

GEOTEHNIČNO POROČILO

O POGOJIH TEMELJENJA OBJEKTOV

(faza OPPN)

Objekt: **OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI**

Lokacija: **Parc. št. 2708/39 in 2708/21, obe k.o. Vrhnika**

Naročnik: **SISTEKO d.o.o.**
Obrtna cona Logatec 34, SI-1370 LOGATEC

Št. poročila: GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN
Datum: MAREC 2024

Obdelal:
G.STRNIŠA, univ.dipl.inž.grad.
P.LESJAK, abs.grad.

Pregledal:
I.LESJAK, univ.dipl.inž.grad.

SLP d.o.o. LJUBLJANA
Direktor:
I.LESJAK, univ.dipl.inž.grad.

GORAZD STRNIŠA
univ. dipl. inž. grad.
IZS G-1623

IVAN LESJAK
univ. dipl. inž. grad.
IZS G-1625

SLP d.o.o. Ljubljana

	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN

VSEBINA

T.1	TEHNIČNO POROČILO	2
T.1.1.	SPLOŠNO	2
T.1.2.	TERENSKÉ PREISKAVE.....	2
T.1.2.1	Pregled opravljenih preiskav na vplivni okolici	2
T.1.2.2	Raziskovalna dela	3
T.1.2.3	Geotehnične meritve	3
T.1.2.4	Inženirsko-geološki pregled terena.....	4
T.1.3.	GEOTEHNIČNE RAZMERE	4
T.1.3.1	Geotehnični pregled posameznih slojev	4
T.1.3.2	Seizmičnost terena	5
T.1.3.3	Hidrogeološke razmere	6
T.1.4	ZASNOVA TEMELJENJA.....	8
T.1.4.1	Opis načrtovanega posega in konstrukcije	8
T.1.4.2	Uporabljeni standardi.....	8
T.1.4.3	Primernost lokacije	8
T.1.4.4	Posedki objektov	8
T.1.5	GEOTEHNIČNI MONITORING.....	9
T.1.6	ZAKLJUČEK.....	9

Kazalo slik

Slika 1:	Lokacija, zasnova predvidene gradnje in izvedenih sond	2
Slika 2:	TGAS07 sistem za zajem podatkov pri izvajanju CPTu preiskave	3
Slika 3:	Lokacija na geološki karti Slovenije (vir: https://ogk100.geo-zs.si/)	4
Slika 4:	Tipičen vzdolžni geotehnični presek na lokaciji	5
Slika 5:	Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021)	6
Slika 6:	Disipacijski test na globini 21.8m na lokaciji sonde CPTu-2	7
Slika 7:	Področje 10 (temno modro), 100 (modro) in 500 letnih poplav (svetlo modro).....	7
Slika 8:	Tloris in zasnova predvidene gradnje	8

PRILOGE

- 1 SITUACIJA
- 2 PREREZ A-A
- 3 REZULTATI RAZISKAV TAL
- 4 FOTOGRAFIJE

	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN

T.1 TEHNIČNO POROČILO

T.1.1. SPLOŠNO

Za potrebe načrtovanja temeljenja dveh industrijskih objektov v Tojnicah - parc. št. 2708/39 in 2708/21, obe k.o. Vrhnika, smo za fazo OPPN in IZP izvedli dve statični konusni penetraciji (CPTu) na lokaciji predvidene gradnje.

Namen raziskav tal je bil določiti geotehnične lastnosti temeljnih tal za temeljenje objektov in izvedbe zunanje ureditve.



Slika 1: Lokacija, zasnova predvidene gradnje in izvedenih sond

T.1.2. TERENSKE PREISKAVE

T.1.2.1 Pregled opravljenih preiskav na vplivni okolici

Na sami lokaciji OPPN ni bilo, po nam znanih podatkih, izvedenih nobenih geotehničnih raziskav. V našem arhivu smo našli CPT in DMT sonde v bližini, na lokaciji KEMIS in na drugi strani avtoceste P+R Vrhnika.

	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN

T.1.2.2 Raziskovalna dela

Preiskave tal, ki so se izvedle 14.03.2024, so prikazane v preglednici 1 in na sliki 1.

Preglednica 1: Pregled izvedenih preiskav tal

Oznaka	Datum sondiranja	Globina sondiranja [m]	Lokacija		
			NMV	x	y
CPTu-1	14.03.2024	26.2	290.60	446490.39	93156.70
CPTu-2	14.03.2024	30.2	290.32	446591.39	93210.07

T.1.2.3 Geotehnične meritve

Pri izvedbi CPTu sond so bili merjeni konusni odpori, trenje in porni tlaki talne vode v zemljini. Izvedeni so bili tudi testi upadanja pornih tlakov oz. »disipacijski testi«. Namen CPTu preiskave je določitev slojevitosti in geomehanske parametre tal.

Za preiskavo uporabljamo stroj za vtiskanje (penetrometer) TG 63-150 proizvajalca PAGANI, opremljenega z merilno konico površine 10cm²:

Instrumentirana merilna konica omogoča:

- merjenje odpora pod konico q_c do 50 oz. 100 MPa
- merjenje trenja po plašču f_s do 1.6 MPa
- merjenje pornih tlakov (nastavek nameščen za konusno konico) u_2 do 2.5 MPa
- merjenje odklona sonde do 20°

Merilna konica se preko drogova vtiska v zemljino s hitrostjo $2 \pm 0,2$ cm/s. Merjene parametre s sonde ter impulznega oddajnika za globino smo preko elektronske enote spremljali na posebnem računalniku, kjer se je v globinskih intervalih po 1.0 cm vršilo shranjevanje podatkov za nadaljnjo obdelavo.

Preiskave smo opravili skladno s standardoma SIST EN 1997-2:2007 in oSIST pr EN ISO 22467-1:2005.



Slika 2: TGAS07 sistem za zajem podatkov pri izvajanju CPTu preiskave

	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN

Obdelavo izmerjenih vrednosti smo izvedli s programsko opremo CPeT-IT (ver. 2.3.1.9). Postopek obdelave merjenih podatkov, korekcije in postopki izračunavanja geomehanskih parametrov in klasifikacije zemljin, so razvidni na spletnem naslovu: <http://www.geologismiki.gr/Documents/CPeT-IT/HTML/index.html>.

T.1.2.4 Inženirsko-geološki pregled terena

Gradnja industrijskih objektov je predvidena na severovzhodnem delu Vrhnike. Obravnavano območje se nahaja na desni strani avtoceste, ki poteka med Vrhniko in Ljubljano.

Temeljna tla so sestavljena iz pretežno materialov kvartarne starosti. To so nanosi rek in potokov (al) na kraških poljih in ravninah ter jezerske in barske usedline (j) znotraj Ljubljanskega barja. Na barju ter v njegovi okolici se pojavljajo debelejšje plasti glin, ki so mestoma prekinjene s tanjšimi plastmi peska, mivke in proda.

Na lokaciji je več kot dvajset metrov aluvialnih zemljin, ki ležijo na podlagi iz dolomitnega apnenca.



Slika 3: Lokacija na geološki karti Slovenije (vir: <https://ogk100.geo-zs.si/>)

T.1.3. GEOTEHNIČNE RAZMERE

T.1.3.1 Geotehnični pregled posameznih slojev

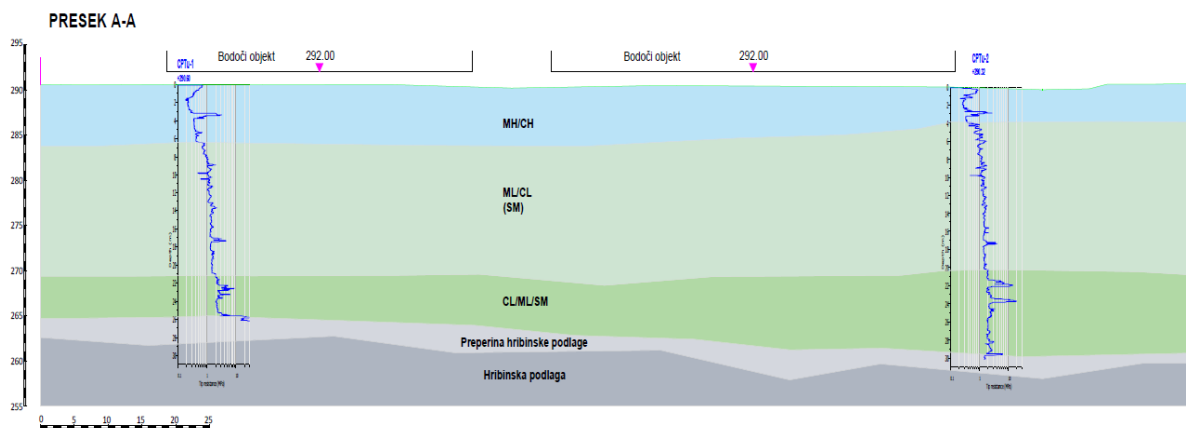
Področje je relativno ravno, zatravljeno, na severu in jugu deloma poraščeno z grmičevjem in drevesi. Višinska kota obstoječega terena je cca. +290.5m NMV, na vzhodni strani obravnavanega področja je Pot na Tojnice, ki je na koti cca +292.0m NMV. Temeljna tla so sestavljena iz tipičnih slojev židke in lahko gnetne meljne glin z organskimi primesmi in slojev meljne glin s peskom, ki ima višje trdnostne karakteristike, ki se z globino povečujejo. Podlago tvorita preperina apnenca in kompaktni dolomitni apnenec.

	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN

Preglednica 2: Tipična sestava in geotehnični opis tal

Sloj	Glob.	Opis sestave tal	qt	Su	c'	ϕ'	Mv	k	OCR
no.	m	Od kote +290.5	MPa	kPa	kPa	°	MPa	m/s	
1	0-0,3	HUMUS							
2	0,3 – 4,5 (6,5)	Barjanska meljna glina, židke do lahkognetne konsistence, prekinjena s peščenim slojem. (MH/CH)	0,3	10-20	>2	21	1.5	<1E-9	1-2
3	6,5-20	Meljna glina lahkognetne konsistence, s tankimi sloji peska, ki z globino pridobiva na trdnostnih karakteristikah. (CL/ML – (SM))	1-2	80	>2	23	8	<1E-9	>2
4	20 – 26 (29,5)	Meljna glina srednje do težkognetne konsistence, prekinjena s sloji peska. (CL/ML/SM)	2	>100	>2	26	15	1E-8	>2
5	> 26 (29,5)	Preperina apnenca in kompaktni dolomitni apnenec	>20			>39			

Globina začetka nosilnega sloja preperelega apnenca, iz jugozahoda proti severovzhodu narašča. Kota začetka nosilne podlage je predvidoma nekje med +260,5m NMV in +265,0m NMV.



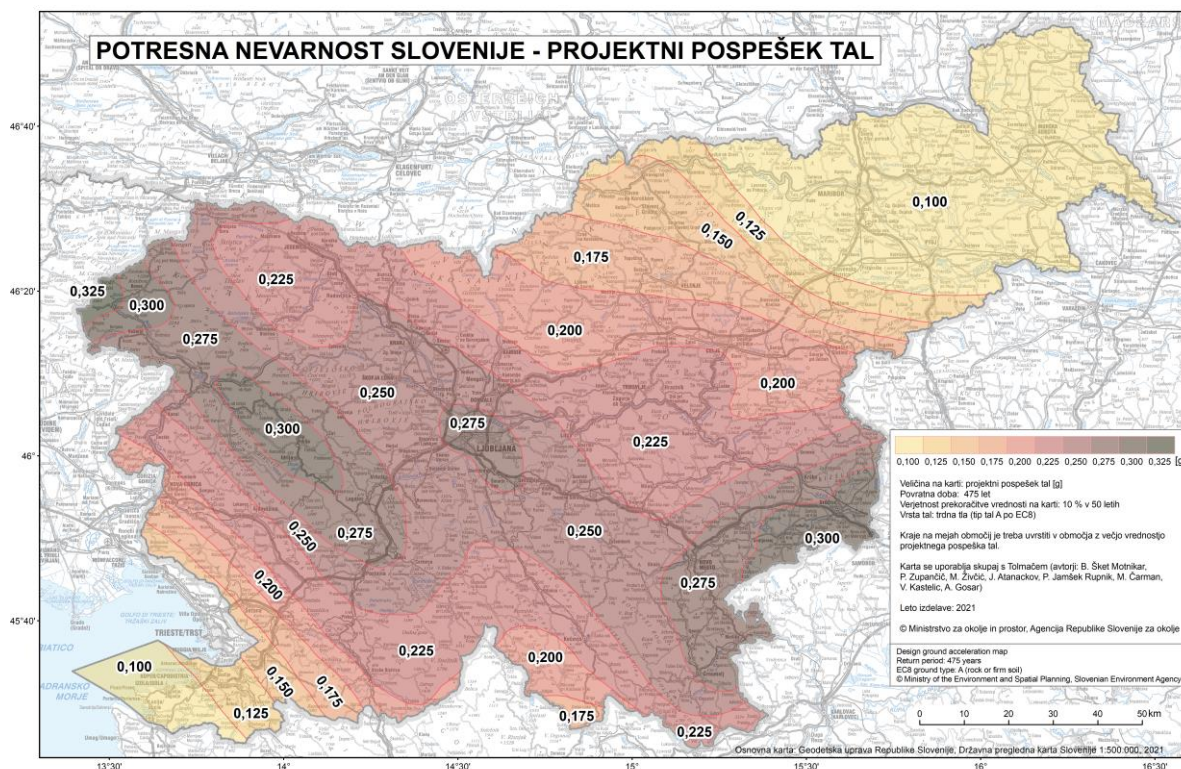
Slika 4: Tipičen vzdolžni geotehnični presek na lokaciji

T.1.3.2 Seizmičnost terena

Po slovenskem pred standardu SIST ENV 1998-1-1 ; 2000 in nove karte potresne nevarnosti Slovenije (2021), ki upošteva povratno dobo potresov 475 let, spada obravnavana lokacija v področje z vrednostjo projektnega pospeška $a_g = 0.250g$.

Tip tal uvrščamo po EC8 v razred D

	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN



Slika 5: Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021)

Po naših arhivskih podatkih je bila v bližini, na področju objekta KEMIS, izvedena SDMT sonda za meritve strižnih valov, ki v glini izkazuje hitrosti strižnih valov $v_s = 120$ m/s za sloj gline do cca. 15m - 20m in $v_s = 220$ m/s za sloj gline v spodnjem delu (nad kompaktno podlago).

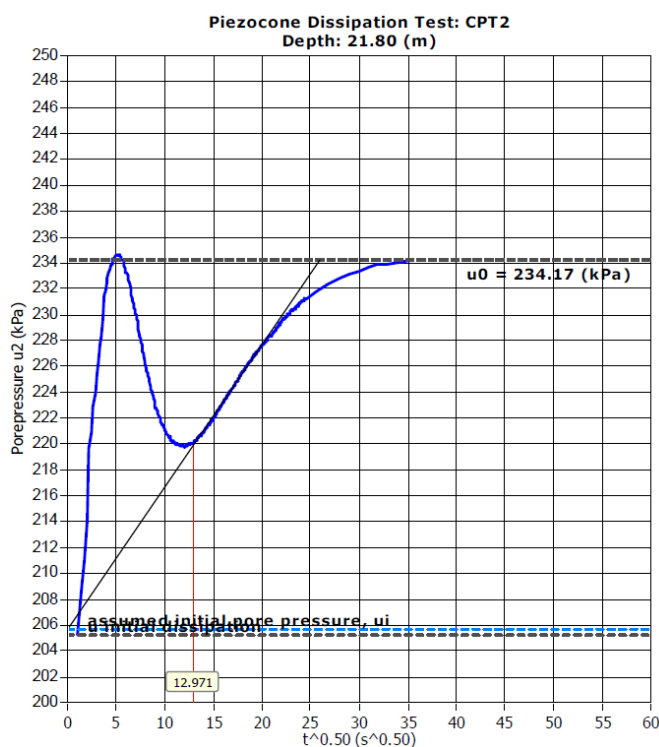
T.1.3.3 Hidrogeološke razmere

Talna voda je ob deževju na površini in na globini obodnih melioracijskih in kanalizacijskih jarkov.

V koherentnih in nekoherentnih slojih smo izvedli nekaj testov upadanja pornih tlakov (disipacijski testi).

Talna voda v vseh nekoherentnih slojih izkazuje sub arteško stanje. Nivo sub arteškega tlaka v vseh peščenih slojih je do cca. 1 - 1.5 m nad terenom oz. sega od kote cca. +291.5 do +292 m NMV. To se je pokazalo tudi med samim sondiranjem na CPTu-2, ko je po izvleku sonde iz zemljine začela iztekati voda. Odprtino smo zaprli.

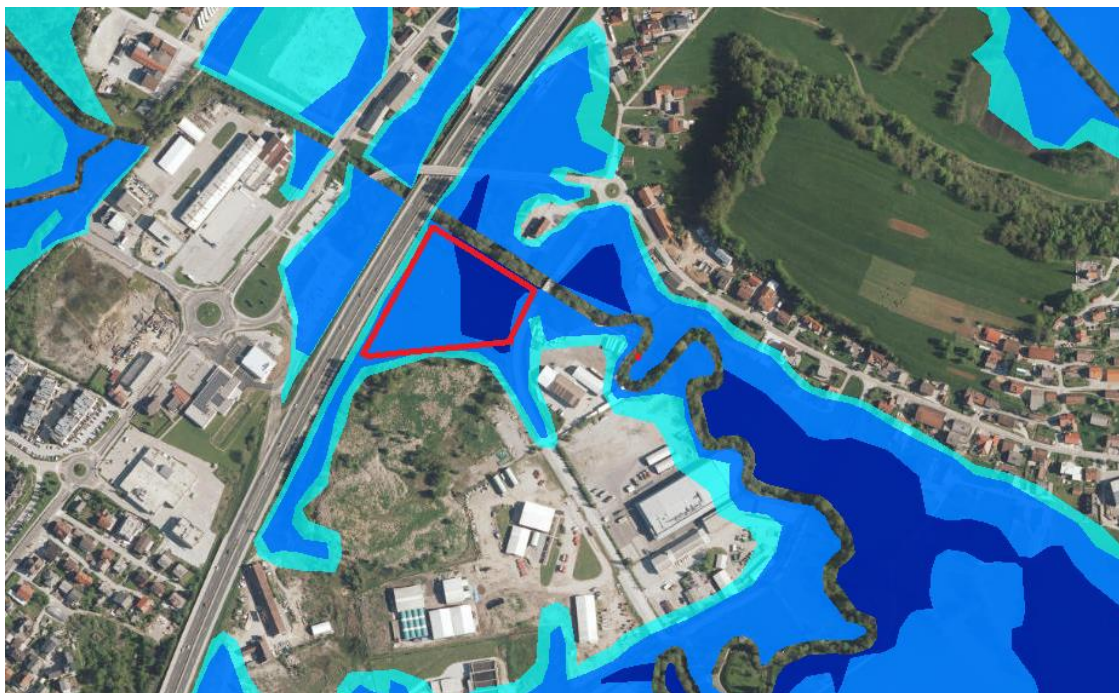
	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN



Slika 6: Disipacijski test na globini 21.8m na lokaciji sonde CPTu-2

Pri sondi CPTu-1 je bil opravljen disipacijski test v glineni zemljini na globini cca. 10.5m, ki izkazuje, da je talna voda prisotna na globini cca. 1.4 m od površja.

Območje je pri sedanjih kotah terena na lokaciji 10 letnih, 100 letnih in 500 letnih poplav (vir: Agencija RD za okolje - Atlas okolja, marec 2024), kar je razvidno iz spodnje slike.



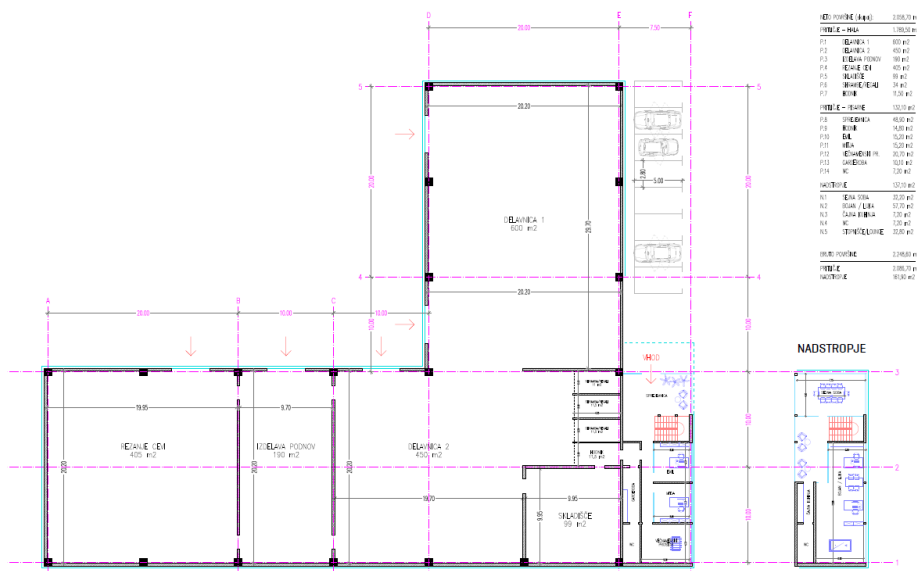
Slika 7: Področje 10 (temno modro), 100 (modro) in 500 letnih poplav (svetlo modro)

	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN

T.1.4 ZASNOVA TEMELJENJA

T.1.4.1 Opis načrtovanega posega in konstrukcije

Predvideva se postavitev 2 objektov. Etažnost stavb na območju je P, na delu objekta pa P+1.



Slika 8: Tloris in zasnova predvidene gradnje

Koto vrha talne plošče objektov smo privzeli na koto dovozne ceste na +292.00 m NMV, kar je cca. 1.5m nad koto raščenege terena. Zunanja ureditev med objekti bo predvidoma na koti vrha talne plošče.

T.1.4.2 Uporabljeni standardi

Geotehnični načrt je pripravljen skladno z evropskim standardom Evrokod 7-1 za geotehnično projektiranje (SIST EN 1997 -1: 2005).

T.1.4.3 Primernost lokacije

Lokacija je ob ustrezni izvedbi oz. temeljenju ustrezna za načrtovano gradnjo.

Objekt je z vidika temeljenja uvrščen v kategorijo 2 do 3.

Dopustna obremenitev tal za plitvo temeljenje brez dodatnih ukrepov je $\sigma_{dop} (MSU) \leq 60 \text{ kPa}$.

Zaradi slabe nosilnost tal in posedkov v primeru plitvega temeljenja, se bo gradnja izvajala na predobremenjenih konsolidiranih tleh ali na pilotih.

T.1.4.4 Posedki objektov

Posedki zunanje ureditve, zaradi predvidoma dodatnega nasipa debeline cca. 1.5m, do nivoja obodne ceste, bodo v rangi 10 – 15cm.

	NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO (faza OPPN)	ŠTEVILKA NAČRTA:
	OBJEKT: OPPN VRHNIKA-TOJNICE, 2 HALI	GEO012-01-2024 VRHNIKA 2 HALI Tojnice OPPN

Na lokaciji plitvo temeljenega objekta pa bi bili posedki še večji, za dodatno obremenitev zaradi objekta.

Glede na izkušnje na lokaciji pričakujemo, da se bo 80-90% posedkov izvedlo v 100-200 dni od nanosa obtežbe.

Posedki novih objektov, ki bodo temeljeni na pilotih, bodo odvisni od dolžine pilotov, izvedenih v temeljna tla.

T.1.5 GEOTEHNIČNI MONITORING

Na nove objekte v okviru OPPN Vrhnika-Tojnice je potrebno takoj po izvedbi vgraditi reperje in opazovati premike.

Posedanje nasipov in predobremenilnih nasipov je potrebno geodetsko spremljati in ugotavljati stopnjo konsolidacije.

T.1.6 ZAKLJUČEK

Za potrebe načrtovanja temeljenja dveh industrijskih objektov v Tojnicah - parc. št. 2708/39 in 2708/21, obe k.o. Vrhnika, smo za fazo OPPN in IZP izvedli dve statični konusni penetraciji (CPTu) na lokaciji predvidene gradnje.

Temeljna tla so sestavljena iz pretežno materialov kvartarne starosti. To so nanosi rek in potokov (al) na kraških poljih in ravninah ter jezerske in barske usedline (j) znotraj Ljubljanskega barja. Na barju ter v njegovi okolici se pojavljajo debelejšje plasti glin, ki so mestoma prekinjene s tanjšimi plastmi peska, mivke in prod.

Področje je relativno ravno, zatravljeno, na severu in jugu deloma poraščeno z grmičevjem in drevesi. Višinska kota obstoječega terena je cca. +290.5m NMV, na vzhodni strani obravnavanega področja je Pot na Tojnice, ki je na koti cca +292.0m NMV. Temeljna tla so sestavljena iz tipičnih slojev židke in lahkognetne meljne gline z organskimi primesmi in slojev meljne gline s peskom, ki ima višje trdnostne karakteristike, ki se z globino povečujejo. Podlago tvorita preperina apnenca in kompaktni dolomitni apnenec.

Talna voda je ob deževju na površini in na globini obodnih melioracijskih in kanalizacijskih jarkov. Talna voda v vseh nekoherentnih slojih izkazuje sub arteško stanje.

Zaradi slabe nosilnost tal in velikih ter neenakomernih posedkov v primeru plitvega temeljenja, se bo gradnja izvajala na predobremenjenih konsolidiranih tleh ali na pilotih.

V primeru težjega in/ali na diferenčne posedke občutljivega objekta, se priporoča temeljenje na pilotih, kjer pa je pred izdelavo PZI potrebno pod vogali objektov, kjer raziskave še niso izvedene, izvesti CPTu sondiranje, vrtno ali kombinacijo naštetih preiskav do nosilne podlage apnenca za lokalno preverbo začetka nosilnega sloja in določitev karakteristik zemljin.

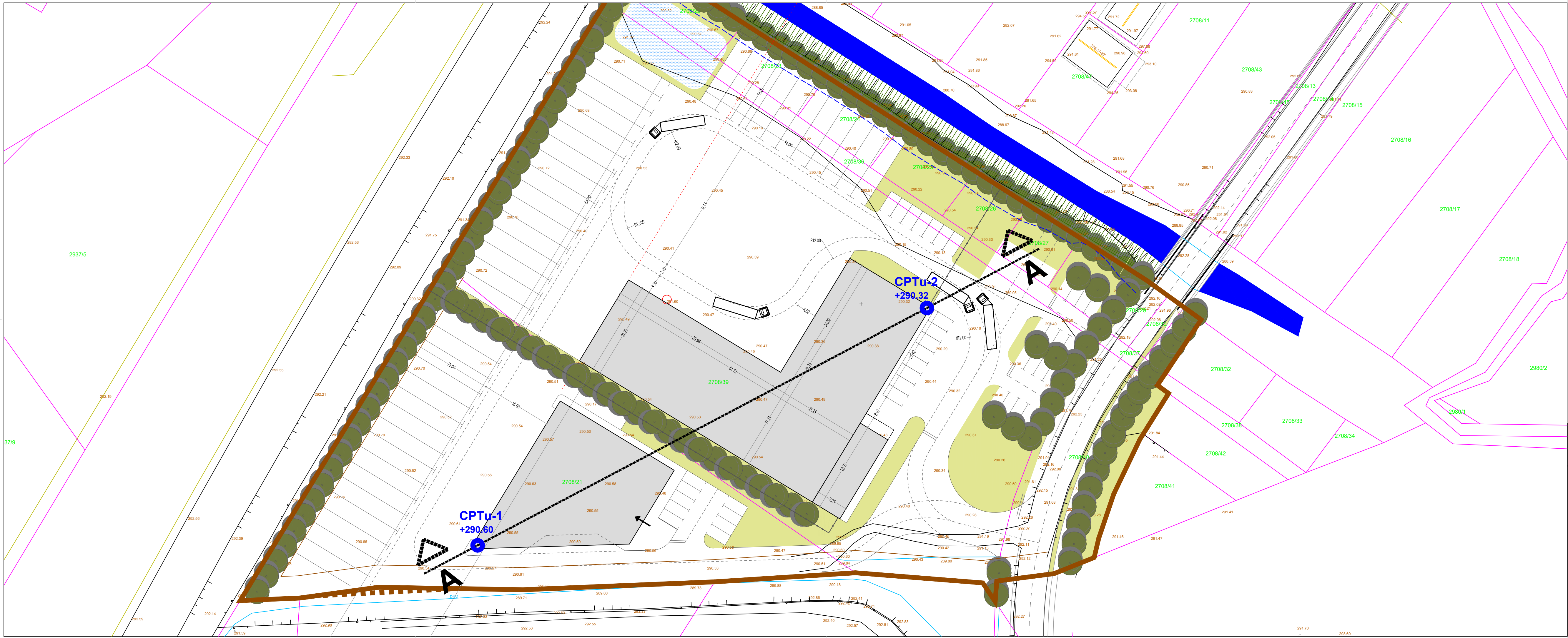
Za izvedbo predobremenitve in/ali pilotiranja je potrebno izdelati ustrezen načrt.

Ob izvedbi del temeljenja je potreben geotehnični nadzor.

Gorazd STRNIŠA, univ.dipl.inž.grad.

PRILOGA

1 SITUACIJA



LEGENDA:

 - Statična konusna penetracija

±0.00 = +292.00 m NMV



SLP d.o.o. Ljubljana
Specializirane podjetje za temeljenje objektov

SLP d.o.o. Ljubljana
Ulica Gradnikove brigade 4, SI-1000 Ljubljana
Tel.: +386 1 544 12 80; e-mail: contact@slp-pile.com

INVESTITOR: SISTEKO d.o.o., Obrtna cona Logatec 34, SI-1370 Logatec

OBJEKT/PROJEKT: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO

RISBA: SITUACIJA

ODG. VODJA PROJ.: _____ G-1623

ODG. PROJEKTANT: Gorazd STRNIŠA, univ.dipl.inž.gradb. G-1623

SODELAVEC: Ivan LESJAK, univ.dipl.inž.gradb. G-1625

SODELAVEC: Matevž LESJAK

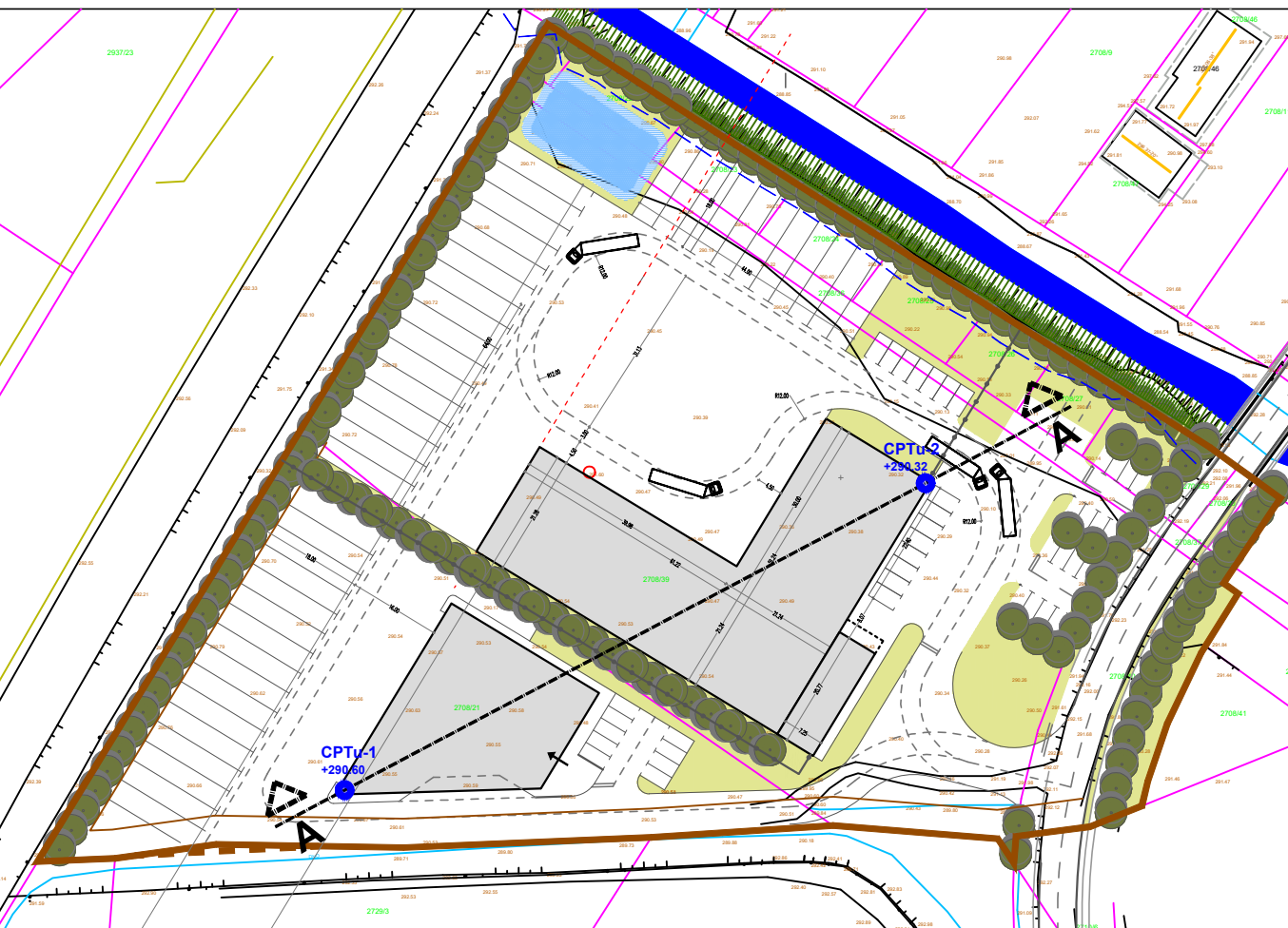
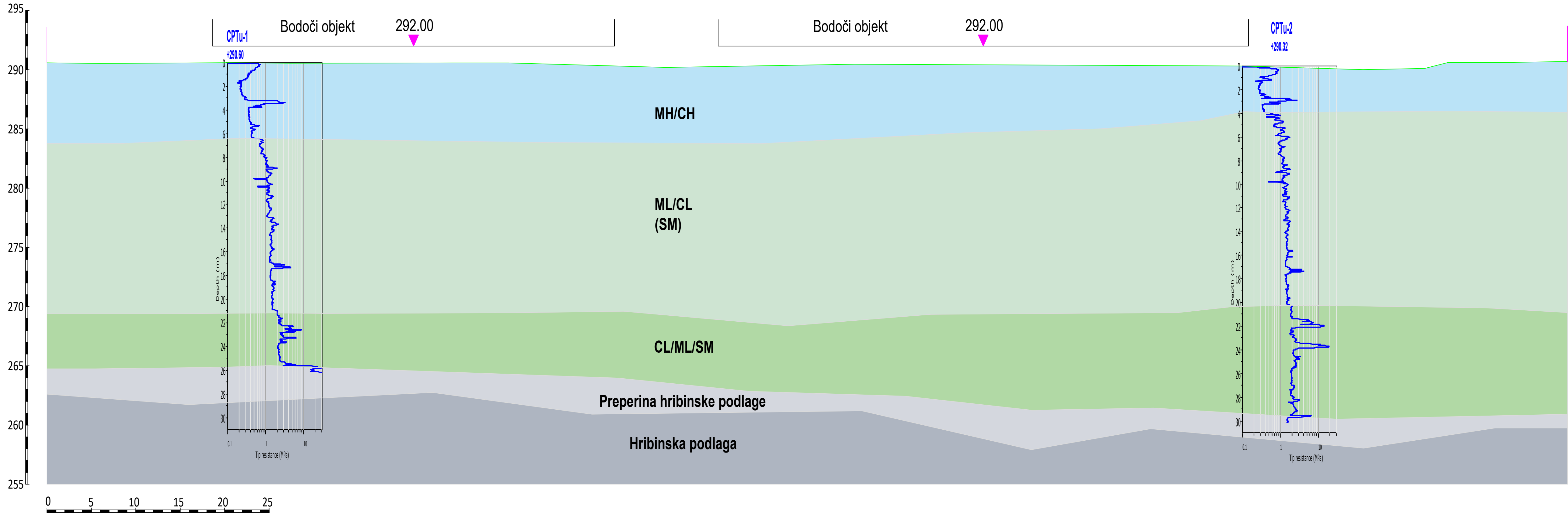
ŠT. PROJEKTA: _____ FAZA: OPPN IDENTIF. ŠT.: _____

ŠT. NAČRTA: GEO014-01-2024 DATUM: MAREC 2024 MERILO: 1:500

ŠT. LISTA: 1

PRILOGA
1 PREREZ A-A

PRESEK A-A



LEGENDA:

○ - Statična konusna penetracija

±0.00 = +292.00 m NMV



SLP d.o.o. Ljubljana
Specializirane podjetje za temeljenje objektov

SLP d.o.o. Ljubljana
Ulica Gradnikove brigade 4, SI-1000 Ljubljana
Tel.: +386 1 544 12 80; e-mail: contact@slp-pile.com

INVESTITOR: SISTEKO d.o.o., Obrtna cna Logatec 34, SI-1370 Logatec

OBJEKT/PROJEKT: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

NAČRT: GEOTEHNIČNO POROČILO

RISBA: PRESEK A-A

ODG. VODJA PROJ.: _____ G-1623

ODG. PROJEKTANT: Gorazd STRNIŠA, univ.dipl.inž.gradb. _____

SODELAVEC: Ivan LESJAK, univ.dipl.inž.gradb. _____ G-1625

SODELAVEC: Matevž LESJAK _____

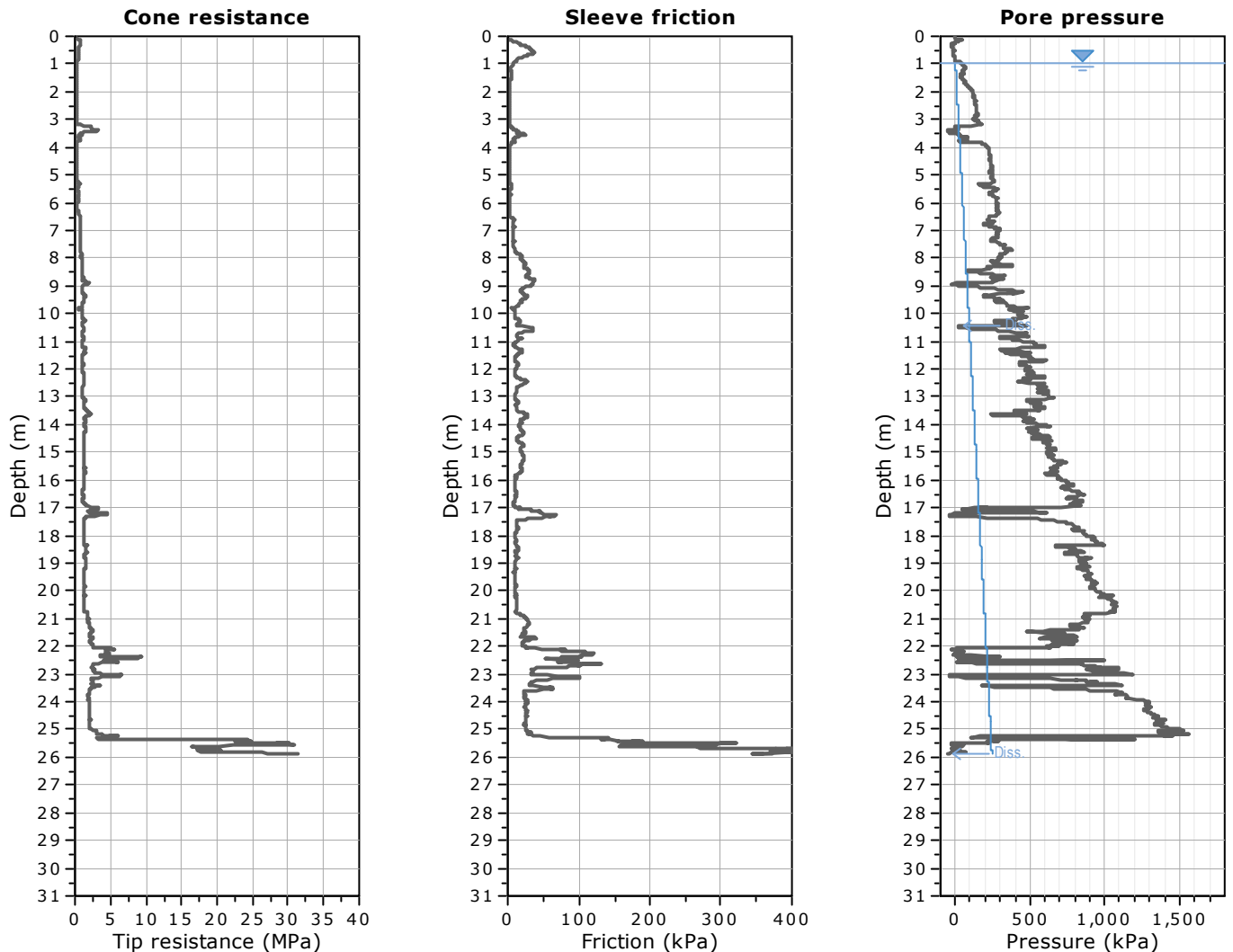
ST. PROJEKTA: _____ FAZA: OPPN IDENTIF. ŠT.: _____

ST. NAČRTA: GEO014-01-2024 DATUM: MAREC 2024 MERILO: 1:200

ST. LISTA: 2

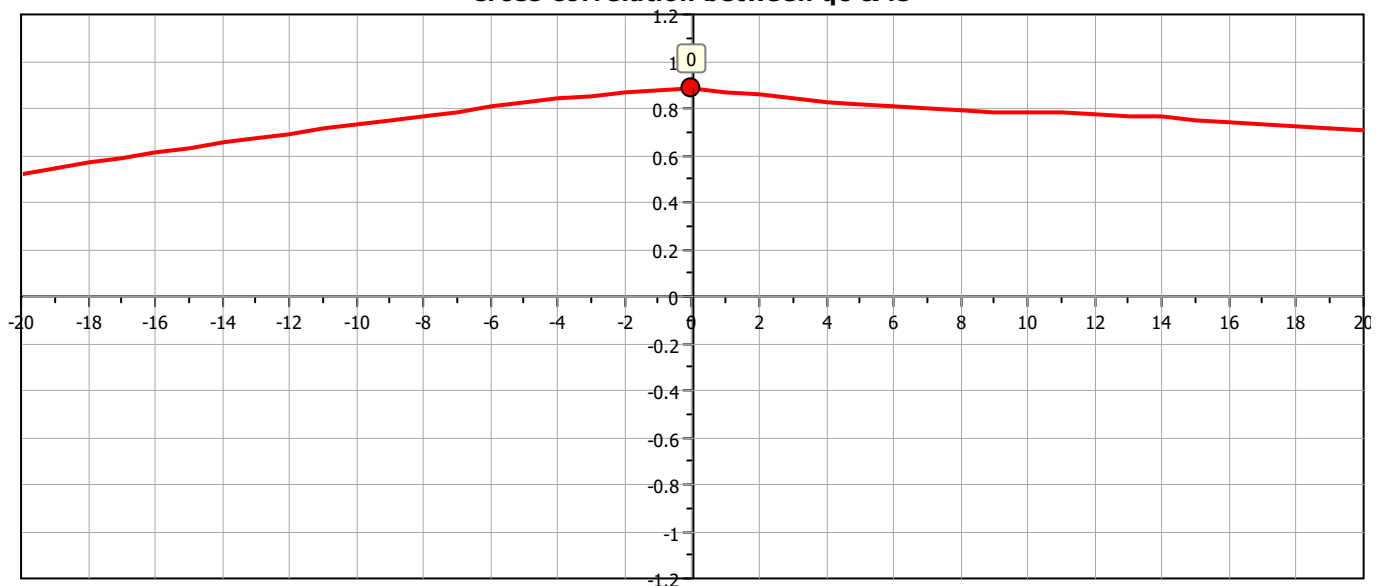
PRILOGA

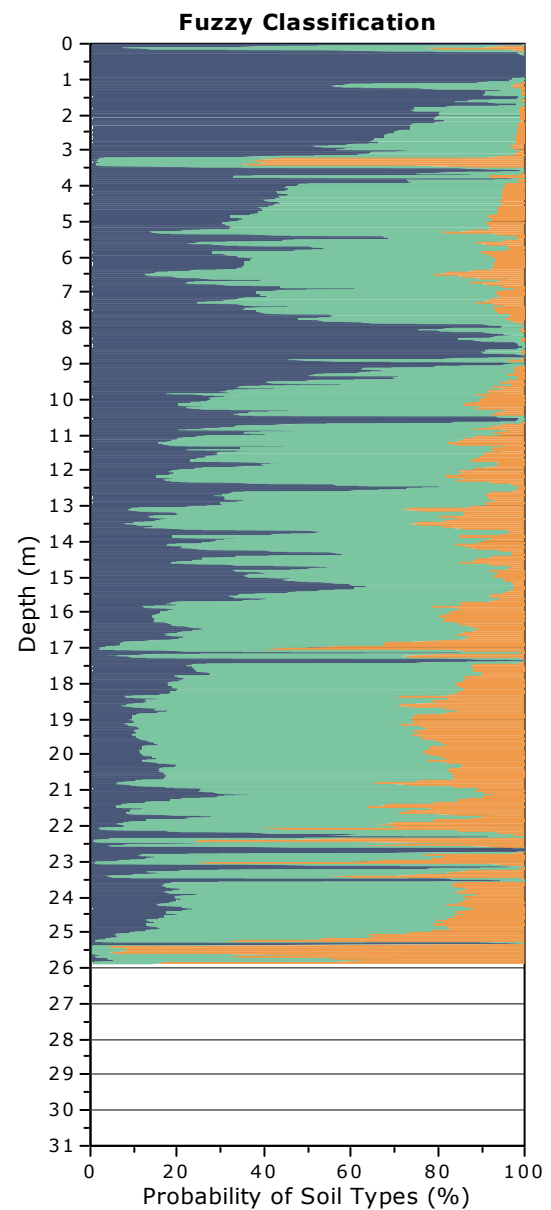
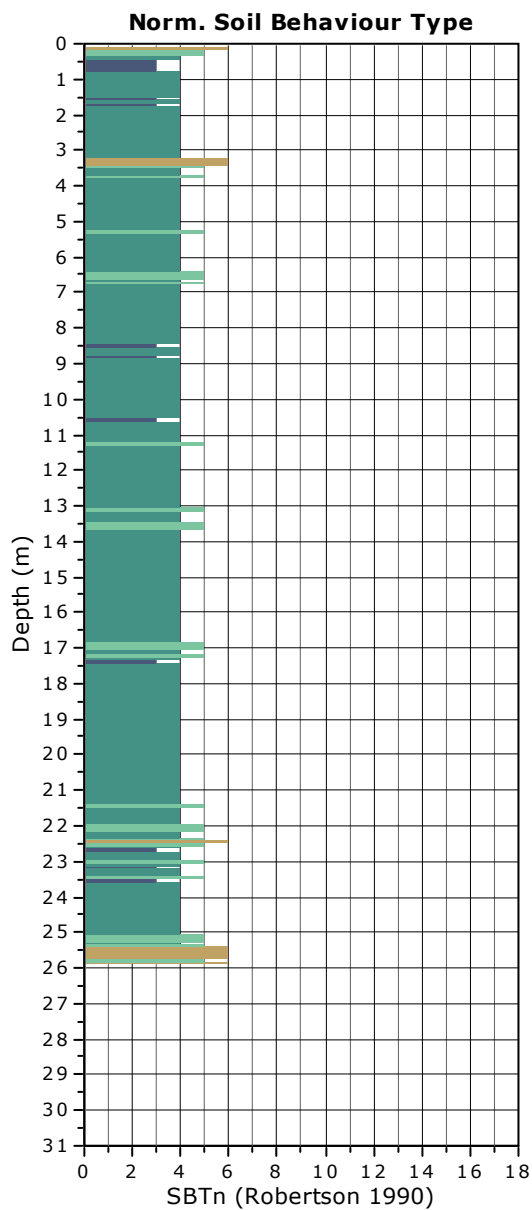
3 REZULTATI RAZISKAV TAL



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between q_c & f_s



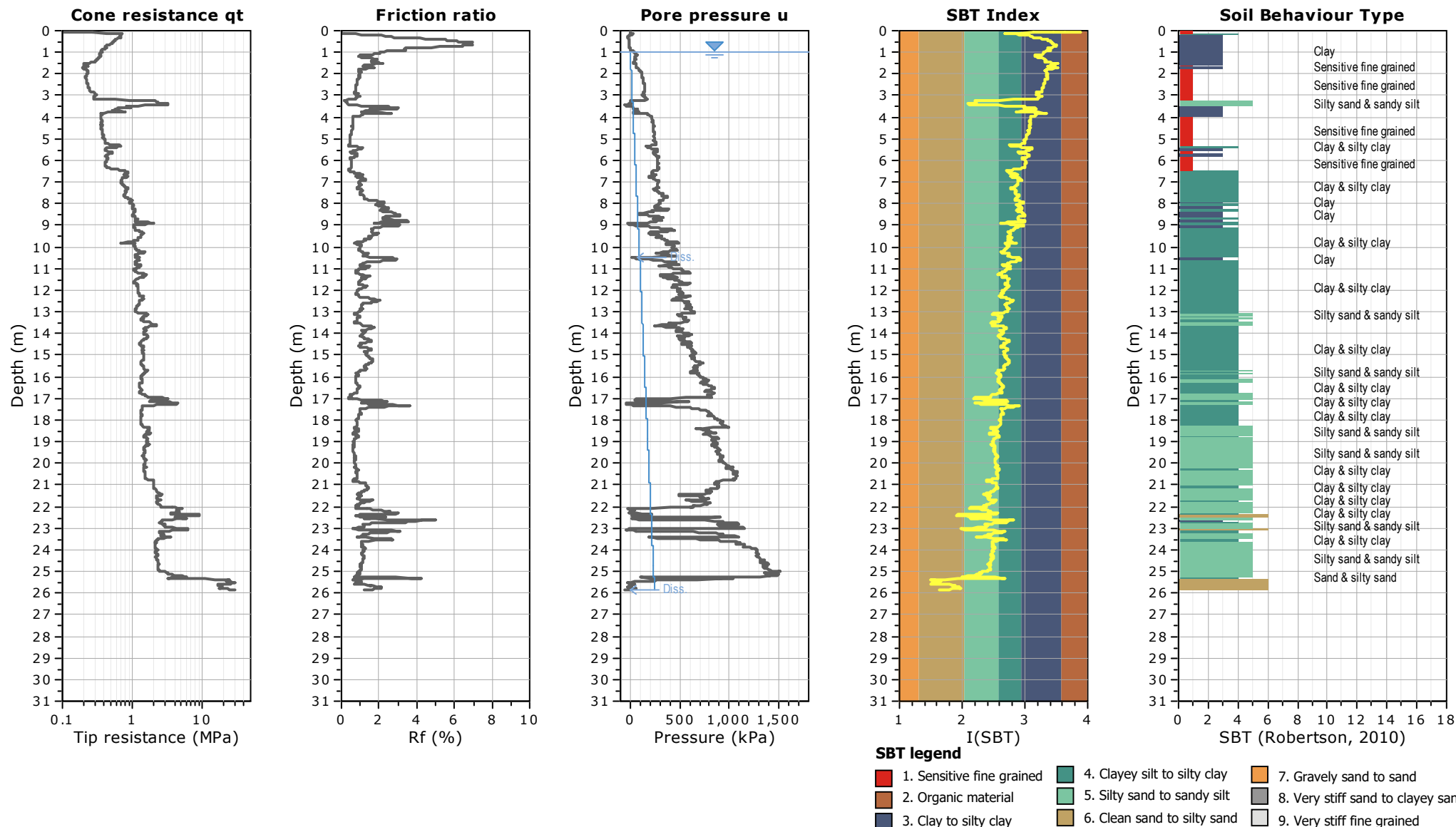


Fuzzy classification legend

- Highly probable clayey soil
- Highly probable mixture soil
- Highly probable sandy soil

Project: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

Location: Obrtna cona Tojnice - Vrhnika



Project: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

Location: Obrtna cona Tojnice - Vrhnika

Dissipation Tests Results

Dissipation tests

Dissipation tests consists of stopping the piezocone penetration and observing porepressures (u) with elapsed time (t). The data are automatic recorded by the field computer and should take place until a minimum of 50% dissipation.

The porepressures are plotted as a function of square root of (t). The graphical technique suggested by Robertson and Campanella (1989), yields a value for t_{50} , which corresponds to the time for 50% consolidation.

The value of the coefficient of consolidation in the radial or horizontal direction c_h was then calculated by Houlsby and Teh's (1988) theory using the following equation:

$$c_h = \frac{T \times r^2 \times I_r^{0.5}}{t_{50}}$$

where:

T: time factor given by Houlsby and Teh's (1988) theory corresponding to the porepressure position

r: piezocone radius

I_r : stiffness index, equal to shear modulus G divided by the undrained strength of clay (S_u).

t_{50} : time corresponding to 50% consolidation

Permeability estimates based on dissipation test

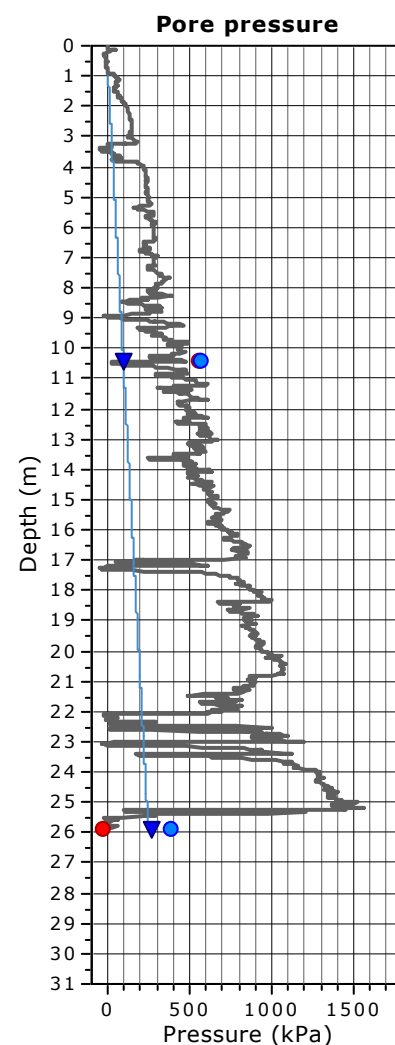
The dissipation of pore pressures during a CPTu dissipation test is controlled by the coefficient of consolidation in the horizontal direction (c_h) which is influenced by a combination of the soil permeability (k_h) and compressibility (M), as defined by the following:

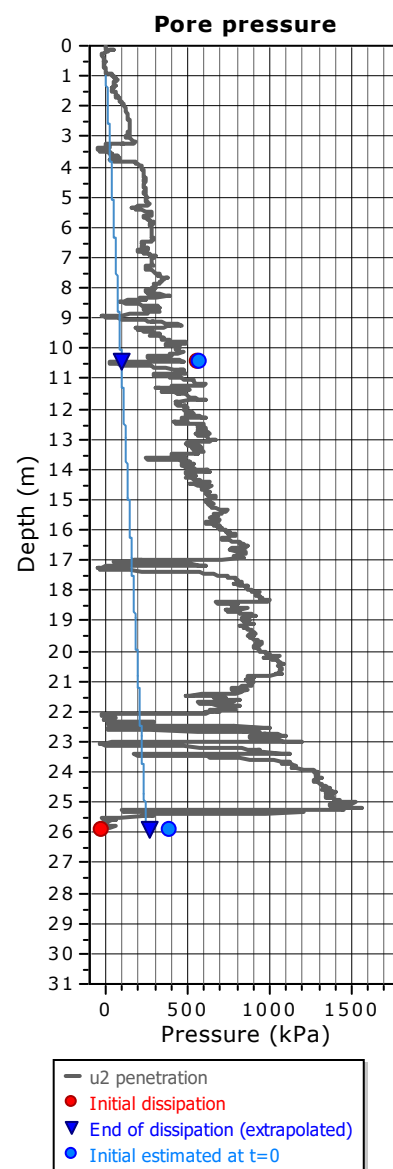
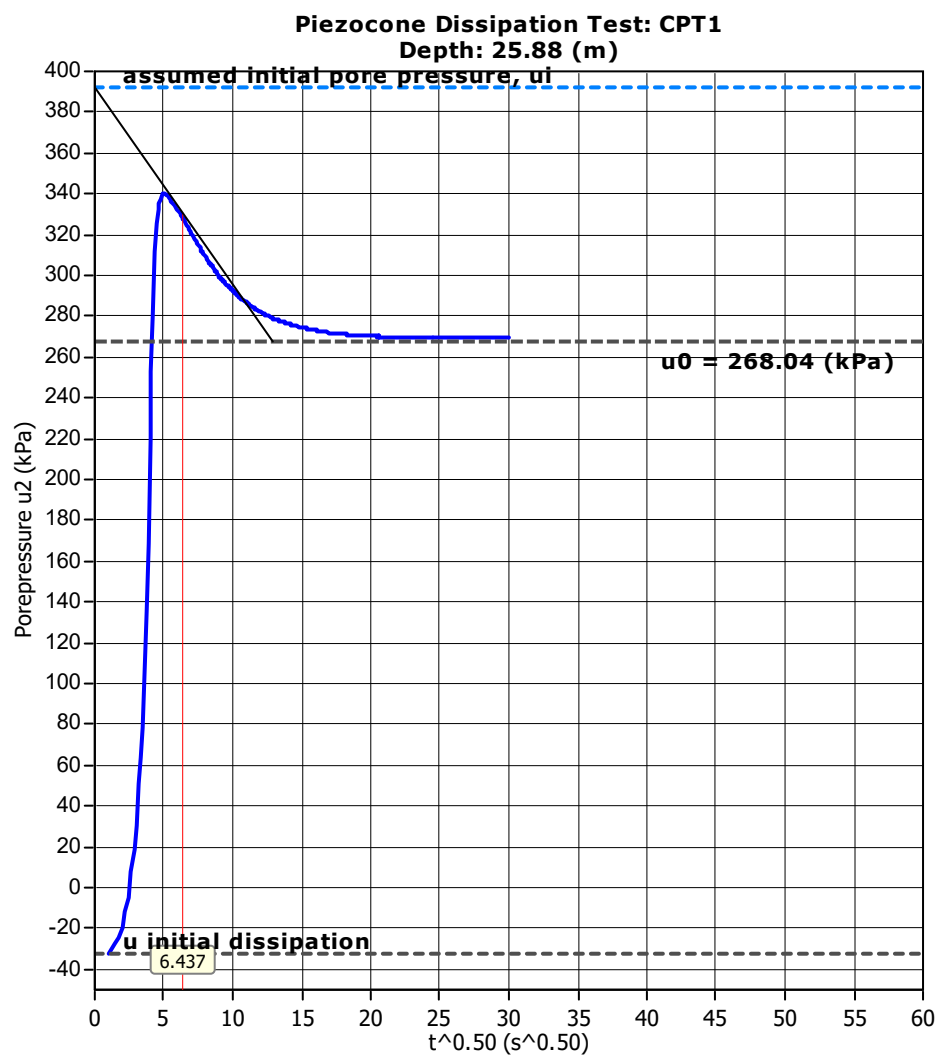
$$k_h = c_h \times \gamma_w / M$$

where: M is the 1-D constrained modulus and γ_w is the unit weight of water, in compatible units.

Tabular results

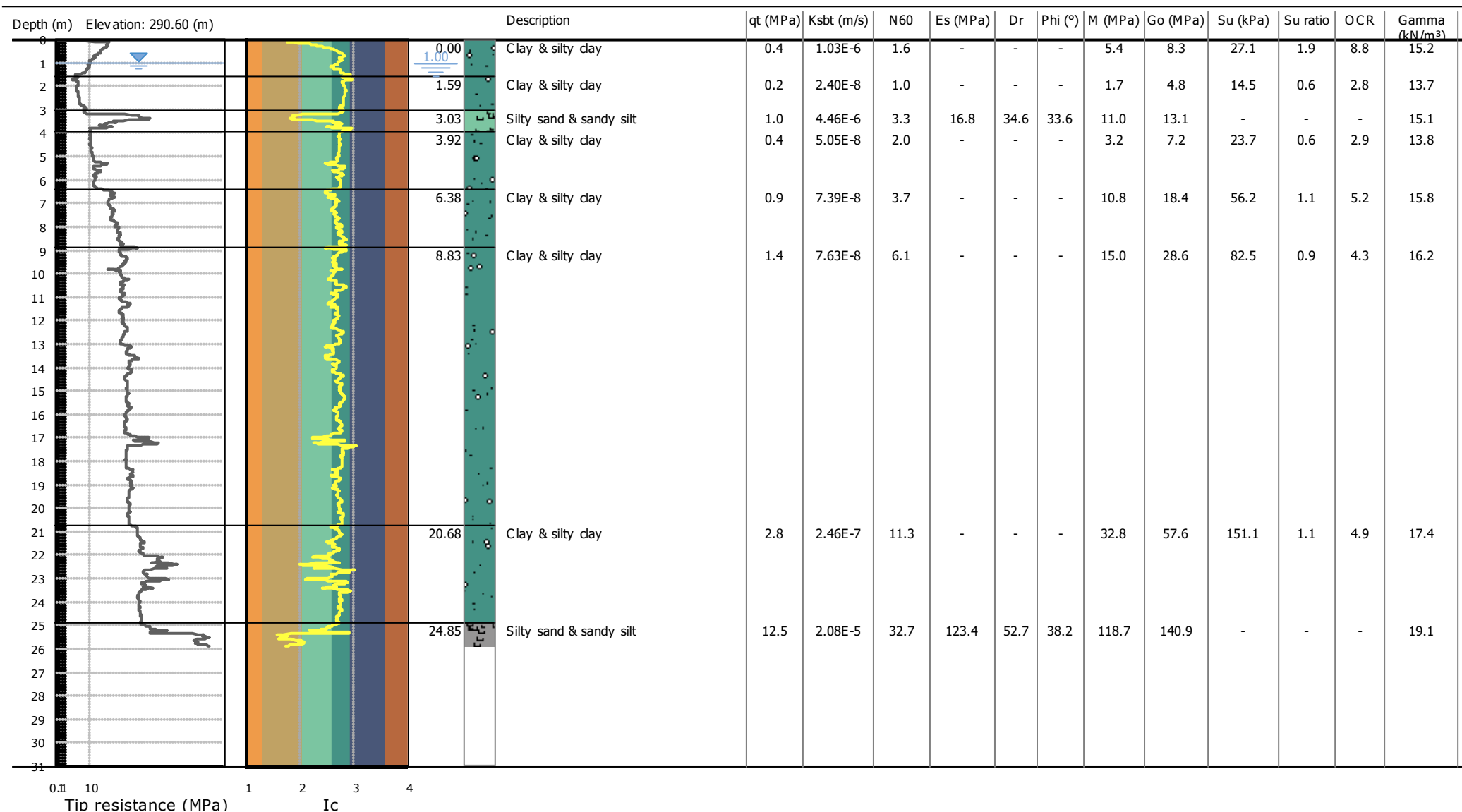
CPTU Borehole	Depth (m)	$(t_{50})^{0.50}$	t_{50} (s)	t_{50} (years)	G/ S_u	c_h (m^2/s)	c_h ($m^2/year$)	M (MPa)	k_h (m/s)
CPT1	10.47	36.7	1347	4.27E-005	364.36	1.16E-006	37	13.66	8.35E-010
CPT1	25.88	6.4	41	1.31E-006	100.00	1.98E-005	625	232.78	8.35E-010

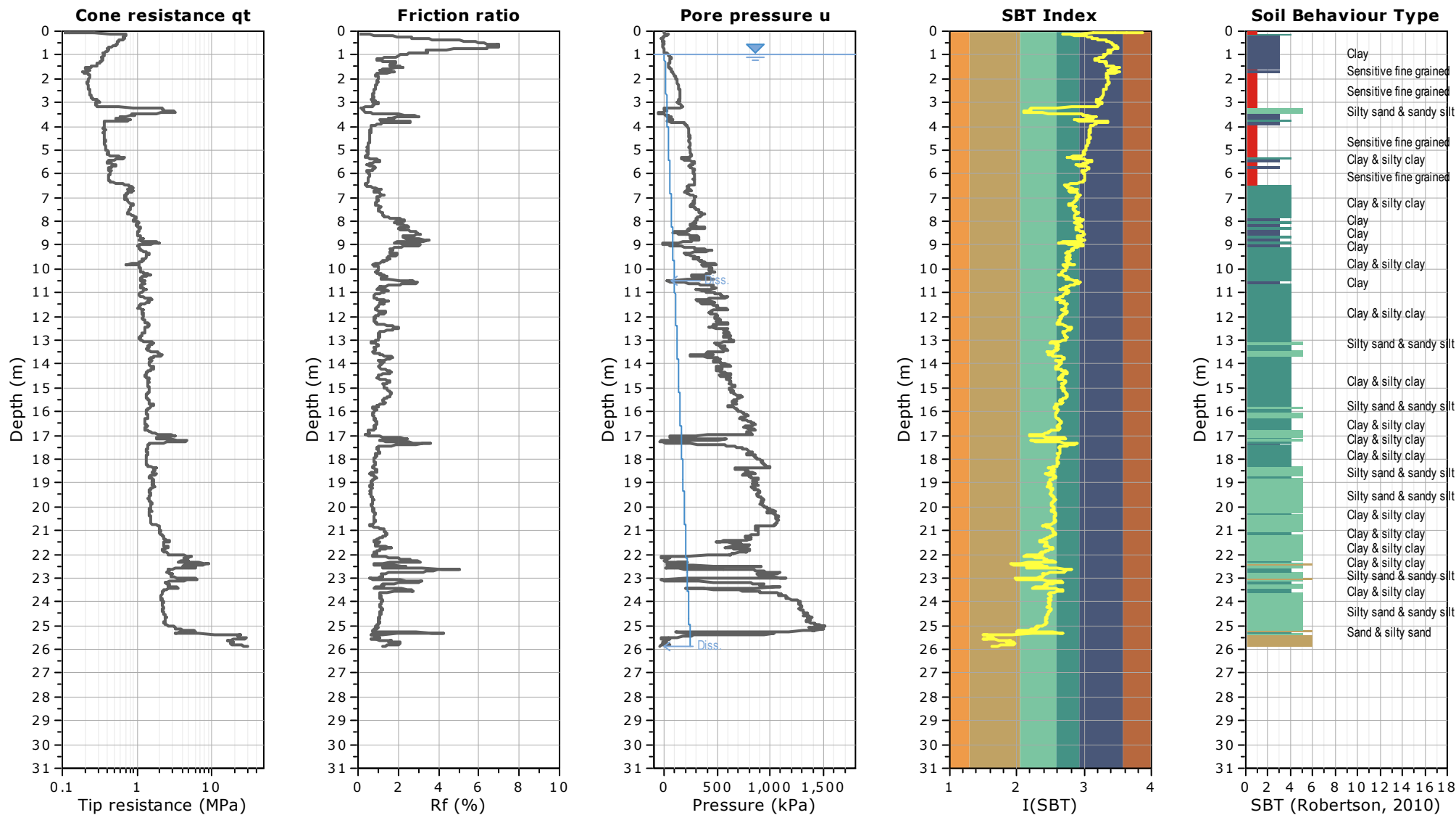


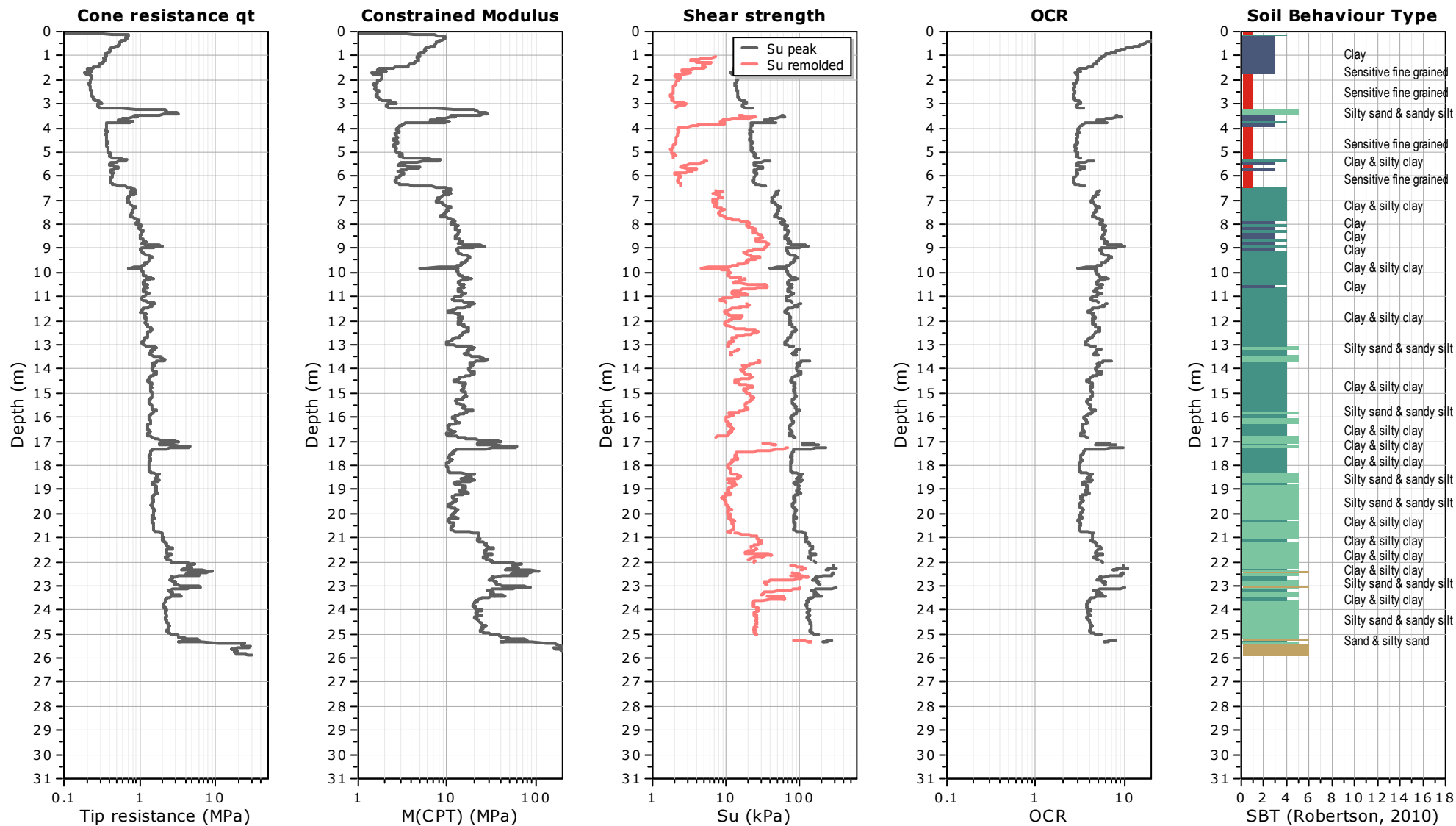


Project: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

Location: Obrtna cona Tojnice - Vrhnika

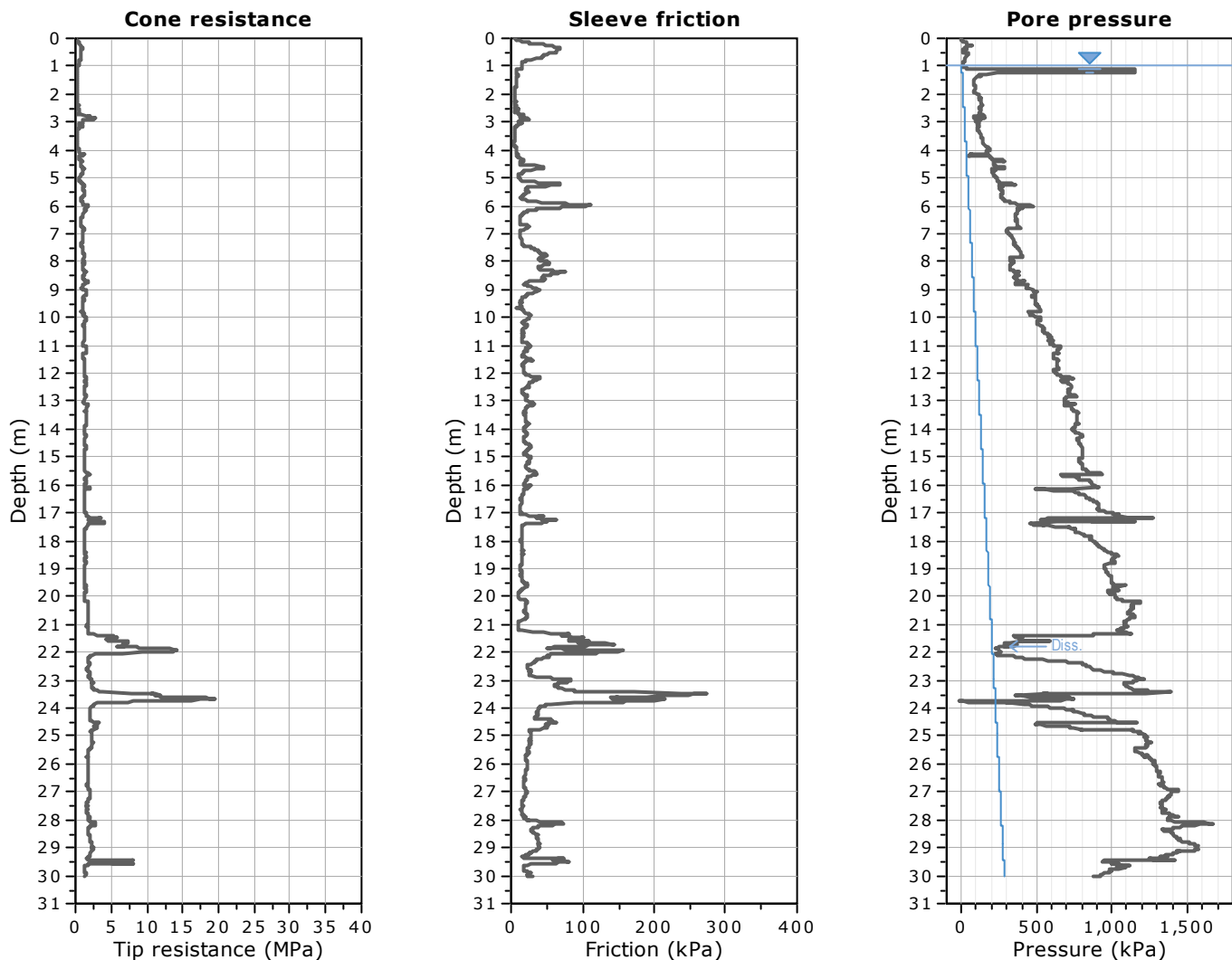






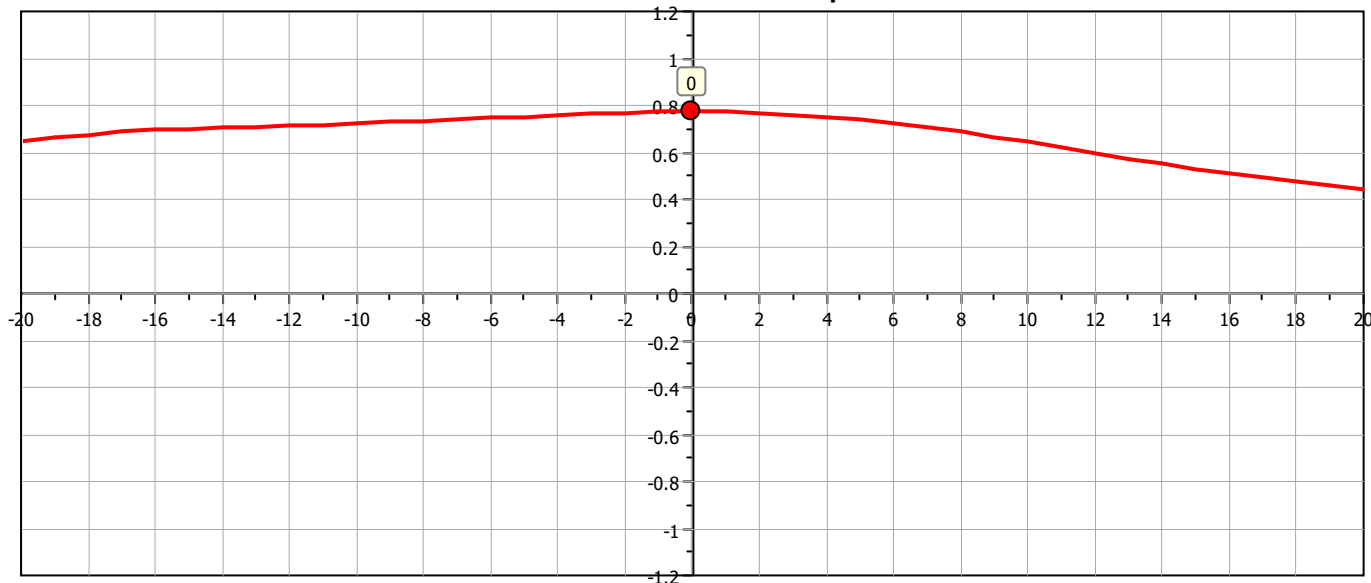
Project: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

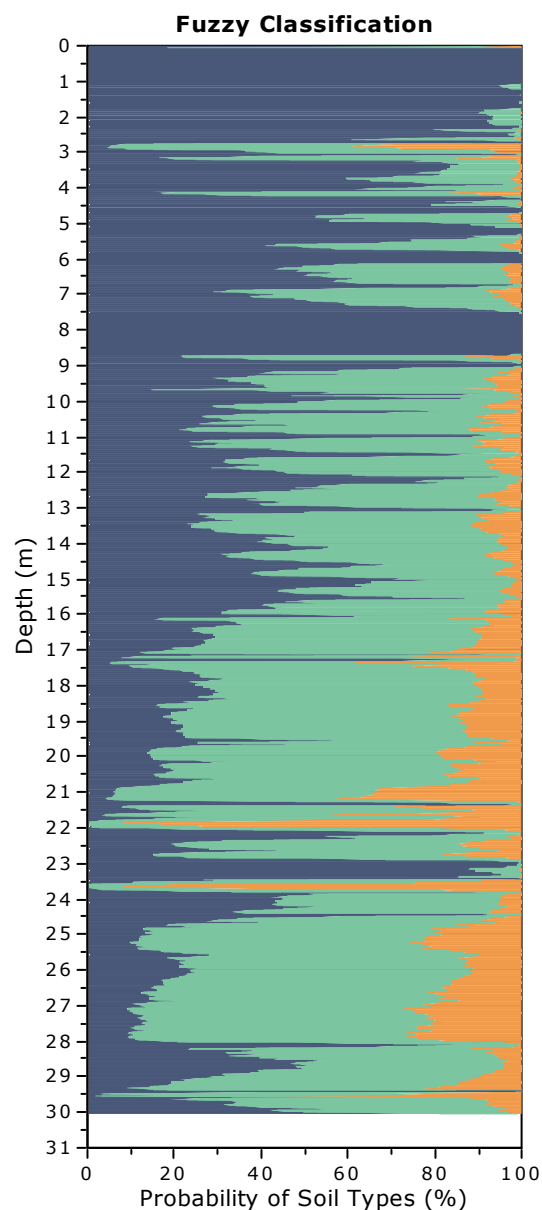
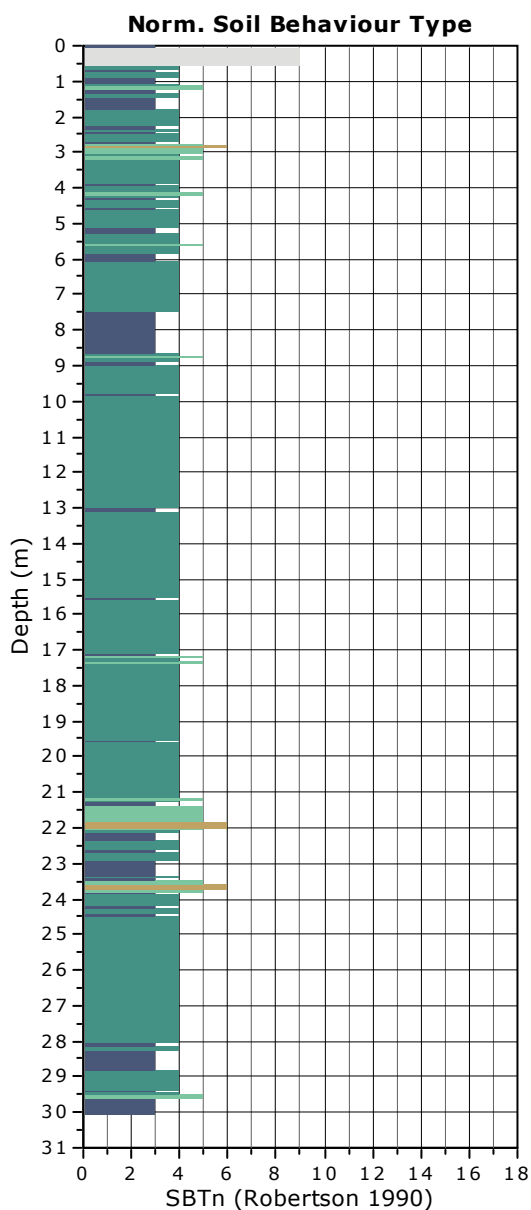
Location: Obrtna cona Tojnice - Vrhnika



The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between q_c & f_s



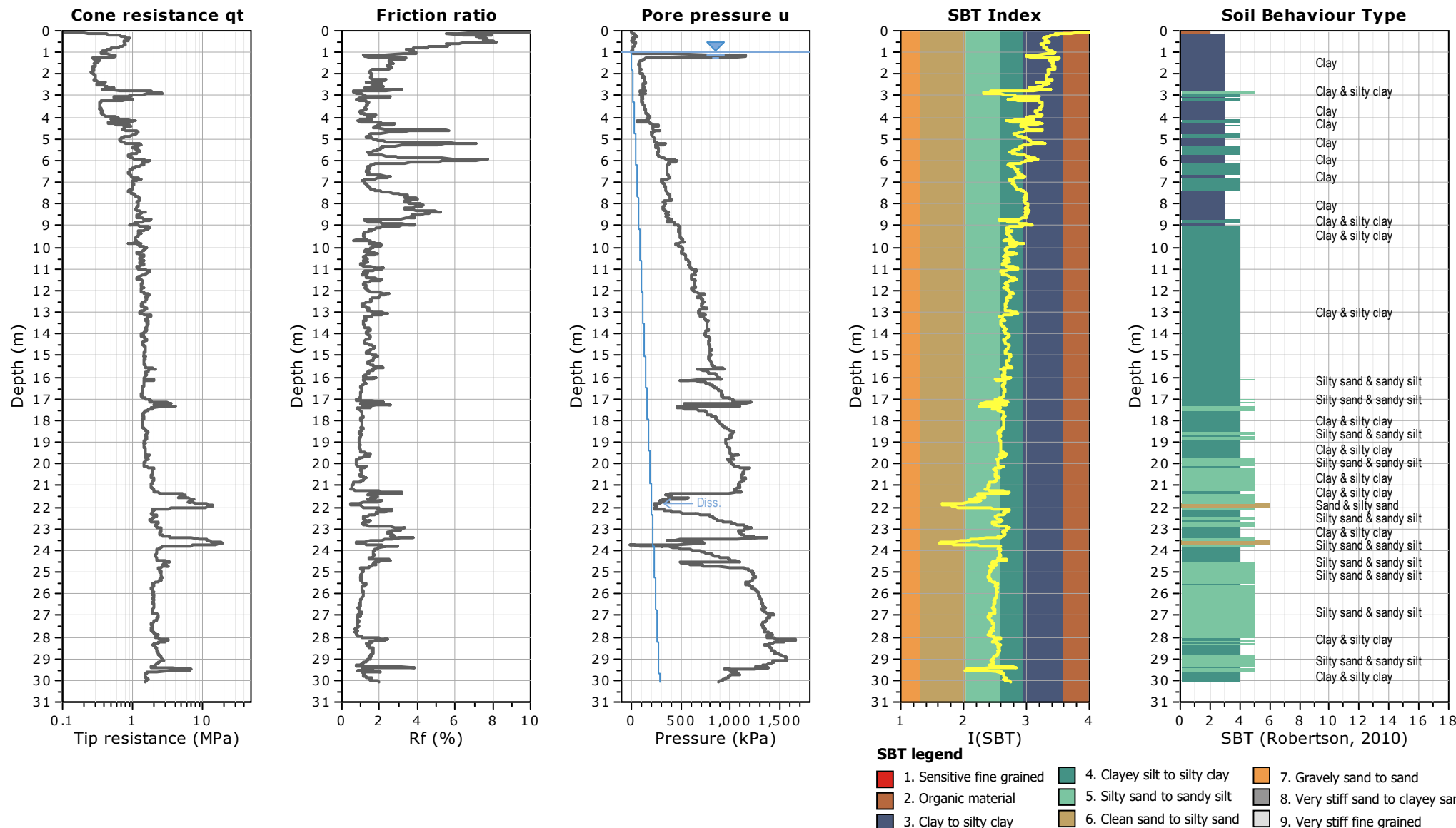


Fuzzy classification legend

- Highly probable clayey soil
- Highly probable mixture soil
- Highly probable sandy soil

Project: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

Location: Obrtna cona Tojnice - Vrhnika



Project: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

Location: Obrtna cona Tojnice - Vrhnika

Dissipation Tests Results

Dissipation tests

Dissipation tests consists of stopping the piezocone penetration and observing porepressures (u) with elapsed time (t). The data are automatic recorded by the field computer and should take place until a minimum of 50% dissipation.

The porepressures are plotted as a function of square root of (t). The graphical technique suggested by Robertson and Campanella (1989), yields a value for t_{50} , which corresponds to the time for 50% consolidation.

The value of the coefficient of consolidation in the radial or horizontal direction c_h was then calculated by Houlsby and Teh's (1988) theory using the following equation:

$$c_h = \frac{T \times r^2 \times I_r^{0.5}}{t_{50}}$$

where:

T : time factor given by Houlsby and Teh's (1988) theory corresponding to the porepressure position

r : piezocone radius

I_r : stiffness index, equal to shear modulus G divided by the undrained strength of clay (S_u).

t_{50} : time corresponding to 50% consolidation

Permeability estimates based on dissipation test

The dissipation of pore pressures during a CPTu dissipation test is controlled by the coefficient of consolidation in the horizontal direction (c_h) which is influenced by a combination of the soil permeability (k_h) and compressibility (M), as defined by the following:

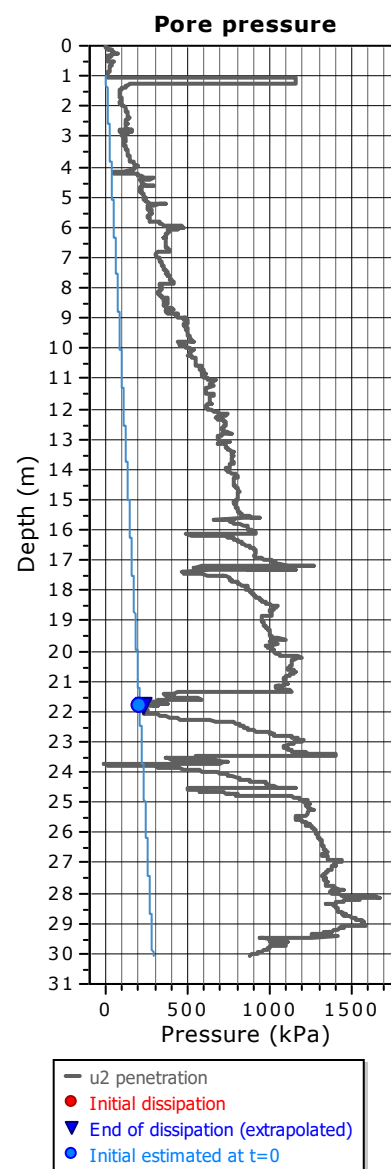
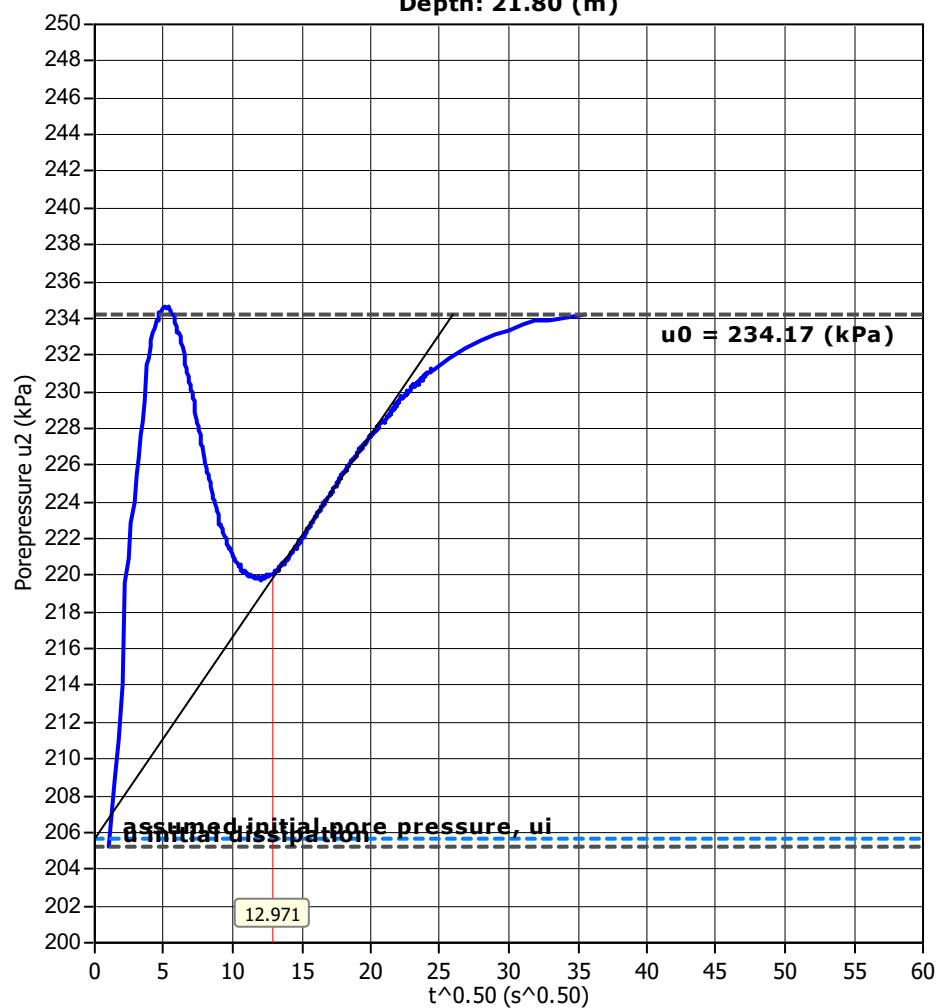
$$k_h = c_h \times \gamma_w / M$$

where: M is the 1-D constrained modulus and γ_w is the unit weight of water, in compatible units.

Tabular results

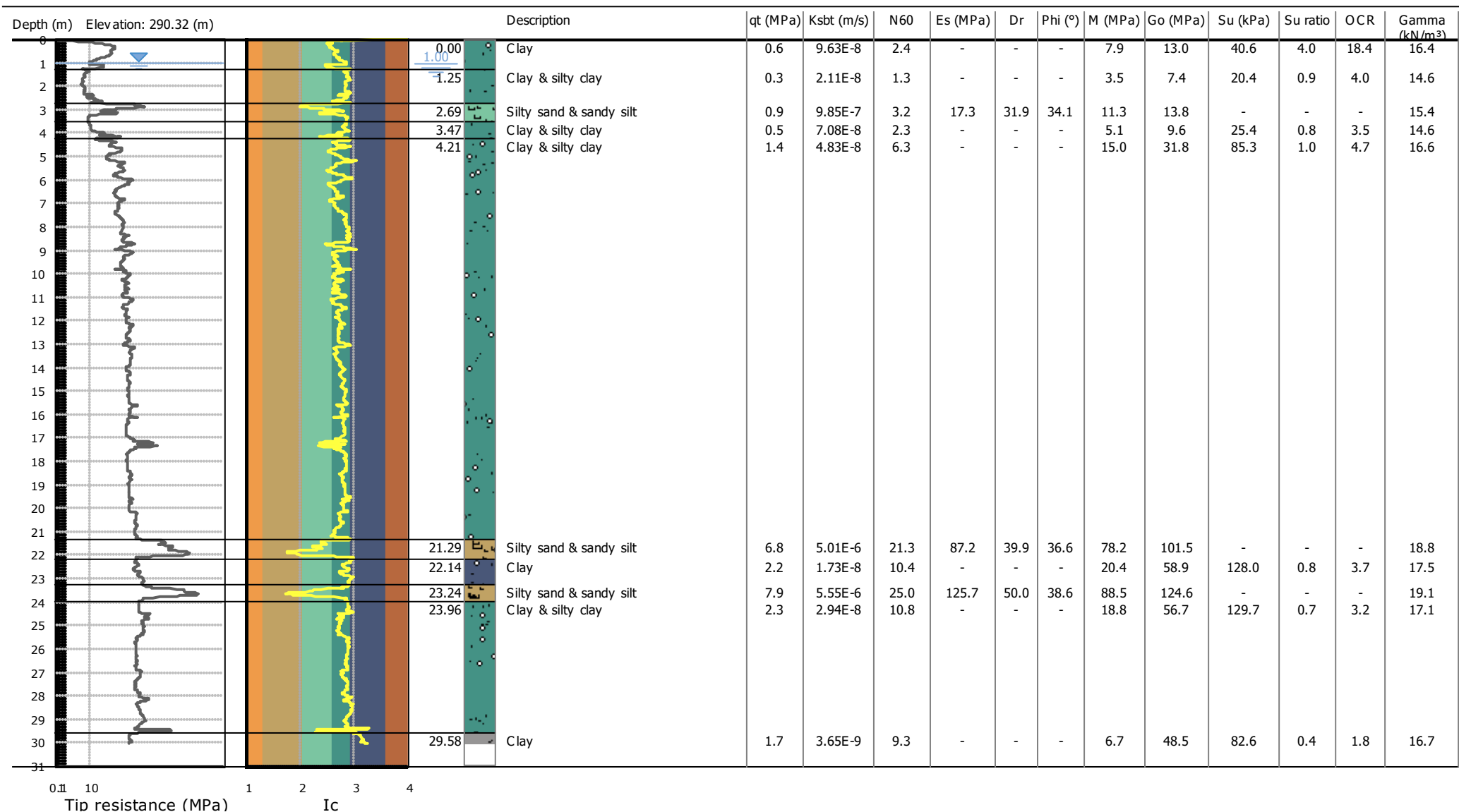
CPTU Borehole	Depth (m)	$(t_{50})^{0.50}$	t_{50} (s)	t_{50} (years)	G/S_u	c_h (m^2/s)	c_h ($m^2/year$)	M (MPa)	k_h (m/s)
CPT2	21.80	13.0	168	5.33E-006	100.00	4.88E-006	154	95.41	5.01E-010

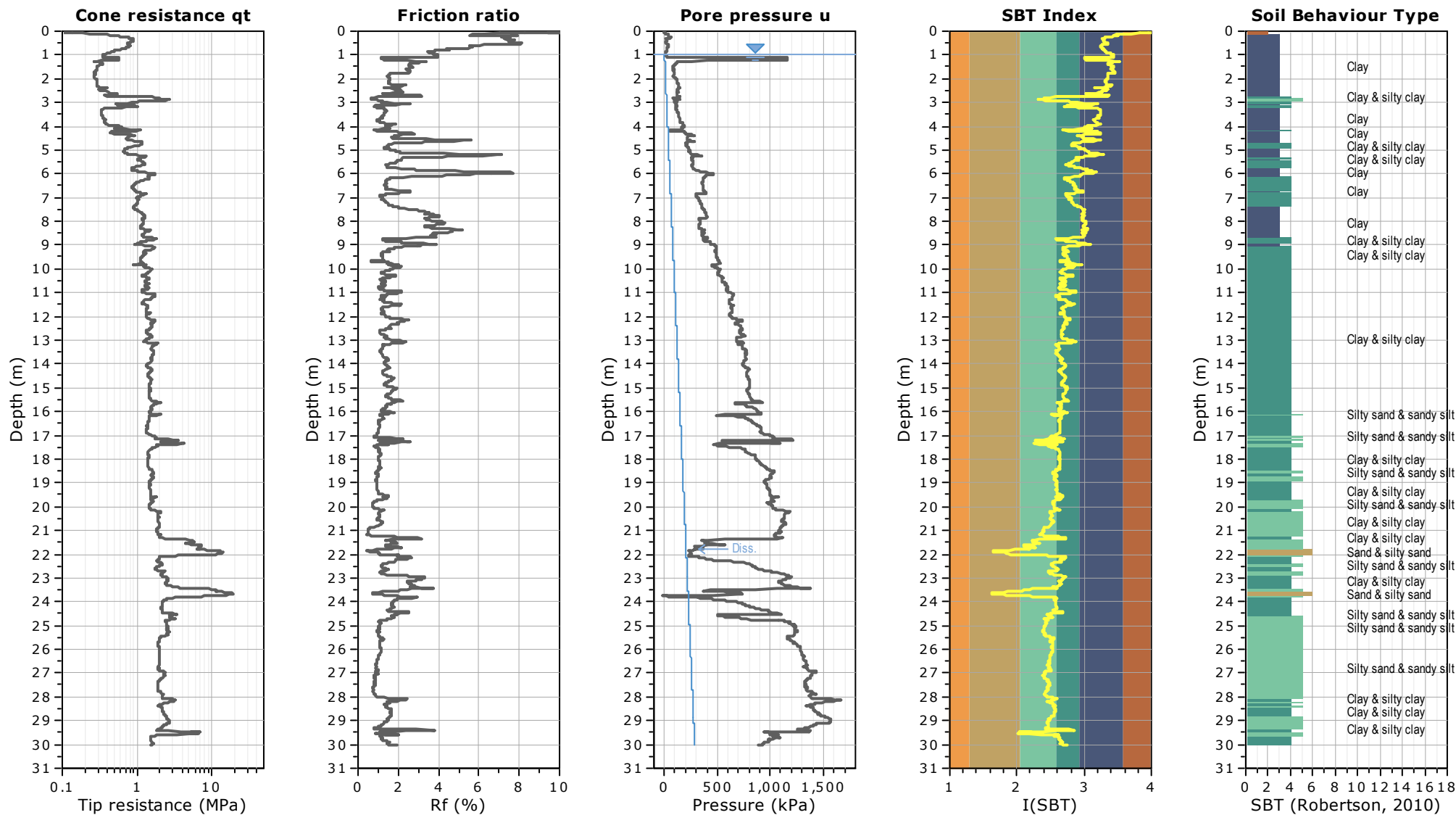
Piezocone Dissipation Test: CPT2 Depth: 21.80 (m)

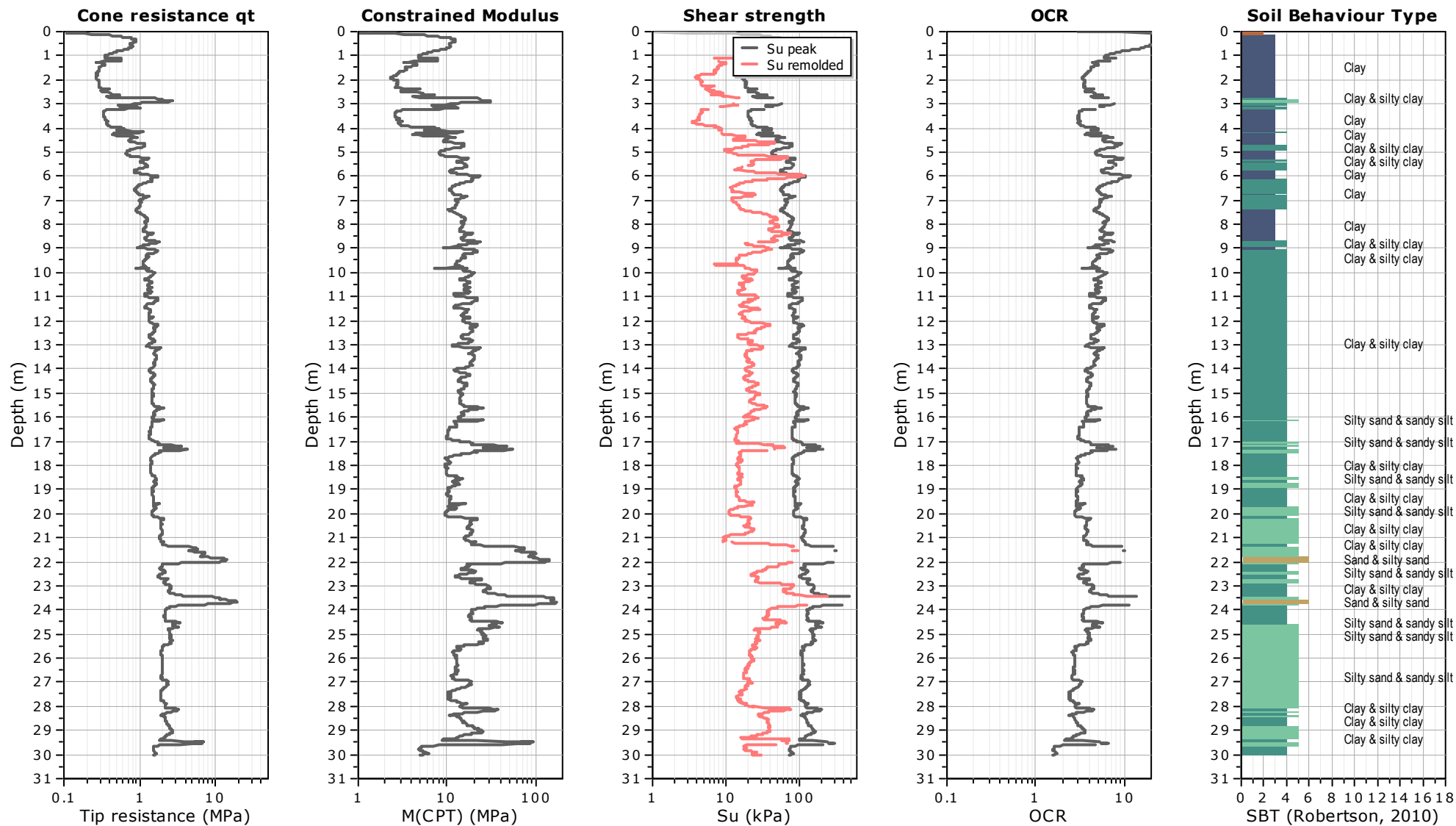


Project: INDUSTRIJSKA HALA "SISTEKO"

Location: Obrtna cona Tojnice - Vrhnika







Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952 - 3.04 \cdot I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52 - 1.37 \cdot I_c}$$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268 - 0.2817 \cdot I_c}}$$

:: Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Relative Density, Dr (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to } SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8 \text{ or } I_c < I_{c_cutoff})$$

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

:: Drained Friction Angle, ϕ (°) ::

$$\phi = \phi'_{cv} + 15.94 \cdot \log(Q_{tn,cs}) - 26.88$$

(applicable only to $SBT_n: 5, 6, 7 \text{ and } 8 \text{ or } I_c < I_{c_cutoff}$)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$

$\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$

$\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$

$$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$$

If $I_c \geq 2.20$

$$M_{CPT} = 0.03 \cdot (q_t - \sigma_v) \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, $S_{u(rem)}$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to } SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff})$$

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{\sin \phi'}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to $SBT_n: 1, 2, 3, 4 \text{ and } 9 \text{ or } I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Peak Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)
- N Barounis, J Philpot, Estimation of in-situ water content, void ratio, dry unit weight and porosity using CPT for saturated sands, Proc. 20th NZGS Geotechnical Symposium

PRILOGA

4 FOTOGRAFIJE

