

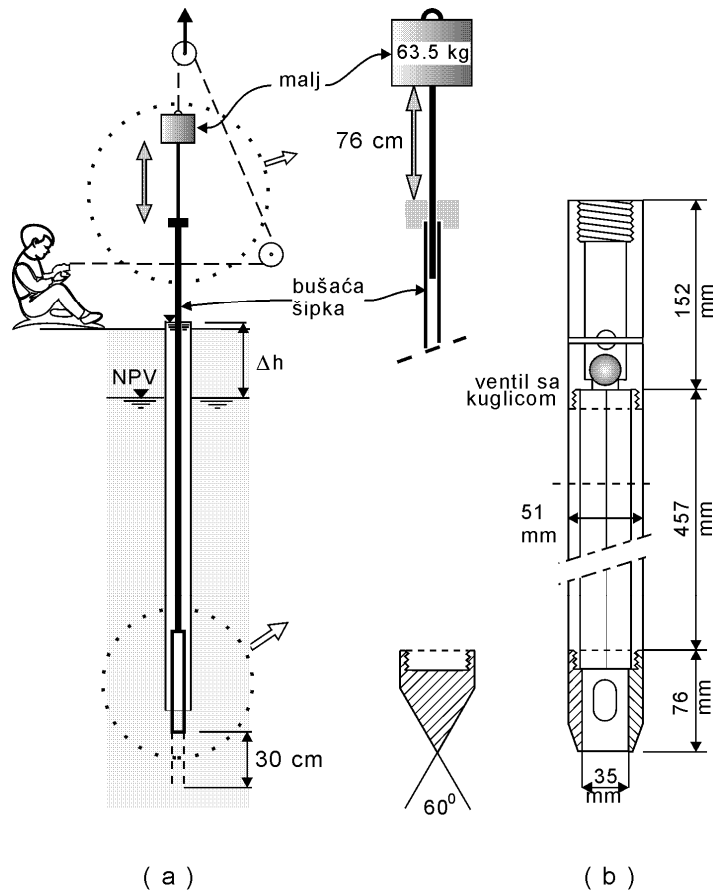
11. Теренски опити. SPT.CPT.

11.1. Увод

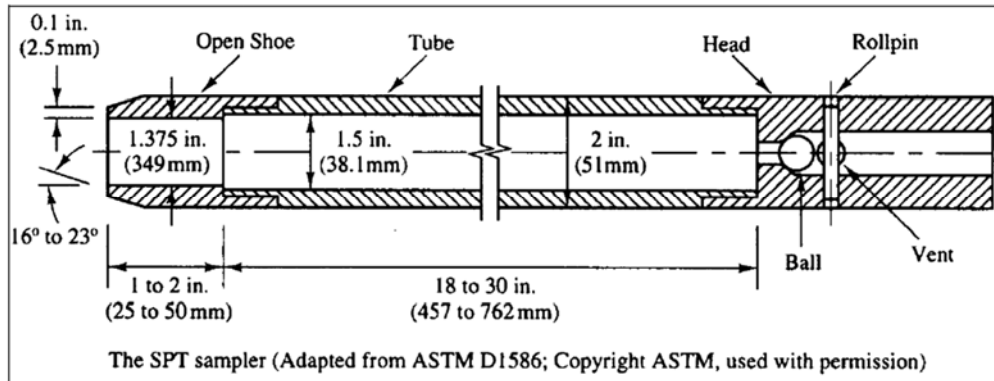
Уобичајеним техникама узимања узорака није могуће прибавити непоремећене узорке крупнозрног тла (поготово чистог шљунка и пијеска). Прибављени поремећени узорци се користе за идентификацију и класификацију тла. Деформабилност и чврстоћа крупнозрног тла зависе од његове збијености која се може испитати теренским пенетрационим опитима (SPT, CPT). У литератури и програмима постоје различите корелације (везе) између својстава тла и резултата ових опита.

11.2. Стандардни пенетрациони тест (SPT)

На слици 1 је приказана шема апаратуре за стандардни пенетрациони тест (динамичка пенетрација). Региструје се број удара за напредовање пенетрационе кашике (слика 2) у три продирања од по 15цм. За првих 15цм продирања избројани ударци могу бити мањи због поремећаја дна бушотине тако да се за коначан резултат усваја збир бројања у другом и трећем интервалу при укупном продирању од 30цм. У шљунковитом тлу се нож при врху замјењује масивним конусом. Након опита, кашика се извлачи на површину, раздваја на два дијела и тако се добија поремећени узорак тла са дубине гдје је вршен опит.



Слика 1. Шема апаратуре за опит стандардне пенетрације.



Слика 2. Кашика за стандардни пенетрациони тест (SPT sampler, split spoon)

На резултате опита прије свега утиче енергетска ефикасност ударца маља (чекића) који се преноси на бушаћу шипку. Теоријска енергија $0.635 \text{ kg} \times 0.76\text{m} = 0.475 \text{ kNm}$ је већа од стварне. Типичан однос стварне у односу на теоретску енергију је од 55-60% али може да варира од 35-95% зависно од типа опреме, пречника бушотине, тежине бушаћих шипки и др.

Skempton(1986) је предложио стандардизовану SPT корекцију добијеног броја удара N којом се овај број нормализује на 60% енергетске ефикасности према формули:

$$N_{60} = \frac{E_m C_B C_S C_R N}{0,60}$$

- E_m - ефикасност чекића
- C_B - корекција пречника бушотине
- C_S – корекција цилиндра за језгровање
- C_R – корекција дужине шипке за бушење
- N - вриједност добијена на терену

Табела 1 – Вриједности фактора корекције према Skempton(1986)

Фактор корекције	Опрема	Вриједност
Пречника бушотине- C_B	65-115mm	1.00
	150mm	1.05
	200mm	1.15
Цилиндар за језгровање C_S	Стандардни цилиндар	1.00
	Цилиндар без облоге	1.20
Дужина шипке за бушење, C_R	3-4m	0.75
	4-6m	0.85
	6-10m	0.95
	>10m	1.00

Liao и Whitman (1985) су дали корекцију за притисак надслоја изнад тачке гдје се врши опит према формули:

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{\frac{100kPa}{\sigma_z'}}$$

σ_z' - вертикални ефективни напон на локацији теста

Табела 2 – Процјена стања збијености крупнозрног тла и конзистенције ситнозрног тла на основу резултата стандардног пенетрационог теста

Број удара малја N	Ситнозрно тло	Број удара малја N	Песак
	Стање конзистенције		Релативна збијеност
0 - 2	течно	0 - 4	врло растресит
2 - 4	врло мекано	4 - 10	растресит
4 - 8	мекано	10 - 30	средње збијен
8 - 15	полуčврсто	30 - 50	збијен
15 - 30	čврсто	> 50	врло збијен

У литератури и програмима постоје различите корелације између параметара деформабилности и чврстоће тла и кориговане вриједности N (N_{60}, N_{70}). На примјер за угао унутрашњег трења (смичуће чврстоће) пијеска:

$$\phi' = 27.1 + 0.3N_{60} - 0.00054N_{60}^2 \text{ (Wolff, 1986)}$$

$$\phi' = 0.66N_{70} + 8.52 \text{ (Esmailzadeh, 2012)}$$

Последња формула садржи вриједност стандардизовану на 70% енергије па ако је $N_{60}=20$, онда у формули користимо $N_{70}=60/70 \times N_{60}=17$

У табели 3 су дате корелације између модула еластичности тла E_s и резултата SPT и CPT опита.

Табела 3 – Корелације (везе) између модула еластичности тла и резултата SPT, CPT опита

E_s -модуло еластичности тла и КРа

q_c -отпор врха (базе) конуса и КРа

E_s' -едометарски модуло и КРа

Напомена: N вриједност треба свести на N_{55} прије уношења у формуле

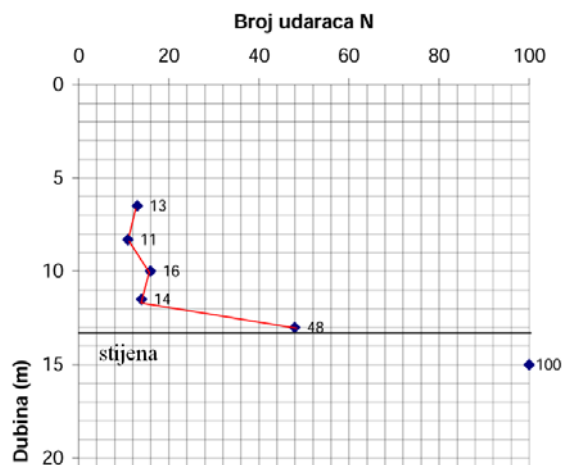
На примјер ако је $N_{60}=20$, $N_{55}=60/55 \times N_{60}=22$

Tlo	SPT	CPT
Pijesak (Norm.konsolidovan)	$E_s = 500(N + 15)$ $= 7000 \sqrt{N}$ $= 6000N$ — — — — $\ddagger E_s = (15\,000 \text{ to } 22\,000) \cdot \ln N$	$E_s = (2 \text{ to } 4)q_u$ $= 8000 \sqrt{q_c}$ — — — — $E_s = 1.2(3D_r^2 + 2)q_c$ $*E_s = (1 + D_r^2)q_c$
Pijesak (zasićen)	$E_s = 250(N + 15)$	$E_s = Fq_c$ $e = 1.0 \quad F = 3.5$ $e = 0.6 \quad F = 7.0$
Pijesak (norm. konsolidovan)	$\P E_s = (2600 \text{ to } 2900)N$	
Pijesak (prekonsolidovan)	$\dagger E_s = 40\,000 + 1050N$ $E_{s(\text{OCR})} \approx E_{s,\text{nc}} \sqrt{\text{OCR}}$	$E_s = (6 \text{ to } 30)q_c$
Šljunkovit pijesak	$E_s = 1200(N + 6)$ $= 600(N + 6) \quad N \leq 15$ $= 600(N + 6) + 2000 \quad N > 15$	
Zaglinjen pijesak	$E_s = 320(N + 15)$	$E_s = (3 \text{ to } 6)q_c$
Prašine, pjeskovite ili glinovite prašine	$E_s = 300(N + 6)$ If $q_c < 2500$ kPa use $\S E_s' = 2.5q_c$ 2500 < q_c < 5000 use $E_s' = 4q_c + 5000$ where $E_s' = \text{constrained modulus} = \frac{E_s(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} = \frac{1}{m_v}$	$E_s = (1 \text{ to } 2)q_c$
Meke gline ili zaglinjena prašina		$E_s = (3 \text{ to } 8)q_c$

Примјер – Марина Порто Монтењгро
Профил истражне бушотине ВН 1/1, бушено до дубине од 16.50м

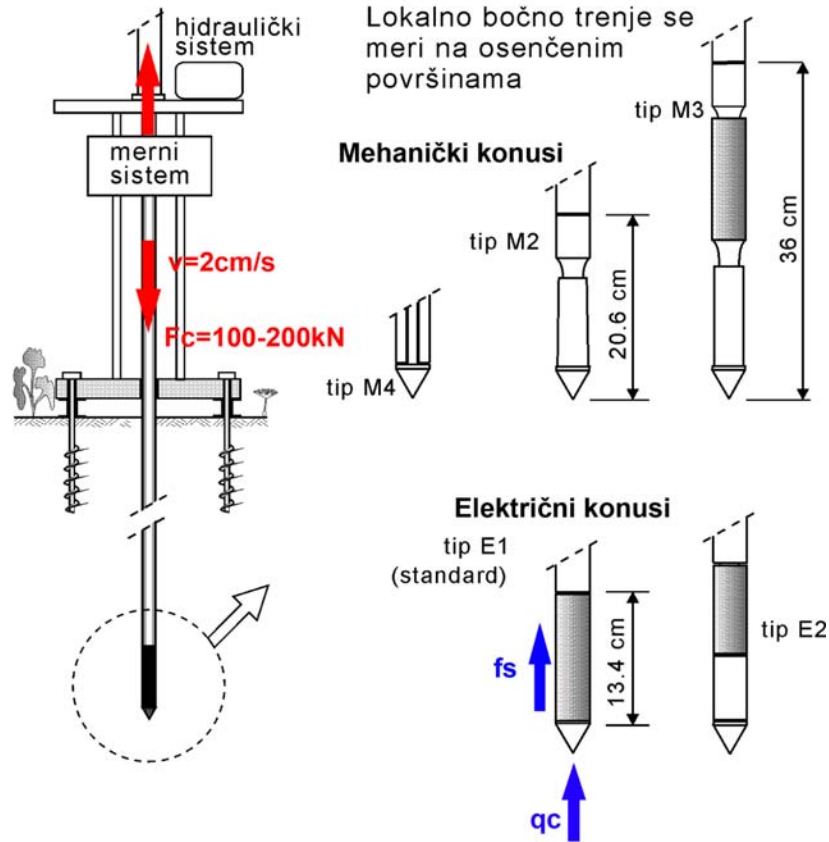
Nivo	Dubina (m)	Debljina (m)	Šrafura	OPIS	Uzorci	Terenski opiti		Pijezometar. konstrukcija
						Tip	Vrijednost	
0.00	0.30	0.30		Betonska ploča (dok)				
1.00				Prazan prostor				
2.00								
3.00		5.70						
4.00								
5.00								
6.00	6.00			Muljevi i muljeviti sitnozrni pjeskovi sa školjkama i dosta morske trave i trske; tamno sive boje		6.5 SPT	N=13	
7.00								
8.00		3.40				8.3 SPT	N=11	
9.00								
10.00		9.40		Laporovita srednje plastična glina i glinoviti lapori, sivomalinaste i sivoplavičaste boje		10.0 SPT	N=16	
11.00						10.7-11.0 B 1		
12.00		2.60				11.5 SPT	N=14	
13.00	12.0			ELUVIJUM Eluvijalna flišna raspadina, lapori i gina sa ostacima primarne slojevitosti, sivomaslinaste i sive boje		13.0 SPT	N=48	
14.00		1.30						
15.00		3.20		FLIŠ Tektonski oštećeni flišni kompleks, laporci i glinci; sive i sivoplavičaste boje		14.4-14.7 B 2		
16.00	13.3			stijena - Fliš		15.0 SPT	45 blows for 10cm	
	16.5							

Промена N вриједности по дубини бушотине ВН 1/1



11.3. Статички пенетрациони тест (CPT, *cone penetration test*)

Опитом статичке пенетрације се мјери отпор који тло пружа при утискивању конусног врха пенетрометра под углом од 60 степени и површином пројекције основе конуса од 10-15 cm^2 (слика 3). Конуси M4, M2 и M3 су механички док су E1 и E2 електрични. Хидраулички систем утискује конус константном брзином од 2 cm/s при чему се мјери отпор врха конуса q_c и бочно трење по омотачи сјевни („рукаву“) f_s изнад конусног врха. Сила утискивања је обично од 100 до 200 (350) kN .



Слика 3. Статички пенетрациони опит (CPT – Cone penetration test)



1/ $\phi=35,7\text{mm}$

$A_c=10\text{ cm}^2$

$A_s=150\text{cm}^2$

2/ $\phi=43,7\text{mm}$

$A_c=15\text{ cm}^2$

$A_s=200/300\text{cm}^2$

Слика 4. Електрични конус – пречници и површине два типа конуса

Отпор продору врха конуса:

$$q_c = F_c / A_c$$

F_c -Сила утискивања

A_c -Површина у основи конуса

Бочно трење (*local side friction*):

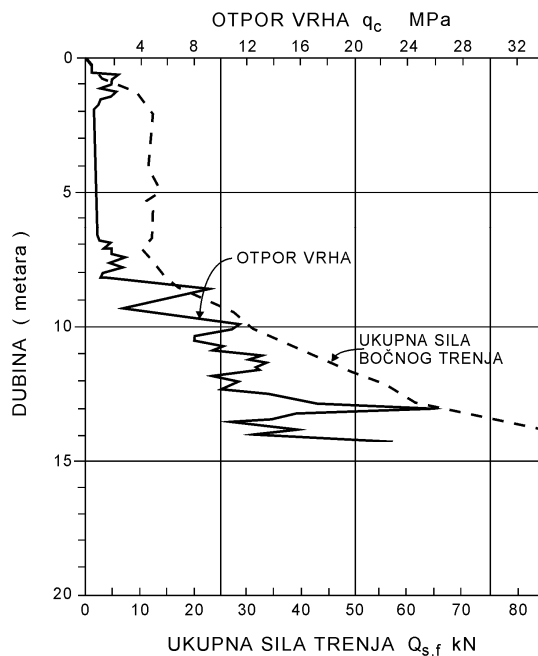
$$f_s = F_s / A_s$$

F_s -Смичућа сила по омотачу

A_s -Површина омотача

Опит је користан и економичан јер се за разлику од SPT-а, утискивање врши са површине терена а не у дно бушотине. Механичким конусима (Веgemann-ов конус) се региструју отпори на сваких 10-20цм (резултати испитивања-сондирања конусом M1, слика 5) а електричним конусима се региструју отпори континуално по дубини.

Ови уређаји се користе за испитивање у пјесковитим материјалима релативно велике водопрпусности гдје се претпоставља да је брзина продирања довољно мала да не дође до појаве значајних порних надпритисака, тј. претпостављају се дренирани услови. У ситнозрним материјалима при брзини од 2 цм/сек долази до генерисања порних притисака. У оваквим материјалима се користи тзв. пиезо-конуси (CPTU) који додатно имају могућност мјерења генерисаних порних притисака.



Слика 5. Приказ резултата испитивања са пенетрометром типа M1

Извођење СРТ опита обично није могуће у веома тврдим глинама, у шљунку и у крупнозрном тлу, гдје би вриједност N (SPT) била већа од 50.

Пошто се при овом опиту не вади узорак онда се његови резултати комбинују са истражним бушењем при чему је погодно да је опит лоциран у близини бушотине.

Резултати опита се могу користити за класификацију тла на основу односа бочног трења и отпора продору конуса. Овај однос се зове фрикциони коефицијент (*friction ratio*):

$$Rf = f_s / q_c$$

Врста тла	Rf
Крупан пијесак и шљунак	<1%
Ситан пијесак	1-1.5%
Прашина	1.5%-3%
Глина	3-7%
Тресет	>7%

Овај опит се рутински користи за одређивање недрениране смичуће чврстоће c_u и стишљивости тла:

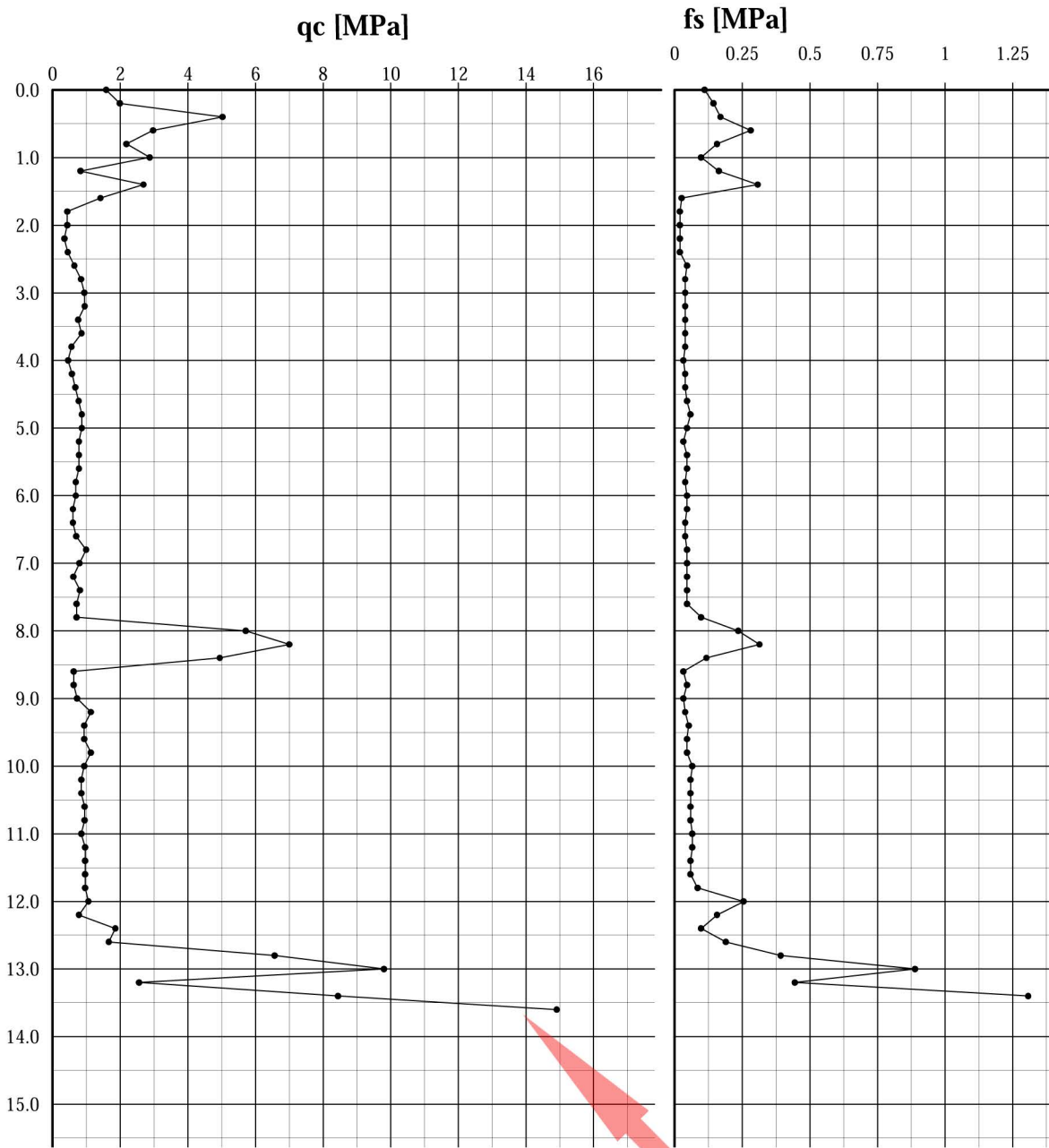
$$c_u = (q_c - \sigma_v) / N_k, N_k \text{ познат или се процијени}$$

$$M_v = \alpha_m q_c, \alpha_m = 2-8, \text{ зависи од врсте тла (приближно може из литературе вриједност)}$$

Корелације модула еластичности E_s са отпором врха конуса q_c су дате у табели 3. Није сувишно подсетити да се у Шмертмановој методи за прорачун слегања темеља на пијеску користи $E_s = 2 q_c$.

Objekat i lokalnost: Apartmansko-poslovni objekat u Budvi	Koordinate: Y=6569386.60 X=4682374.47	Kota: Z= 3.05	Kartirao: Andrija Delibašić, dipl.inž. geol.
--	--	---------------	---

Kota	Dubina (m)	Debljina (m)	Grafički prikaz jezgra	Naziv, sastav i svojstva sredine	Oznaka sredine	Prečni bušenja	Nagib SS i pukotina	% jezgra	RQD	Podzemna voda			SPT	Uzorci
										pojava	nivo	piezometar		
3.05														
2.05 1.75	1.10 1.30	1.00 0.30		Nasuti materijal prirodnog sastava i porijekla, pri površini humificiran i sa korijenjem biljaka, prašina i prašinast pijesak; tamnobraon boje	①									
				Prašina i prašinsti lapor sa zaglinjenim sitnim pijeskom i glinom; srednje tvrdi, braon sive boje	②									
		1.50		Sitni pijesak, malo prašinast, sa školjkama, sive boje	④									
	2.80			Prašnasta glina sa ugljenisanim ostacima biljaka, sa malo sitnog pijeska; tamno sive boje, srednje do visoko plastična, vrlo stišljiva	③									
	4.60													
	7.40	0.80		Pijesak sa sitnim šljunkom	④*									
	8.20	0.90		Prašnasta glina sa malo sitnog pijeska i ugljenisanim ostacima, plastična, meka i vrlo stišljiva	③*									
	9.10	0.90		Pijesak sa sitnim šljunkom	④*									
	10.0	1.30		Pijesak sa sitnim šljunkom	④*									
	11.3			Prašnasta glina, tamno sive boje	③*									
	12.0	2.40												
	13.7	0.90		Pijesak sa sitnim šljunkom	④*									
	14.0	1.30		Pijesak sa sitnim šljunkom	④*									
	15.0													
	15.0	1.90		Pijesak sa sitnim šljunkom	④*									
	16.0													
	16.9			Laporovita prašina sa sitnim pijeskom oštih ivica i poluzaobljenih ivica, malo zaglinjena, tamno braon boje	⑥									
	18.0	2.00												
	18.9	1.10		Prašnasti sitni pijesak sa šljunkom, srednje tvrda sredina, dobro konsolidovana, cigla crvene i braon boje	⑥*									
	19.0													
	20.0													



sloj pijeska u kome se duboko fundira objekat

skok vrijednosti q_c ukazuje na manju deformabilnost slojeva 4,6,6*