t</b>	Vrijeme čitanja gustoće na areometru
<b>H</b>	Dubina taloženja
<b>e<sub>0</sub></b>	Koeficijent pora u prirodnom stanju
<b>e<sub>max</sub></b>	Koeficijent u najrahljijem stanju
<b>e<sub>min</sub></b>	Koeficijent u najgušćem stanju
<b><math>\tau_{cu}</math></b>	Nedrenirana čvrstoća tla
<b>I<sub>D</sub></b>	Indeks relativne gustoće
<b>w<sub>s</sub></b>	Granica stezanja
<b>w<sub>p</sub></b>	Granica plastičnosti
<b>w<sub>L</sub></b>	Granica tečenja
<b>I<sub>p</sub></b>	Indeks plastičnosti
<b>I<sub>c</sub></b>	Indeks konzistencije
<b>I<sub>L</sub></b>	Indeks tečenja
<b><math>\tau_f</math></b>	Granična posmična čvrstoća
<b>M<sub>t</sub></b>	Moment torzije
<b>M<sub>tp</sub></b>	Moment torzije na plašt
<b>M<sub>tb</sub></b>	Moment torzije na baze
<b>h</b>	Visina
<b>d</b>	Širina
<b>q<sub>c</sub></b>	Specifični otpor prodiranja šipke u tlo
<b>q<sub>t</sub></b>	Korigirani otpor šiljka
<b>f<sub>s</sub></b>	Specifični otpor plašta
<b>M<sub>s</sub></b>	Modul otpora
<b><math>\Delta\sigma</math></b>	Prirast opterećenja
<b><math>\Delta h</math></b>	Promjene visine
<b>h<sub>0</sub></b>	Početna visina
<b><math>\Delta e</math></b>	Promjena koeficijenta

# Sadržaj

1. Uvod.....	7
2. Terensko ispitivanje .....	8
2.1. Statički penetracijski pokus.....	11
2.2. Standardni penetracijski pokus.....	13
3. Laboratorijsko ispitivanje .....	15
3.1. Vlažnost tla.....	15
3.2. Fizikalna svojstva tla.....	15
3.3. Klasifikacija tla .....	17
3.4. Indeksni pokazatelji.....	21
3.5. Kohezija ispitivana pomoću laboratorijske krilne sonde .....	25
3.6. Proctorov pokus.....	26
3.7. Edometar .....	28
4. Geotehnički istražni radovi na području aglomeracije Mursko Središće .....	30
4.1. Istražno bušenje.....	31
4.2. Izvješće o rezultatima geotehničkih laboratorijskih ispitivanja .....	44
4.3. Opće geotehničke značajke .....	55
4.4. Nosivost i slijeganje temeljnog tla .....	57
5. Zaključak.....	59
6. Literatura.....	60
Popis slika .....	61
Popis tablica.....	62



## 1. Uvod

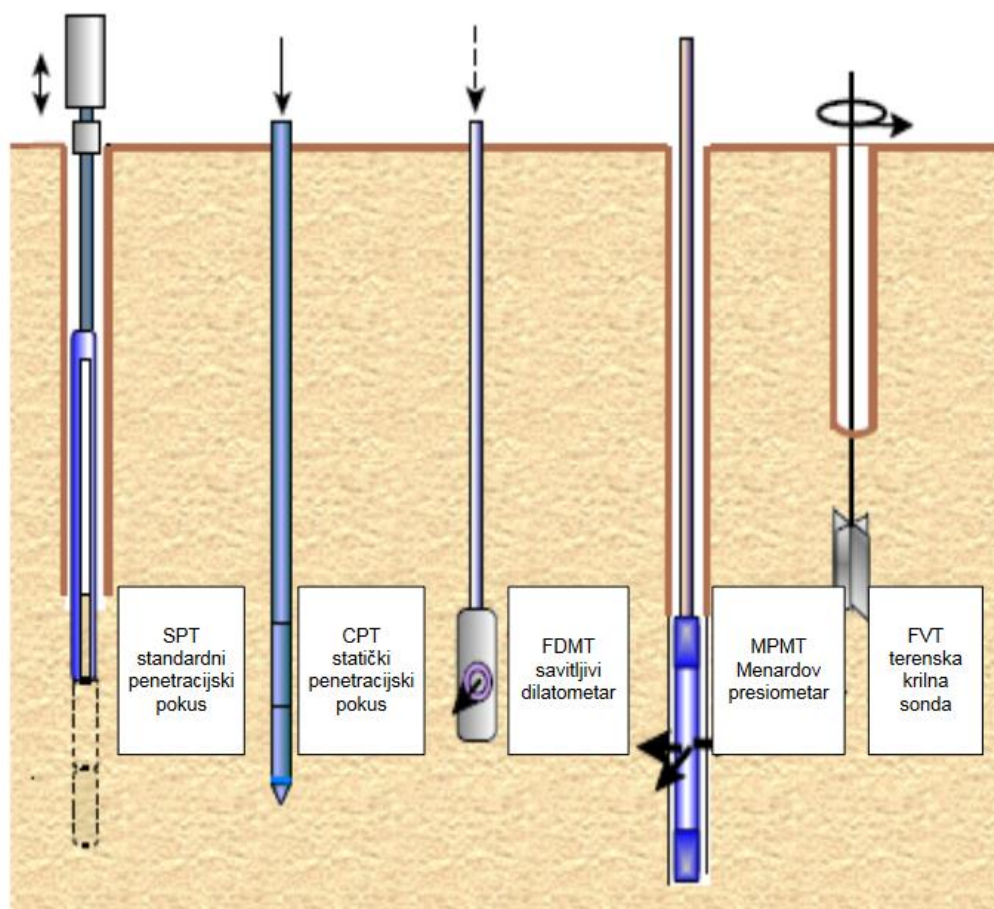
Najvažniji cilj geotehničkih istražnih radova je utvrditi uvjete tla, stijena i podzemnih voda. Zbog različitih stanja u tlu i visokoj cijeni istraživanja, potrebno je pomno planirati istražne radove kako bi prikupljeni podaci omogućili sigurnu i ekonomičnu gradnju, a troškove, vrijeme i nepredviđene događaje sveli na minimum. Istražne radove dijelimo na terenske i laboratorijske, ovisno o mjestu provođenja.

Ovaj projektni zadatak bazirat će se na elaboratu u kojem su se primjenjivale obje vrste istražnih radova. Izvršeno je četiri ispitivanja na lokacijama: Vratišinec -retencijski bazen RB3, bušotina B, Mursko Središće - retencijski bazen RB1, bušotina B2, crpna stanica CSM3, bušotina B3, Peklenica -crpna stanica CSP2, bušotina B4.

Cilj laboratorijskih ispitivanja bilo je određivanje geotehničkih karakteristika tla koje uključuju: vlažnost u dostavnom stanju, klasifikaciju prema Atterbergovim granicama i granulometrijskom sastavu, obujamsku gustoću, nedreniranu koheziju te tlačnu čvrstoću. Ispitivanja su vršena prema važećim normama za geomehanička ispitivanja HRS, STM i BS te za pojedina ispitivanja prema HRN EN 1997-2:2012. Svi dostavljeni uzorci upisani su prema vrsti, lokaciji i oznaci koja se dodijelila prilikom vađenja uzoraka te se klasifikacija odredila prema USC sustavu. Zbog moguće promjene fizikalno-mehaničkih svojstva materijala uzorci su se čuvali u originalnoj ambalaži u vlažnoj komori.

## 2. Terensko ispitivanje

In-situ ispitivanja vrše se direktno na terenu, te se njima dobivaju pojedina mehanička svojstva. U geotehničkoj praksi ima pet vrsta takvih ispitivanja: statički penetracijski pokus (CPT), krilna sonda (FVT), standardni penetracijski pokus (SPT), savitljivi dilatometar (FDMT), Menardov presiometar (MPMT). CPT i FDMT su uređaji koji ne trebaju bušotinu samo se utiskuju u tlo, dok SPT, FVT i MPMT provode se u prethodno izbušenoj bušotini. Terenskim radovima određuju se prostorni položaji slojeva tla, njihova debljina te dubina podzemne vode.



Slika 2.1. In-situ Geotehnički pokusi za određivanje čvrstoća tla

**Postoje dvije vrste uzorka koji se dobivaju bušenjem na terenu:**

- POREMĆENI

Ovi uzorci imaju poremećenu strukturu tla uslijed njihovog načina uzimanja. Uzimaju se iz jezgre, te se iz njih dobivaju valjani podaci o dubini promjene slojeva i o vrsti materijala duž cijele bušotine. Uzorci se spremaju u sanduke s pregradama na kojima se označuje broj bušotine i dubina, a zatim se klasificiraju i podaci se unose u formulare izvještaja o bušenju i identifikaciji. Ako je potrebno, da bi se očuvala prirodna vlažnost stavljaju se u hermetičke posude ili PVC vrećice. Za uzimanje poremećenih uzoraka tla iz sitnozrnog tla mogu se primijeniti strojni ili ručni postupci rotacionog istražnog bušenja.



*Slika 2.2. Spremanje poremećenog uzorka uzetog iz jezgre*

- NEPOREMEĆENI

Neporemećeni uzorci su uzorci tla kod kojih nema značajnije promjene strukture svojstava u odnosu na tlo iz kojeg su uzeti, mora zadržati poroznost, vlažnost i teksturu materijala. Za postizanje toga koriste se uređaji koji prodiru u tlo uz što manje otpora.

Za uzimanje neporemećenih uzoraka iz bušotina koriste se cilindri različite konstrukcije. Nakon bušenja do dubine sa koje se želi uzeti uzorak tla pomoću cilindra, dno bušotine se očisti od poremećenog tla. Potom se cilindar spusti na dno bušotine i utiskuje hidrauličkim kontinuiranim pritiskom ili udarcima malja.

Pri tom se bilježe sila utiskivanja odnosno energija prodiranja koja može biti indikator stanja tla iz koje se uzima uzorak tla. Prilikom utiskivanja obavezno se mjeri dubina utiskivanja da bi se u cilindru sačuvao sigurnosni prostor tako da ne dođe do kompresije tla u njemu. Poslije utiskivanja cilindar se lagano izvuče, izmjeri dužina uzorka i usporedi sa dubinom do koje je bušaći pribor utisnut.



Slika 2.3. Vađenje neporemećenog uzorka



## 2.1. Statički penetracijski pokus

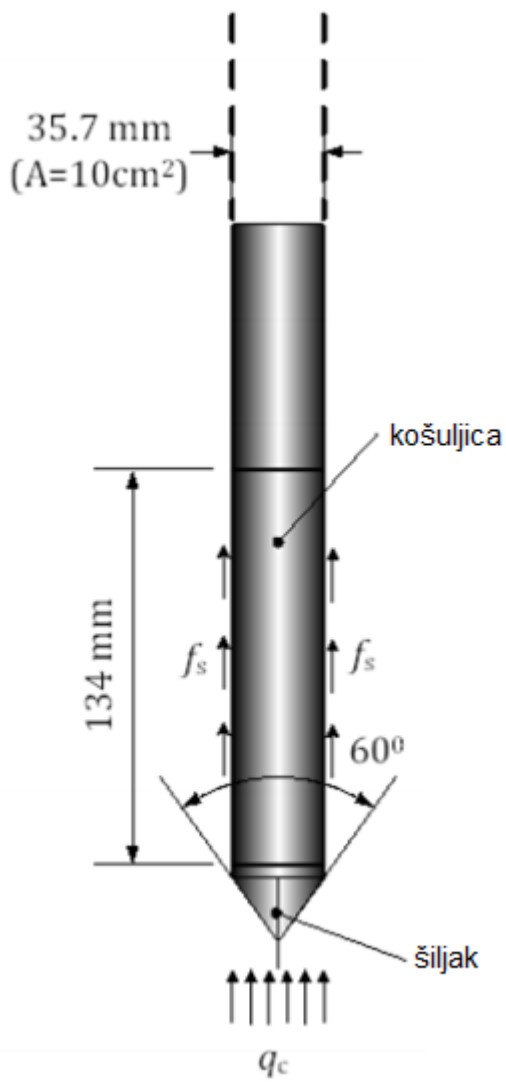
Cilj ispitivanja pomoću CPT-a je odrediti klasifikaciju tla, slojevitost, čvrstoću i deformacijske karakteristike te propusnosti tla.

Pokus se izvodi na način da se sonda utiskuje u tlo određenom brzinom uz konstantno mjerenje otpora na šiljku sonde i trenja po plaštu sonde koji se aktivira prilikom utiskivanja sonde između plašta i tla. Sonda na svom dnu ima šiljak konusnog oblika s vršnim kutom od  $60^\circ$ , može biti opskrbljena i uređajem za mjerenje tlaka vode, no tada se naziva CPTU.

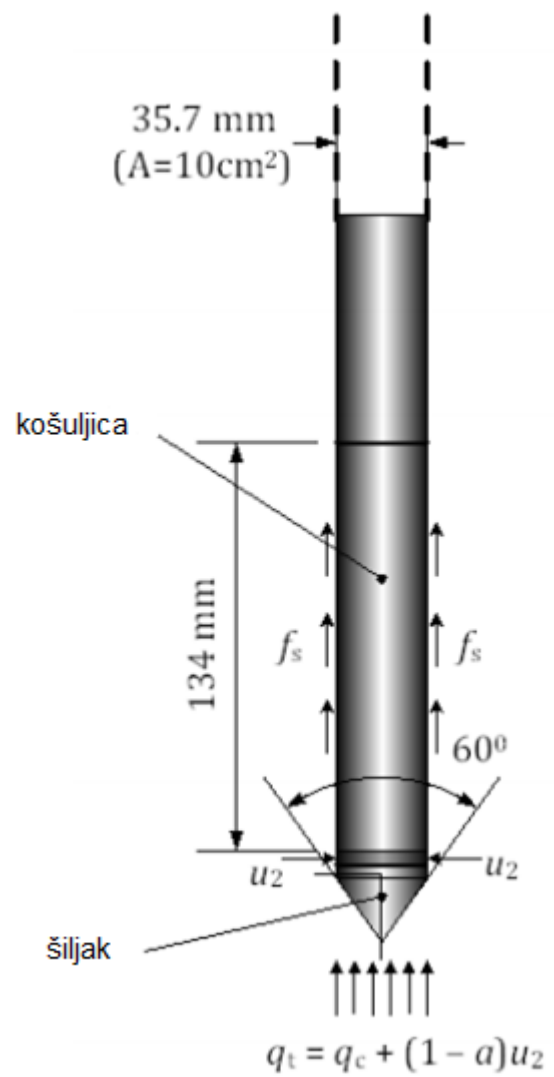
Osim otpora i trenja može se mjeriti porni tlak, temperatura te brzina širenja seizmičkih valova. Prednosti ovog pokusa su brzo i kontinuirano mjerenje svakih 2 cm, minimalni poremećaji tla, ponovljivost i pouzdanost mjerenja, no suprotno tome, nedostatak je ograničeno utiskivanje u šljunčanim i kamenitim tlima.



*Slika 2.4. Sprave za izvođenje CPT-a (sonda i šiljak)*



Slika 2.6. CPT bez mjerenja pornog tlaka

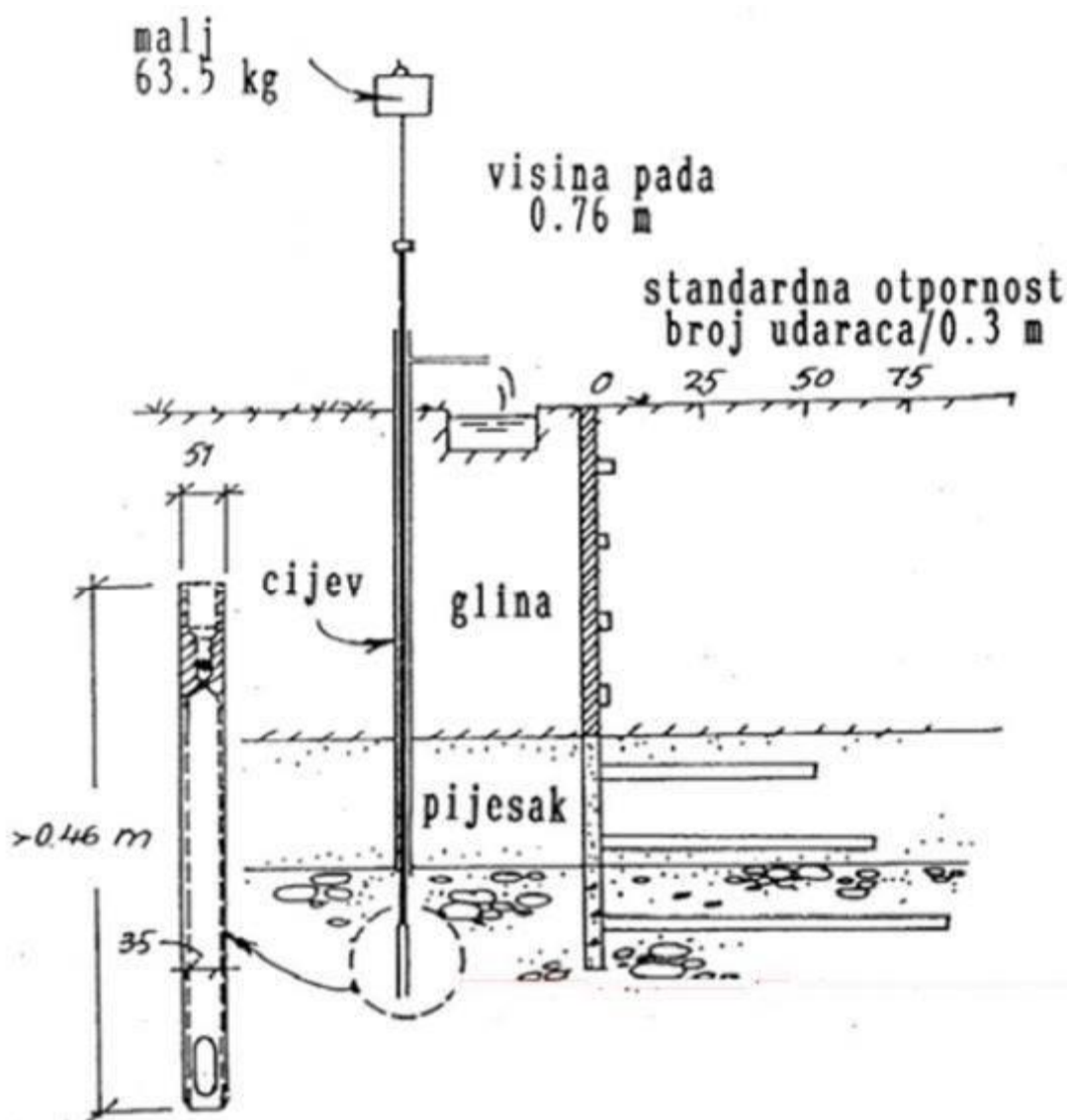


Slika 2.5. CPTU mjerenje pornog tlaka

## 2.2. Standardni penetracijski pokus

Standardni penetracijski pokus razvio se u SAD-u, a zbog svoje praktičnosti brzo su ga prihvatili i drugi. Test nam služi za mjerenje otpora pri dinamičkom prodiranju pribora u tlo.

Bušenje se izvodi se u svim slojevima tla, a u debljem tlu na razmacima od 30 do 100 cm. Pribor može biti puni stožac ili šuplji nož za prodiranje koji istovremeno služi za vađenje uzroka. Ispitivanje se vrši na način da se na bušeće šipke pričvrsti cilindar koji se zbija udarcima malja mase od 64 kg sa visine pada od 76 cm. Obično se izvodi u nekoherentnim tlima, međutim može dati korisne podatke i za druge vrste tla. Rezultati pokusa većinom su čvrstoća i deformabilnost tla.



Slika 2.7. Prikaz izvođenja standardnog penetracijskog pokusa

BROJ UDARCA (N)	NEKOHERENTNO TLO
0 - 4	vrlo rahlo
4 - 10	rahlo
10 - 30	srednje zbijeno
30 - 50	gusto
> 50	vrlo gusto

*Tablica 1. Veza između standardnog penetracijskog testa i nekoherentnog tla*

BROJ UDARCA (N)	KOHERENTNO TLO
2	vrlo meko
2 - 4	melo
4 - 8	srednje tvrdo
8 - 15	kruto
15 - 30	vrlo kruto
> 30	čvrsto

*Tablica 2. Veza između standardnog penetracijskog testa i koherentnog tla*



### 3. Laboratorijsko ispitivanje

Laboratorijskim ispitivanjima možemo odredit fizikalno-mehanička svojstva tla, klasifikaciju tla, čvrstoću tla, granulometrijski sastav...U ovom poglavlju bit će detaljnije prikazana i opisana laboratorijska ispitivanja koja su se provela.

#### 3.1. Vlažnost tla

Za svaki uzorak posebno određuje se vlažnost tla, jedno od bitnih laboratorijskih ispitivanja vrši se u prvim koracima ispitivanje jer voda ima velik utjecaj na mehaničko ponašanje tla.

Uzorak vlažnog tla ispituje se na način da se prvo izvaže tlo u prirodnom stanju, te se stavlja na sušenje u peć na 105°C. Uzorak nakon 24 sata izvadimo iz pećnice i važemo materijal u suhom stanju, tako dobivamo masu suhog uzorka  $M_d$ . Vlažnost se izražava u postocima.

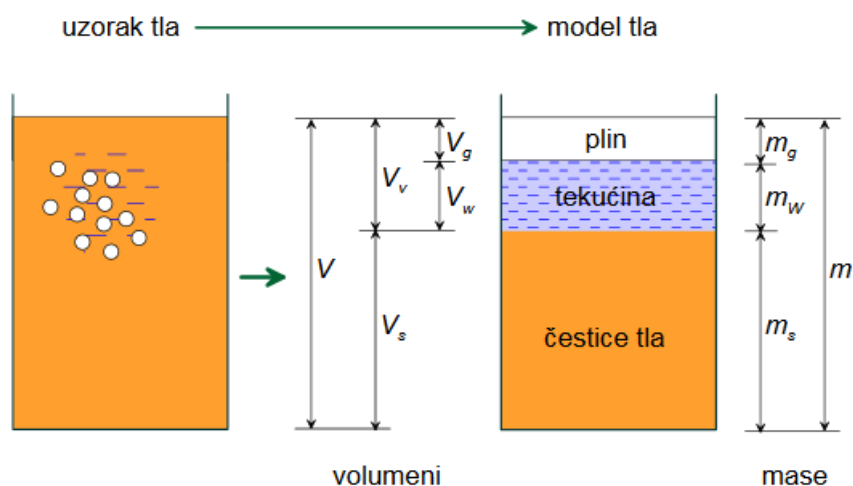
Vlažnost uzorka računamo prema:

$$M_w = M - M_s \quad (1)$$

$$w = \frac{M_w}{M_s} * 100 \quad (2)$$

#### 3.2. Fizikalna svojstva tla

Kada govorimo o fizikalnim svojstvima tla govorimo o trofaznoj građi tla, što podrazumijeva da svaki promatrani uzorak ima masu  $M$ , volumen  $V$  i težinu  $W$ . Međutim, treba imat na umu da ukupni uzorak možemo podijeliti na tri sastavne faze, te uspostaviti veze između uzorka tla i modela tla.



Slika 3.1. Trofazna građa tla

Volumni odnosi definiraju se kao:

- relativni porozitet

$$n = \frac{V_V}{V} \quad (3)$$

raspon od  $n_{\min} = 0,10$  i  $n_{\max} = 0,55$

- koeficijent pora

$$e = \frac{V_V}{V_S} \quad (4)$$

raspon od  $e_{\min} = 0,10$  i  $e_{\max} = 1,20$

- stupanj zasićenosti

$$S_r = \frac{V_W}{V_V} \quad (5)$$

raspon od  $0 \leq S_r \leq 1$

Maseni odnosi definirani su:

- vlažnost

$$w = \frac{m_W}{m_S} \quad (6)$$

- gustoća tla

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (7)$$

- gustoća čestica tla

$$\rho_S = \frac{m_S}{V_S} \quad (8)$$

- gustoća vode

$$\rho_W = \frac{m_W}{V_W} \quad (9)$$

- Gustoća tla se može povezati s ostalim jediničnim veličinama

$$\rho = \rho_S * (1 - n) + \rho_W * S_r * n \quad (10)$$

### 3.3. Klasifikacija tla

Klasifikacija tla odnosi se samo na čvrste čestice toga tla i za provođenje potrebnih postupaka dovoljan je poremećeni uzorak. Ipak, pripadnosti određenoj klasi, pri opisu nekog zemljanog materijala, dodaju se i svi ostali dostupni podaci: veličina najvećeg zrna, zaobljenost, tvrdoća, mineraloški sastav, boja, možda geološki podaci i slično. Radi li se o neporemećenom tlu, opisuje se i zbijenost tla i slično.

Nekoherentno tlo većinom je sastavljeno od krupnih zrna između kojih su kohezione sile zanemarive. Osnovni koraci u određivanju granulometrijskog sastava su: odabiranje reprezentativnog uzorka, dispergiranje agregata na konačne čestice, mjerenje mase pojedinih frakcija. Već se samo na temelju granulometrijskog sastava mogu odrediti neke fizikalne karakteristike tla, kao što su vodopropusnost, stišljivost, kapilarnost, filtarska svojstva...

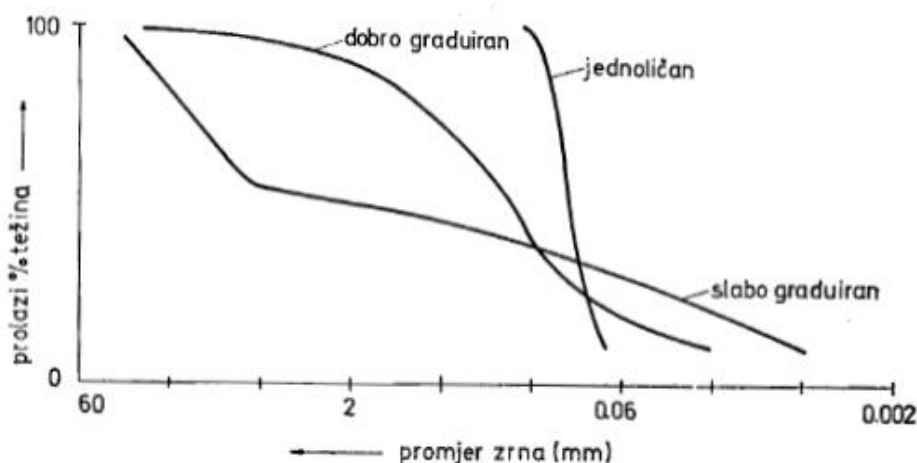
Granulometrijski sastav prikazuje se logaritamskim mjerilom na granulometrijskom dijagramu, odnosno, odnos promjera zrna koje se nalazi na apscisi i postotak prolaznosti kroz sito na ordinati. Zato se i klasifikacija nekoherentnih tala zasniva na granulometrijskom sastavu.

Razlikuju se dvije grupe prema veličini najviše zastupljenih nekoherentnih zrna:

šljunak i pijesak

Svaka od ovih grupa dalje se dijeli prema granulometrijskom sastavu koji se najbolje vidi iz granulometrijskog dijagrama:

- **dobro graduirana tla** - well graded - **W**
- **slabo graduirana tla**- poorly graded - **P**
- **jednolično graduirana tla** - uniformly graded - **U**
- **slabo graduirana tla sa mnogo prašinih čestica**
- **slabo graduirana tla sa mnogo glinovitih čestica**



Slika 3.2. Granulometrijski dijagram

Glavna podjela			Simbol	Opis	
<b>Krupnozrnata tla</b>  Više od 50% materijala ostaje na situ br. 200	<b>Šljunak i šljunkovita tla</b>  Više od 50% krupne frakcije ostaje na situ br. 4	Čisti šljunak (s malo ili bez primjesa sitnih čestica)	GW	dobro graduirani šljunci, mješavine šljunak – pijesak, s malo ili bez sitnih čestica	
		Šljunak s primjesom sitnih čestica (značajnija kol. sitnih čestica)	GP	loše graduirani šljunci, mješavine šljunak – pijesak, s malo ili bez sitnih čestica	
		<b>Pijesak i pjeskovita tla</b>  Više od 50% krupne frakcije prolazi kroz sito br. 4	Čisti pijesak (s malo ili bez primjesa sitnijih čestica)	SW	dobro graduirani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili bez sitnijih čestica
			Pijesak s primjesom sitnijih čestica (značajnija kol. sitnijih čestica)	SP	loše graduirani pijesci, šljunkoviti pijesci, s malo ili bez sitnijih čestica
	<b>Sitnozrnata tla</b>  Više od 50% materijala prolazi kroz sito br. 200	<b>Prašine i gline</b>  Granica tečenja ispod 50%	MH	anorganski prah, tinjčasti sitni pijesak, prašinasta tla	
			CH	anorganske gline visoke plastičnosti, masne gline	
			OH	organske gline srednje do visoke plastičnosti	
		<b>Prašine i gline</b>  Granica tečenja iznad 50%	ML	anorganski prah i vrlo sitni pijesci, kameno brašno, prašinski ili zaglinjeni sitni pijesci ili zaglinjeni prah neznatne plastičnosti	
	CL	anorganske gline niske do srednje plastičnosti, šljunkovite gline, pjeskovite gline, prašinate gline			
	OL	organski prah i organsko prašinate gline niske plastičnosti			
<b>Visoko organska tla</b>			PT	treset, humus, blato, močvarna tla s visokim sadržajem organske tvari	

Tablica 3. USCS klasifikacija koja se najčešće primjenjuje

VRSTA MATERIJALA	ISO/DIS 14688	USCS	BROJ SITA (USCS)
DROBINA (OBLUTCI)	60 mm	75 mm	No. 4
	krupni		
	20 mm		
	srednji		
ŠLJUNAK	6 mm	4,75 mm	No. 200
	2 mm		
	0,6 mm	0,075 mm	
	srednji		
PIJESAK	0,2 mm	0,075 mm	No. 200
	sitni		
	0,06 mm	0,002 mm	
	krupni		
PRAH	0,02 mm	0,002 mm	No. 200
	srednji		
	sitni		
GLINA	0,002 mm		

↑  
areometriranje sijanje  
↓

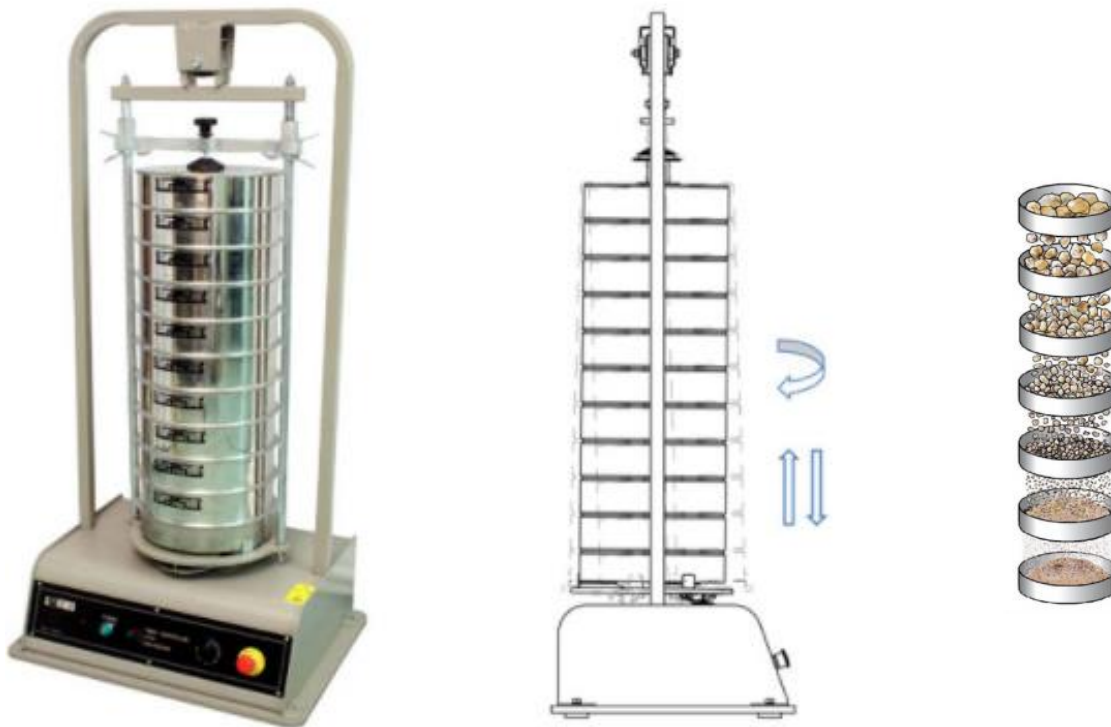
Tablica 4. Vrsta materijala prema veličini čestica

Granulometrijski sastav nekog tla određuje se:

- PROSIJAVANJEM

Za prosijavanje upotrebljavaju se sita pričvršćena na prikladan okvir. Odabrana se količina materijala suši i važe. Uzorak se zatim stavi na najgrublje sito, ispod kojeg su redom naslagana sve finija, sve do 0,06 mm, i zatim je zdjela za hvatanje materijala koje prolazi kroz najgušće sito. Sva se sita stave u tresaljku, gdje ostaju tako dugo dok sav materijal ne prođe kroz njih. Zatim se važu ostaci na svakom situ.

Ako ima i sitnijih frakcija koje su nalijepljene na krupna ili sljepljuju sitnija zrna, onda se primjenjuje mokri postupak. On je jednak opisanom, samo se na svakom situ materijal ispiri vodom dok prođu kroz njega sva zrna sitnija od promjera okana. Na kraju se materijal osuši i izvaže.



Slika 3.3. Uređaj za prosijavanje

- AEROMETRIRANJEM

Areometriranje je metoda određivanja sastava tla za materijal koji sadrži zrna manja od 0,06 mm. Budući da tako sitne čestice nije moguće sijati, veličina i postotak pojedinih frakcija određuju se indirektno, mjerenjem gustoće suspenzije u određenim vremenskim intervalima, primjenjujući, Stokesov zakon. Gustoća suspenzije se očitava na vratu areometra, na mjestu gdje vrat areometra izviruje iz vode.

Stokesovim zakonom definira se kao brzina padanja zrnaca u mirnoj tekućini, koja je veća što su čestice krupnije.

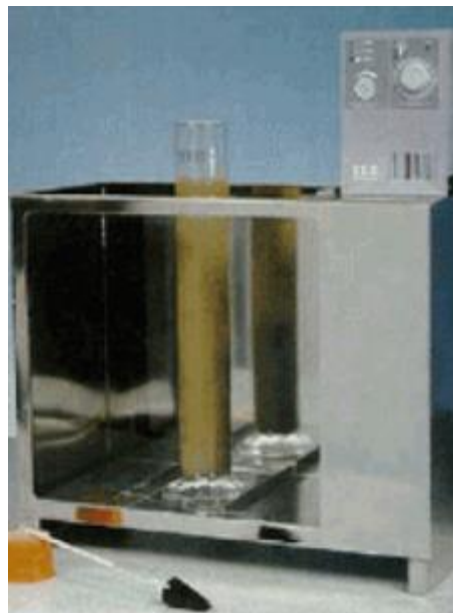
Stokesov zakon glasi:

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18 \times \eta} * D^2 \quad (11)$$

$$v = \frac{H}{t} \quad (12)$$

Izjednačavanjem (11) i (12) dobivamo:

$$D_r = \sqrt{\frac{18 \times \eta}{\rho_s - \rho_w}} * \sqrt{\frac{H}{t}} = \text{const.} * \sqrt{\frac{H}{t}} \quad (13)$$



*Slika 3.4. Aerometriranje*

### 3.4. Indeksni pokazatelji

Indeksni pokazatelji su parametri koji, uz granulometrijski sastav, daju dodatne informacije o osobinama tla koja su povezana s poroznošću i vlažnošću tla. To je posebno važno za sitnozrnate materijale, kod kojih svojstva tla ne ovise toliko o granulometrijskom sastavu. Podaci kojima se detaljnije opisuju osobine tla, ovisno o poroznosti i vlažnosti, su:

- INDEKS RELATIVNE GUSTOĆE za nekoherentne materijale

Indeks relativne gustoće važan je i za određivanje podložnosti tla dinamičkim utjecajima, koja su veća što je relativna gustoća manja, a računamo po formuli:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (14)$$

gdje je  $e$  koeficijent pora uzorka:

$e_0$  - u prirodnom stanju

$e_{\max}$  - u najrahlijem stanju

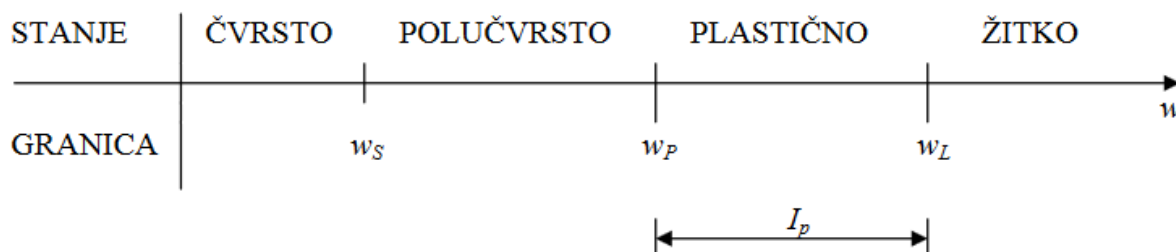
$e_{\min}$  - u najgušćem stanju

STANJE	$I_D$ [-]	SPT $N_{30}$
vrlo rahlo	< 0,20	< 4
rahlo (rastresito)	0,20 - 0,40	4 - 7
srednje zbijeno	0,40 - 0,60	7 - 15
zbijeno	0,60 - 0,80	15 - 30
vrlo zbijeno	> 0,80	> 30

Tablica 5. Stanje materijala prema zbijenosti

- GRANICE PLASTIČNIH STANJA za koherentne materijale

Granice plastičnih stanja ili Atterbergove granice određuju se na temelju jednostavnih ispitivanja u laboratoriju za mehaniku tla. Važno je naglasiti da se koherentni materijali ne klasificiraju po granulometrijskom sastavu već po plastičnosti.

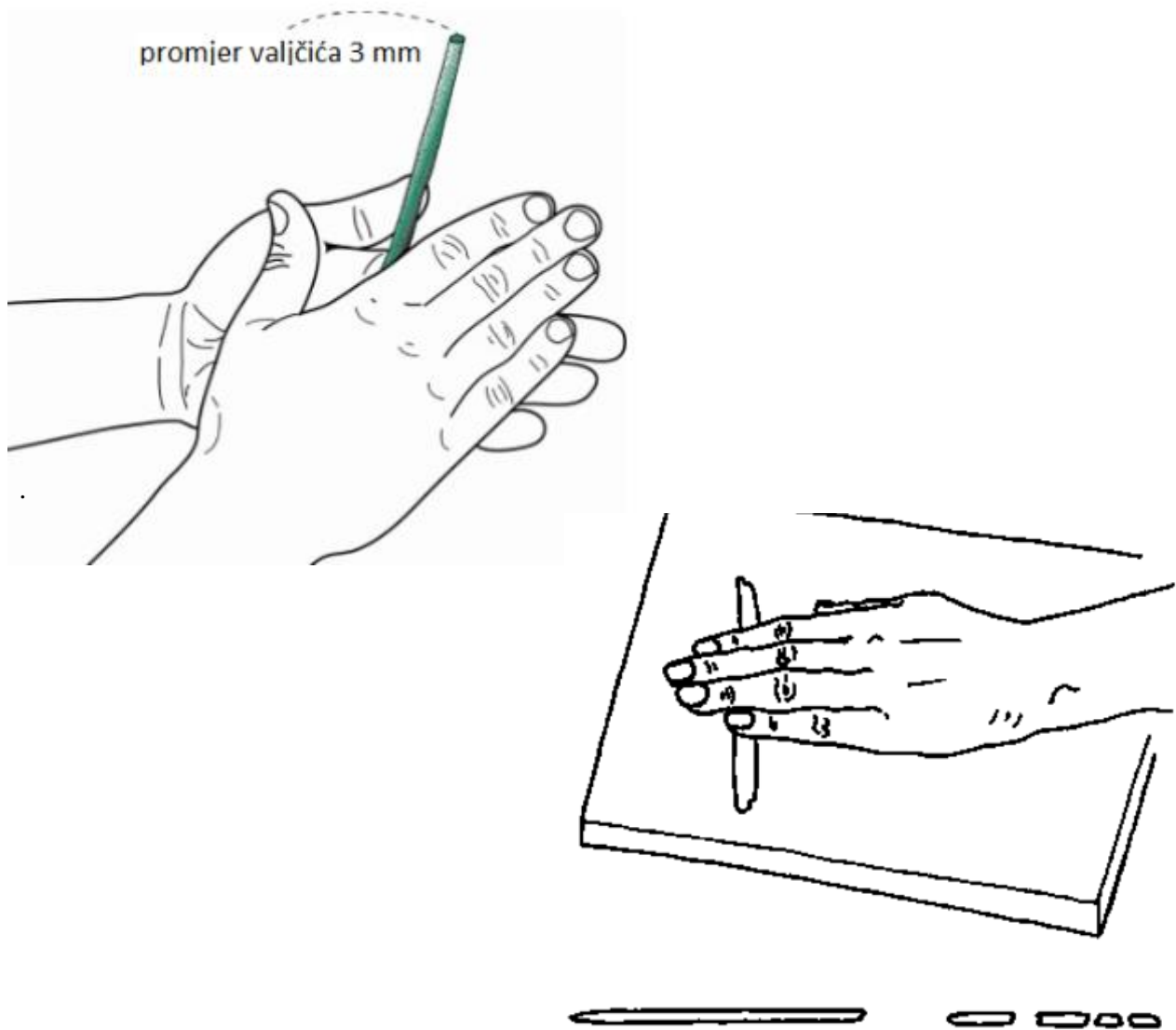


Tablica 6. Granice plastičnih stanja

Granice plastičnih stanja su:

- $w_p$ - granica plastičnosti

Za određivanje granice plastičnosti ne treba poseban aparat. Uzorak se pripremi u meko plastičnom stanju, te se materijala valja na ne upijajućoj podlozi u valjčiče promjera 3 mm. Materijal bi kod te debljine trebao početi pucati. Ako se to ne događa materijal se ponovno stišće u masu i pokus se ponavlja. Tim se postupkom uzorku pomalo smanjuje vlažnost. Uzorci koji su počeli pucati na 3 mm spremamo u zatvorenu posudu, a zatim ih važemo i stavljamo sušiti da odredimo vlažnost.

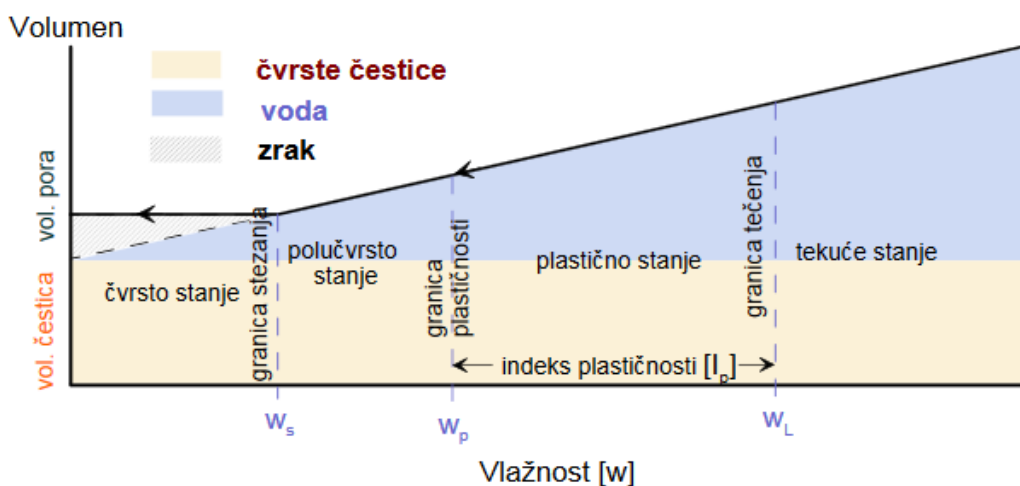


Slika 3.5. Primjer ispitivanja granične plastičnosti



- $w_s$ - granica stezanja

Granica stezana je vlažnost od koje se sušenjem volumen uzorka više ne smanjuje. Dakle, u postupku sušenja, zbog povećavanja kapilarnih sila vode u porama uzorka, uzorak se steže sve dok čestice ne dođu u tako zbijenu strukturu da ih tesile više ne mogu zbijati. Granica stezanja u laboratoriju se određuje tako da se uzorak suši u posudi pravilnog oblika, a povremeno mu se određuju vlažnost i volumen sve dok se daljnjim sušenjem volumen više ne smanjuje.

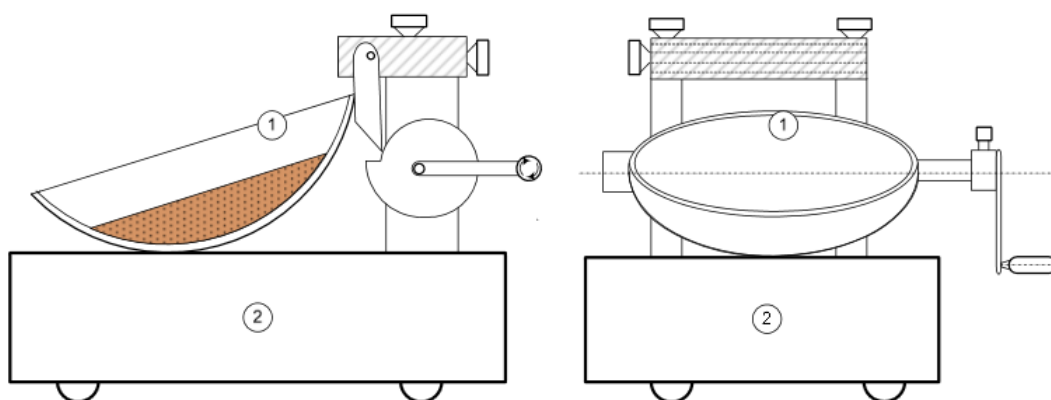


Slika 3.6. Granica stezanja  $w_s$ , na mjestu gdje prestaje smanjenje volumena uzorka sa smanjenjem njegove vlažnosti.

- $w_L$ - granica tečenja

Za određivanje granice tečenja koristimo Casagrandeov aparata. Pomoću ekscentra na osovini, zdjelica se podiže na visinu od 1 cm s koje slobodno pada na podlogu. Na uzorku se načini standardizirani žlijeb posebnim nožem. Pokretana ručno ili automatski, zdjelica brzinom od 2 udarca u sekundi udara o podlogu, dok se žlijeb ne sastavi na duljini od 12 mm.

Broj udaraca ne smije biti manji od 10, a ne veći od 50. Pokus se ponavlja na više uzoraka istog materijala, a kojima se postepeno povećava vlažnost.



Slika 3.7. Casagrandeov aparat (1. mesingova šalica, 2. tvrda gumena podloga)

- indeks plastičnosti  $I_P$ :

pokazuje za koliko je potrebno promijeniti vlažnost da bi se čvrstoća povećala, to je zapravo raspon vlažnosti unutar kojega je tlo plastično. Tla s visokim indeksom plastičnosti manje su stabilna i imaju veći potencijal bubrenja.

$$I_P = w_L - w_P \quad (15)$$

stupanj plastičnosti	granica tečenja u [%]	indeks plastičnosti, $I_P$
neplastično	-	< 12,0
nisko plastično	< 12,0	12,0 do 25,0
srednje plastično	30,0-50,0	25,0 do 40,0
visoko plastično	>50,0	>40,0

Tablica 7. Klasificiranje koherentnih materijala prema plastičnosti

- indeks konzistencije  $I_C$

karakterizira stupanj konzistencije određenoga tla. Materijal je plastične konzistencije kad je vrijednost indeksa konzistencije između 1 i 0. Što je indeks veći, to je konzistencija kruća. Kada je vrijednost indeksa manja ili jednaka 0, materijal je žitki.

$$I_C = \frac{w_L - w_o}{I_P} \quad (16)$$

- indeks tečenja  $I_L$

mjera konzistencije i čvrstoće tla pri određenoj vlažnosti.

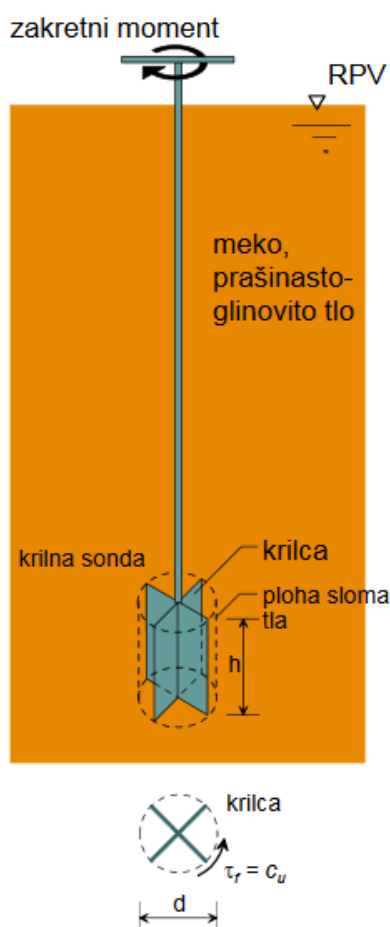
$$I_L = \frac{w_o - w_P}{I_P} \quad (17)$$

### 3.5. Kohezija ispitivana pomoću laboratorijske krilne sonde

Krilna sonda koristi se za mjerenje čvrstoće na smicanje. Pošto se tlo nalazi pod određenim prirodnim konsolidacijskim tlakom, podatak koji se dobije korištenjem krilne sonde predstavlja konsolidiranu nedreniranu čvrstoću tla.

$$\tau_f = \tau_{cu} \quad (18)$$

Sastoji se od metalne šipke na koju su pričvršćene dvije ploče visine  $h$  i širine  $d$ , u našem slučaju  $h = d$ .



Slika 3.8. Krilna sonda

Utiskivanjem uređaja u meko tlo, dolazi do torzijskog momenta  $M_t$  koji preko metalne šipke djeluje na ukrižene metalne ploče, dolazi do stvaranja posmičnog naprezanja, te kako se povećava moment dolazi i do povećanja posmični otpor, dok ne dosegne graničnu posmičnu čvrstoću  $\tau_f$  nakon čega dolazi do sloma tla. Do sloma dolazi po oplošju valjka jer se tlo odupire torzijskom momentu.

$$M_t = M_{tp} + 2 * M_{tb} \quad (19)$$

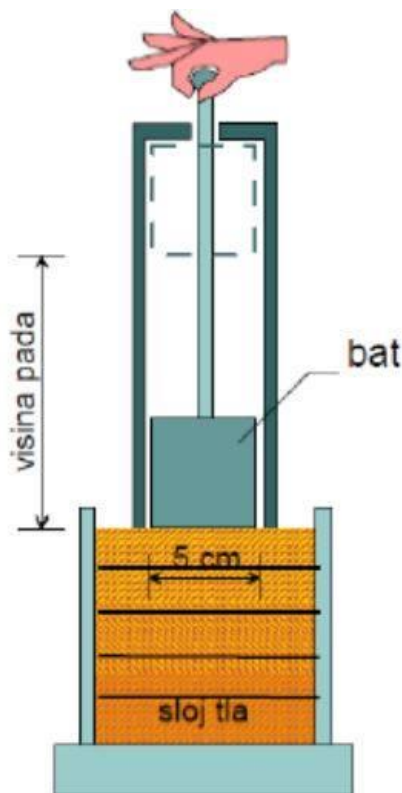
### 3.6. Proctorov pokus

Kada je riječ o energiji ona se može primijeniti nabijanjem, vibriranjem, pritiskom ili gnječenjem, ustanovljeno je da pritisak, nabijanje i gnječenje kod krupno zrnatih tla nema učinka, dok je za sitno zrnata tla potpuno suprotno. Najučinkovitiji postupak za krupno zrnata tla je vibriranje. Kod pravilnog izvođenja pokusa kalup mora u potpunosti biti ispunjen materijalom. Za vrijeme pokusa mjeri se masa uzorka prije i poslije sušenja zbog određivanja gustoće suhog i vlažnog materijala. Prilikom dolaska do povećanja zbijenosti povećava se i suha gustoća, koja je ovisna o poroznosti.

Postoje dvije vrste pokusa:

- MODIFICIRANI

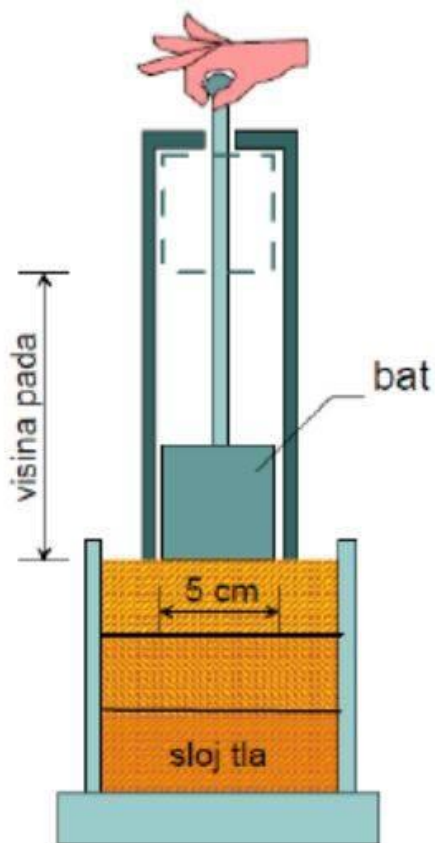
Kod modificiranog pokusa potrebno je pripremiti pet uzorka različite vlažnosti, odstupanje vlažnosti od pojedinog uzorka može se razlikovati za 2%. Zbijanje se vrši na način da bat od 4,5kg pada sa visine od 42,5cm, u pet slojeva svaki po 55 udaraca.



Slika 3.9. Primjena modificiranog Proctorovog pokusa

- STANDARDNI

Kod standardnog pokusa zbijenost se odvija u cilindru volumena  $943,7 \text{ cm}^3$ . Potrebna su tri uzorka koherentnog tla u tri sloja. Svaki se sloj zasebno zbija na način da se bat mase 25 kg pušta s visine od 30,4 cm po 25 udaraca po svakom sloju. Na temelju podatka iz pokusa možemo odrediti propisanu energiju zbijanja.



*Slika 3.10. Primjena standardnog Proctorovog pokusa*

### 3.7. Edometar

Modul otpora nije konstantan za jednu vrstu materijala, već se mijenja s promjenom opterećenja, možemo ga izračunat preko promjene visine uzorka  $\Delta H$ , preko promjene koeficijenta pora te promjena volumena (uz pretpostavku da je su čestice u tlu ne stlačive te da je tlo potpuno saturirano).

Hookov zakon:

$$F = k * D \quad (18)$$

Hookov zakon za naprezanje:

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (19)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (20)$$

$$M_S = \frac{\Delta \sigma}{\frac{\Delta h}{h_0}} = \frac{\Delta \sigma}{\frac{\Delta e}{1+e_0}} = \frac{1+e_0}{\Delta e} * \Delta \sigma \quad (21)$$

Edometar je uređaj pomoću kojeg se mjeri otpor tla pod djelovanjem opterećenja, kod uređaja manjih dimenzija ispituju se sitno zrnati materijali, a većih krupno zrnati. U edometru se mjeri slijeganje, odnosno promjena visine  $h$  nisko cilindričnog uzorka tla dijametra  $D$ , pod opterećenjem  $P$ .

Osnovi dijelovi edometra:

- Metalni prsten u koji se stavlja materijal smješten između gornje i donje porozne ploče. Materijal sa prstenom i poroznim pločama stavlja se u edometar gdje se izaziva opterećenje koje se sistemom poluga prenosi na uzorak preko metalne ploče.
- Dvije prozirne ploče koje se nalaze iznad i ispod materijala, tako da voda nesmetano izlazi iz uzorka tijekom pokusa.
- Spremnik koji osigurava potopljenost i zasićenost uzorka u slučaju potrebe
- Čelična ploča koja se nalazi na gornjoj prozirnoj ploči i prenaša opterećenja po cijeloj horizontalnoj površini udubljena je na vrhu te joj kuglica omogućuje da se opterećenje na uzorak prenosi jednoliko.
- Sustav za opterećivanje se opterećuje pomoću kuglice koja se nalazi na čeličnoj ploči koja poklapa uzorak.
- Osjetilo za mjerenje pomaka, odnosno deformacije uzorka je mjerna urica pričvršćena na okvira uređaja te je pomičnim ticalom oslonjena na ploču.

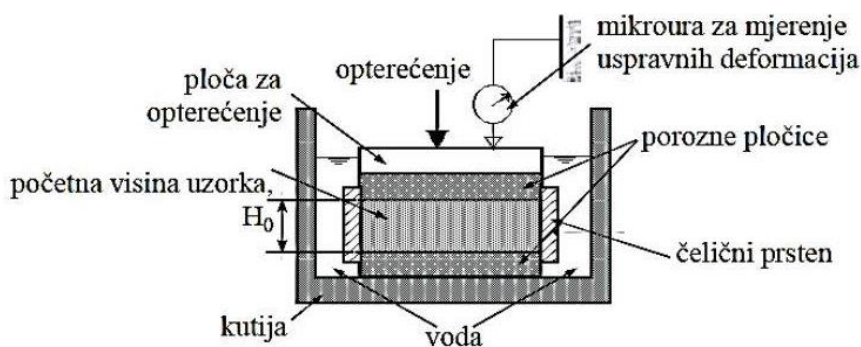
## Provođenje ispitivanja

Pokus se izvodi na način tako da se nakon stavljanja uzorka u edometar označi početna visina ploče na koju se prenose opterećenja. Uzorak se potopi vodom zbog mogućih deformacija uzrokovane bubrenjem.

Opterećenje se nanosi tako je svako slijedeće dvostruko veće i sve do najvećeg opterećenja tla koje se očekuje ispod objekta. Prilikom glinovitih materijala slijeganje je veće kada se opterećenje poveća od jednom, opterećenje prilagođavamo ovisno o vrsti materijala i problemu sa kojim se susrećemo. Mjerenja koja nam prikazuje edometar su: horizontalna naprezanja, vertikalna naprezanja, mjerenje položaja čelične ploče, ovisno o vrsti edometra moguće je i propusnost uzorka.



Slika 3.12. Prikaz edometra



Slika 3.11. Presjek edometra

## 4. Geomehantički istražni radovi na području aglomeracije Mursko Središće

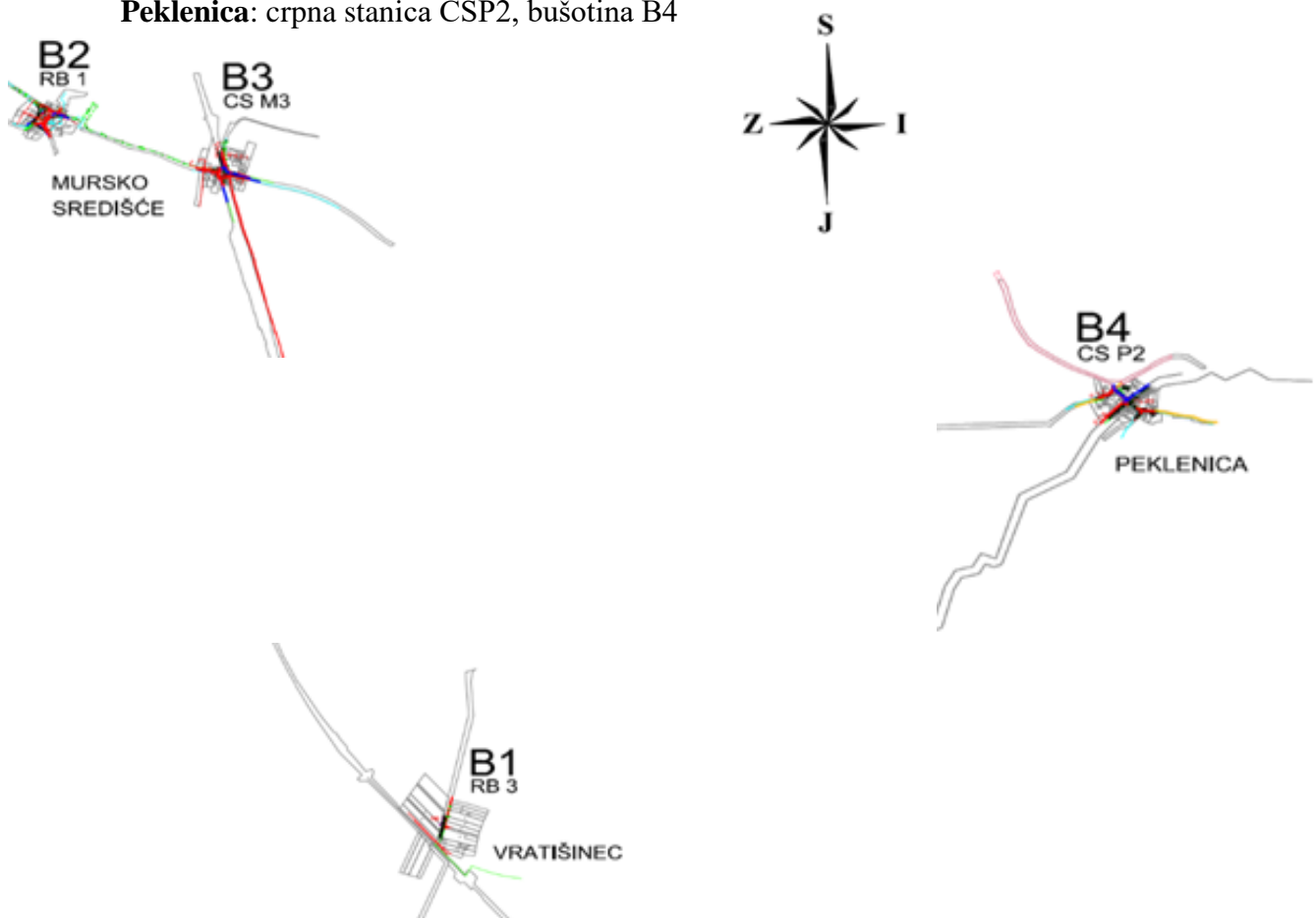
Geomehantički istražni radovi provedeni su u području aglomeracije Murskoga Središća (Vratišinec, Mursko Središće, Peklenica). Gradska jezgra Murskog Središća razvila se tik uz desno priobalje rijeke Mure, dok je naselje Peklenica odmaknuta oko 1 km od rijeke a naselje Vratišinec je oko 3 km udaljeno od Mure.

Cijelo se ovo područje može tretirati kao šire riječno priobalje, obzirom da su i njihove prosječne visinske kote približno slične i iznose: Mursko Središće, 163 m n.m; Peklenica 167 m.n.m i Vratišinec 170 m n.m. Na geotehničko stanje u bušotinama B1 i B4 od utjecaja su aluvijalne komponente tla nastale posredstvom potoka Brodeca, dok na stanje u bušotinama B2 i B3 znatnog utjecaja ima aluvij rijeke Mure (koji se zapaža i na bušotini u Vratišincu, B4, na dubini od 2,30 do 3,30 m).

Kao što se na slici 4.1. može vidjeti, istražna su bušenja provedena na četiri lokacije, kako slijedi: **Vratišinec**: retencijski bazen RB3, bušotina B

**Mursko Središće**: retencijski bazen RB1, bušotina B2, crpna stanica CSM3, bušotina B3

**Peklenica**: crpna stanica CSP2, bušotina B4



Slika 4.1. Prikaz četiriju lokacija na kojima je izvedeno bušenje (B1, B2, B3 i B4)



## 4.1. Istražno bušenje

Sve istražne bušotine (4 kom) izvedene su do dubine 6 m. U priloženoj tablici sažeti su osnovni elementi sondažnog bušenja.

**Lokacija: Vratišinec (B-1), Mursko Središće (B-2 i B-3) i Peklenica (B-4)**  
**OSNOVNI ELEMENTI SONDAŽNOG BUŠENJA**

Tablica popunjena: dne. 13.X.2016.

OZNAKA SONDE	KARAKTERISTIČNA DUBINA (m)			SPP		UZORCI (kom)			
	Ukupna	Podzemna voda		kom.	dub.	N n=nož š=šiljak	PU		NU
		PPV	NPV				PU <sub>SPP</sub>	PU <sub>jez</sub>	
B-1	6,0	3,9 13X2016	3,9 13X2016	4	1,5-1,8 3,0-3,3 4,5-4,8 5,7-6,0	13 n 6 n 12 n 9 n	4	1,5-1,8 3,0-3,3 4,5-4,8 5,7-6,0	-
B-2	6,0	2,0 13X2016	2,0 13X2016	4	1,5-1,8 3,0-3,3 4,5-4,8 5,7-6,0	3 n 17 n 22 n 23 n	4	1,5-1,8 3,0-3,3 4,5-4,8 5,7-6,0	-
B-3	6,0	4,4 13X2016	4,4 13X2016	4	1,5-1,8 3,0-3,3 4,5-4,8 5,7-6,0	6 n 7 n 9 n 12 n	4	1,5-1,8 3,0-3,3 4,5-4,8 5,7-6,0	-
B-4	6,0	3,0 13X2016	3,0 13X2016	4	1,5-1,8 3,0-3,3 4,5-4,8 5,7-6,0	7 n 18 n 17 n 24 n	4	1,5-1,8 3,0-3,3 4,5-4,8 5,7-6,0	-
<b>Ukupno</b>	<b>24,0 m</b>	<b>Prosječno 3,3 m</b>		<b>16 kom</b>			<b>16 kom.</b>	<b>0 kom.</b>	<b>0 kom.</b>

Kratice za karakteristične dubine označuju:

PPV = pojava podzemne vode prilikom bušenja  
NPV = nivo podzemne vode  
ppc = postupno pricjedvanje PV u bušotinu

Kratice za vrste uzoraka označuju:

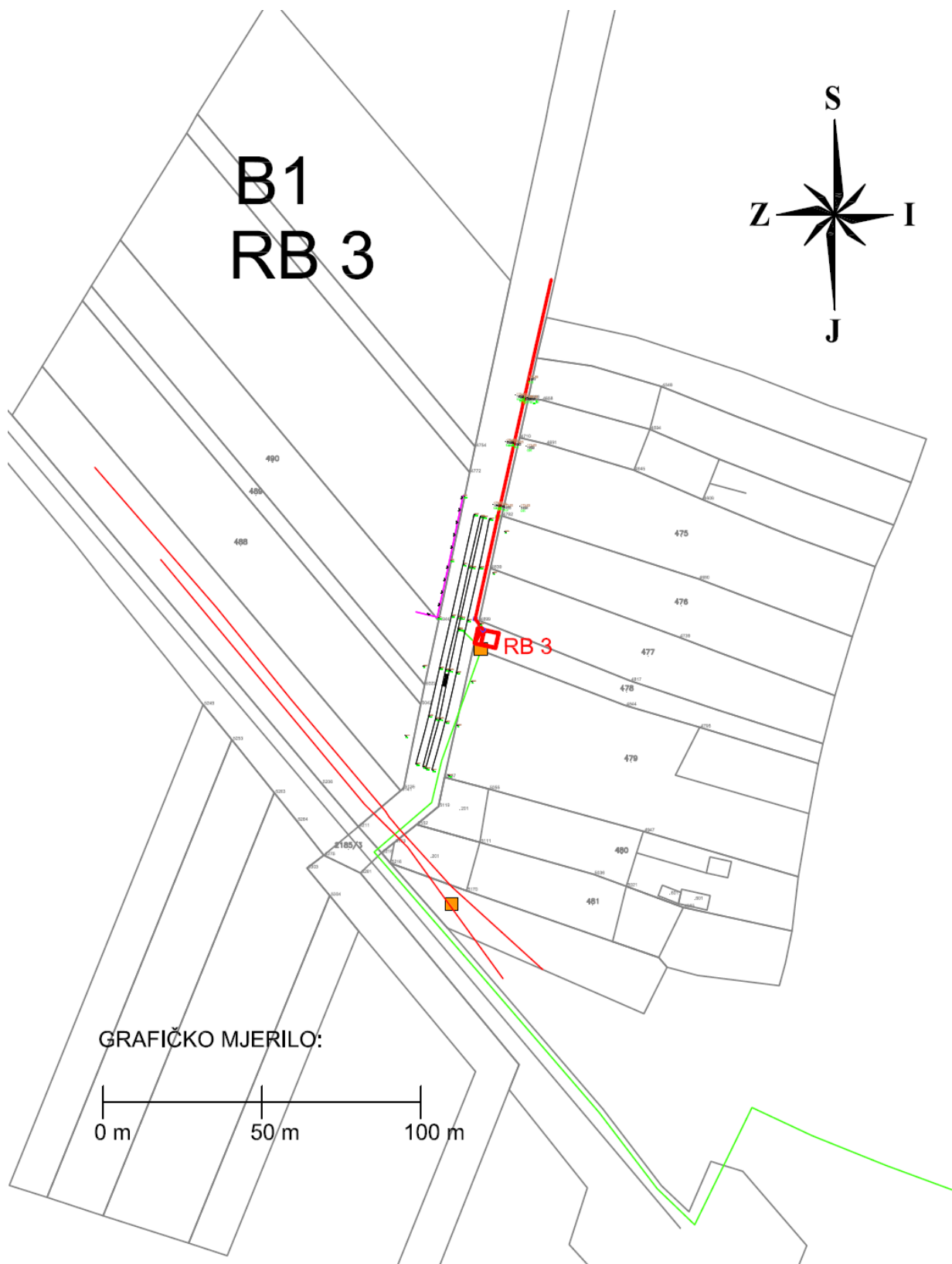
PU = poremećeni uzorak  
(PU<sub>jez</sub> = poremećeni uzorak uzet iz jezgre  
PU<sub>SPP</sub> = poremećeni uzorak uzet SPP cilindrom)  
NU = neporemećeni uzorak  
SPP = standardni penetracijski pokus

N = registrirani broj standardnih udarača s kojima se postiže penetracija standardnog cilindra (tj. „noža“) n, ili standardnog šiljaka š za dubinu jedne anglosaksonske stope (30,48 cm).  
Podaci N<sub>i</sub> preračunavaju se na N<sub>a</sub> prema izrazu:

$$N_a = 0,70 \text{ do } 0,75 N_i$$

## Naselje Vratišinec

Na lokaciji RB3 izvedena je istražna bušotina B1



Slika 4.2. Položaj bušotine B1(Vratišinec)

Tijekom istražnog bušenja utvrđeno je sljedeće:

**Bušotina B1**

Datum: 13.10.2016.

Početak radova: 15:30

Završetak radova: 17:30

0,0 – 0,5	Humusno tlo	smeđi prah
0,5 – 1,4	ML	sivi prah, niske plastičnosti, srednje plastičnog konzistentnog stanja
1,4 – 6,0	CL	smeđa glina, vrlo prahovita, sa malo sitnozrnog pijeska, niske plastičnosti, srednje do kruto plastičnog konzistentnog stanja

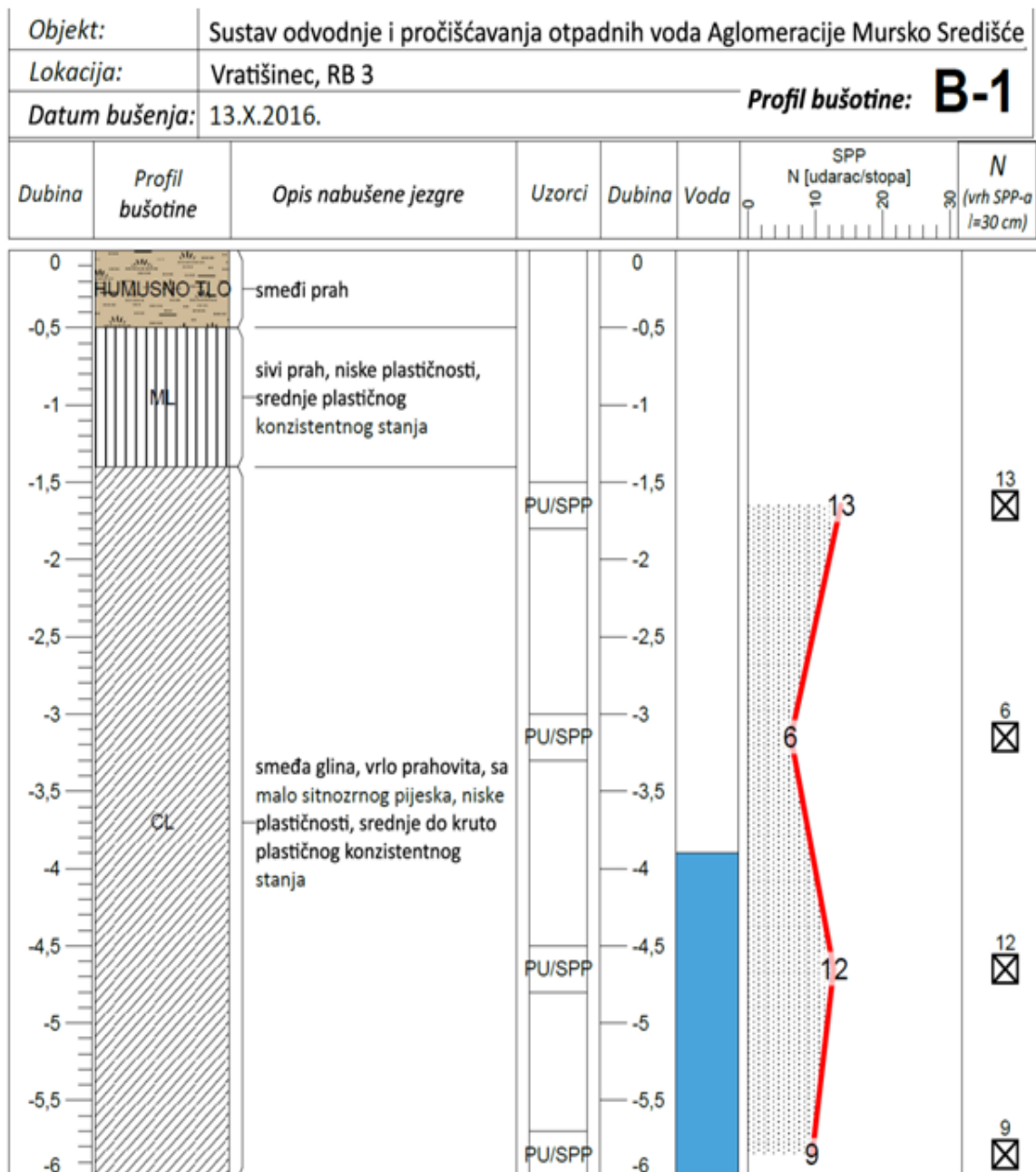
PPV: 3,9 m

NPV: 3,9 m

PU:	1,5 – 1,8	SPP:	1,5 – 1,8	13 n
	3,0 – 3,3		3,0 – 3,3	6 n
	4,5 – 4,8		4,5 – 4,8	12 n
	5,7 – 6,0		5,7 – 6,0	9 n



Slika 4.3. Jezgra bušotine B1



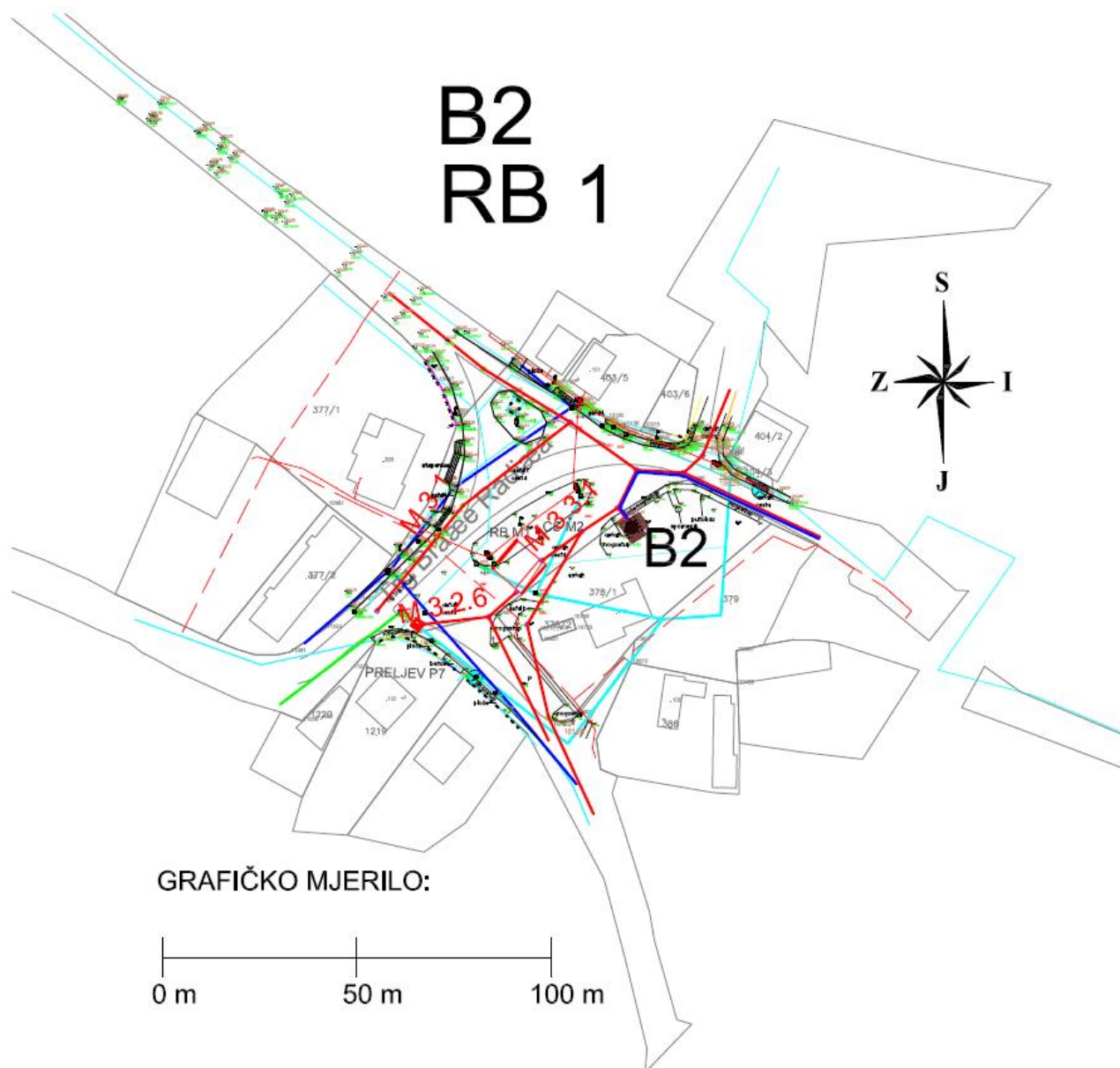
Slika 4.4. Profil bušotine B1



## Naselje Mursko Središće

Na području Murskog Središća izvedene su dvije istražne bušotine (B2 i B3), a u daljnjem tekstu slijedi prikaz rezultata.

### Bušotina B2 (Mursko Središće):



Slika 4.5. Položaj bušotine B2 (Mursko Središće, RB1)

**Bušotina B2**

Datum:13.10.2016.

Početak radova:

08:00

Završetak radova:

10:30

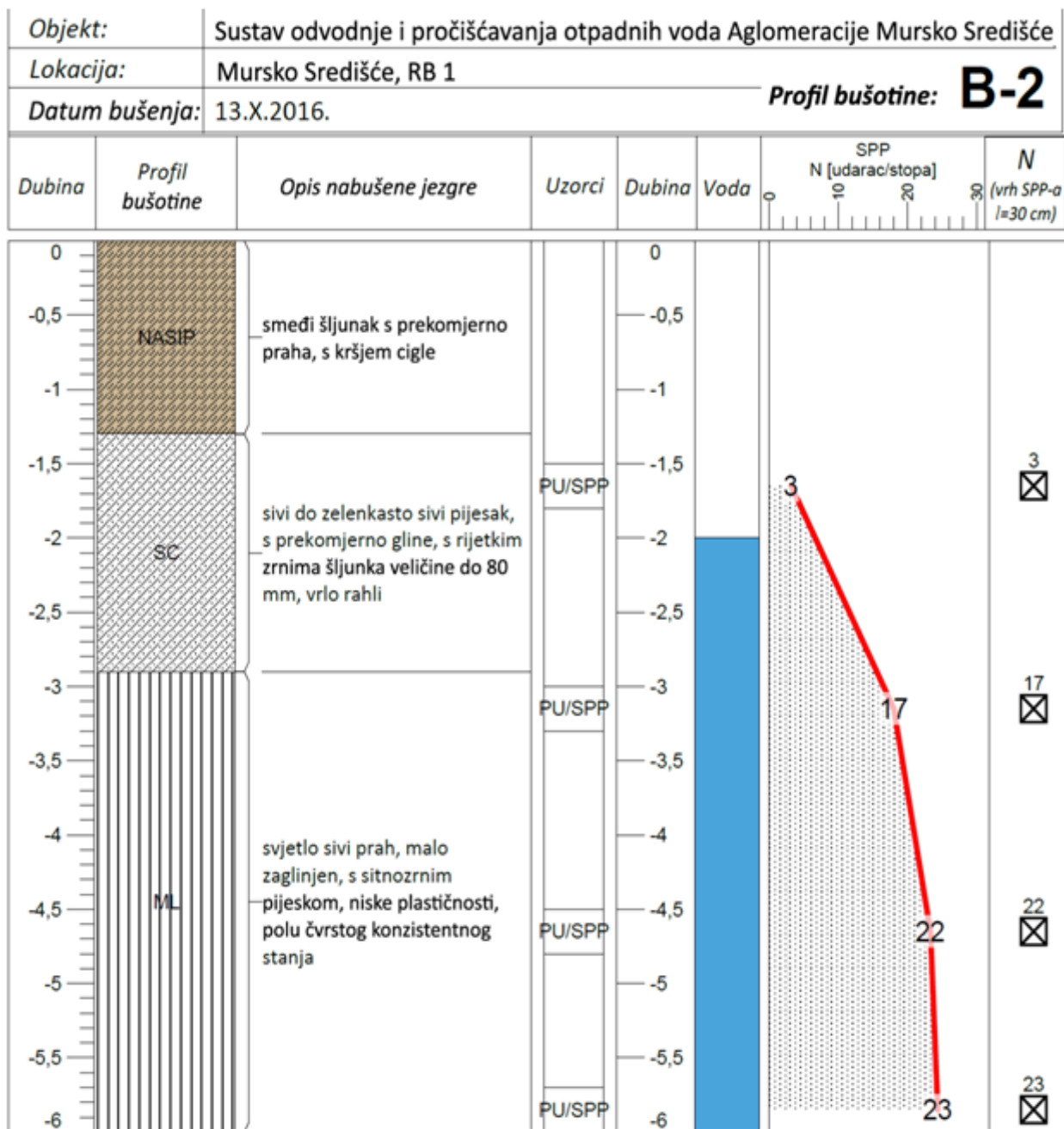
0,0 – 1,3	nasip	smeđi šljunak s prekomjerno praha, s kršjem cigle
1,3 – 2,9	SC	sivi do zelenkasto sivi pijesak, s prekomjerno gline, s rijetkim zrnima šljunka veličine do 80 mm, vrlo rahli
2,9 – 6,0	ML	svjetlo sivi prah, malo zaglinjen, s sitnozrnim pijeskom, niske plastičnosti, polu čvrstog konzistentnog stanja

PPV: 2,0 m

NPV: 2,0 m

PU:	1,5 – 1,8	SPP:	1,5 – 1,8	3 n
	3,0 – 3,3		3,0 – 3,3	17 n
	4,5 – 4,8		4,5 – 4,8	22 n
	5,7 – 6,0		5,7 – 6,0	23 n

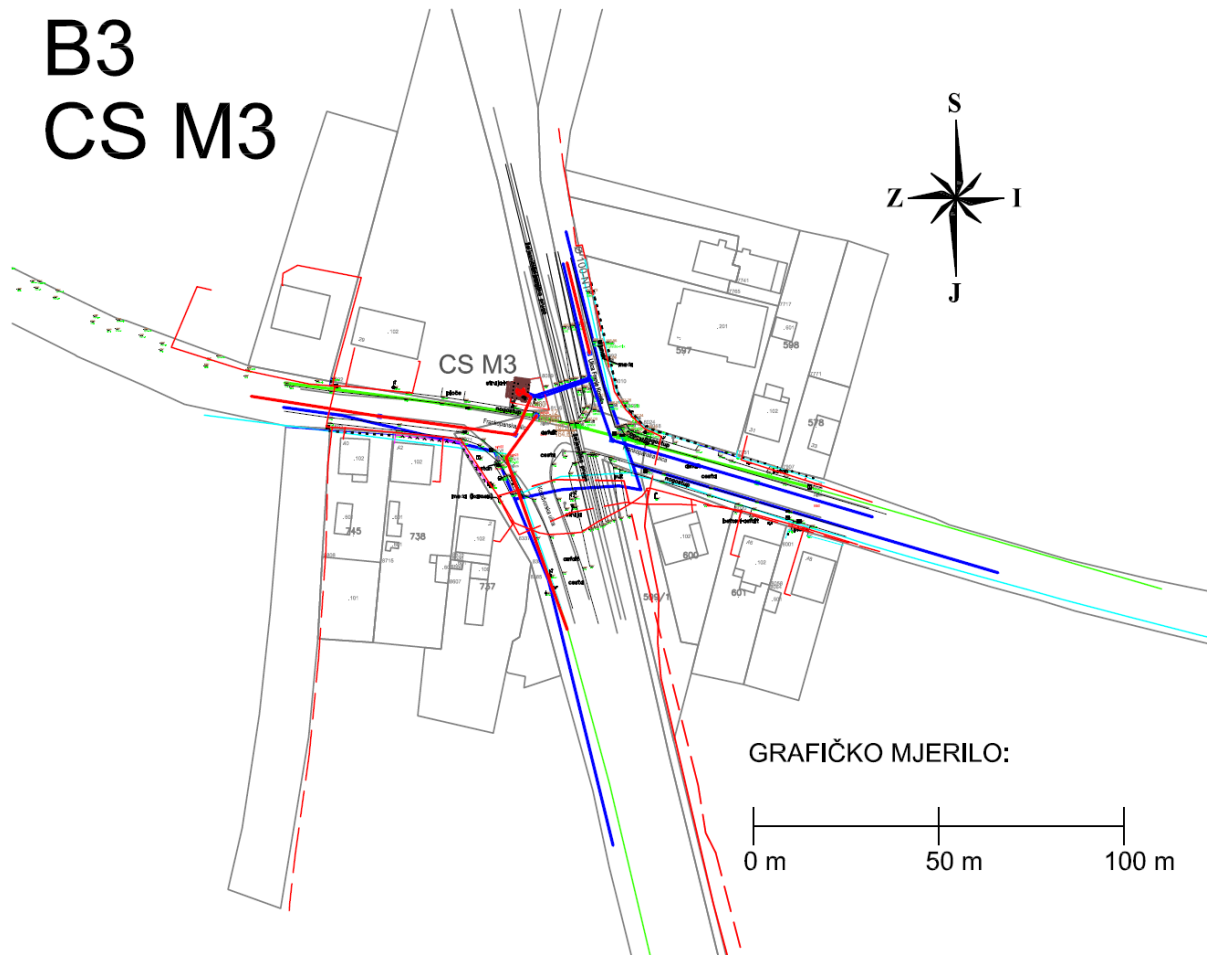
*Slika 4.6. Jezgra bušotine B2*



Slika 4.7. Profil bušotine B2

**Bušotina B3 (Mursko Središje):**

Prikaz položaja sondažne bušotine B3.



*Slika 4.8. Položaj bušotine B3 (Mursko Središje, CSM3)*



Rezultati bušenja su sljedeći:

**Bušotina B3**

Datum: 13.10.2016.

Početak radova: 10:30

Završetak radova: 13:00

0,0 – 1,3	nasip	smeđi prah, s šljunkom i kršjem cigle
1,3 – 3,5	SP	rđasto smeđi pijesak, sa sitnozrnim šljunkom, slabo graduiran, rahli
3,5 – 6,0	GP	rđasto smeđi do smeđi šljunak, s pijeskom, slabo graduiran, promjer max. zrna oko 50 mm, rahli

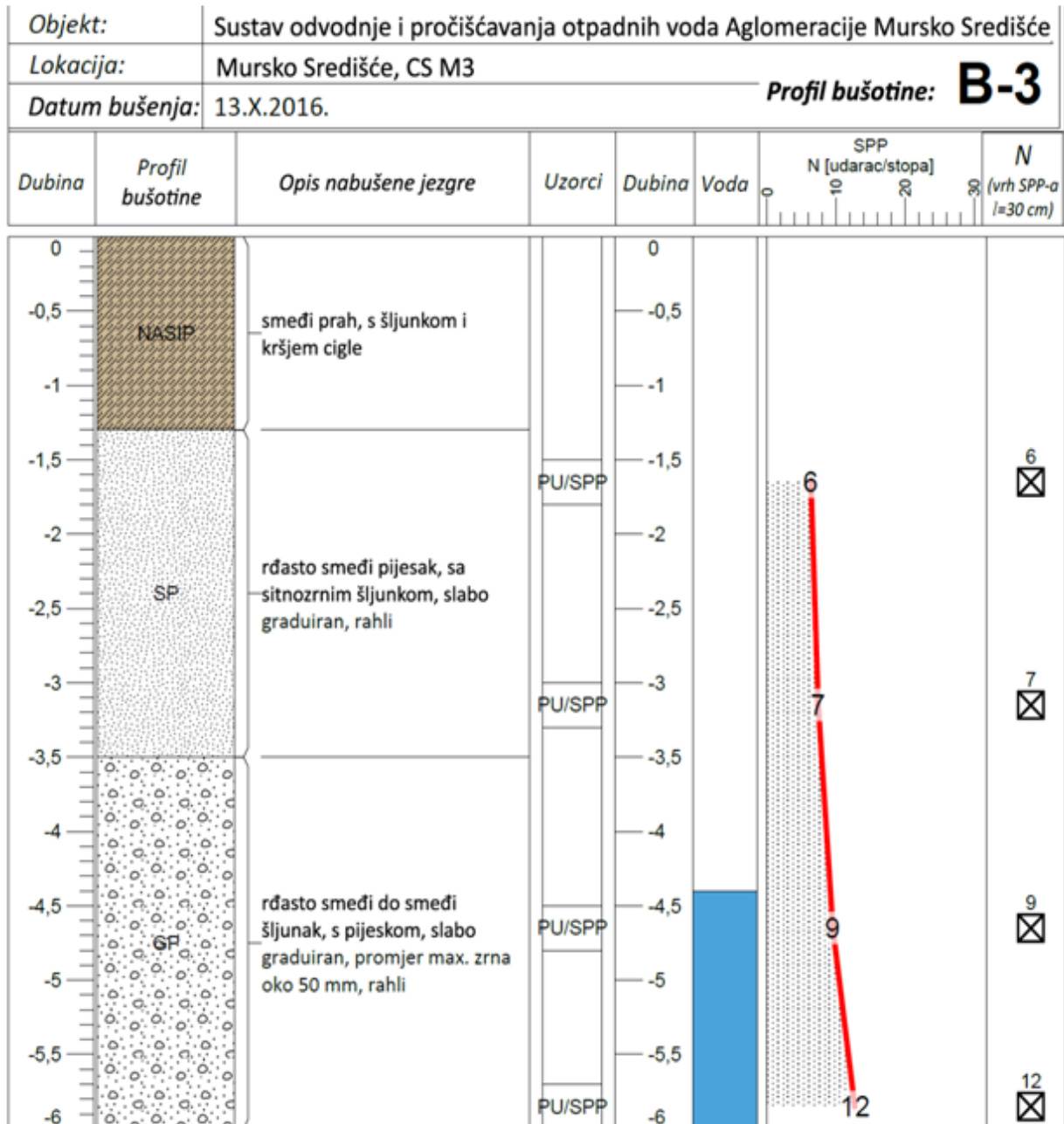
PPV: 4,4 m

NPV: 4,4 m

PU:	1,5 – 1,8	SPP:	1,5 – 1,8	6 n
	3,0 – 3,3		3,0 – 3,3	7 n
	4,5 – 4,8		4,5 – 4,8	9 n
	5,7 – 6,0		5,7 – 6,0	12 š



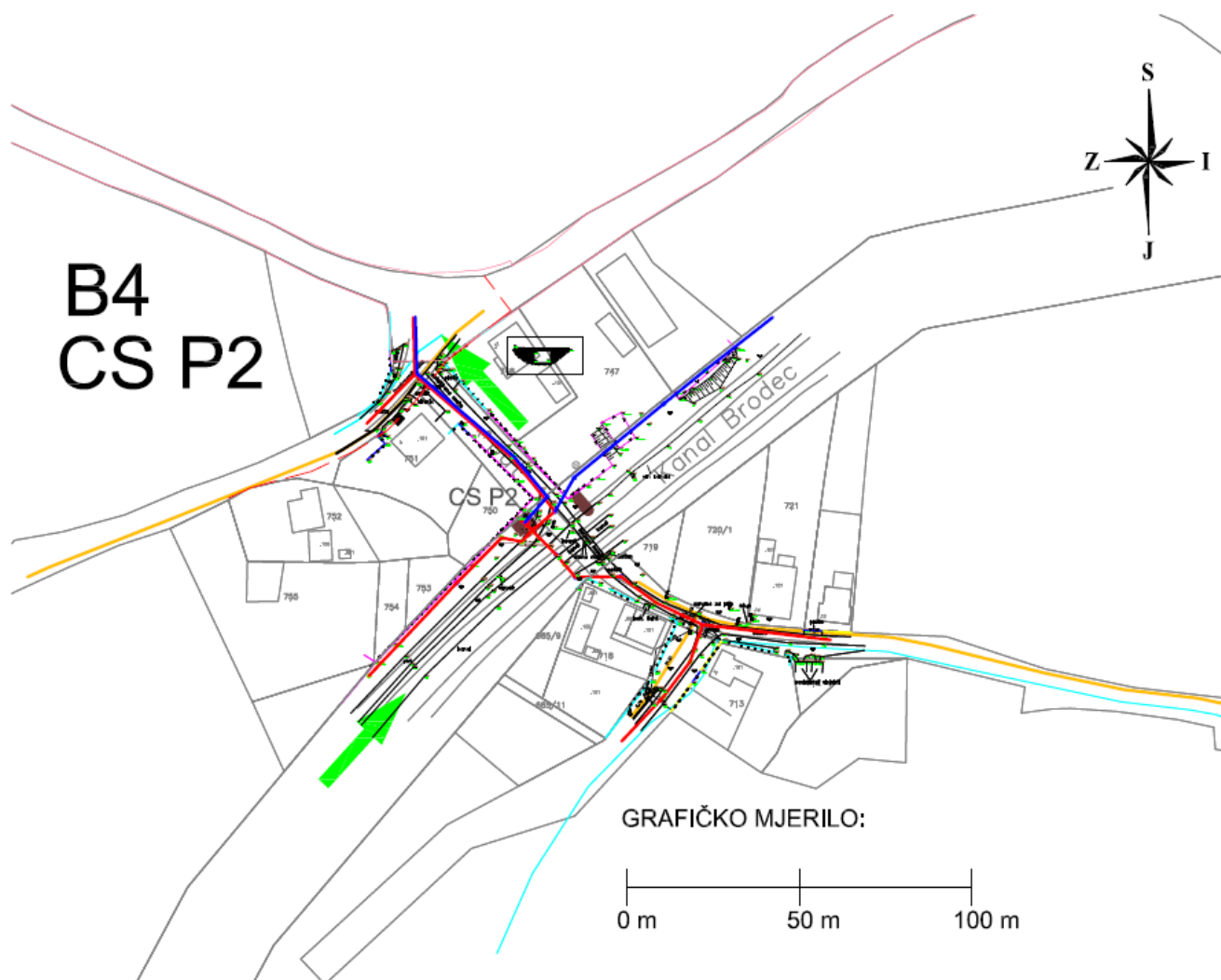
Slika 4.9. Jezgra bušotine B3



Slika 4.10. Profil bušotine B3

## Naselje Peklenica

Na področju Peklenice izvedena je jedna sondažna bušotina (B4) i to na lokaciji crpne stanice CSP2.



Slika 4.11. Položaj bušotine B4 (Vratišinec, CSP2)



Rezultati utvrđeni istražnim bušenjem su sljedeći:

**Bušotina B4**

Datum: 13.10.2016.

Početak radova: 13:00

Završetak radova: 15:30

0,0 – 1,0	nasip	smeđi šljunak s prekomjerno praha, s kršjem betona
1,0 – 2,3	ML/SM	sivi prah, sa pijeskom, niske plastičnosti, srednje plastičnog konzistentnog stanja
2,3 – 3,3	GM	sivi šljunak, s prekomjerno praha, promjer max. zrna oko 100 mm, srednje zbijen
3,3 – 6,0	ML	svjetlo sivi prah, malo zaglinjen, s sitnozrnim pijeskom, niske plastičnosti, polu čvrstog konzistentnog stanja

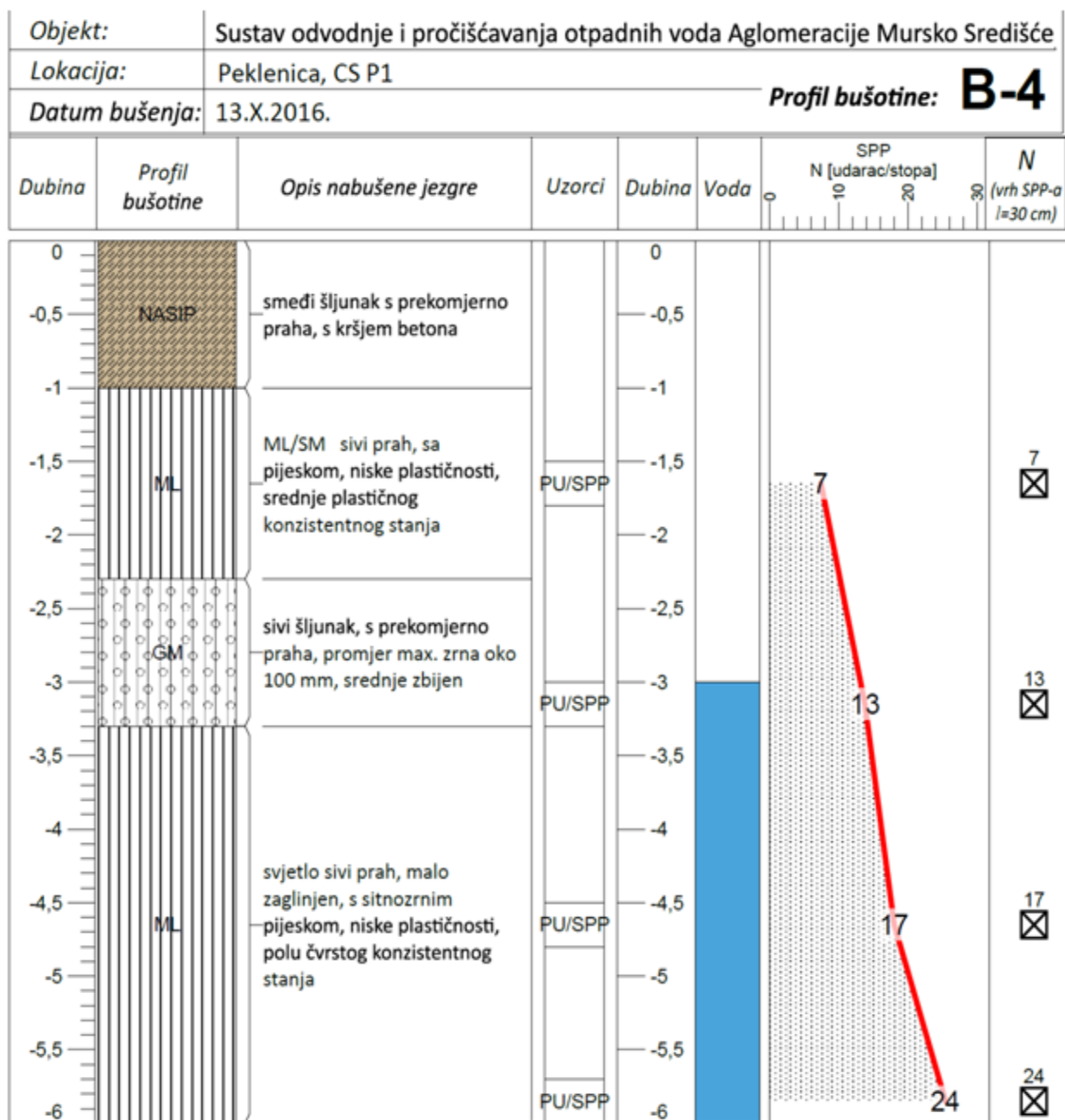
PPV: 3,0 m

NPV: 3,0 m

PU:	1,5 – 1,8	SPP:	1,5 – 1,8	7 n
	2,3 – 3,3		3,0 – 3,3	18 š
	4,5 – 4,8		4,5 – 4,8	17 n
	5,7 – 6,0		5,7 – 6,0	24 n



Slika 4.12. Jezgra bušotine B4



Slika 4.13. Profil bušotine B4



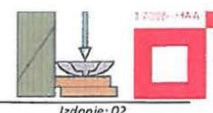
## 4.2. Izvješće o rezultatima geotehničkih laboratorijskih ispitivanja



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET  
ZAVOD ZA GEOTEHNIČKU

Datum: 28.09.2015.

GEOTEHNIČKI  
LABORATORIJ



Izdanje: 02

### 1. UVOD

Prema zahtjevu naručitelja, tvrtke „Pragma“ d.o.o. iz Zagreba, u geotehničkom laboratoriju Geotehničkog fakulteta u Varaždinu, u mjesecu studenom 2016. godine, ispitivani su poremećeni uzorci (PU) i poremećeni uzorci iz cilindra za SPT (PU<sub>SPT</sub>) s lokacija crpnih stanica za sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda u mjestima Novska, Vratišinec, Mursko Središće i Peklenica.

U laboratorij je ukupno zaprimljeno 23 poremećenih uzoraka i poremećenih uzoraka iz cilindra za SPT. Uzorci su zaprimljeni 13. listopada 2016. godine. Prema odobrenom programu ispitivanja od strane naručitelja, laboratorijski je obrađeno 17 uzoraka. Ispitivanja su započeta 18. studenog, a završena 23. studenog 2016.

Rezultati laboratorijskih ispitivanja prikazani su u ovom izvješću pod oznakom radnog naloga R.N.: 36/16.

### 2. OSVRT NA PROBLEMATIKU

Laboratorijska geomehanička ispitivanja provedena su prema programu ispitivanja odobrenom od strane naručitelja, a obuhvaćala su odabrane uzorke s dubina od 1,5 do 6 metara. Ispitivane su slijedeće geomehaničke karakteristike tla: vlažnost u dostavnom stanju, laboratorijska klasifikacija tla prema Atterbergovim granicama i granulometrijskom sastavu, obujamska gustoća, nedrenirana kohezija i tlačna čvrstoća džepnim penetrometrom.

### 3. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Laboratorijska ispitivanja provedena su prema važećim normama za geomehanička ispitivanja HRS, ASTM i BS te preporukama za pojedina ispitivanja prema HRN EN 1997-2:2012.

Oznaka norme	Naziv norme u slobodnom prijevodu
ASTM D2216*	Određivanje vlažnosti uzoraka tla
BS 1377-2; točka 7.2*	Određivanje obujamske gustoće tla metodom mjerenja dimenzija uzorka
BS 1377-2; točka 4.4*	Određivanje granice tečenja pomoću konusnog penetrometra
BS 1377-2; točka 5*	Određivanje granice plastičnosti i indeksa plastičnosti
HRS CEN ISO/TS 17892-4	Određivanje granulometrijskog sastava
BS 1377-7; točka 3	Određivanje nedrenirane posmične čvrstoće tla
SN 670 350:1992	Određivanje tlačne čvrstoće džepnim penetrometrom

\*- akreditirane ispitne metode

Uzorci su upisani prema lokaciji, vrsti i oznaci (oznaka uzorka i dubina vađenja) te im je dodijeljena laboratorijska oznaka uzorka.

Klasifikacija tla provedena je prema USC sustavu dok su vrste nekoherentnog materijala (šljunak, pijesak) određivane prema graničnim veličinama zrna podjele po MIT-u.

Da se spriječi promjena fizikalno-mehaničkih svojstava materijala, uzorci tla su do početka ispitivanja čuvani u originalnoj ambalaži u vlažnoj komori. Programom i dinamikom ispitivanja vodilo se računa i o „starenju“ uzoraka odnosno mogućoj promjeni određenih fizikalno-mehaničkih karakteristika izazvanih predugim stajanjem uzoraka prije ispitivanja. Stoga su prvo poduzimana ispitivanja brzo promjenljivih svojstava tla.



#### 4. VRSTE I NAČIN IZVOĐENJA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

##### Fizikalna svojstva uzoraka tla

Vlaga u dostavnom stanju određena je prema ASTM D2216, sušenjem uzoraka na temperaturi  $110 \pm 5$  °C do stalne mase.

Obujamska gustoća uzorka određivana je prema BS 1377-2 pomoću cilindra poznate mase i obujma.

##### Klasifikacijski pokusi

Radi točne laboratorijske klasifikacije, određivane su konzistentne granice uzorka tla. Granica tečenja  $w_L$  određivana je pomoću laboratorijskog statičkog konusnog penetrometra, a granica plastičnosti  $w_P$  izradom valjčića promjera 3 mm, prema BS 1377-2. Iz nađenih vrijednosti za granice konzistencije i vlagu u dostavnom stanju, izračunao se indeks plastičnosti  $I_P$  i indeks konzistencije  $I_C$ . Dobivene vrijednosti služe za klasifikaciju uzorkovanog tla te za ocjenu stanja plastičnosti. Klasifikacija je provedena prema USC sustavu.

##### Granulometrijski sastav tla

Granulometrijska analiza sastava tla izvršena je na uzorcima koherentnog tla prema HRS CEN ISO/TS 17892-4, metodom sijanja i areometriranja odnosno kombiniranom metodom.

U postupku sijanja uzorci su prvo sušeni do konstantne mase na temperaturi  $110 \pm 5$  °C, a zatim ispirani kroz sito otvora oka 0,063 mm. Ponovnim sušenjem uzoraka do konstantne mase utvrđena je količina čestica manjih od 0,063 mm (prah i glina). Materijal s česticama tla većim od 0,063 mm, prosijavan je kroz set normiranih sita.

Na osnovu vaganja, određen je postotak masenog sadržaja pojedinih frakcija materijala i njihov postotni sadržaj u ukupnoj masi uzorka.

U postupku areometriranja, uzorci su prvo moćeni u prirodno vlažnom stanju 24 sata, a zatim ispirani kroz sito otvora 0,2 mm. Areometriranje je provedeno na način propisan normom za ispitivanje pomoću areometra tipa Casagrande. Kao antikoagulans korišten je „calgon“ (natrij-heksametafosfat ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub>).

Rezultati ispitivanja obrađeni su adekvatnom numeričkom metodom i objedinjeni prikazani na propisani način, u obliku granulometrijskih krivulja odnosno dijagrama.

Klasifikacija materijala provedena je prema USC sustavu dok su vrste nekoherentnog materijala (šljunak, pijesak) određivane prema graničnim veličinama zrna podjele po MIT-u.

##### Nedrenirana kohezija ( $c_u$ ) ispitivana pomoću laboratorijske krilne sonde

Nedrenirana kohezija određivana je pomoću laboratorijske krilne sonde na neporemećenom koherentnom uzorku tla. Ispitivanje je provedeno prema preporukama iz norme BS 1377: Part 7, a korišten je križni naglavak s jednakim dimenzijama visine i promjera krilaca, tj. s geometrijskim odnosom  $h/d = 1$ . Kod proračuna nedrenirane kohezije primijenjena je hipoteza paraboličnog rasporeda posmičnog naprezanja na kružnim bazama posmičnog cilindra. Projektna posmična čvrstoća korigirana je faktorom  $\lambda$  zavisnim o indeksu plastičnosti ispitivanog tla.

##### Jednoosna tlačna čvrstoća džepnim penetrometrom

Jednoosna tlačna čvrstoća određena je indirektno, pomoću džepnog penetrometra prema normi SN 670 350:1992. Ispitivanje je provedeno pri zatečenoj vlazi neporemećenih i poremećenih uzoraka dostavljenih u laboratorij.

## 5. PREGLED REZULTATA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

Opis ispitivanih uzoraka utvrđen makroskopskim pregledom prema pravilima geotehničke struke dat je u tabelarnom obliku.

Rezultati laboratorijskih ispitivanja sadrže tražene fizikalno-mehaničke karakteristike uzoraka iskazane u preglednoj tablici pod nazivom PREGLED REZULTATA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA.

Rezultati pojedinih ispitivanja dati su u prilogima, a prezentirani su u obliku tablica i dijagrama.

**Rezultati laboratorijskih ispitivanja odnose se samo na ispitivane uzorke s označene lokacije, vrste, bušotine i dubine.**

Voditelj Geotehničkog laboratorija:



Damir Štuhec, dipl. ing. geotehnike

Varaždin, studeni 2016.



**OPIS UZORAKA ISPITIVANIH U LABORATORIJU, UTVRĐEN MAKROSKOPSKIM PREGLEDOM  
S LOKACIJA CRPNIH STANICA ZA SUSTAV ODVODNJE I PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA  
U MJESTIMA NOVSKA, VRATIŠINEC, MURSKO SREDIŠĆE I PEKLENICA**

OZNAKA UZORKA	LOKACIJA	BUŠOTINA	DUBINA [m]	OPIS UZORKA
36-9/16	VRATIŠINEC	B - 1 (PU <sub>SPT</sub> )	3,00 – 3,30	Siva-žuto-smeđa prahovita glina s pijeskom, niske plastičnosti (CL s pijeskom), teško gnječive konzistencije. Uzorak sadrži zrnca željezo oksihidroksida. Reakcije na HCl nema.
36-10/16		B - 1 (PU <sub>SPT</sub> )	4,50 - 4,80	Žuto-smeđa prahovita glina s pijeskom, niske plastičnosti (CL s pijeskom), teško gnječive konzistencije. Uzorak sadrži zrnca željezo oksihidroksida. Reakcije na HCl nema.
36-12/16	MURSKO SREDIŠĆE	B - 2 (PU <sub>SPT</sub> )	1,50 – 1,80	Svjetlo do tamno siva prahovita glina s pijeskom, niske plastičnosti (CL s pijeskom i org. prim.), polučvrste konzistencije. Uzorak sadrži organske primjese (trunje) i zrnca željezo oksihidroksida. Reakcije na HCl nema.
36-13/16		B - 2 (PU <sub>SPT</sub> )	3,00 – 3,30	Svjetlo siva prahovita glina, visoke plastičnosti (CH), polučvrste konzistencije. Reakcije na HCl nema.
36-14/16		B - 2 (PU <sub>SPT</sub> )	4,50 – 4,80	Svjetlo siva prahovita glina s pijeskom, niske plastičnosti (CL s pijeskom), polučvrste konzistencije. Reakcije na HCl nema.
36-15/16		B - 2 (PU <sub>SPT</sub> )	5,70 – 6,00	Svjetlo siva prahovita glina, visoke plastičnosti (CH), polučvrste konzistencije. Uzorak sadrži zrnca željezo oksihidroksida. Reakcija na HCl je pozitivna.
36-16/16		B - 3 (PU <sub>SPT</sub> )	1,50 – 1,80	Narančasto-smeđi zaglinjeni pijesak (SC). Uzorak sadrži zrnca željezo oksihidroksida. Reakcije na HCl nema.
36-17/16		B - 3 (PU <sub>SPT</sub> )	3,00 – 3,30	Narančasto-smeđi slabo građirani pijesak sa šljunkom (SP sa šljunkom). Uzorak sadrži zrnca željezo oksihidroksida. Reakcije na HCl nema.
36-18/16		B - 3 (PU <sub>SPT</sub> )	4,50 – 4,80	Narančasto-smeđi slabo građirani šljunak s pijeskom (GP s pijeskom). Uzorak sadrži zrnca željezo oksihidroksida. Reakcije na HCl nema.
36-19/16		B - 3 (PU <sub>SPT</sub> )	5,70 – 6,00	Narančasto-smeđi slabo građirani šljunak sa pijeskom (GP s pijeskom). Reakcije na HCl nema.
36-20/16	PEKLENICA	B - 4 (PU <sub>SPT</sub> )	1,50 – 1,80	Tamno sivi (s proslojcima zeleno-sive) zaglinjeni pijesak (SC). Reakcije na HCl nema.
36-21/16		B - 4 (PU)	2,30 - 3,30	Tamno sivi zaglinjeni šljunak (GC s org. prim.). Uzorak sadrži organske primjese (trunje). Reakcije na HCl nema.
36-22/16		B - 4 (PU <sub>SPT</sub> )	4,50 – 4,80	Svjetlo siva prahovita glina s pijeskom, niske plastičnosti (CL s pijeskom), teško gnječive konzistencije. Reakcije na HCl nema.

# PREGLED REZULTATA LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

Gradivina: **Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda**

Lokacija: **VRATIŠINEC, M. SREDIŠĆE, PEKLENICA**

Redni broj	UZORAK				VRSTA ISPITIVANJA											Klasifikacija po USC cestavu								
	Oznaka uzorka	Bužina	Dubina [m]	Vrsta uzorka	% vlagi T <sub>1</sub>	Šljak [%]	Pjevak [%]	Plah [%]	Olea [%]	*GRN KOKZISTENCIJE	Granica plasticnosti	Granica vlačivosti	W <sub>L</sub> [%]	W <sub>P</sub> [%]	Indeks plasticnosti		Indeks konzistencije	spoljna	vlažna	suha	INDUKCIJA KOKZILNE KONZISTENCIJE	TIJČNA ČVRSĆOĆA	TIJČNA ČVRSĆOĆA penetrometar	
				w <sub>0</sub> [%]						w <sub>L</sub> [%]	w <sub>P</sub> [%]				I <sub>p</sub> [%]	I <sub>c</sub> [%]	ρ <sub>sp</sub> [kg/cm <sup>3</sup> ]	ρ <sub>vl</sub> [kg/cm <sup>3</sup> ]	ρ <sub>su</sub> [kg/cm <sup>3</sup> ]	ρ <sub>su</sub> [kg/cm <sup>3</sup> ]	q <sub>v</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	q <sub>v</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]		
5	36-9/16	B - 1	3,00 - 3,30		24,4					38,9	21,1	17,8	0,81					2,05	1,65		35,3	150	CL s pijeskom	
6	36-10/16	B - 1	4,50 - 4,80		23,3					41,5	19,9	21,6	0,84						2,02	1,64		59,3	210	CL s pijeskom
7	36-12/16	B - 2	1,50 - 1,80		21,7					38,8	23,4	15,4	1,11											CL s pijeskom i org. primjesama
8	36-13/16	B - 2	3,00 - 3,30		23,4					61,6	27,2	24,4	1,16											CH
9	36-14/16	B - 2	4,50 - 4,80		23,0					41,2	24,0	17,2	1,06											CL s pijeskom
10	36-15/16	B - 2	5,70 - 6,00		21,5					54,3	24,5	29,8	1,10											CH
11	36-16/16	B - 3	1,50 - 1,80		11,9					29,5	16,1	13,4	1,31											SC
12	36-17/16	B - 3	3,00 - 3,30		3,0	38,48	66,76	4,77																SP sa šljunkom
13	36-18/16	B - 3	4,50 - 4,80		7,6	56,35	39,30	4,35																GP s pijeskom
14	36-19/16	B - 3	5,70 - 6,00		6,5	63,57	31,67	4,76																GP s pijeskom
15	36-20/16	B - 4	1,50 - 1,80		18,8					61,05	39,11	9,84	14,4											SC
16	36-21/16	B - 4	2,30 - 3,30		37,2	68,76	9,88	13,90	7,36															GC s org. primjesama
17	36-22/16	B - 4	4,50 - 4,80		22,7					40,4	20,8	19,6	0,90											CL s pijeskom

Odobrio: Damir ŠTUNEC, dipl. ing. geotehnike

Turneć označava vrste uzorka

Neporemećeni uzorak (NU)

Poremećeni uzorak (PU)

Poremećeni uzorak iz jezgre (PU<sub>JZ</sub>)

Poremećeni uzorak iz cilindra za SPT (PU<sub>SPT</sub>)

\* - akreditarane ispitne metode

Napomena: VRATIŠINEC; redni broj: 5, 6

MURSKO SREDIŠĆE; redni broj: 7 - 14

PEKLENICA; redni broj: 15 - 17

*Štunec*

Varaždin, studeni 2016.



IZVJEŠTAJ O ISPITIVANJU

**VLAŽNOST TLA**

ASTM D2216

RN: 36/16

Objekt: Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda  
Lokacija: VRATIŠINEC, M. SREDIŠĆE, PEKLENICA

Redni broj	Opis uzorka						Vlažnost tla [%]
	Laboratorijska oznaka uzorka	Oznaka uzorka	Dubina [m]	masa < preporučeno	Izuzet materijal	Temperatura sušenja [°C]	
5	36-9/16	B - 1	3,00 - 3,30	-	-	110	24,4
6	36-10/16	B - 1	4,50 - 4,80	-	-	110	23,3
7	36-12/16	B - 2	1,50 - 1,80	-	-	60	21,7
8	36-13/16	B - 2	3,00 - 3,30	-	-	110	23,4
9	36-14/16	B - 2	4,50 - 4,80	-	-	110	23,0
10	36-15/16	B - 2	5,70 - 6,00	-	-	110	21,5
11	36-16/16	B - 3	1,50 - 1,80	-	-	110	11,9
12	36-17/16	B - 3	3,00 - 3,30	-	-	110	3,0
13	36-18/16	B - 3	4,50 - 4,80	-	-	110	7,6
14	36-19/16	B - 3	5,70 - 6,00	-	-	110	6,5
15	36-20/16	B - 4	1,50 - 1,80	-	-	110	18,8
16	36-21/16	B - 4	2,30 - 3,30	-	-	110	37,2
17	36-22/16	B - 4	4,50 - 4,80	-	-	110	22,7
14	36-19/16	B - 3	5,70 - 6,00	-	-	110	6,5
15	36-20/16	B - 4	1,50 - 1,80	-	-	110	18,8
16	36-21/16	B - 4	2,30 - 3,30	-	-	110	37,2
17	36-22/16	B - 4	4,50 - 4,80	-	-	110	22,7

Mjesto i datum izrade izvještaja	Voditelj laboratorija
Varaždin, studeni 2016.	<i>Damir Štuhec</i> Damir Štuhec, dipl.ing.geoteh.

REZULTATI ISPITIVANJA ODOSE SE SAMO NA ISPITANE UZORKE. DJELOMIČNO UMNOŽAVANJE OVOG IZVJEŠTAJA NIJE DOPUŠTENO BEZ PISANOG ODOBRENJA VODITELJA LABORATORIJA

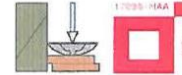
Z7-14-2/01

IZDANJE : 03

DATUM : 05/10/2015

Stranica 8/16





## IZVJEŠTAJ O ISPITIVANJU GRANICA TEČENJA, GRANICA PLATIČNOSTI, INDEKS PLASTIČNOSTI

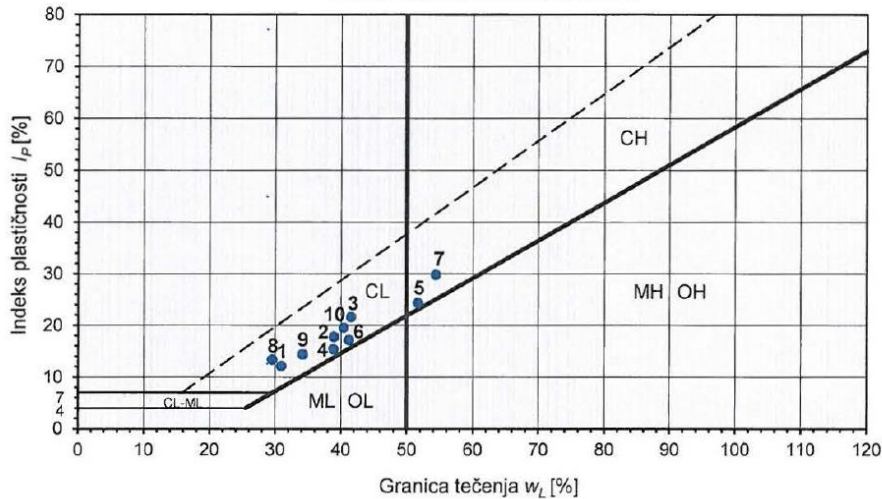
$W_L$  - BS 1377, part 2, 4.3, 4.4

$W_P$  - BS 1377, part 2, 5

RN: 36/16

Objekt: Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda  
Lokacija:

DIJAGRAM PLASTIČNOSTI



Dijagramska pozicija br.	Opis uzorka				Granica tečenja $w_L$ [%]	Granica plastičnosti $w_P$ [%]	Indeks plastičnosti $I_p$ [%]	Klasifikacija prema USCS-u
	Laboratorijska oznaka uzorka	Oznaka uzorka	Dubina [m]	Prolaz kroz sito 0,425 mm				
1	36-2/16	B - 1	3,00 - 3,30	100 %	30,9	18,7	12,2	CL s pijeskom
2	36-9/16	B - 1	3,00 - 3,30	100 %	38,9	21,1	17,8	CL s pijeskom
3	36-10/16	B - 1	4,50 - 4,80	100 %	41,5	19,9	21,6	CL s pijeskom
4	36-12/16	B - 2	1,50 - 1,80	100 %	38,8	23,4	15,4	CL s pijeskom i org.prim.
5	36-13/16	B - 2	3,00 - 3,30	100 %	51,6	27,2	24,4	CH
6	36-14/16	B - 2	4,50 - 4,80	100 %	41,2	24,0	17,2	CL s pijeskom
7	36-15/16	B - 2	5,70 - 6,00	100 %	54,3	24,5	29,8	CH
8	36-16/16	B - 3	1,50 - 1,80	100 %	29,5	16,1	13,4	CL pjeskovita
9	36-20/16	B - 4	1,50 - 1,80	100 %	34,1	19,7	14,4	CL pjeskovita
10	36-22/16	B - 4	4,50 - 4,80	100 %	40,4	20,8	19,6	CL s pijeskom

Napomena: NOVSKA; dijagramska pozicija: 1  
VRATIŠINEC; dijagramska pozicija: 2, 3  
MURSKO SREDIŠĆE; dijagramska pozicija: 4 - 8  
PEKLENICA; dijagramska pozicija: 9, 10

Mjesto i datum izrade izvještaja  Varaždin, studeni 2016.	Voditelj laboratorija  <i>Damir Štuhec</i> Damir Štuhec, dipl.ing.geotech.
---	---

REZULTATI ISPITIVANJA ODOSE SE SAMO NA ISPITANE UZORKE. DJELOMIČNO UMNOŽAVANJE OVOG IZVJEŠTAJA NIJE DOPUŠTENO BEZ PISANOG ODOBRENJA VODITELJA LABORATORIJA

Z7-14-2/04

IZDANJE : 03

DATUM : 05/10/2015

Stranica 9/16

Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin Tel.:042/408 909, Fax.:042/313 587 geolab@gfv.hr



UNIVERZITET U ZAGREBU  
FAKULTET GEODEZIJE  
GEOTEHNIČKI FAKULTET  
ZAGREB ZA GEOTEHNIČKU  
LABORATORIJ

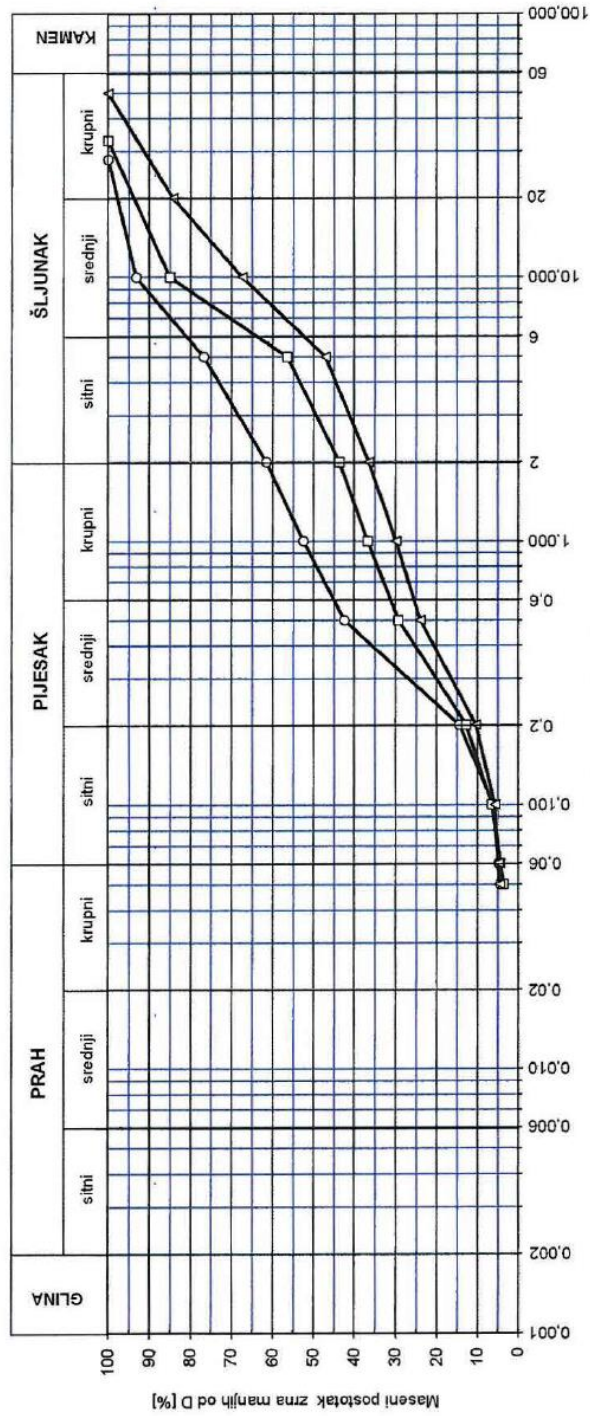


RN: 36/16

## GRANULOMETRIJSKI SASTAV TLA

HRS CEN ISO/TS 17892-4

Objekt: Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda  
Lokacija: MURSKO SREDIŠĆE



Lab. oznaka uzorka	Oznaka uzorka	Dubina [m]	Oznaka	ŠLJUNAK [%]	PIJESAK [%]	PRAH [%]	GLINA [%]	Cu	Cc	USCS klasifikacija
36-17/16	B - 3	3,00 - 3,30	○	38,48	56,75	4,77		12,82	0,45	SP sa šljunkom
36-18/16	B - 3	4,50 - 4,80	□	56,35	39,30	4,35		36,93	0,36	GF s pijeskom
36-19/16	B - 3	5,70 - 6,00	△	63,57	31,67	4,76		40,84	0,70	GF s pijeskom

Mjesto i datum uzete iz: [nejasno]

Varaždin, studeni 2016.

Voditelj laboratorija

*Damir Štuhec*

Damir Štuhec, dipl.ing.geoteh.

REZULTATI ISPITIVANJA ODNOSE SE SAMO NA ISPITANE UZORKE. DJELOMIČNO UMNOŽAVANJE OVOG ZVJEŽDASTAJA NIJE DOPUŠTENO BEZ PISANOG ODGOVORA. VODITELJA LABORATORIJA  
Stranica 11/18





SVETIŠTAŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET  
ZAVOD ZA GEOTEHNIČKI INŽINJERING

GEOTEHNIČKI  
LABORATORIJ

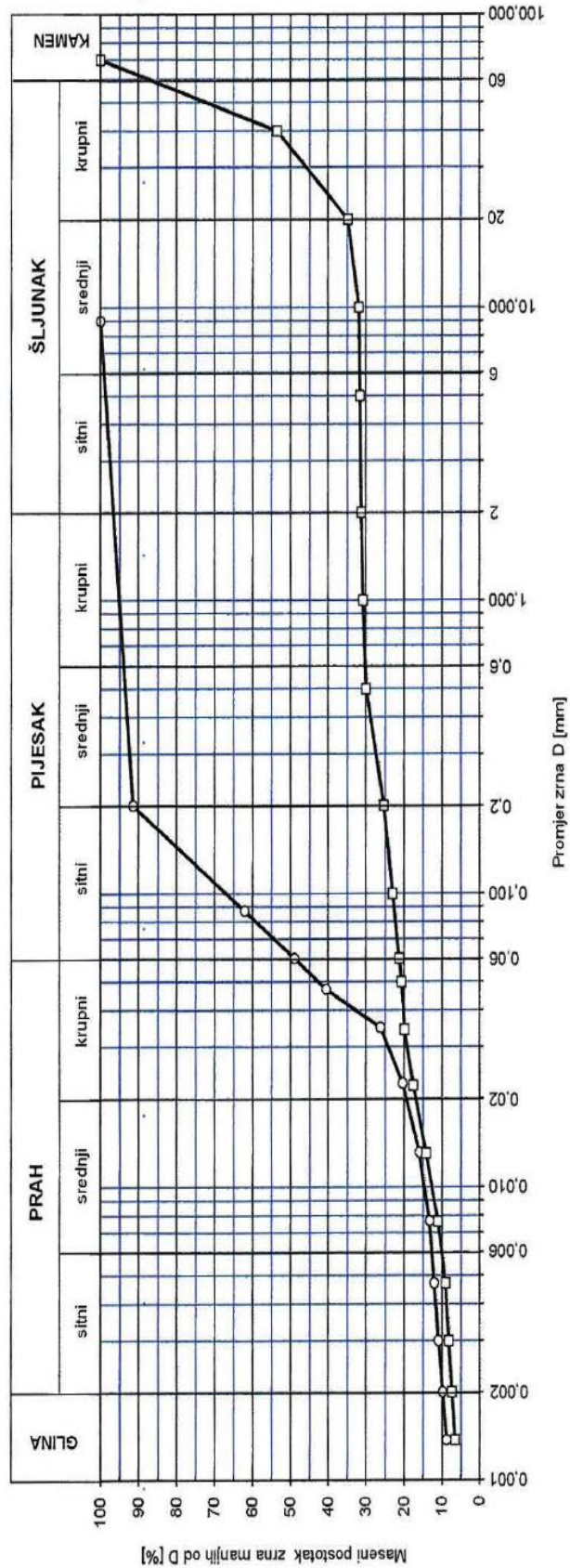


RN: 36/16

## GRANULOMETRIJSKI SASTAV TLA

HRS CEN ISO/TS 17892-4

Objekt: Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda  
Lokacija: Crpna stanica PEKLENICA



Lab. oznaka uzorka	Oznaka uzorka	Dubina [m]	Oznaka	ŠLJUNAK [%]	PIJESAK [%]	PRAH [%]	GLINA [%]	Cu	Cc	USCS klasifikacija
36-20/16	B - 4	1,50 - 1,80	○	51,05	39,11	9,84				SC
36-21/16	B - 4	2,30 - 3,30	□	9,88	13,90	7,36				GC s org. primjesama
			△							
			●							
			■							

Mjesto i datum izrade izvještaja

Varaždjin, studeni 2016.

Voditelj laboratorija

*Damir Štuhec*  
Damir Štuhec, dipl.ing. geoteh.



## ISPITIVANJE LABORATORIJSKOM KRILNOM SONDOM

RN.: 36/16

Objekt: Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda  
Lokacija: VRATIŠINEC

Klasifikacija prema USC: *CL pjeskovita*

Indeks plastičnosti  $I_p$  [%]: 17,8

Ozn. uzorka: 36-9/16

Faktor korekcije  $\lambda$  [1]: 0,9551

Bušotina: B - 1

Dubina [m]: 3,00 - 3,30

Upotrebljena opruga: A4

Vrsta uzorka: iz cilindra za SPP

Torzijska krutost opruge  $k_t$  [Nm/1°]: 0,00539

GEOMETRIJA KRILNE SONDE:  $d=1,27$  cm  $h/d=1$

Otpor džepnog penetrometra [kN/m<sup>2</sup>]: 160,0

Izbor hipoteze raspodjele posmičnog naprezanja na kružnim bazama posmičnog cilindra:

$$M_t = \tau_f \cdot W_z$$

Vlaga pri ispitivanju  $w_w$  [%]: 23,7

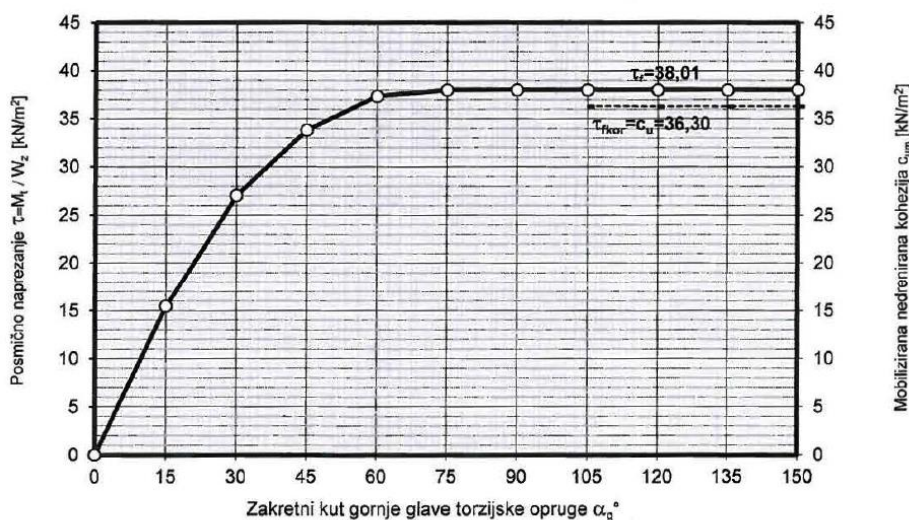
- $K=2/3$  (konstantna)  $\Rightarrow W_z = 4,290$  cm<sup>3</sup>
- $K=1/2$  (po trokutu)  $\Rightarrow W_z = 4,022$  cm<sup>3</sup>
- $K=3/5$  (po paraboli)  $\Rightarrow W_z = 4,183$  cm<sup>3</sup>

Modificirani moment otpora posmičnog cilindra s obzirom na os z (os rotacije):  $W_z = (\pi d^2/2)(h+Kd/2)$

Podaci obrađeni s  $W_z = 4,183$  cm<sup>3</sup>

ZAKRETNI KUT TORZIJSKE OPRUGE [1°]						$M_t = k_t \cdot \Delta\alpha_{sr}$ [Nm]	$\tau_f = \frac{M_t}{W_z}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
I. mjerenje			II. mjerenje				
Gornja glava $\alpha_g$ °	Donja glava $\alpha_d$ °	Razlika $\Delta\alpha$ °	Gornja glava $\alpha_g$ °	Donja glava $\alpha_d$ °	Razlika $\Delta\alpha$ °		
15	3,0	12,0	15	3,0	12,0	0,06468	15,46
30	7,0	23,0	30	11,0	19,0	0,11319	27,06
45	13,5	31,5	45	24,0	21,0	0,14149	33,82
60	25,0	35,0	60	37,0	23,0	0,15631	37,37
75	40,0	35,0	75	51,0	24,0	0,15901	38,01
90	55,0	35,0	90	66,0	24,0	0,15901	38,01
105	70,0	35,0	105	81,0	24,0	0,15901	38,01
120	85,0	35,0	120	96,0	24,0	0,15901	38,01
135	100,0	35,0	135	111,0	24,0	0,15901	38,01
Projektna (korigirana) posmična čvrstoća $\Rightarrow \tau_{fko} = \lambda \cdot \tau_f =$							36,30

OSTUDA



Mjesto i datum izrade izvještaja  Varaždin, studeni 2016.	Voditelj laboratorija  <i>Damir Štuhec</i> Damir Štuhec, dipl.ing.geotech.
---	---

REZULTATI ISPITIVANJA ODOSE SE SAMO NA ISPITANE UZORKE. DJELOMIČNO UMNOŽAVANJE OVOG IZVJEŠTAJA NIJE DOPUŠTENO BEZ PISANOG ODOBRENJA VODITELJA LABORATORIJA

Stranica 15/16





## ISPITIVANJE LABORATORIJSKOM KRILNOM SONDOM

RN.: 36/16

Objekt: Sustav odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda  
Lokacija: VRATIŠINEC

Klasifikacija prema USC: CL pjeskovita

Indeks plastičnosti  $I_p$  [%]: 21,6

Ozn. uzorka: **36-10/16**

Faktor korekcije  $\lambda$  [1]: 0,9421

Bušotina: **B - 1**

Dubina [m]: **4,50 - 4,80**

Upotrebljena opruga: A4

Vrsta uzorka: iz cilindra za SPP

Torzijska krutost opruge  $k_t$  [Nm/1°]: 0,00539

GEOMETRIJA KRILNE SONDE:  $d=1,27$  cm  $h/d=1$

Otpor džepnog penetrometra [kN/m<sup>2</sup>]: 210,0

Izbor hipoteze raspodjele posmičnog napreznja na kružnim bazama posmičnog cilindra:

$$M_t = \tau_f \cdot W_z$$

Vlaga pri ispitivanju  $w_0$  [%]: 23,7

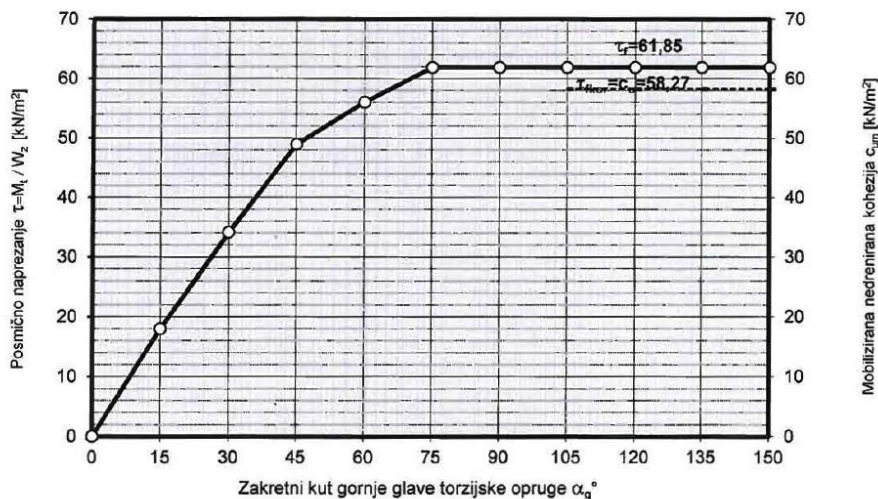
1.  $K=2/3$  (konstantna)  $\Rightarrow W_z = 4,290$  cm<sup>3</sup>
2.  $K=1/2$  (po trokutu)  $\Rightarrow W_z = 4,022$  cm<sup>3</sup>
3.  $K=3/5$  (po paraboli)  $\Rightarrow W_z = 4,183$  cm<sup>3</sup>

Modificirani moment otpora posmičnog cilindra s obzirom na os z (os rotacije):  $W_z = (\pi d^2/2)(h+Kd/2)$

Podaci obrađeni s  $W_z = 4,183$  cm<sup>3</sup>

ZAKRETNI KUT TORZIJSKE OPRUGE [1°]						$M_t = k_t \cdot \Delta\alpha_{gr}$ [Nm]	$\tau_f = \frac{M_t}{W_z}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
I. mjerenje			II. mjerenje				
Gornja glava $\alpha_g$ °	Donja glava $\alpha_d$ °	Razlika $\Delta\alpha$ °	Gornja glava $\alpha_g$ °	Donja glava $\alpha_d$ °	Razlika $\Delta\alpha$ °		
15	1,0	14,0	15	1,0	14,0	0,07546	18,04
30	3,0	27,0	30	4,0	26,0	0,14284	34,15
45	7,0	38,0	45	7,0	38,0	0,20482	48,96
60	18,0	42,0	60	15,0	45,0	0,23447	56,05
75	26,0	49,0	75	28,0	47,0	0,25872	61,85
90	41,0	49,0	90	43,0	47,0	0,25872	61,85
105	56,0	49,0	105	58,0	47,0	0,25872	61,85
120	71,0	49,0	120	73,0	47,0	0,25872	61,85
135	86,0	49,0	135	88,0	47,0	0,25872	61,85
Projektna (korigirana) posmična čvrstoća $\Rightarrow \tau_{kor} = \lambda \cdot \tau_f =$						58,27	

OSTUDA



Mjesto i datum izrade izvještaja  Varaždin, studeni 2016.	Voditelj laboratorija  <i>Damir Štuhec</i> Damir Štuhec, dipl.ing.geoteh.
---	--

REZULTATI ISPITIVANJA ODOSE SE SAMO NA ISPITANE UZORKE. DJELOMIČNO UMNOŽAVANJE OVOG IZVJEŠTAJA NIJE DOPUŠTENO BEZ PISANOG ODOBRENJA VODITELJA LABORATORIJ

Stranica 16/16

Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin Tel.:042/408 909, Fax.:042/313 587 geolab@gfv.hr

KRAJ ISPITNOG IZVJEŠTAJA R.N.:36/16



### 4.3. Opće geotehničke značajke

Obzirom da se ovo Izvješće odnosi na istražne radove koji su provedeni na području triju naselja (Vratišinec, Mursko Središće i Peklenica) u sklopu aglomeracije Mursko Središće, to će i kroz sljedeći tekst komentari biti grupirani po tim naseljima, a sukladno tabelarnom pregledu izrađenom prema tablici 12.

<i>Naselje</i>	<i>Objekt</i>	<i>Oznaka istražne bušotine</i>	<i>Podzemna voda</i>	
			<i>PPV</i>	<i>NPV</i>
Vratišinec	RB3	B1	3,9	3,9
Mursko Središće	RB1	B2	2,0	2,0
	CSM3	B3	4,4	4,4
Peklenica	CSP2	B4	3,0	3,0

Tablica 8. Prikaz naselja, objekata, istraženih bušotina, te PPV-a i NPV-a

Treba uočiti da na četiri bušotine nema razlike između dubine na kojoj je registrirana pojava podzemne vode (PPV) i ustaljene razine podzemne vode (NPV), što govori da nigdje nije utvrđen subarteški (ili arteški) vodni tlak.

#### VRATIŠINEC

U Vratišincu je na lokaciji retencijskog bazena RB3 izvedena bušotina označena s B1.

Kroz sondažni profil vidi se da je duž cijele bušotine riječ o sitnozrnatim materijalima (prašinasto-glinovitim) unutar kojih se nalaze i pjeskovite partije, a vjerojatno i tanki proslojci sitnozrnog pijeska. S time je očito u vezi identična dubina PPV-a i NPV-a (3,9 m), koja govori o slobodnoj vodnoj migraciji.

Penetracijska otpornost tla iskazana podacima SPP-a pokazuje razmjerno solidno stanje (u prosjeku je  $N = 11 \text{ udar/stopa}$ ) no na dubini od cca 2,5 m pa do 3,5 m ta je otpornost umanjena i iznosi  $N = 6 \text{ udar/stopa}$  (premda je laboratorij utvrdio solidne gustoće,  $\rho = 2,05 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_a = 1,65 \text{ g/cm}^3$ ). S time u vezi, uputno je računati s prosjekom penetracijskog otpora od  $N_r = 9 \text{ udar/stopa}$ .

## MURSKO SREDIŠĆE

Na lokacijama dvaju objekata koji su projektom locirani u Murskom Središću (RB1 i CSM3) izvedene su istražne bušotine B2 i B3. Zajednička im je karakteristika da se nakon sloja nasipa (koji seže od površine terena pa do dubine cca 1,3 m) javlja razmjerno rahli pjeskoviti sloj (na B2 do 1,9 m a na B3 do 3,5 m). Na bušotini B2, gdje u tom pjeskovitom sloju postoji i koloidna komponenta, ali ima i organskih primjesa potencijalna je otpornost vrlo niska (B2/1,5-1,8,  $N = 3 \text{ udar/stopa}$ ), ali se nakon toga s dubinom naglo mijenja, tj. raste (3,0-3,3,  $N=17$ ; 4,5-4,8,  $N=22$  i 5,7-6,0,  $N=23 \text{ udar/stopa}$ ). Ako se temeljenje objekta RB1 provede na dubini koja je veća od 3 m (u prašinastom materijalu znatne zbijenosti) tada se može računati s tlom solidnih mehaničkih karakteristika ( $N_r = 15$ ), no kao što se na sondažnom profilu za B2 može vidjeti (slika 11) treba očekivati probleme s podzemnom vodom!

**Objekt CSM3** na lokaciji kojeg je izvedena istražna bušotina B3, u podlozi ima ponešto drukčiju situaciju od one koja je utvrđena na bušotini B2. Naime, nakon rahlog pijeska ( $6 \leq N \leq 7 \text{ udar/stopa}$ ) slijedi slabo građirani pjeskoviti šljunak (GP) koji se prostire od 3,5 m pa do dubine bušenja (6 m) a zasigurno i dublje. U tom šljunku penetracijska otpornost raste vrlo postupno (3,0-3,3,  $N=7$ ; 4,5-4,8,  $N=9$ ; 5,7-6,0,  $N_s=12 \text{ udar/stopa}$ , tj.  $N_n=9 \text{ udar/stopa}$ ). Ako se temeljenje objekta CSM3 provede na dubini koja je veća od 3,5 m (što je za preporučiti) tada se u računskim analizama može uzeti  $N_r = 8 \text{ udar/stopa}$ .

U vrijeme istražnog bušenja (13.X.2016.) podzemna je voda registrirana na dubini od 4,4 m pa bi to značilo da tijekom iskopa građevinske jame za CSM3 neće biti dodatnih problema s podzemnom vodom, no ipak će to sve zavisiti od sezonskih uvjeta u kojima će se odvijati građevinski radovi.

## PEKLENICA

Na lokaciji objekta CSP2 izvedena je istražna bušotina B4 s utvrđenom razinom podzemne vode na dubini 3,0 m (13.X.2016.). Ova je bušotina pokazala da se sloj šljunka (GM) debljine 1 m (od 2,3 do 3,3 m) nalazi u „sendviču“ između dva prašinasta sloja (slika 17), a penetracijska otpornost (SPP), raste od rahlog stanja ( $N = 7 \text{ udar/stopa}$  na 1,5 do 1,8 m) do iznosa  $N = 24 \text{ udar/stopa}$ , na dubini 5,7-6,0 m. Ako se temeljenje objekta CS provede na dubini koja je veća od 3,5 m tada se za računске potrebe može uzeti  $N_r = 14 \text{ udar/stopa}$  (materijal ML u stanju je krute konzistencije,  $q_u \cong 200 \text{ kN/m}^2$  ali i više, sukladno laboratorijskim ispitivanjima). Valja imati u vidu da bi podzemna voda mogla predstavljati dodatne probleme tijekom izvođenja radova obzirom da je u vrijeme istražnog bušenja (13.X.2016.) bila na dubini od 3,0 m.

#### 4.4. Nosivost i slijeganje temeljnog tla

Nosivost i slijeganje tla ispod temeljnih ploha budućih objekata (temeljenih na dubini  $D$ ) iskazani su tabelarno (po skraćenom računskom postupku baziranom na SPP podatku):

-Nosivost temeljnog tla:

$$p_{dop} = p_0 + \Delta p$$

$$p_0 [kN/m^2] = \gamma \cdot D = 18,5 \cdot D$$

odnosno, u vezi s razinom podzemne vode

$$p_0 = \gamma \cdot D_1 + \gamma' \cdot D_2 = 18,5 \cdot D_1 + 11,0 \cdot D_2$$

$$\Delta p = (\text{od } 10 \text{ do } 20N)$$

Slijeganje temeljnog tla:

$$s_r = \frac{\Delta p_r \cdot H_c}{M_0} \Delta p_r = P \cdot p_0 H_c = f(B)$$

dok modul otpora tla ( $M_0$ ) ovisi o karakteristikama tla ( $N$ ) ali i o intenzitetu računskog dodatnog opterećenja ( $\Delta p_r$ ), pa će prema empirijskom izrazu iznositi:

$$M_0 = \alpha^{(1-\Delta p_r/\Delta p)} \cdot 1000 \cdot N_r$$

U skladu s Hookeovim zakonom slijedi:

$$s_r = \frac{\Delta p_r}{K_s}, \text{ a pri tome je krutost podloge:}$$

$$K_s [kN/m^3] = \alpha^{(1-\Delta p_r/\Delta p)} \cdot 1000 \cdot N_r / H_c$$

Ako se za potrebe preliminarnog proračuna (procjene) veličine slijeganja uzme:

$$50\% \leq P \leq 100\% \quad D = 4 \text{ m} \quad H_c = B = 3 \text{ m} \quad \text{i} \quad \alpha = 2$$

tada se dobiveni rezultati mogu prikazati tabelarno:

OBJEKT		$N_r$ [udar /stopa]	Račun nosivosti [kN/m <sup>2</sup> ]			Račun slijeganja		
			$p_0$	$\Delta p$	$p_{dop}$	$\Delta p_r$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$K_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$s_r = \Delta p_r / K_s$ [m]
RB3 (Vretišinec)		9	74	135	209	50	4651	0,011
Mursko Središće	RB1	15	59	225	284	50	8621	0,006
	CSM3	8	4	120	194	50	4000	0,013
CSP2 (Peklenica)		14	67	210	277	50	7939	0,006

Tablica 9. Tabelarni proračun nosivosti i slijeganja temeljnog tla

U vezi slijeganja sažeto se može reći sljedeće:

Uz pretpostavku da će temeljenje objekata biti provedeno na min. 4 m dubine, te uz ukupno kontaktno opterećenje na donjoj plohi temelja

$$p_{kont} = cca\ 50\%p_{dop}$$

slijeganje temeljnog tla iznosit će

$$6\ mm \leq s_r \leq 13\ mm$$

ili u prosjeku, oko 1 cm.

## 5. Zaključak

Pri izgradnji nekog objekta neophodna je analiza i ispitivanje tla bez obzira na visoke troškove ispitivanja. Naime, poznavanje strukture tla uvelike pomaže kod daljnjih proračuna i gradnje. Kako bi se odredili potrebni parametri tla potrebno je laboratorijskim i terenskim pokusima izvesti niz identifikacijskih i klasifikacijskih pokusa.

Prilikom provođenja geotehničkih istražnih radova korišteni su uzorci uzimani sa dubine od 1.5 do 6 m u poremećenom stanju. Daljnja ispitivanja provedena su prema važećim normama za geotehnička ispitivanja. Neki od dobivenih podataka su vlažnost koja ni kod jednog uzorka nije prošla više od 40%, prema glavnoj podjeli USCS klasifikacije uzorci su CL s pijeskom, CH te CH s pijeskom, a slijeganja nisu velika te se mogu zanemariti.

Analizom provedenih geotehničkih ispitivanja možemo zaključiti da je tlo nad kojim se vršilo ispitivanje pogodno za izgradnju predviđenih objekata.

U Varaždinu, \_\_\_\_\_

Studentica:

\_\_\_\_\_

## 6. Literatura

### Knjige:

- [1] S. Kebeljić: Mehanika tla, Građevinski fakultet u Sarajevu, Sarajevo, 1989.
- [2] S. Strelec: Podpovršinski istražni radovi, Sveučilište u Zagrebu, 2011.
- [3] M. Selimović: Mehanika tla i temeljenje, Mostar, 2000.
- [4] M. Orešković, Izvješće o geotehničkim istražnim radovima, Zagreb, 2016.

### Diplomski radovi:

- [5] L. Puljić: Temeljenje objekta hotela "Stina" u Omišu, Diplomski rad, Fakultet građevine, arhitekture i geodezije, Split, 2015.
- [6] M. Vlahović: Primjena potpornog zida za obranu od poplave, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2016.
- [7] Z. Bajsić, Određivanje modula stišljivosti u edometru, Diplomski rad, Geotehnički fakultet, Varaždin, 2012.

### Internet izvori:

- [8] [http://rgn.hr/~pkvasnic/MehanikaTla\\_2007.pdf](http://rgn.hr/~pkvasnic/MehanikaTla_2007.pdf)
- [9] <http://www.grad.hr/zlatovic/3.htm>
- [10] [https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/14.\\_Predavanje\\_MT.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/14._Predavanje_MT.pdf)
- [11] <http://www.gf.uns.ac.rs/predmeti/mehanikatla/1.%20Geotehnicki%20istrazni%20radovi.pdf>
- [12] <http://moodle.vz.unin.hr/moodle/mod/resource/view.php?id=16291>

## Popis slika

Slika 2.1. In-situ Geotehnički pokusi za određivanje čvrstoća tla.....	8
Slika 2.2. Spremanje poremećenog uzorka uzetog iz jezgre .....	9
Slika 2.3. Vađenje neporemećenog uzorka.....	10
Slika 2.4. Sprave za izvođenje CPT-a (sonda i šiljak).....	11
Slika 2.5. CPTU mjerenje pornog tlaka.....	12
Slika 2.6. CPT bez mjerenja pornog tlaka .....	12
Slika 2.7. Prikaz izvođenja standardnog penetracijskog pokusa .....	13
Slika 3.1. Trofazna građa tla.....	15
Slika 3.2. Granulometrijski dijagram .....	17
Slika 3.3. Uređaj za prosijavanje .....	19
Slika 3.4. Aerometriranje.....	20
Slika 3.5. Primjer ispitivanja granične plastičnosti .....	22
Slika 3.6. Granica stezanja w <sub>S</sub> , na mjestu gdje prestaje smanjenje volumena uzorka sa smanjenjem njegove vlažnosti. ....	23
Slika 3.7. Casagrandeov aparat (1. mesingova šalica, 2. tvrda gumena podloga).....	23
Slika 3.8. Krilna sonda .....	25
Slika 3.9. Primjena modificiranog Proctorovog pokusa.....	26
Slika 3.10. Primjena standardnog Proctorovog pokusa.....	27
Slika 3.11. Presjek edometra .....	29
Slika 3.12. Prikaz edometra.....	29
Slika 4.1. Prikaz četiriju lokacija na kojima je izvedeno bušenje (B1, B2, B3 i B4).....	30
Slika 4.2. Položaj bušotine B1(Vrarišinec) .....	32
Slika 4.3. Jezgra bušotine B1.....	33
Slika 4.4. Profil bušotine B1 .....	34
Slika 4.5. Položaj bušotine B2 (Mursko Središće, RB1).....	35
Slika 4.6. Jezgra bušotine B2.....	36
Slika 4.7. Profil bušotine B2.....	37
Slika 4.8. Položaj bušotine B3 (Mursko Središće, CSM3).....	38
Slika 4.9. Jezgra bušotine B3.....	39
Slika 4.10. Profil bušotine B3.....	40
Slika 4.11. Položaj bušotine B4 (Vratišinec, CSP2).....	41
Slika 4.12. Jezgra bušotine B4.....	42
Slika 4.13. Profil bušotine B4.....	43

## Popis tablica

Tablica 1. Veza između standardnog penetracijskog testa i nekoherentnog tla .....	14
Tablica 2. Veza između standardnog penetracijskog testa i koherentnog tla .....	14
Tablica 3. USCS klasifikacija koja se najčešće primjenjuje .....	18
Tablica 4. Vrsta materijala prema veličini čestica .....	18
Tablica 5. Stanje materijala prema zbijenosti .....	21
Tablica 6. Granice plastičnih stanja .....	21
Tablica 7. Klasificiranje koherentnih materijala prema plastičnosti .....	24
Tablica 8. Prikaz naselja, objekata, istražnih bušotina, te PPV-a i NPV-a .....	55
Tablica 9. Tabelarni proračun nosivosti i slijeganja temeljnog tla .....	57