

Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Diplomski sveučilišni studij

Smjer: **GEOTEHNIKA**

Eurokod 7

Svojstva temeljnog tla

Geotehnički model

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Građevinski fakultet Zagreb

Kolegij: Geotehničko inženjerstvo

- ▶ 1. Uvod
- ▶ 2. Eurokod 7: norma geotehničkog projektiranja
- ▶ 3. Plitki temelji
- ▶ 4. Stabilnost prirodnih i umjetnih kosina
- ▶ 5. Potporne konstrukcije
- ▶ 6. Duboki temelji / Temelji na pilotima
- ▶ 7. Zemljane građevine - nasipi i brane
- ▶ 8. Uvod u seizmičko geotehničko inženjerstvo

Osnove geotehničkog inženjerstva

organiziran , sustavan i temeljit (**transparentan**) pristup rješavanju problema-put EUROCODA 7

- istražni radovi, svojstva tla i stijene
- geometrija slojeva
- voda u tlu

Profil tla

Burlandov
"geotehnički trokut "

ISKUSTVO

Mehaničko ponašanje tla

- pokusi
- ispitivanja
- mjerenja na terenu

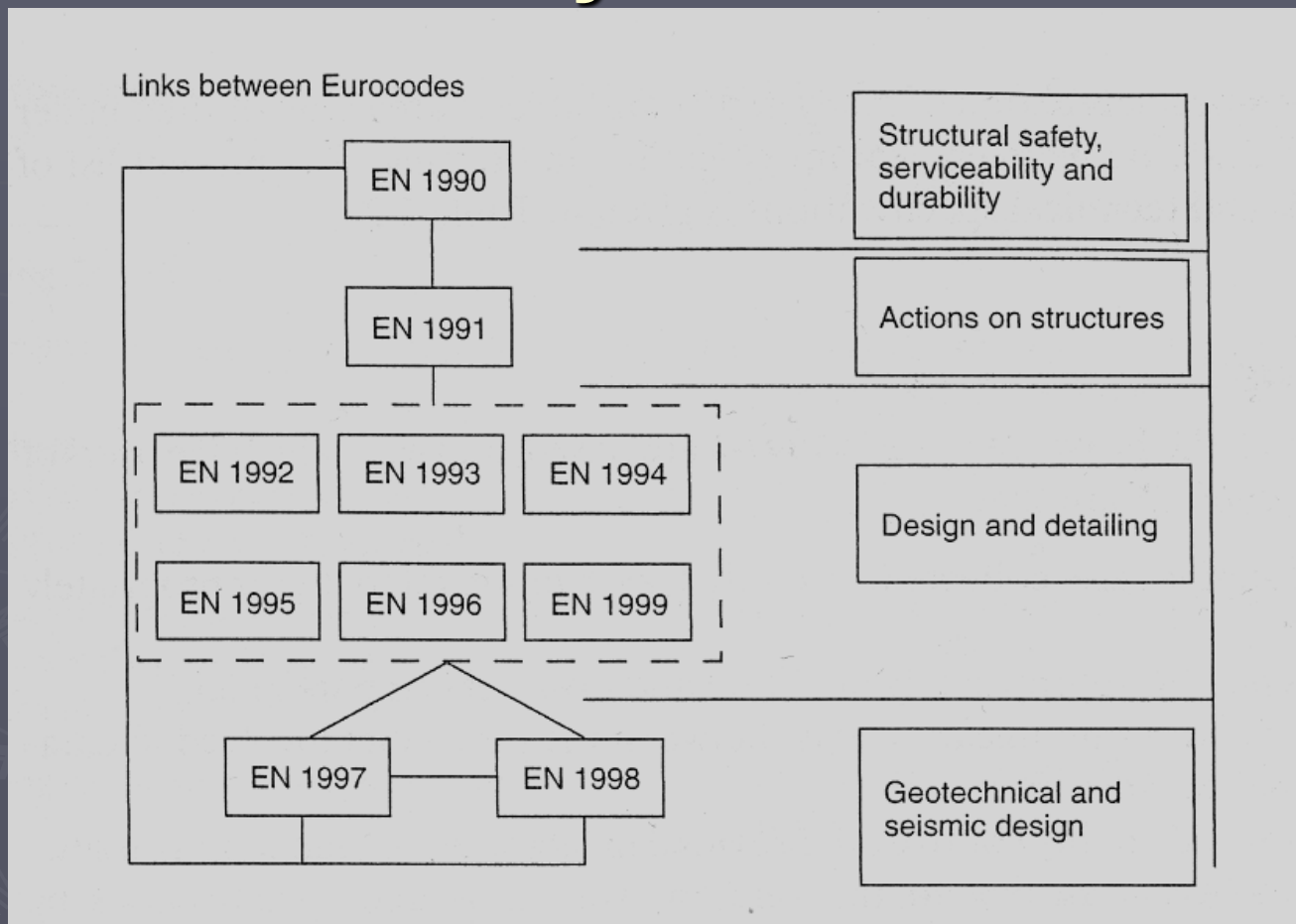
Primijenjena mehanika

- idealizacije
- modeliranje
- analize

Sustav eurokodova

EN	kra.	opis
1990	EC0	Osnove projektiranja -dimenzioniranja
1991	EC1	Djelovanja na konstrukcije
1992	EC2	Dimenzioniranje betonskih konstrukcija
1993	EC3	Dimenzioniranje čeličnih konstrukcija
1994	EC4	Dimenzioniranje spregnutih konstrukcija
1995	EC5	Dimenzioniranje drvenih konstrukcija
1996	EC6	Dimenzioniranje zidanih konstrukcija
1997	EC7	Geotehničko projektiranje
1998	EC8	Dimenzioniranje konstrukcija na potres
1999	EC9	Dimenzioniranje alumin. konstrukcija

Pregled Eurokodova i veza među njima



Eurokod 7

kratica

naziv

EC7 1	Geotehničko projektiranje, 1. dio: Opća pravila; HRN EN 1997-1: 2008 (engl.)
EC7 2	Geotehničko projektiranje, 2. dio: Istraživanje i ispitivanje temeljnog tla ; HRN ENV 1997-2: 2008 (engl.)

Europska normizacija

Design Standards: the Eurocodes

Construction Product Standards:
steel, concrete, structural bearings,
barriers, parapets, etc.

European Technical Approvals:
expansion joints, prestressing
tendons, etc.

Execution standards: execution of concrete and steel structures, etc.

Test standards: testing of concrete, masonry units, fire tests, etc.

European standards family

Referentni standardi - Geotehnička istraživanja 2003-2007

EN ISO	Opis – norme u izradi (broj dijelova)
14688, -89	Identifikacija i klasifikacija tla i stijena (3)
22475	Bušenje, uzorkovanje, podzemna voda, kvalifikacije i certifikacija firmi (2)
22476	Terenski pokusi (11)
22477	Ispitivanja pilota, sidara, plitkih temelja, čavlanog i armiranog tla (5)
****	Laboratorijski pokusi (11)

Referentni standardi - Izvedba posebnih geotehničkih radova

EN 1536	bušeni piloti , 1999
EN 1537	sidra u tlu , 2000
EN 1538	Dijafragme, 2000
EN 12063	stijene od talpi , 1999
EN 12699	Displacement piles, "razmičući" piloti, 2001
EN 12715	Injektiranje. 2001
EN 12716	mlazno injektiranje, 2002
EN 14199	mikropiloti, 2005
EN 12794	predgotovljeni betonski piloti , 2005
....,,	dubinsko miješanje, šljunčani piloti (2006), uspravni drenovi (2007), čavljano tlo (u pripremi) , armirano tlo (2006), itd.

Verzije ENV 1997-1994 i EN 1997-2004

ENV 1997 – 1994 (do 2012)

- 1: Općenito
- 2: Osnove geotehničkog projektiranja
- 3: Geotehnički podaci
- 4: Nadzor nad gradnjom, praćenje i održavanje
- 5: Nasipavanje, odvodnjavanje, poboljšavanje i armiranje tla
- 6: Plitki temelji
- 7: Temeljenje na pilotima
- 8: Potporne konstrukcije
- 9: Nasipi i kosine

EN 1997 – 2004

- 1: Općenito
- 2: Osnove geotehničkog projektiranja
- 3: Geotehnički podaci
- 4: Nadzor nad gradnjom, praćenje i održavanje
- 5: Nasipavanje, odvodnjavanje, poboljšavanje i armiranje tla
- 6: Plitki temelji
- 7: Temeljenje na pilotima
8. Sidrenja
- 9: Potporne konstrukcije
10. Hidraulički slom
11. Opća stabilnost lokacije
- 12: Nasipi

Projektiranje po EC 7 - koncept graničnih stanja

- Zadovoljiti sigurnost, uporabivost i trajnost
- Uvažiti složenost i rizik (geotehničke kategorije)
- Primijeniti koncept graničnih stanja:
 - nosivosti (GSN)
 - uporabivosti (GSU)

- Projektiranje:
 - računom
 - iskustvenim mjerama
 - pomoću modela i probnog opterećenja
 - metodom opažanja (Terzaghi, Peck)
- Korištenje suvremenih i provjerenih metoda
- Geotehnički projekt

Određivanje geotehničkog razreda (kategorije)

Geotehnički razred 1

Trebaju biti ispunjeni svi sljedeći uvjeti:

- ▶ Mala i jednostavna konstrukcija
- ▶ Uvjeti u tlu poznati iz usporedivog lokalnog iskustva su dovoljno jednostavni da se mogu rabiti rutinski postupci za projektiranje i izvedbu temeljenja
- ▶ Ako je uključen iskop ispod razine vode usporedivo lokalno iskustvo pokazuje da će biti jednostavan i predvidiv
- ▶ Zanemariv rizik po pitanju globalne stabilnosti i pomaka tla

Određivanje geotehničkog razreda

Geotehnički razredi 2 i 3

▶ Konstrukcija je velika ili neobična	NE 2	DA 3
▶ Uključeni nenormalni rizici	NE 2	DA 3
▶ Neuobičajeni ili izuzetno teški uvjeti u tlu	NE 2	DA 3
▶ Neobična ili izuzetna opterećenja	NE 2	DA 3
▶ Konstrukcija u području visoke seizmičnosti	NE 2	DA 3
▶ Konstrukcija u području vjerojatne nestabilnosti tla ili trajnih pomaka	NE 2	DA 3

Razred 2: plitki temelji: pojedinačni, t. nosači, ploče; temeljenje na pilotima; potporne konstrukcije; temelji stupova i upornjaka mostova; nasipi i zemljani radovi; sidrenja u tlu i stijeni; tuneli u čvrstoj, neraspucalnoj stijeni bez posebnih zahtjeva za vodonepropusnost

Odredbe EC 7 se prvenstveno odnose na Geoteh. razred 2

Projektiranje računom

Osnova projektiranja: $E_d \leq R_d$

- ▶ 2.4.1 (2) U geotehničkom inženjerstvu poznavanje uvjeta u temeljnom tlu ovisi o opsegu i kvaliteti geotehničkih istražnih radova. To poznavanje uvjeta u tlu i kontrola tijekom izvedbe su važniji za ispunjenje osnovnih zahtjeva nego točnost proračunskih modela i parcijalnih koeficijenata.
- ▶ 2.4.3 Svojstva temeljnog tla; 2.4.5 Karakteristične vrijednosti;
- ▶ 3. Geotehnički podaci

Projektne (proračunske) situacije

- ▶ “ projektne scenariji ” za kratkotrajna i dugotrajna stanja
- ▶ Obuhvaćaju:
 - djelovanja, njihove kombinacije i slučajeve opterećenja
 - opću podobnost lokacije s aspekta stabilnosti, velikih pomaka, režima voda, seizmički induciranih nestabilnosti
 - Raspored i klasifikaciju različitih područja ili slojeva tla i stijene, te elemenata građevine uključenih u proračunski model (“uklapanje” zahvata ili građevine u geotehničke profile – izbor nepovoljnih kombinacija geotehničkih uvjeta i mjerodavnih dijelova građevine ili zahvata)

Proračunski model

- ▶ Treba opisati ponašanje temeljnog tla za razmatrano granično stanje
- ▶ Sastoji se od proračunske metode (analitički model s pojednostavljenjima) i, gdje treba, modifikacijama rezultata
- ▶ Gdjegod je moguće, proračunski model treba korelirati s terenskim opažanjima iz prijašnjih projekata, pokusima na modelima ili pouzdanijim analizama - “ usporedivo iskustvo”

Projektiranje uz pomoć računara

- karakteristične i projektne vrijednosti

■ Karakteristične vrijednosti

- Opterećenja F_k
- Parametara tla X_k
oprezna procjena,
95% pouzdanosti
(na pr.: $X_k = X_{sred} - 0,5s$)
- Geometrijske veličine a_k

■ Projektne vrijednosti

- opterećenja
$$F_d = g_F \cdot F_k$$
- Parametara materijala (tla)
$$X_d = X_k / g_m$$
- Geometrijske veličine
$$a_d = a_k \pm Da$$
- GSN $g_F \geq 1$; $g_m \geq 1$
- GSU $g_F = 1$; $g_m = 1$
 g_F, g_m – parcijalni faktori

Projektiranje uz pomoć računara - zadovoljenje GSN i GSU

- GSN (nosivost)

- Preko faktora za materijal

$$E_d(F_d, X_d, a_d) \leq R_d(F_d, X_d, a_d)$$

- Preko faktora za otpor (piloti, sidra)

$$g_E \cdot E_k(F_k, X_k, a_k) \leq R_k(F_k, X_k, a_k)/g_R$$

E – učinak, R – otpor, g_E, g_R – parcijalni faktori

- GSU (uporabivost)

$$E_d = E_k(F_k, X_k, a_k) \leq C_d$$

C_d – dozvoljena deformacija

Verzija EN 1997 – 2004

Uvodi pet graničnih stanja nosivosti

- ▶ **(EQU)** gubitak ravnoteže konstrukcije ili tla razmatranog kao kruto tijelo
- ▶ **(STR)** slom ili velika deformacija betonske, metalne, drvene ili zidane konstrukcije ili njenog elementa, uključivo temelje, pilote, sidra i potporne zidove, u kojima čvrstoća konstruktivnog materijala bitno pridonosi otpornosti
- ▶ **(GEO)** slom ili velika deformacija tla pri kojoj čvrstoća tla ili stijene bitno pridonosi otpornosti
- ▶ **(UPL)** gubitak ravnoteže konstrukcije ili tla uslijed uzgona vode ili drugih vertikalnih sila
- ▶ **(HYD)** hidrauličko izdizanje (hidraulički slom), interna erozija tla uzrokovana hidrauličkim gradijentima

OSTALI DIJELOVI EC7-1

4: Nadzor nad gradnjom, praćenje i održavanje

5: Nasipavanje, odvodnjavanje, poboljšavanje i armiranje tla

6: Plitki temelji

7: Temeljenje na pilotima

8: Sidrenja

9: Potporne konstrukcije

10: Hidraulički slom

11: Opća stabilnost lokacije

12: Nasipi i kosine

NIJE OBUHVAĆENO U EC7-1

- ▶ Klizišta ?
- ▶ Nasute brane
- ▶ Tuneli
- ▶ Offshore konstrukcije
- ▶

PRIPADAJU GEOTEHNIČKOM RAZREDU 3 ili IMAJU
POSEBNE PROPISE

Proces geotehničkog projektiranja

1. Prethodni podaci:
 - a) o zahvatu ili građevini
 - b) o lokaciji i temeljnom tlu
2. Projektni geotehnički istražni radovi (**program istraživanja – izvedba istraživanja**)
3. Obrade podataka – **izvješće o istraživanjima (geotehnički elaborat)**
4. Stvaranje geotehničkog modela- geotehnički parametri – karakteristične vrijednosti
5. Projektiranje – računom, propisanim mjerama, probnim opterećenjem, opažanjem – **Geotehničko projektno izvješće (Geotehnički projekt)**
6. Izvedba radova, nadzor, kontrolna ispitivanja (**Izvješće o izvedenom stanju**)

Geotehnički model

- ▶ **prostorni raspored slojeva ili zona tla** sličnog geološkog porijekla i sličnih mehaničkih svojstava (ili mehaničkih svojstava koja pokazuju neku prostornu pravilnost kao što je primjerice linearni porast čvrstoće s dubinom);
- ▶ **parametre tla u svim zonama tla ili slojevima** zajedno sa zakonitostima na koje se ti parametri odnose te uvjetima i pretpostavkama pod kojima oni predstavljaju prihvatljivu aproksimaciju prirodnog ponašanja tla u rasponu od značenja za predviđeni građevinski zahvat;
- ▶ **rubne uvjete** koji mogu utjecati na izabrani geotehnički model koji se mogu javiti tijekom izgradnje kao i tijekom eksploatacije građevine.

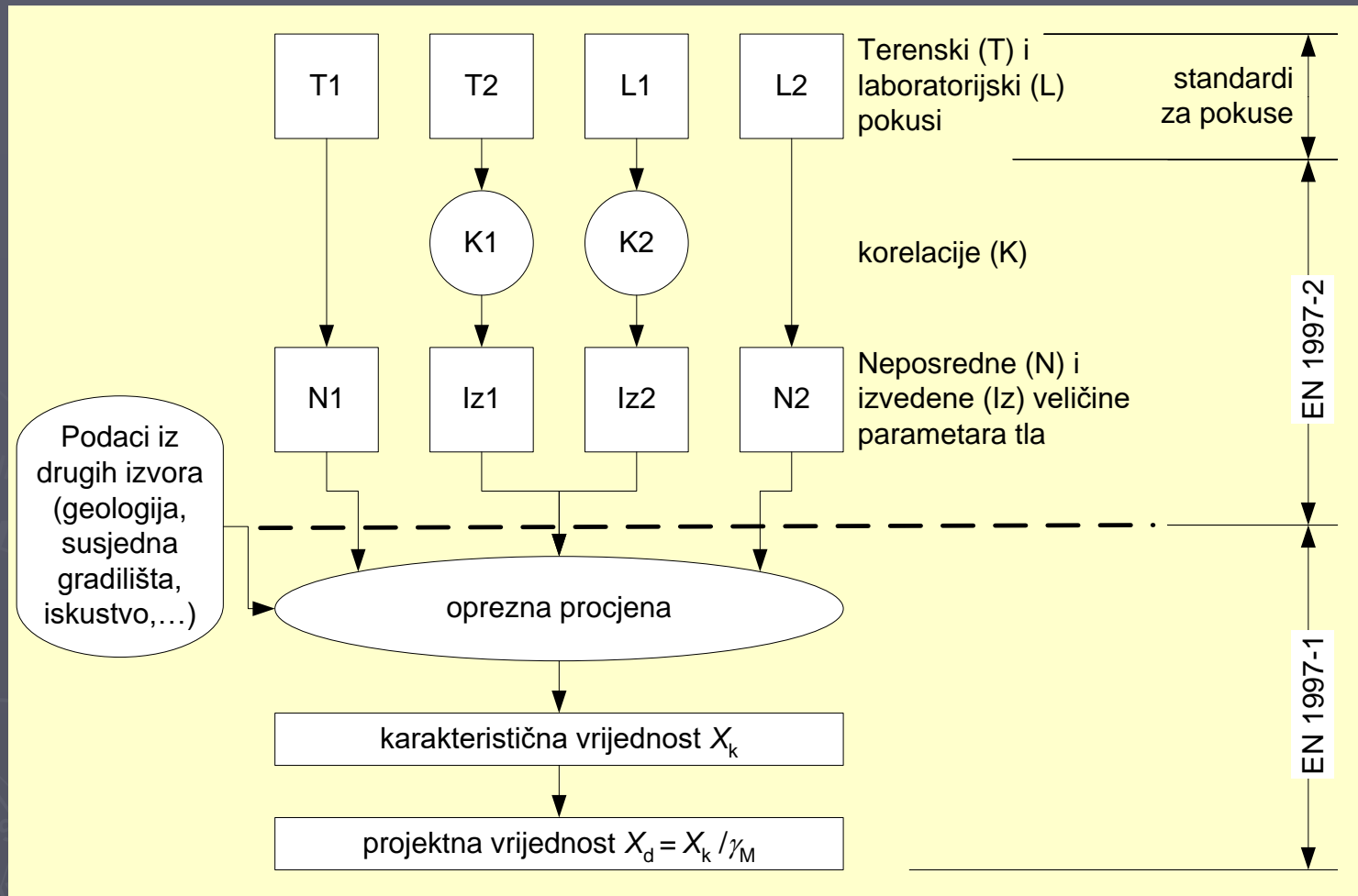
Geotehnički parametri

- ▶ Geotehnički parametri: brojčane vrijednosti svojstava temeljnog tla za inženjerske proračune
- ▶ Treba ih odrediti iz rezultata pokusa (neposredno ili posredno-pomoću korelacija, teorija, iskustva) i drugih relevantnih podataka (2.4.3.1)

Karakteristične vrijednosti geotehničkih parametara

- ▶ Izbor karakterističnih vrijednosti treba biti zasnovan na rezultatima i izvedenim vrijednostima iz laboratorijskih i terenskih pokusa, upotpunjenih dobro potvrđenim (dokumentiranim) iskustvom (2.4.5.2.1)
- ▶ Karakterističnu vrijednost treba izabrati kao opreznu procjenu vrijednosti koja utječe na pojavu graničnog stanja (2.4.5.2.2)

Opći postupak određivanja karakterističnih vrijednosti iz mjerenih vrijednosti



3. Geotehnički podaci

- ▶ Geotehnički podaci – “dokazni” materijal za daljnje projektiranje i izbor tehničkih rješenja i dimenzija (sigurnost i gospodarska racionalnost)
- ▶ Geotehnička istraživanja – istraživanja temeljnog tla i drugi podaci o lokaciji
- ▶ Istraživanja temeljnog tla – terenski istražni radovi, laboratorijska ispitivanja i kabinetske obrade geotehničkih i geoloških podataka
- ▶ Terenski istražni radovi – a) neposredni (bušenje, uzorkovanje, istražne jame) i b) posredni (*in situ* pokusi)

3. Geotehnički podaci

- ▶ Razmatraju se 3 faze istraživanja:
 - Prethodna istraživanja
 - Projektna istraživanja
 - Kontrolna istraživanja

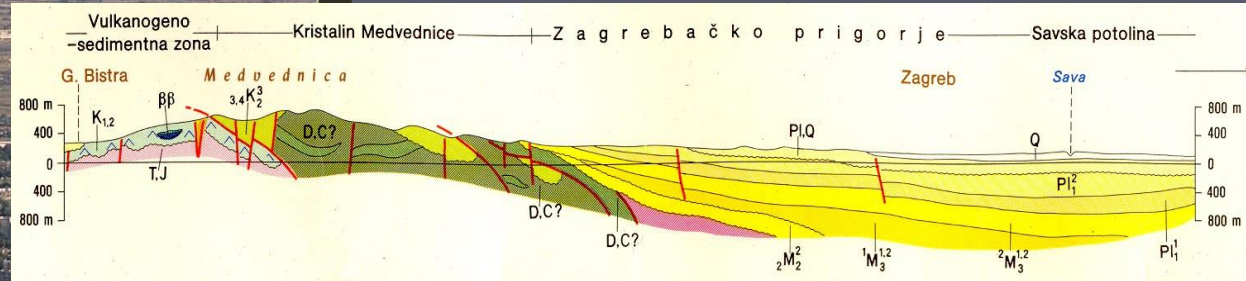
- Vrednovanje geotehničkih parametara

- Geotehničko izvješće (elaborat)
 - I Prikaz geotehničkih i geoloških podataka i postupaka ("factual report")
 - II a) Obrade i vrednovanje geotehničkih podataka, izbor projektnih parametara ("interpretative report")
 - b) pretpostavke za geotehničko projektiranje i postupke izvođenja.

Preduvjeti za utvrđivanje vjerodostojnog, pouzdanog i upotrebljivog geotehničkog modela

- ▶ *primjerenost* postupaka ispitivanja i uređaja
- ▶ *opsežnost* istražnih radova kako u prostoru tako i po vrsti ispitivanja
- ▶ *Opširnost, zalihost ili redundantnost* ispitivanja
- ▶ *relevantnost istraživanja* kojom se osigurava da će biti utvrđena ona svojstva tla koja su bitna za provjeru stabilnosti i uporabivosti
- ▶ *ekonomičnost* istraživanja

Prethodna istraživanja i podaci 1

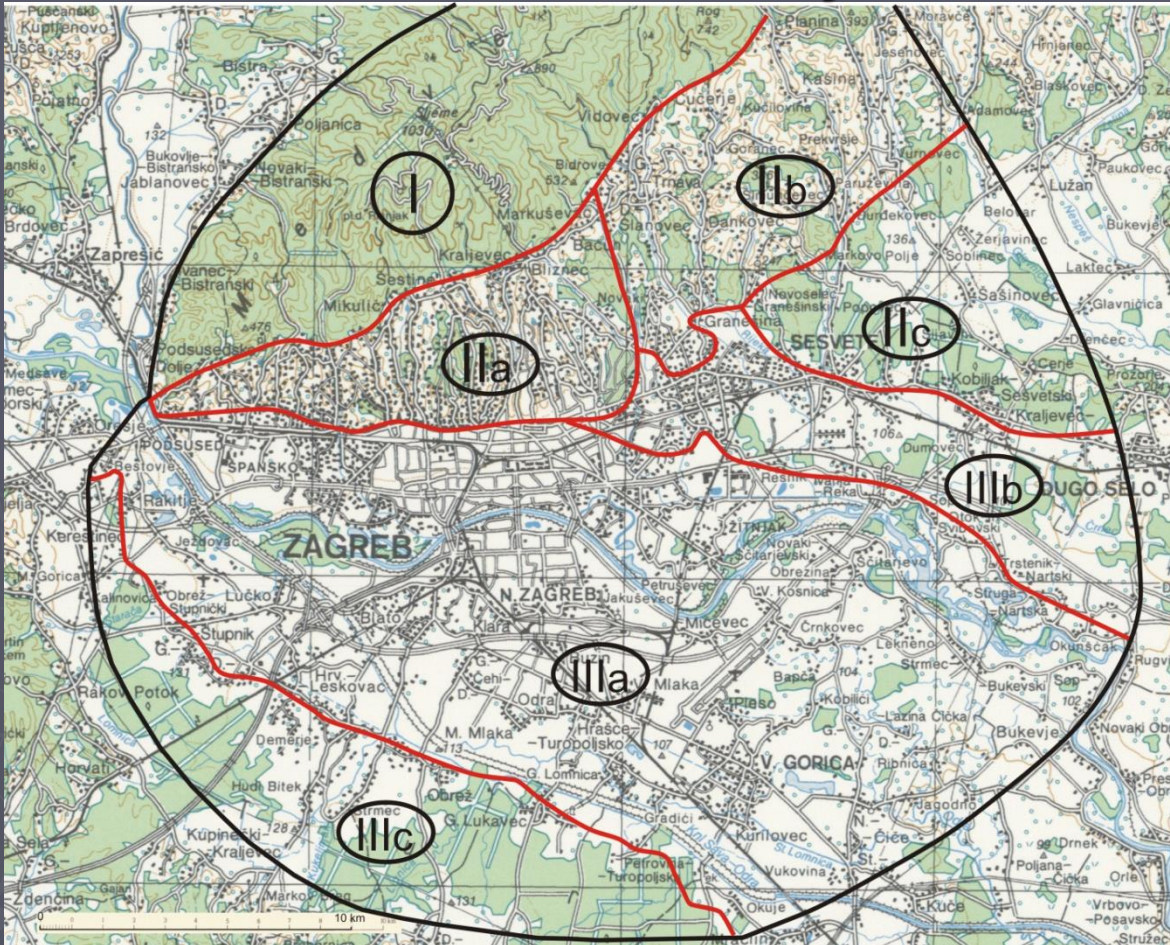


Topografija

Opća geološka obilježja

Prethodna istraživanja i podaci 2

Preliminarno makrozoniranje



Tumač oznaka:

*I – gorska jezgra
Medvednice;*

*II – medvedničko prigorje
– Podsljemenska
urbanizirana zona:*

*a – periklinalno položene
mlađe naslage (neogenske
i starije kvartarne);*

*b – strukture boranja u
mlađim naslagama
(neogenskim);*

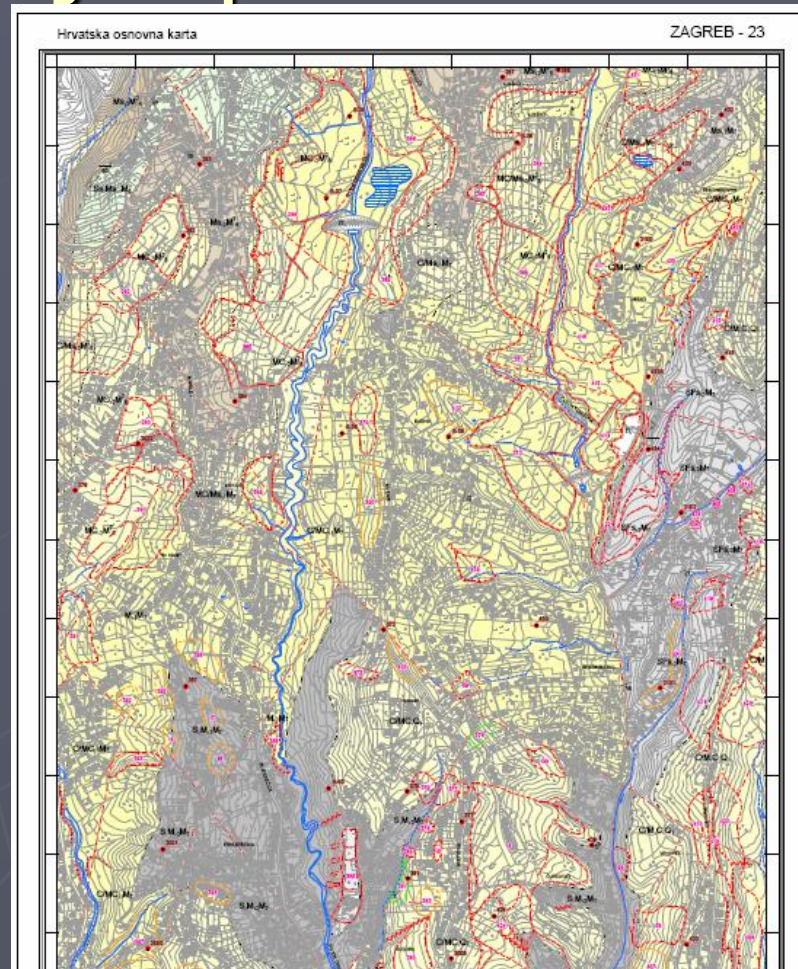
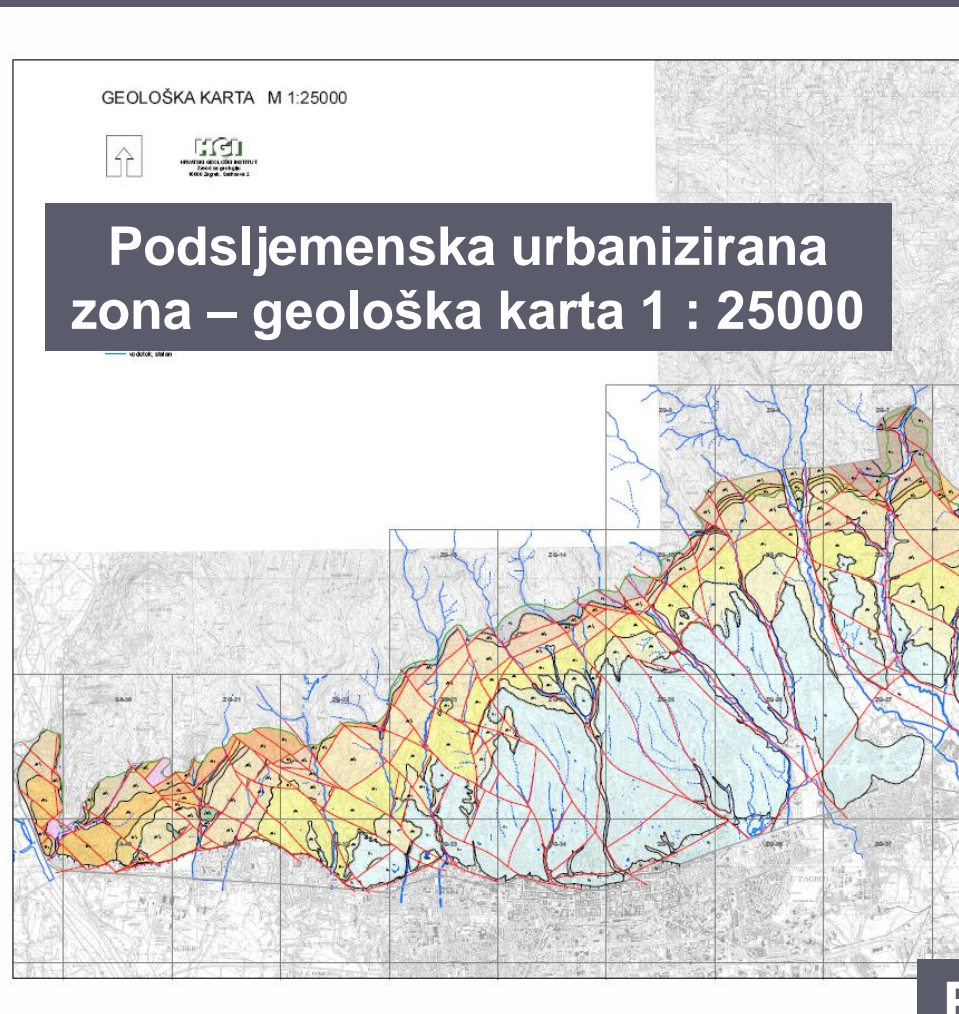
*c – uzvisina starijeg
kvartara i nanosa brdskih
potoka;*

*III – prisavska naplavna
ravnica:*

a – savske naplavine;

*b i c – terasna izdignuća
(terase)*

Prethodna istraživanja i podaci 3



Podsljemenska urbanizirana zona – inženjerskogeološka karta 1 : 5000

Projektna istraživanja

PREPORUKE

-(mreža) razmak
bušotina ili
penetracija

20-40m

-dubine:

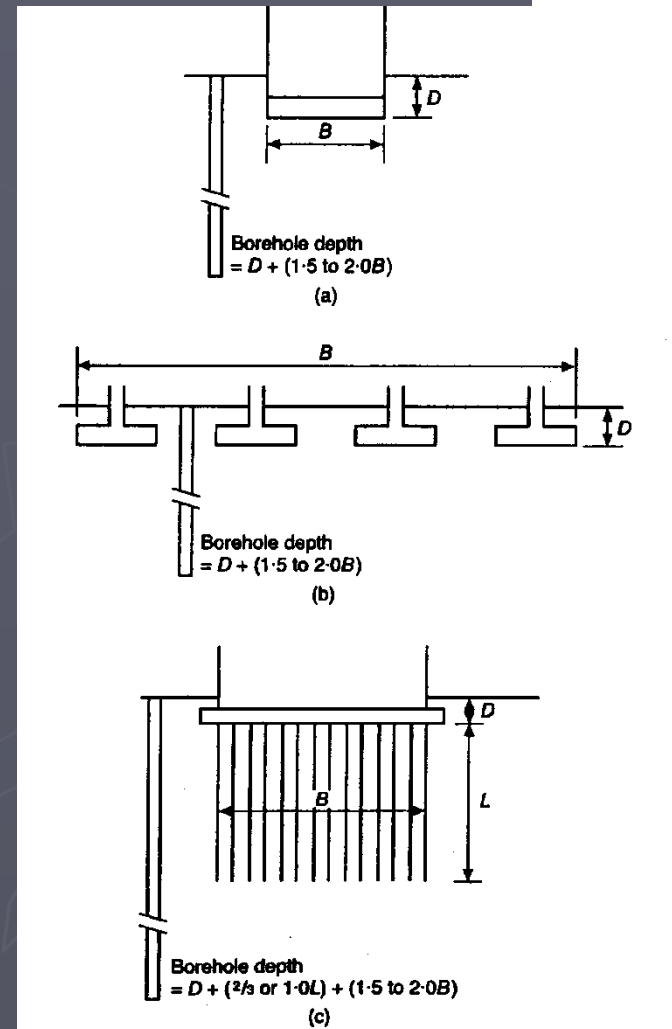
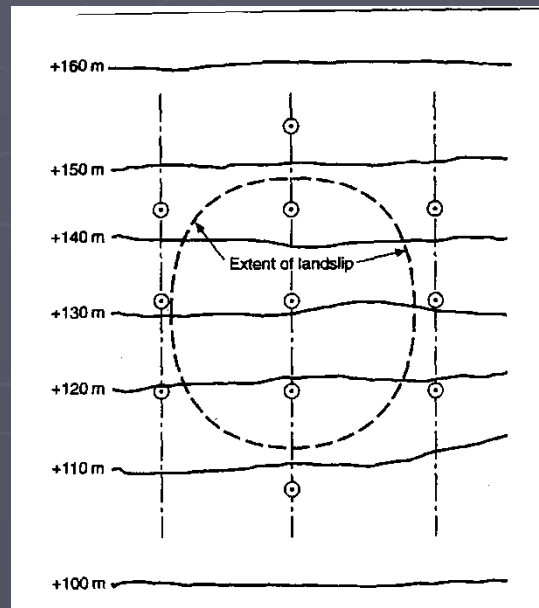
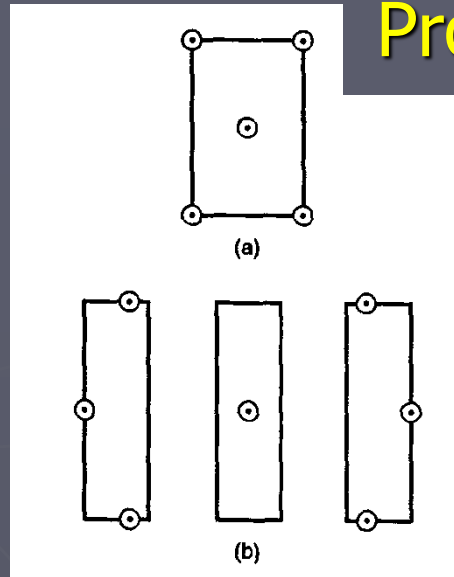
1.5 – 3 B

barem 2-3 bušotine
do 30 (50) m

-piloti:

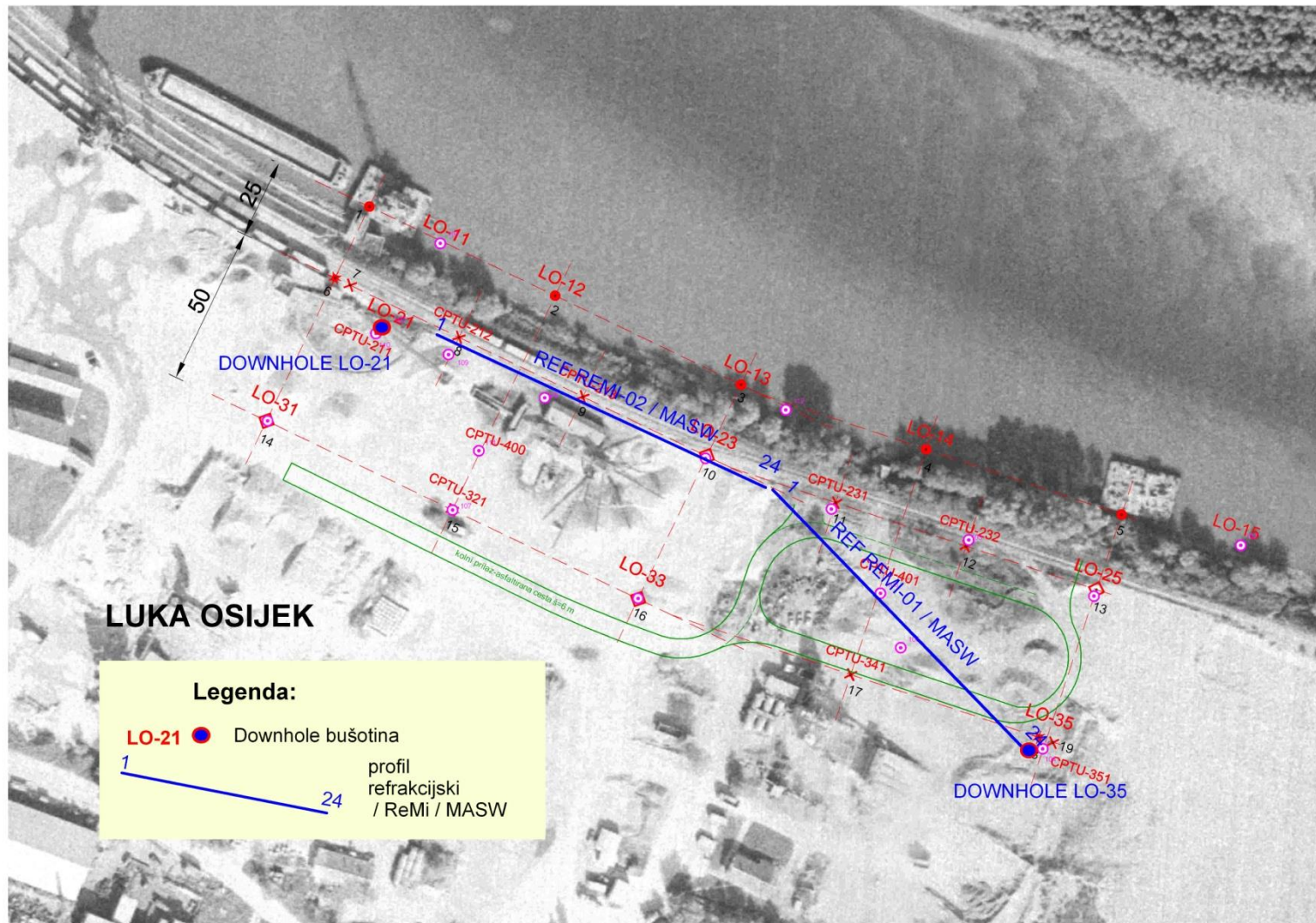
minimalno

$D_f + 5D_{\text{pilota}}$

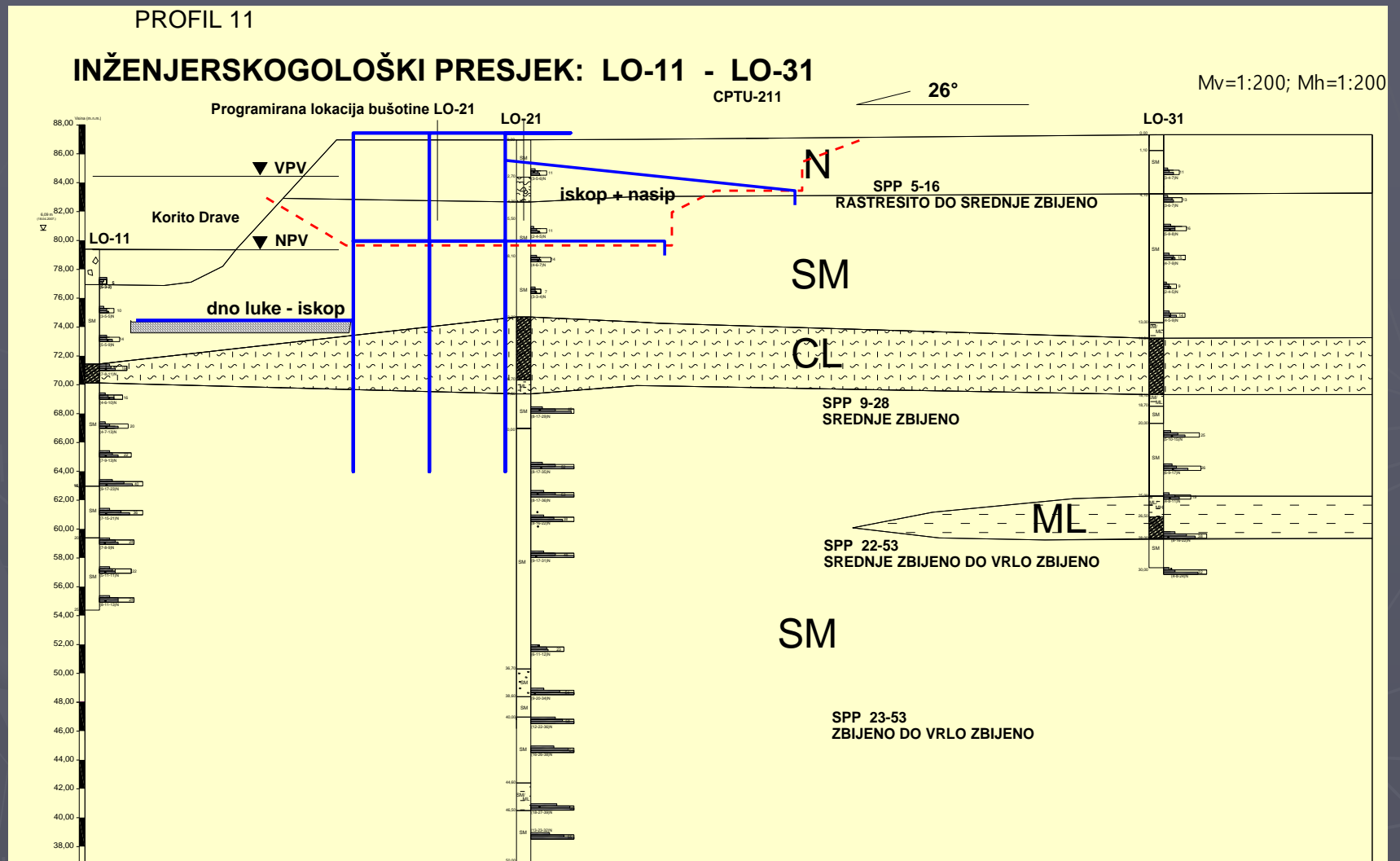


Projektna istraživanja 2

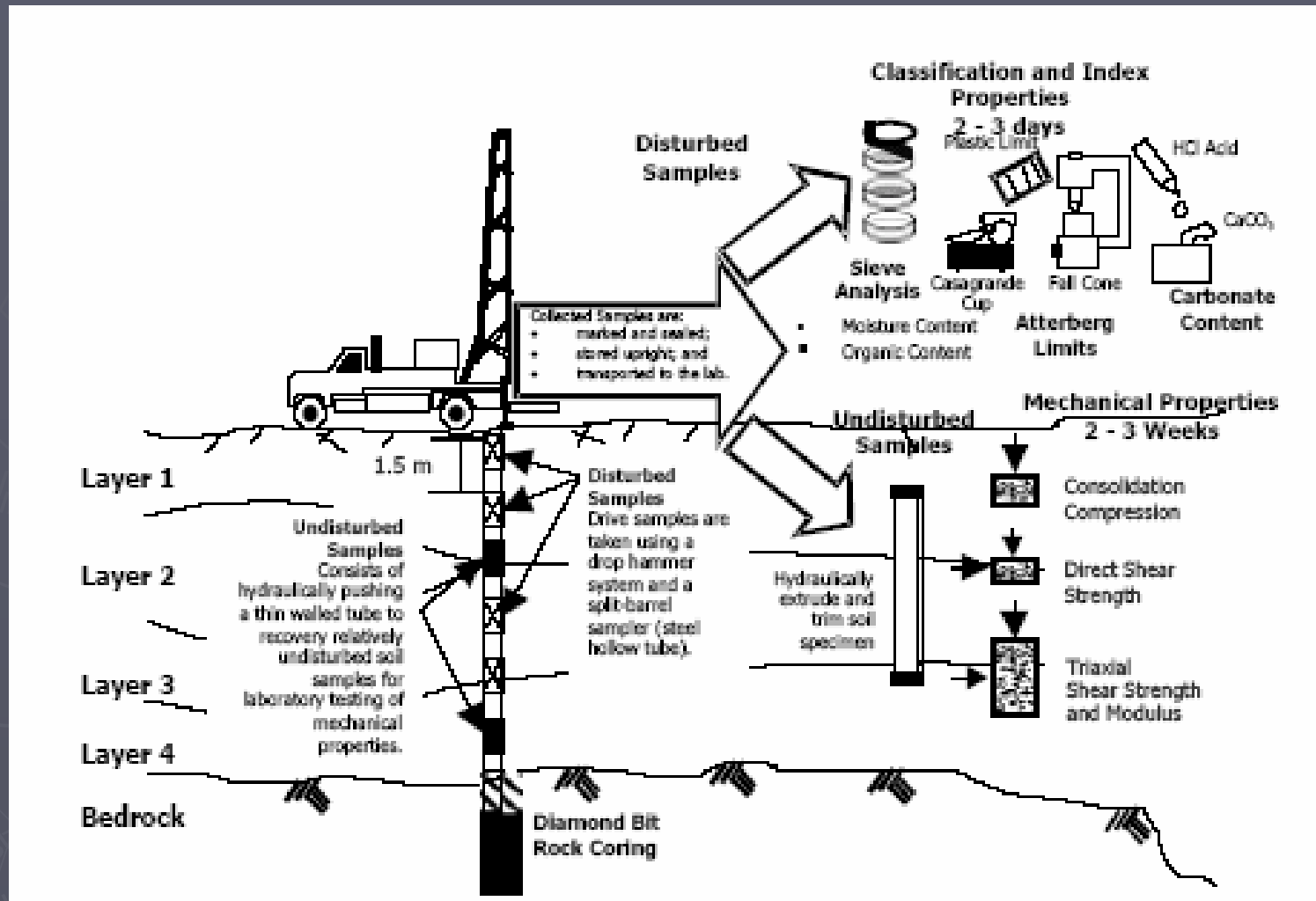
SITUACIJA: GEOFIZIČKA ISPITIVANJA; DOWNHOLE, SEIZMIČKA REFRAKCIJA, REMI I MASW



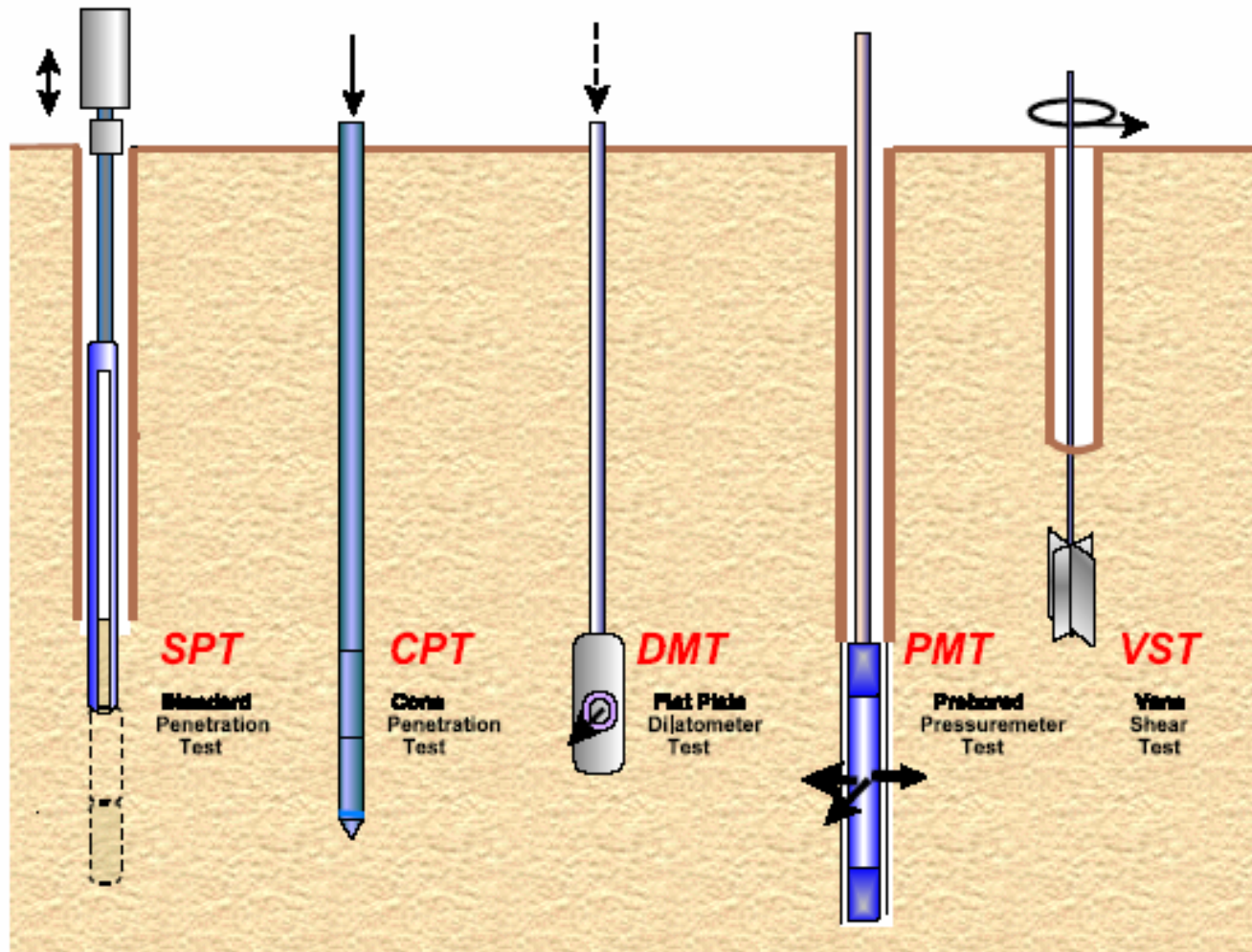
Projektna istraživanja 3



Terenska i in-situ istraživanja

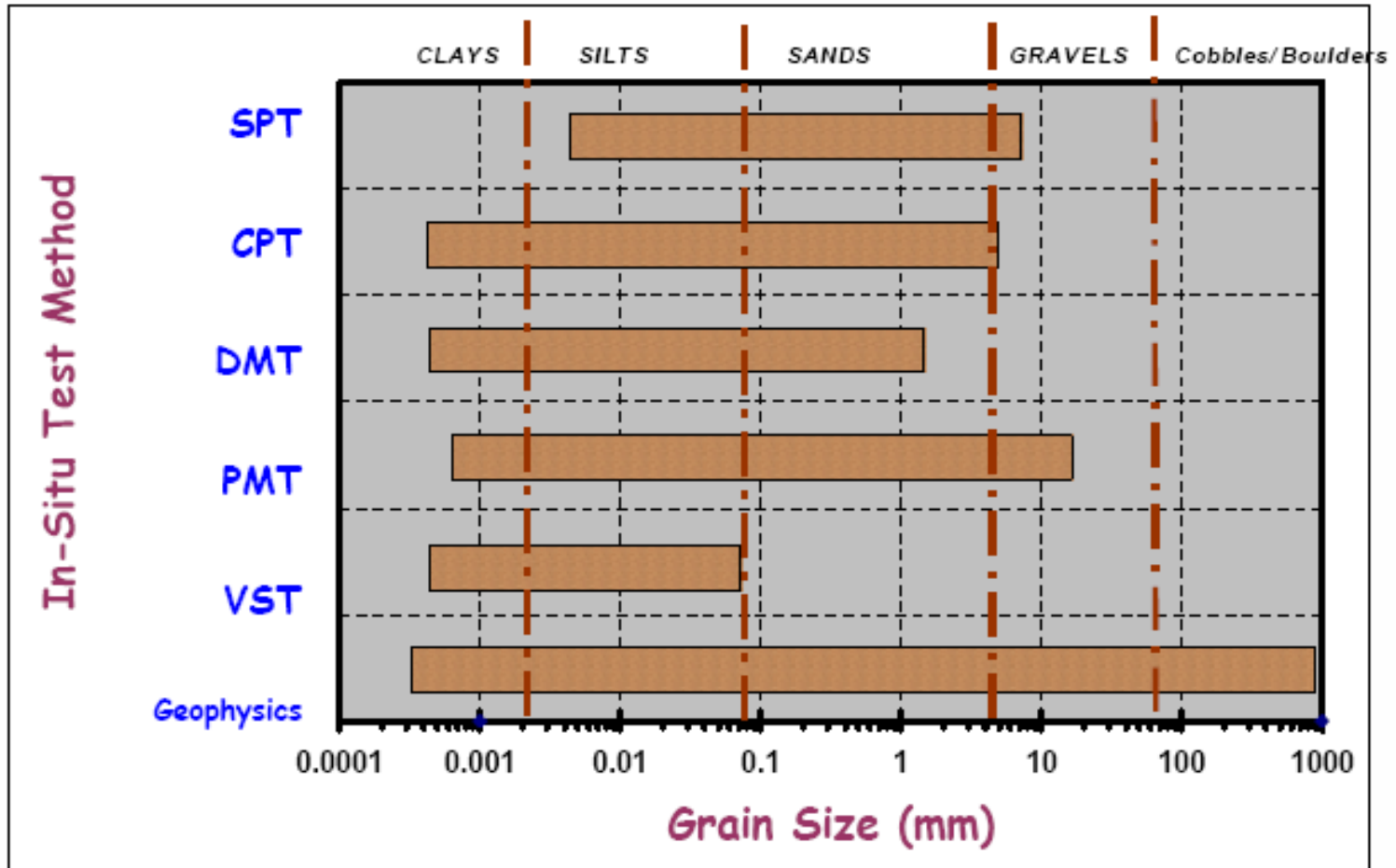


Terenska i in-situ istraživanja

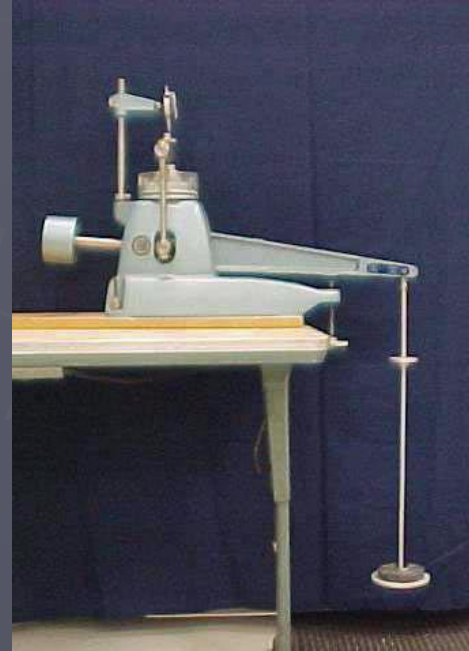


Terenska i in-situ istraživanja

RELEVANCE OF IN-SITU TESTS TO DIFFERENT SOIL TYPES



Laboratorijska istraživanja

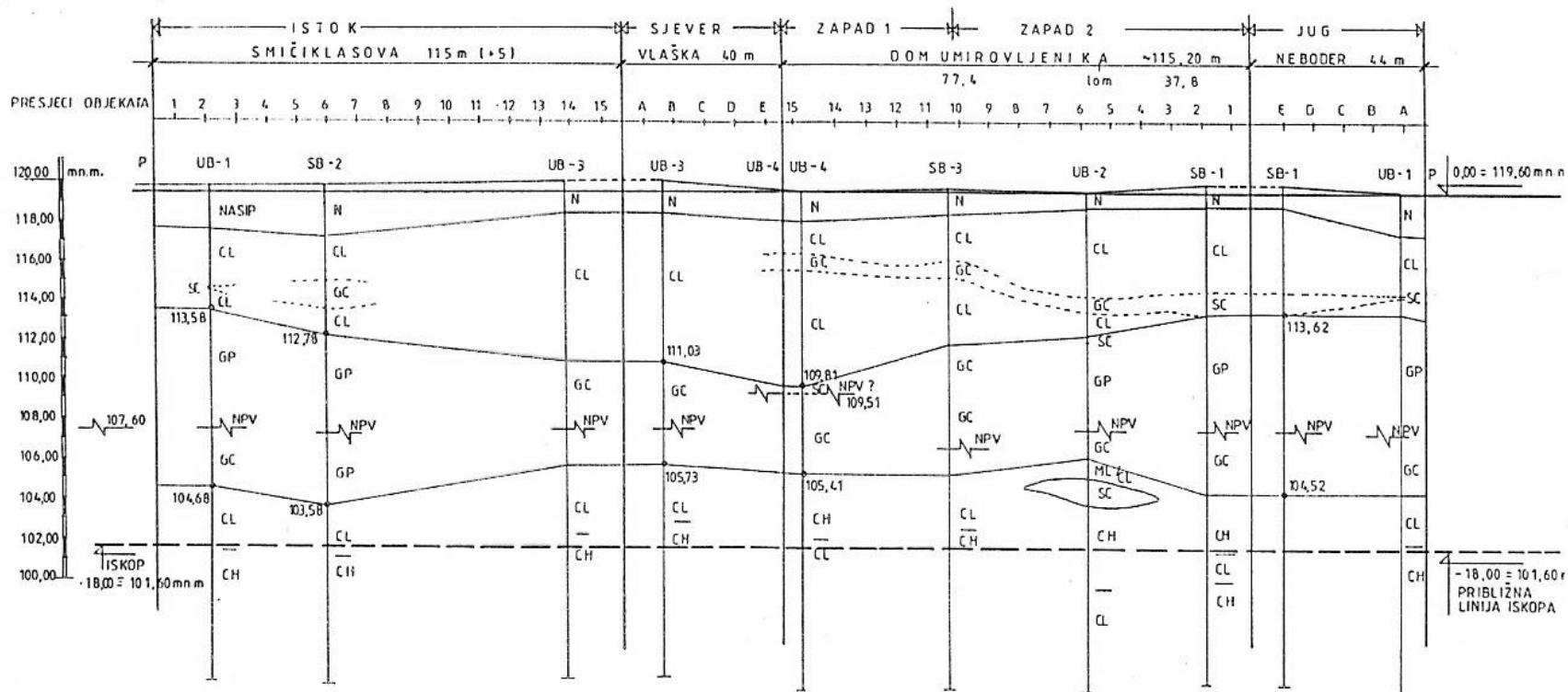


Karakterizacija temeljnog tla

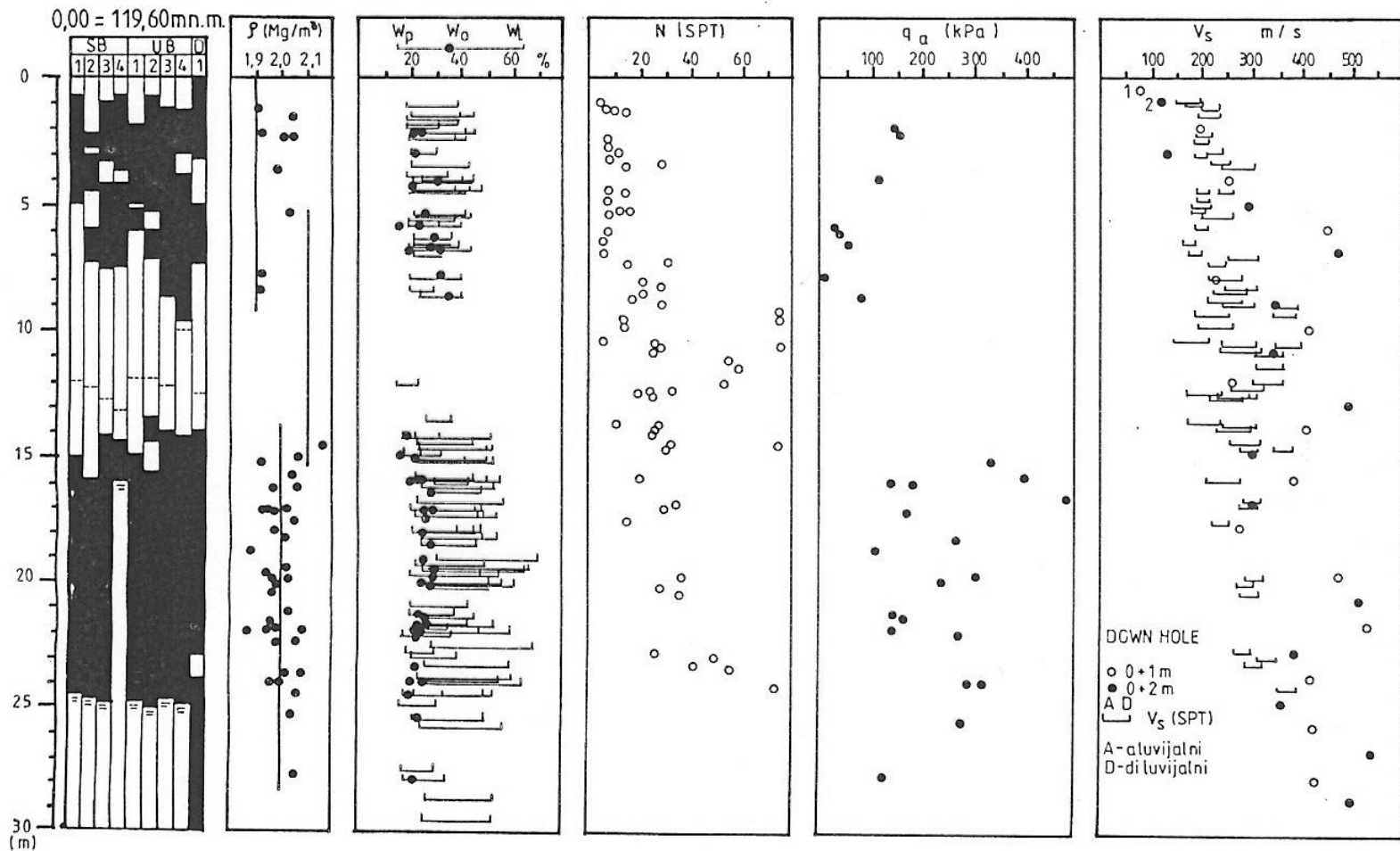


Karakterizacija temeljnog tla

a)

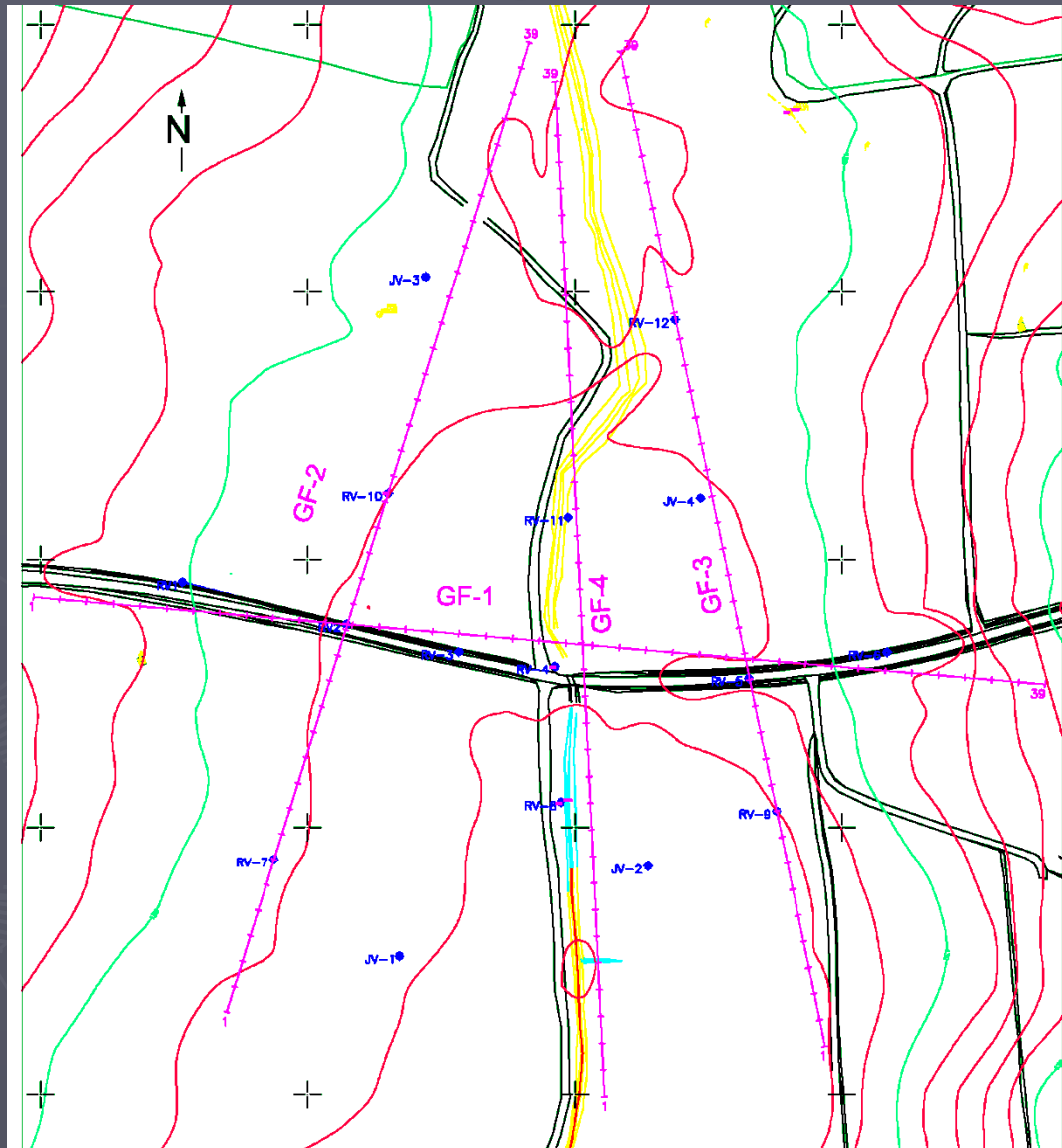


Karakterizacija temeljnog tla

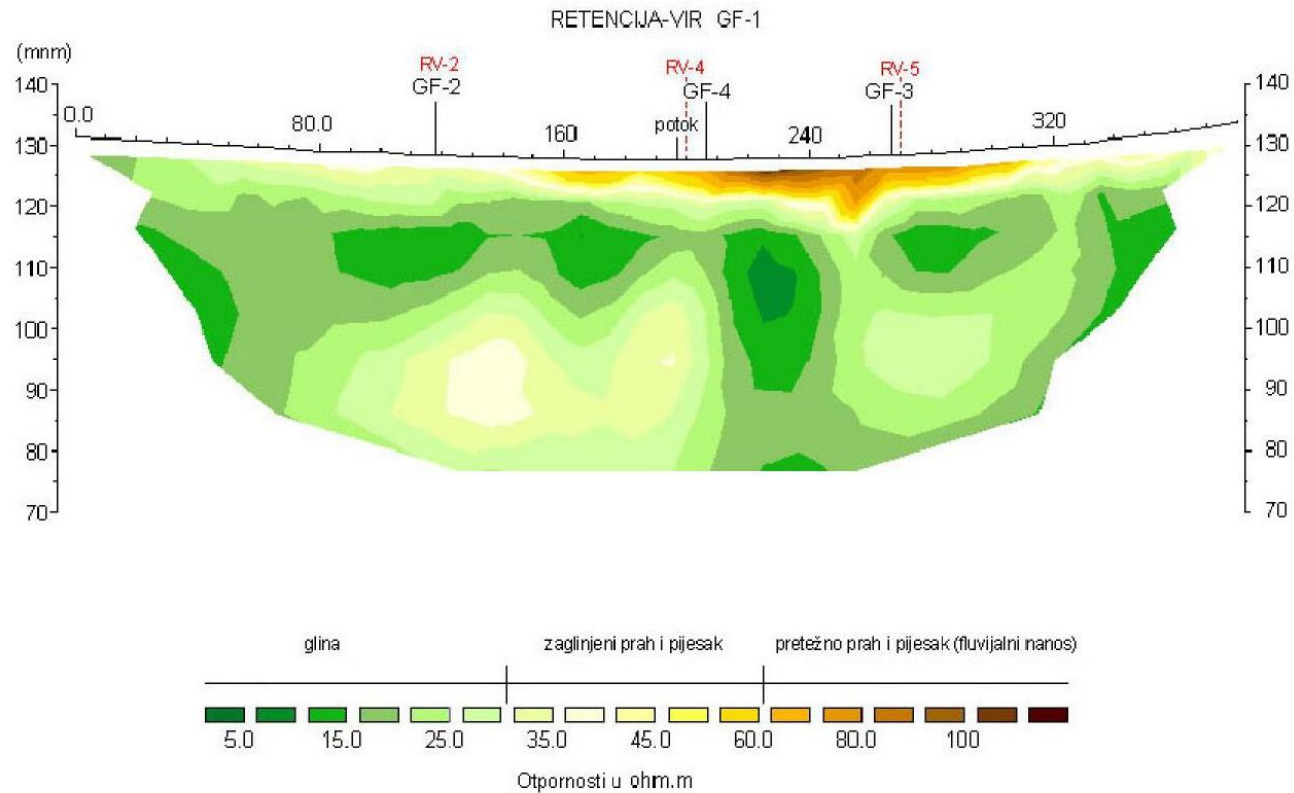


ZBIRNI PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽNIH RADOVA

Karakterizacija temeljnog tla

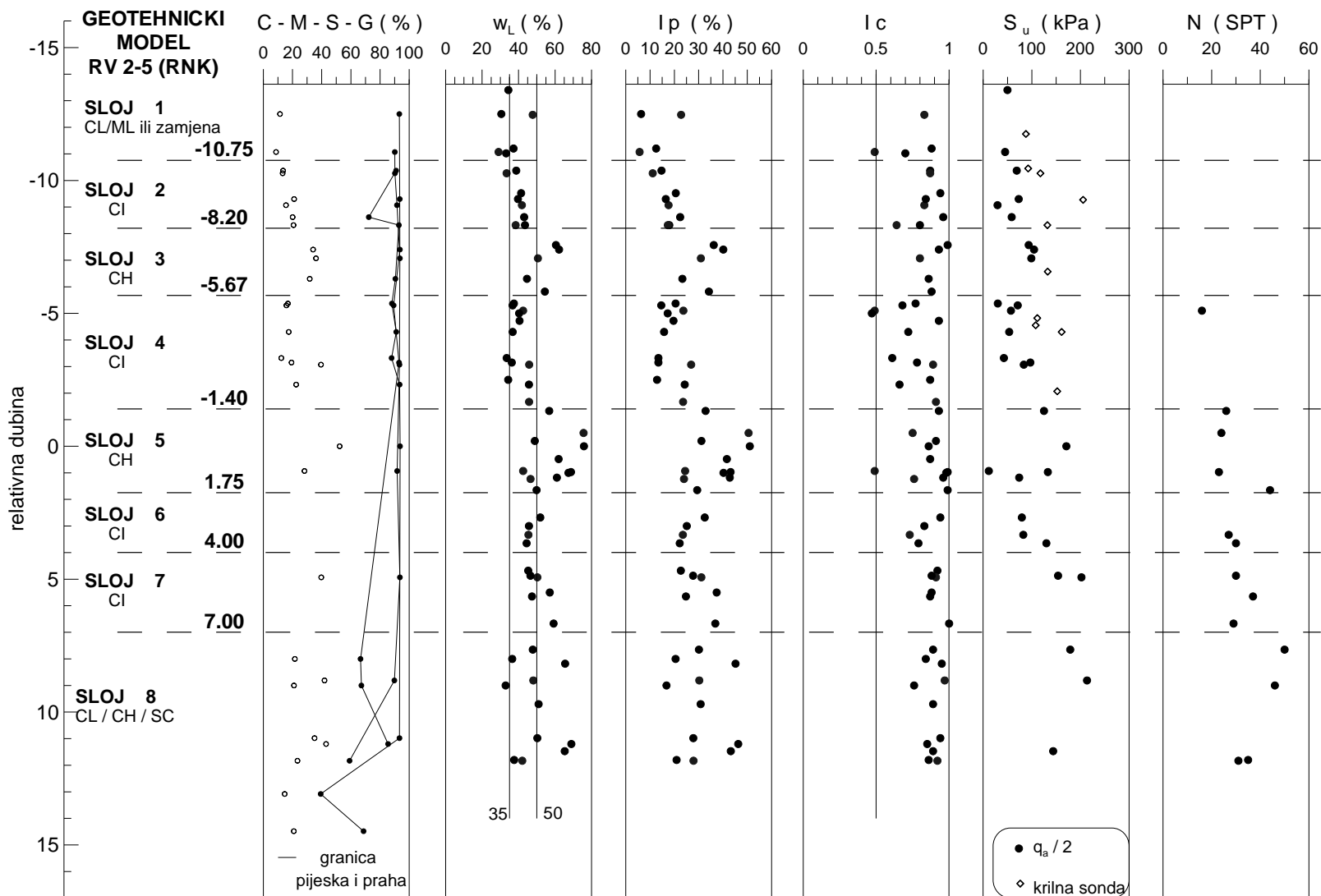


Karakterizacija temeljnog tla

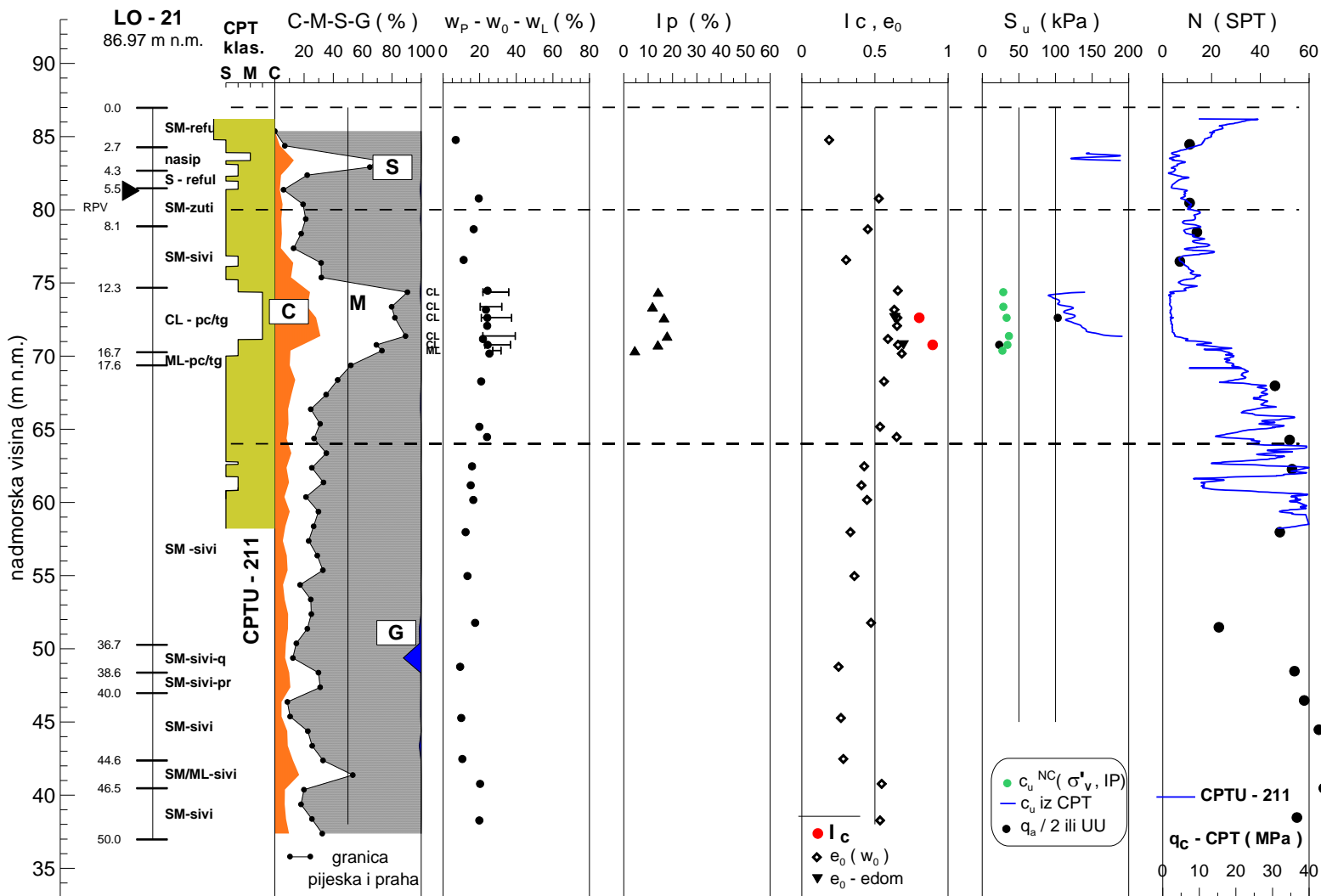


Horizontal scale is 19.00 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 2.00
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 380.0 m.

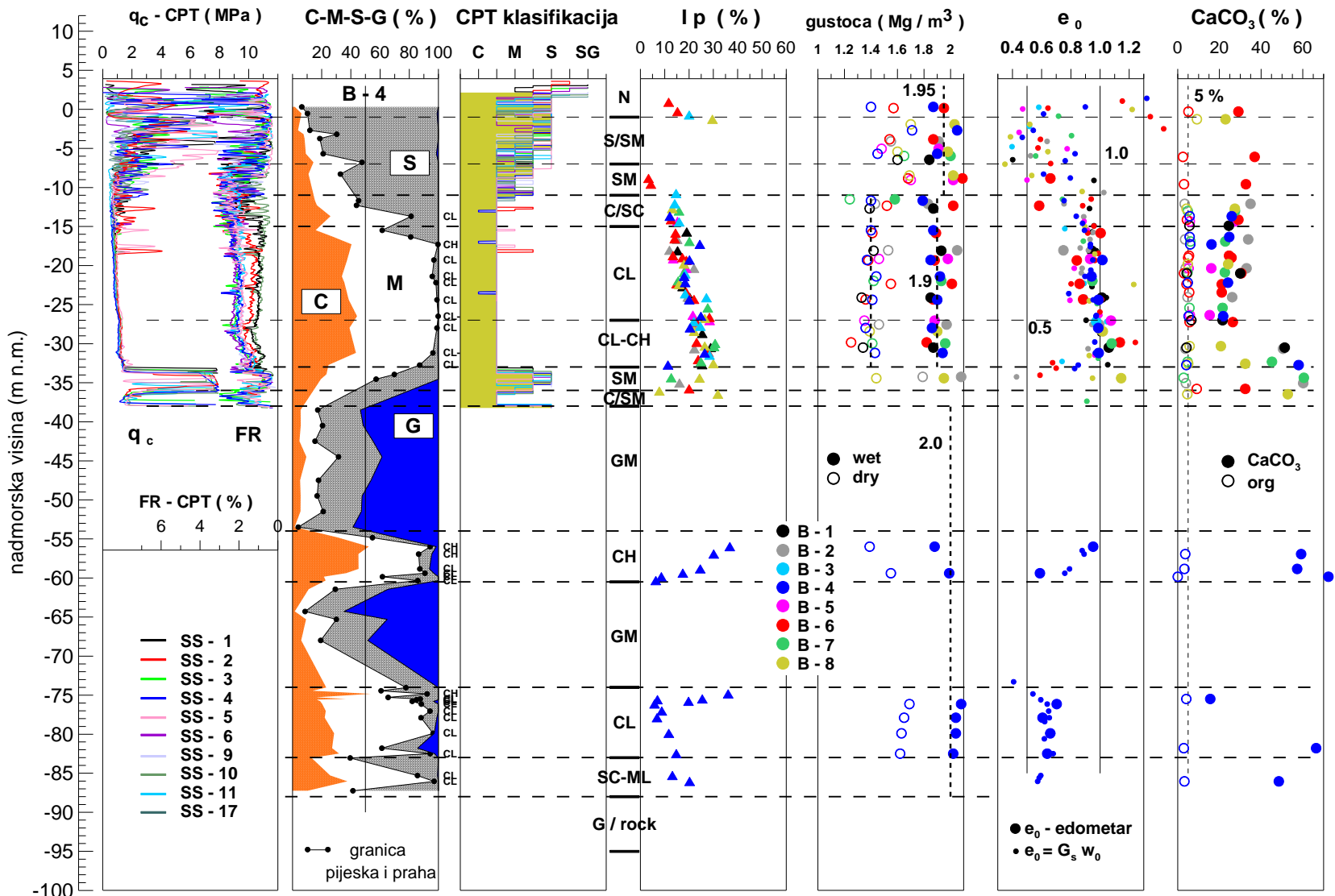
Karakterizacija temeljnog tla



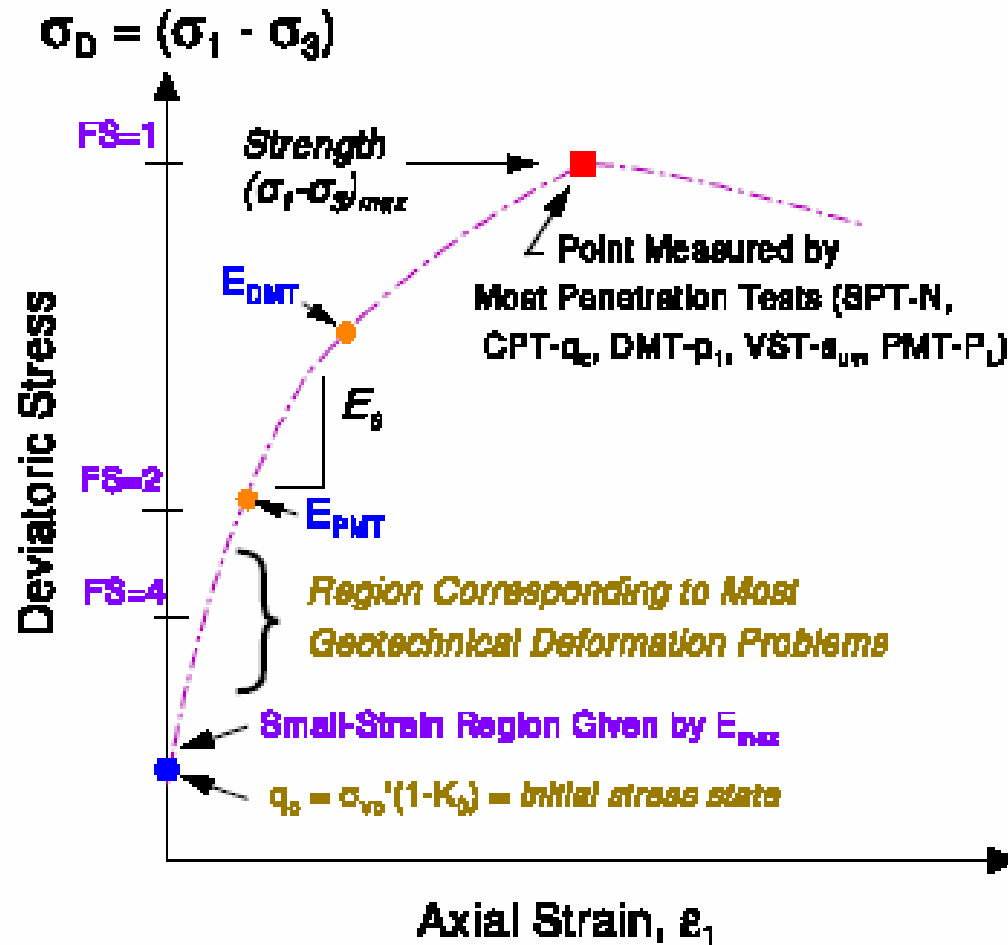
Karakterizacija temeljnog tla



Karakterizacija temeljnog tla



Određivanje geotehničkih parametara čvrstoća (GSN) i stišljivost (GSU)



Određivanje geotehničkih parametara čvrstoća i stišljivost

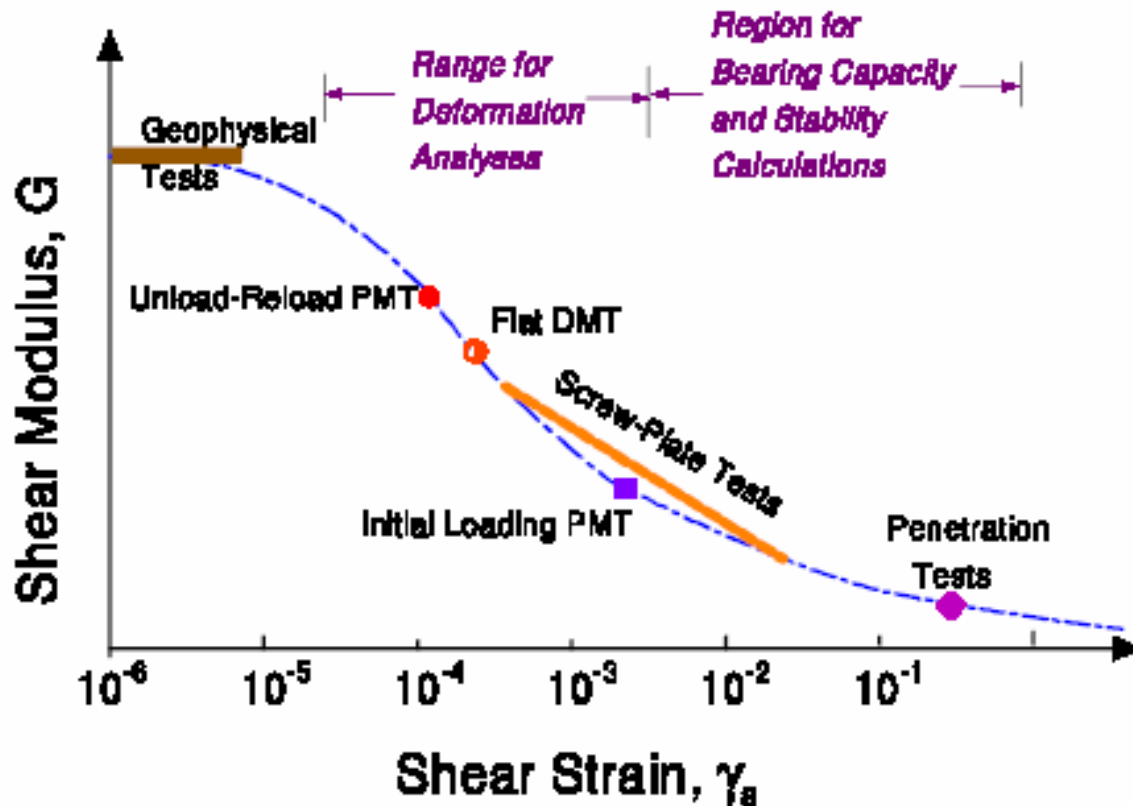
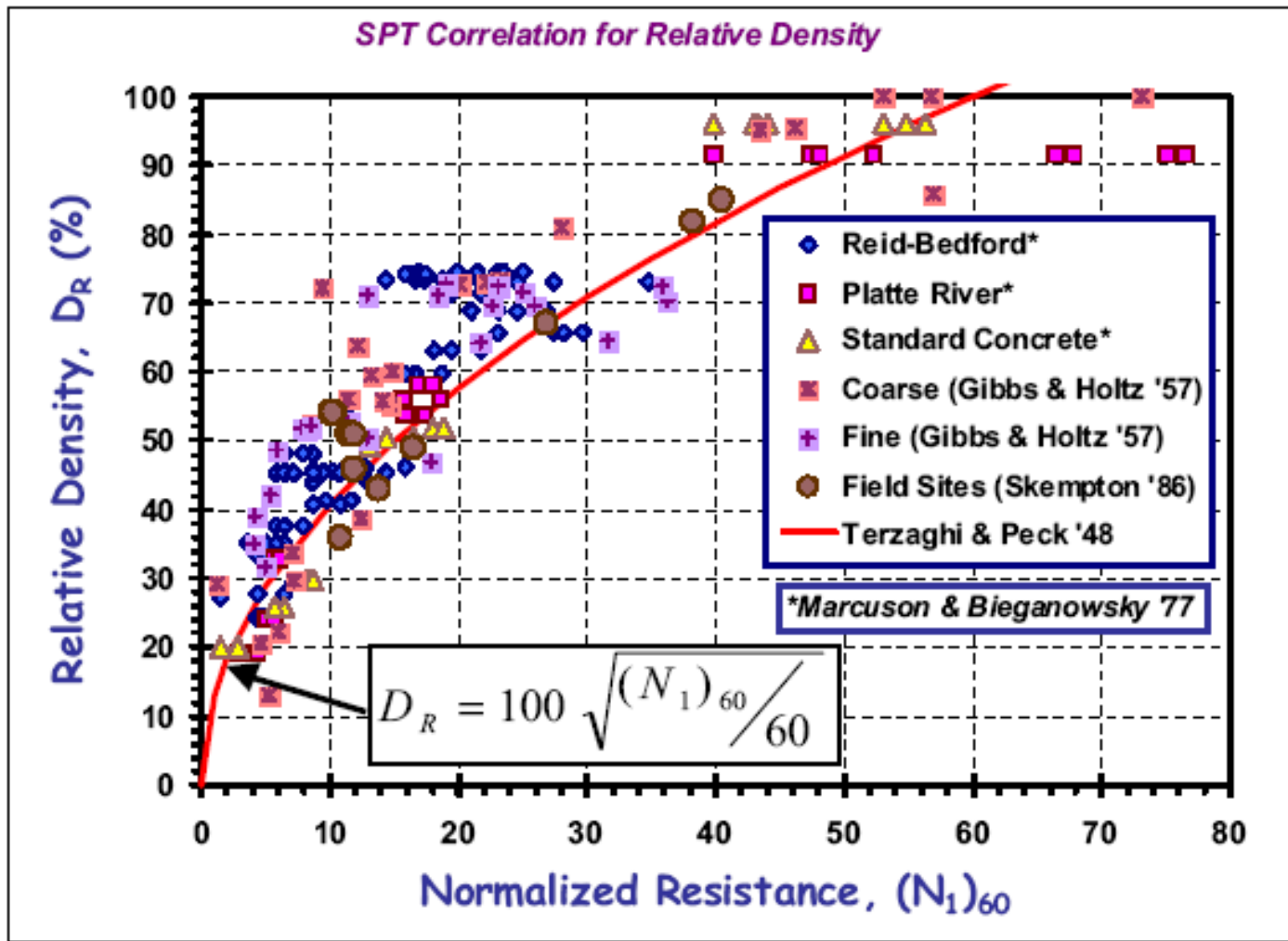


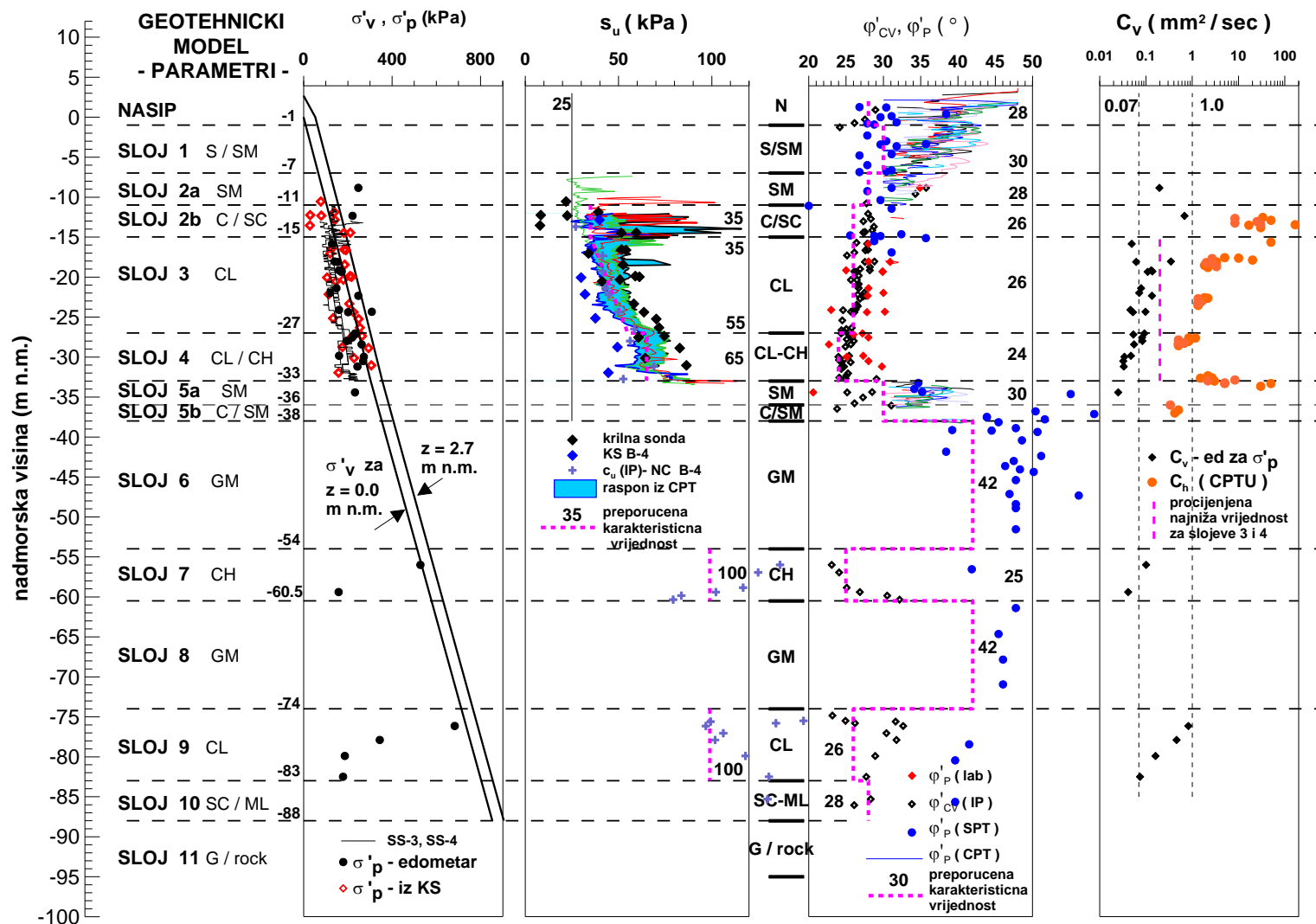
Figure 9-32. Conceptual Variation of Shear Modulus with Strain Level Under Static Monotonic Loading and Relevance to In-Situ Tests.

9. 29

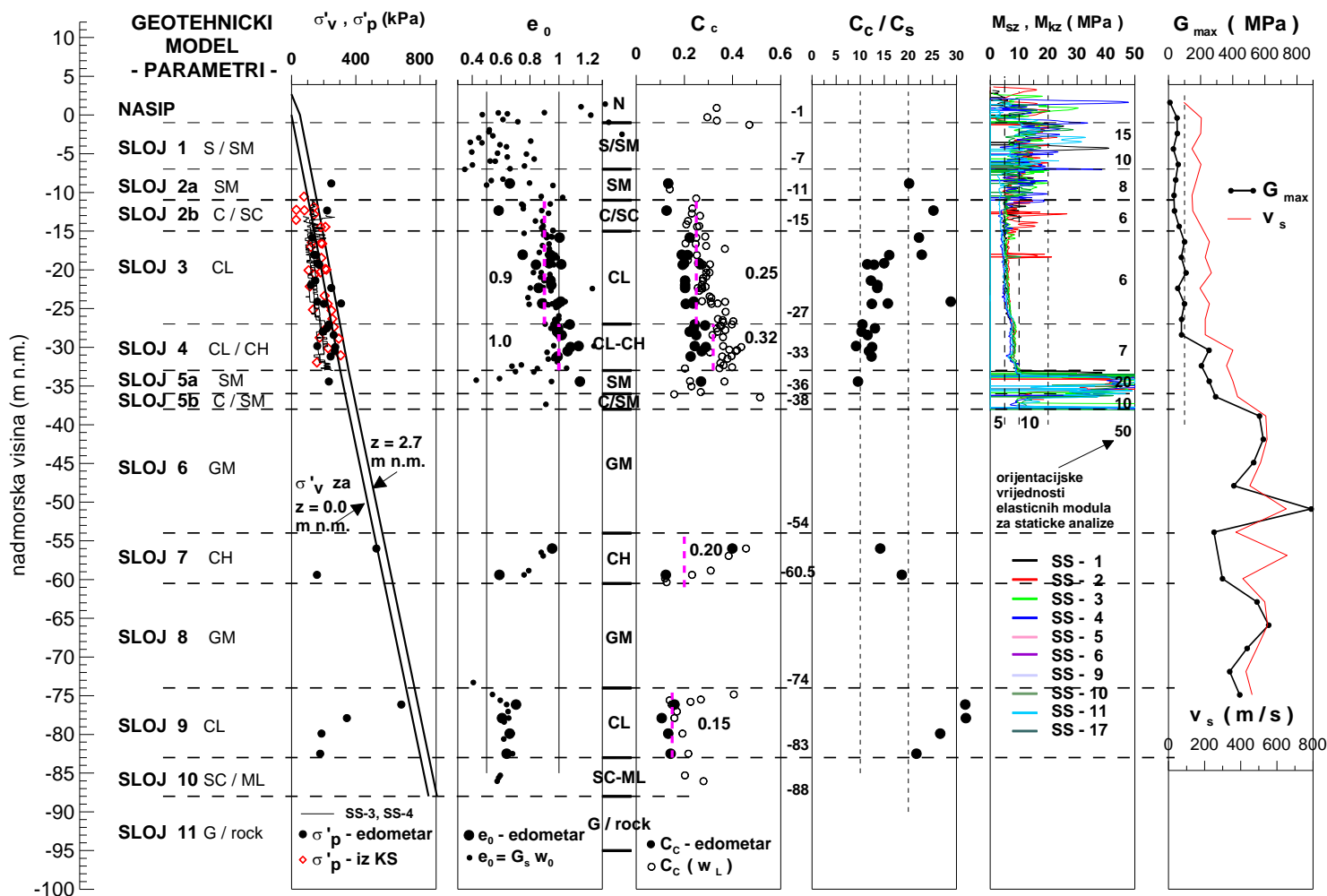
Korelacije



Izbor karakterističnih vrijednosti

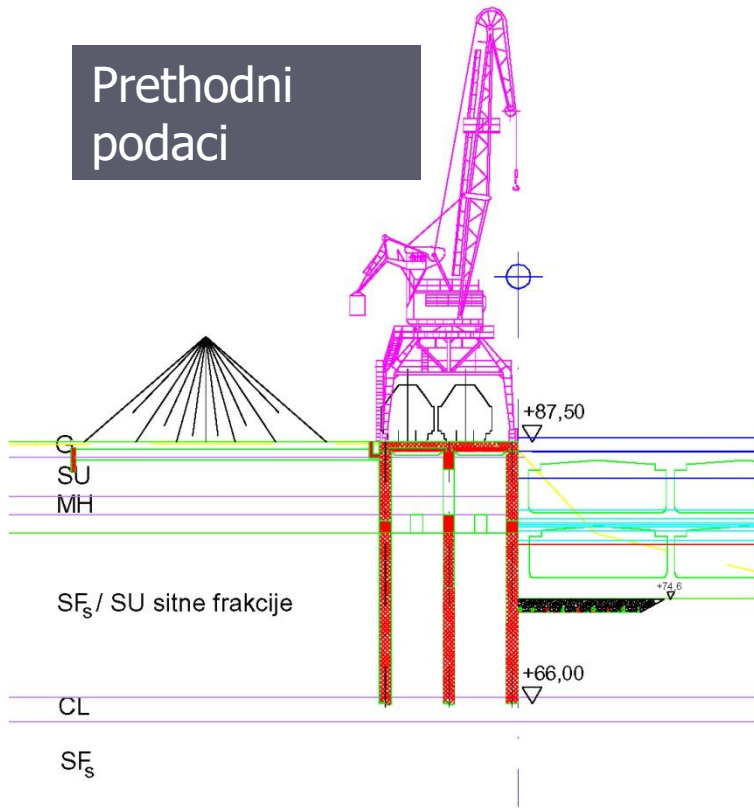


Izbor karakterističnih vrijednosti



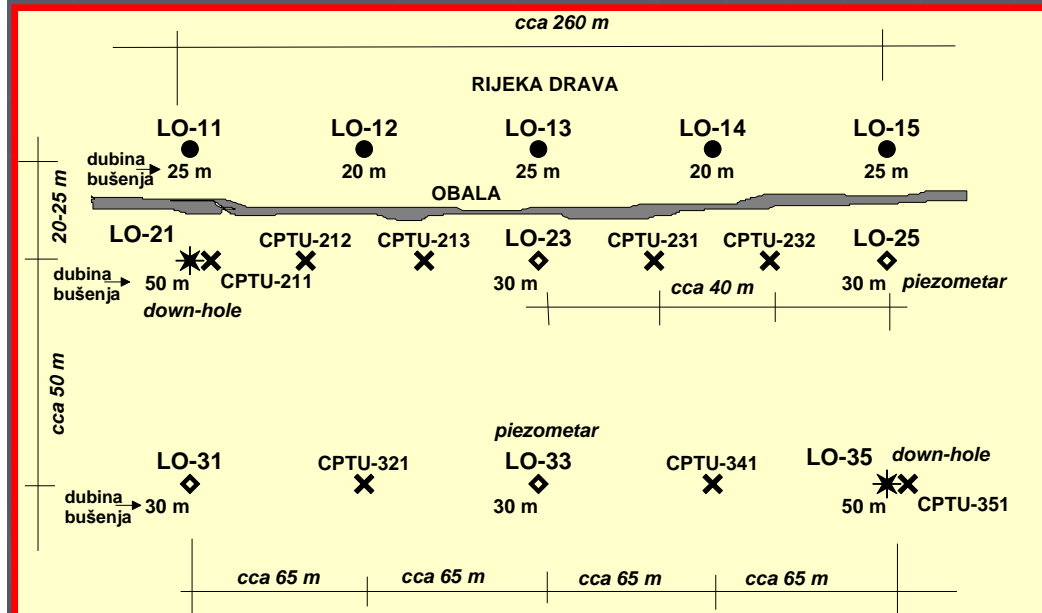
Stvaranje geotehničkog modela 1 primjer: Luka Osijek

Prethodni
podaci



Slika 2-1 Prognozni geotehnički profil na lokaciji Luke Osijek

Program istražnih radova

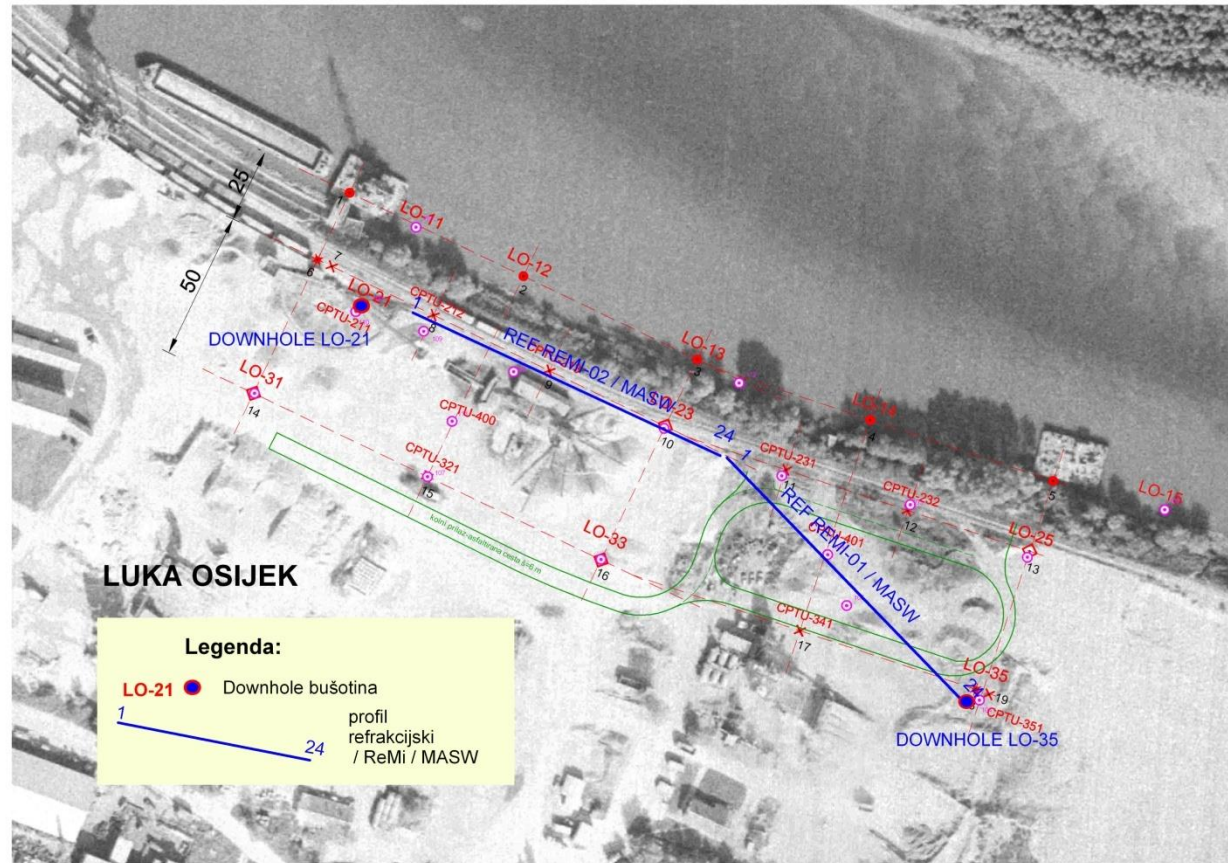


Slika 2-2 Skica rasporeda istražnih bušotina i CPTU sondi

Stvaranje geotehničkog modela 2 primjer: Luka Osijek

Izvedba istražnih radova – stvarni raspored istražnih mjesta na terenu

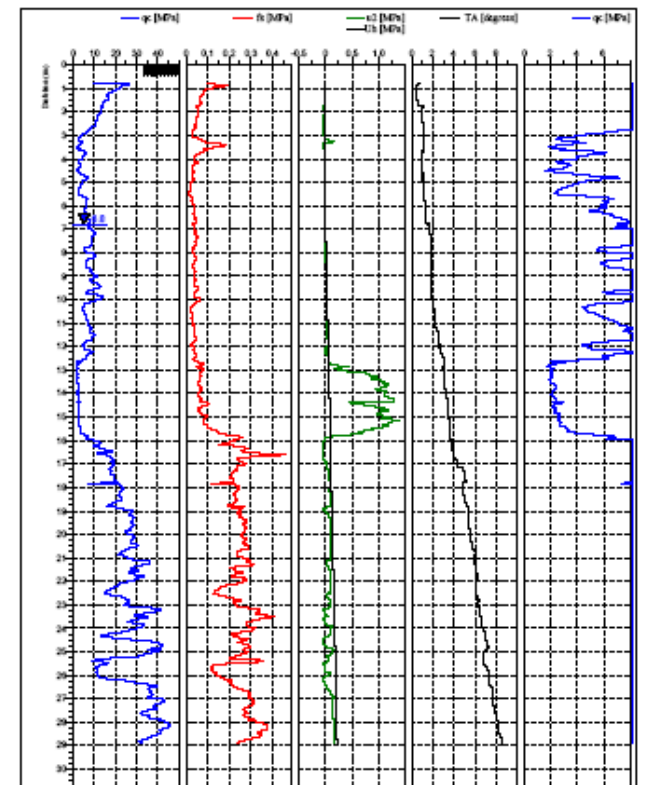
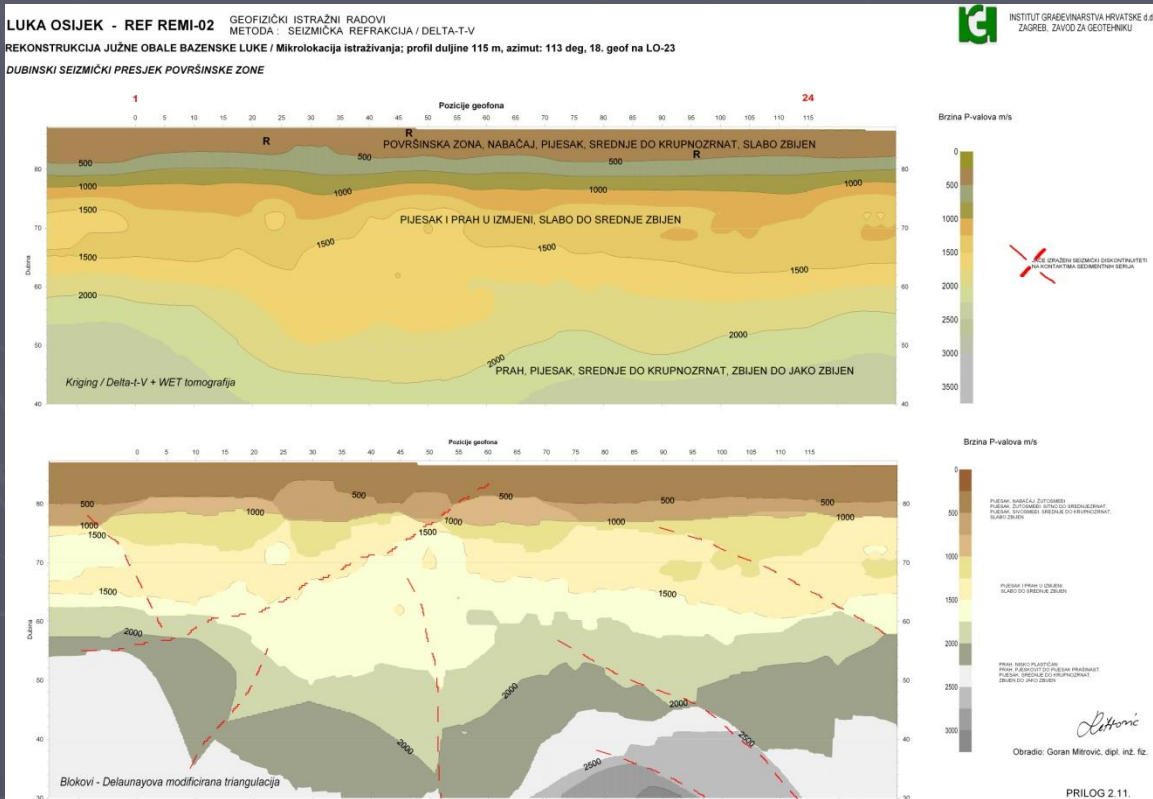
SITUACIJA: GEOFIZIČKA ISPITIVANJA; DOWNHOLE, SEIZMIČKA REFRAKCIJA, REMI I MASW



PRILOG 2.1.

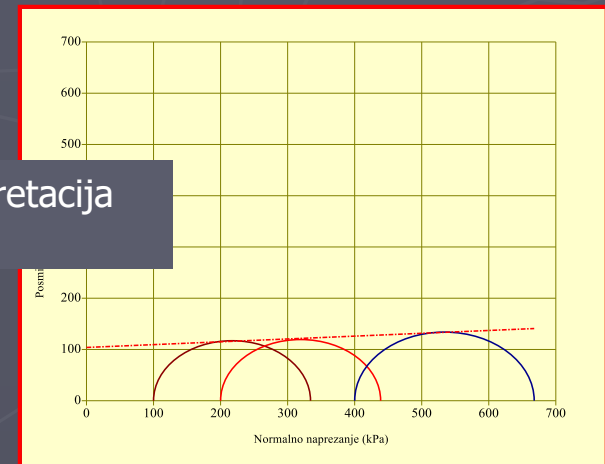
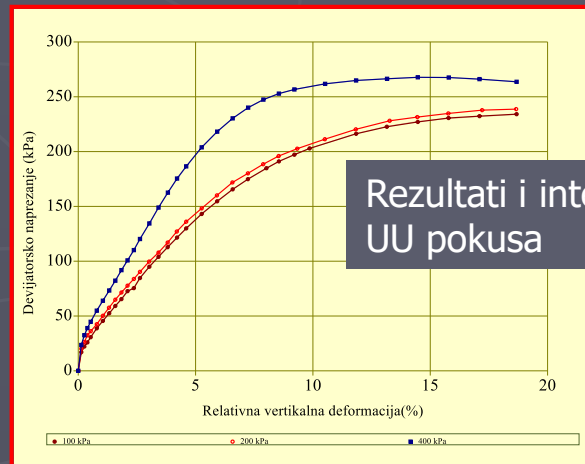
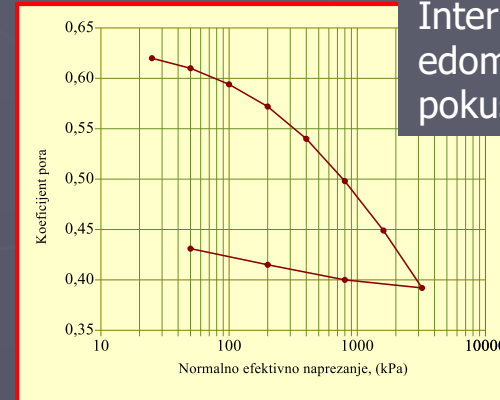
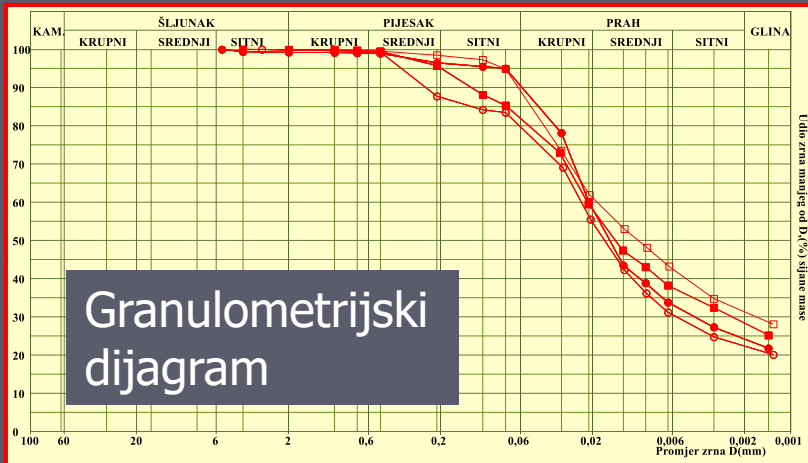
Stvaranje geotehničkog modela 3 primjer: Luka Osijek

Rezultati istražnih radova – in situ ispitivanja: geofizička i CPT



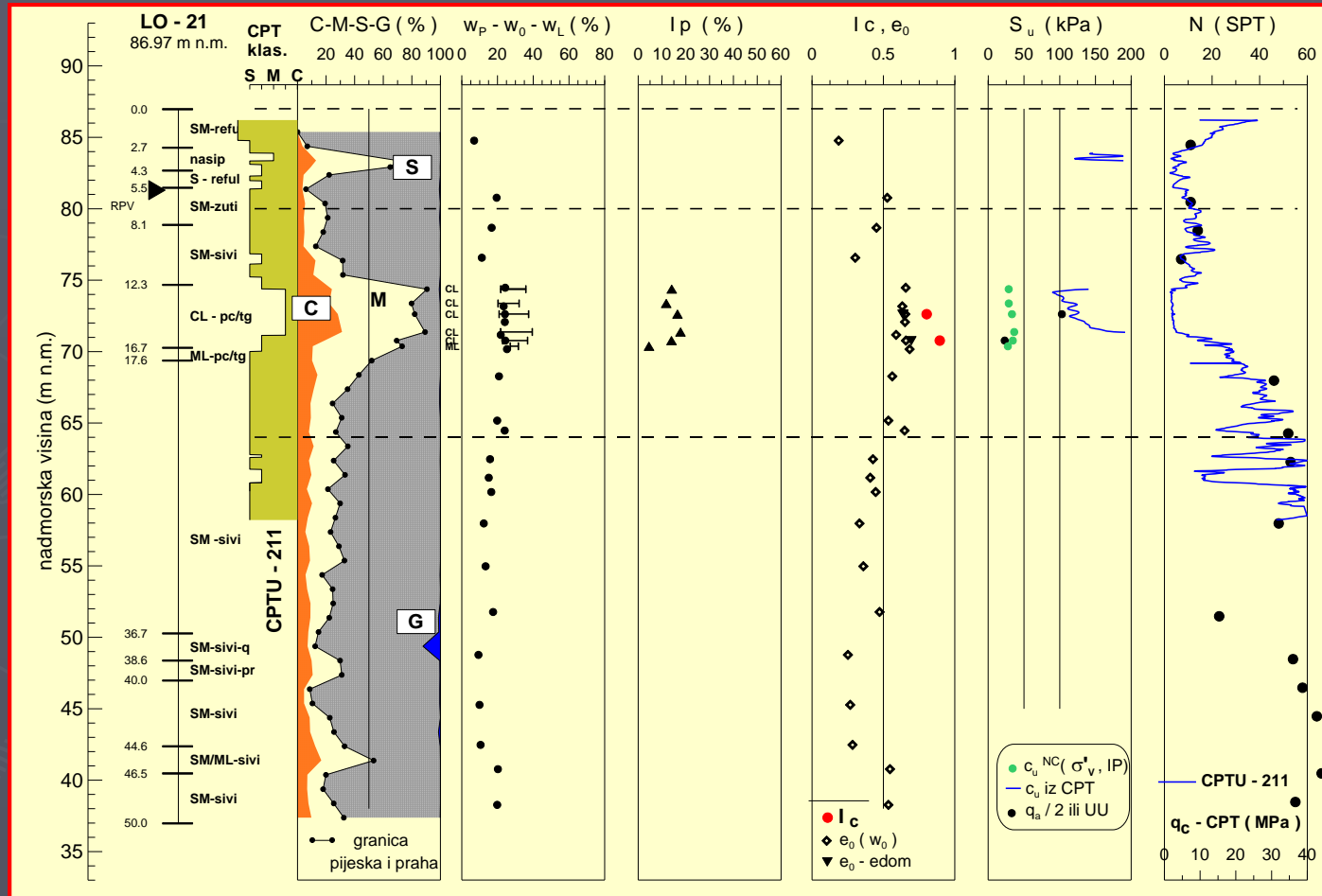
Stvaranje geotehničkog modela 4 primjer: Luka Osijek

Rezultati istražnih radova – laboratorijska ispitivanja



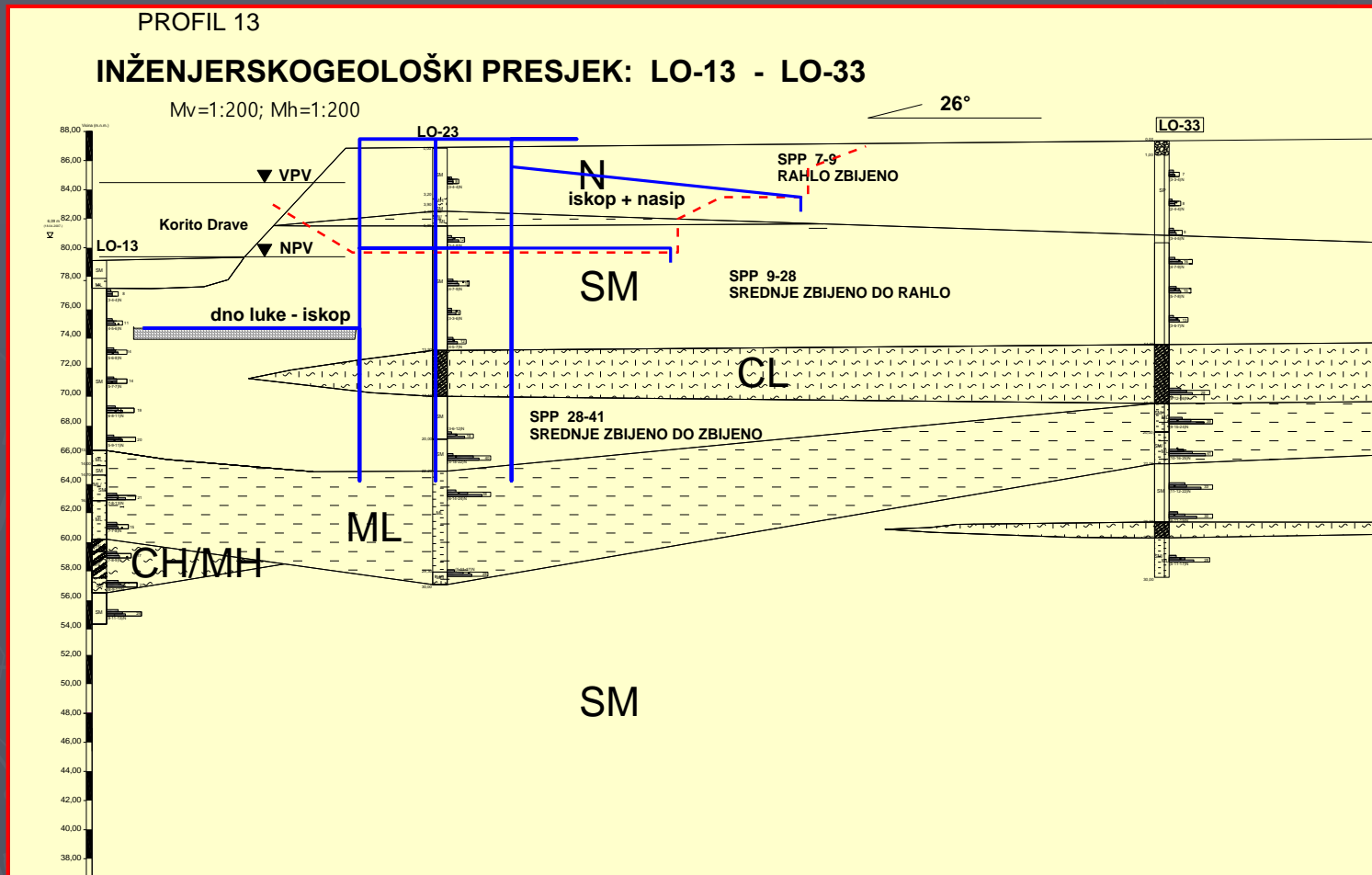
Stvaranje geotehničkog modela 5 primjer: Luka Osijek

Rezultati istražnih radova – sažeti prikaz rezultata istražnog bušenja, laboratorijskog ispitivanja uzoraka i bliskog in situ (CPT) pokusa



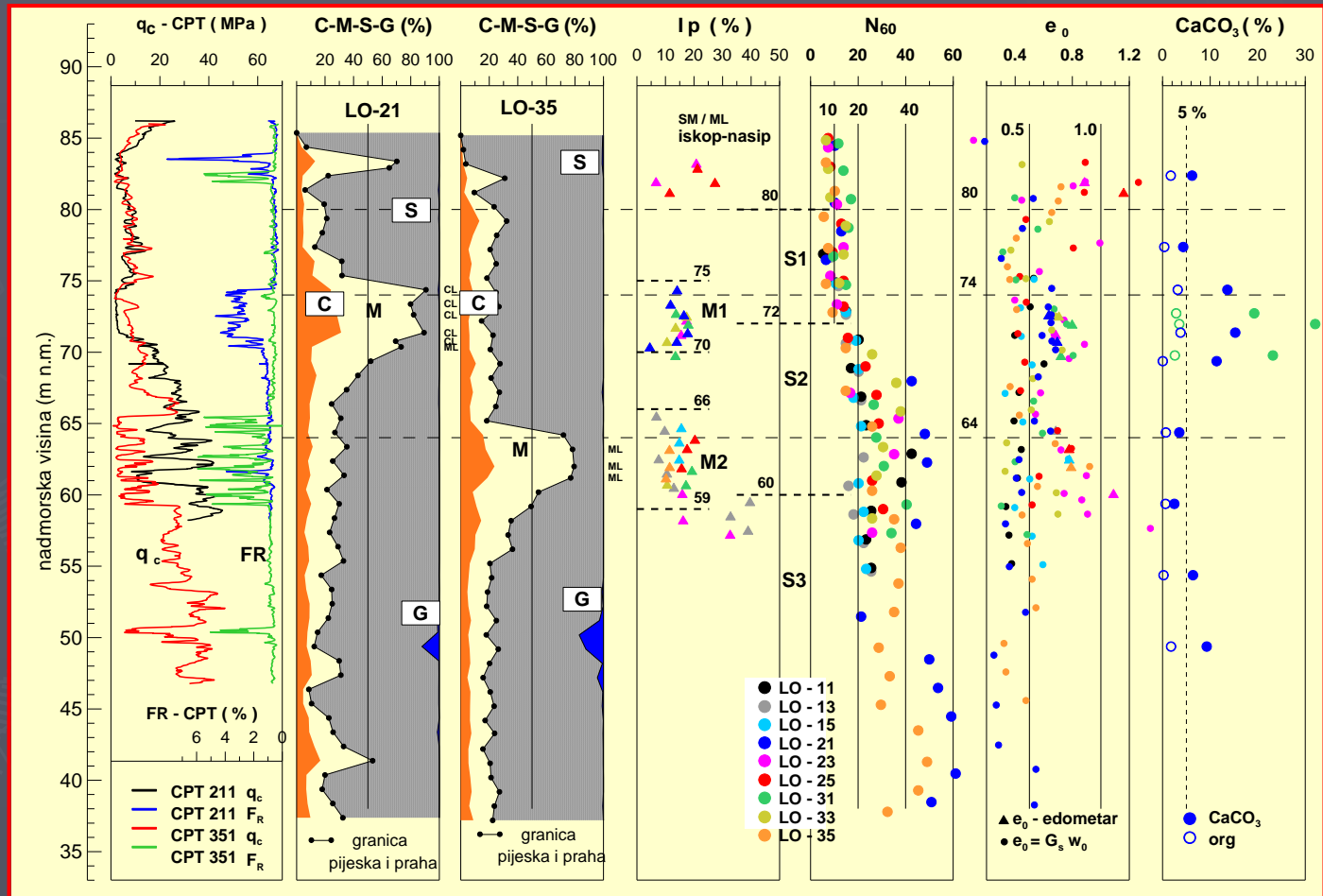
Stvaranje geotehničkog modela 6 primjer: Luka Osijek

Rezultati istražnih radova – geotehnički profil



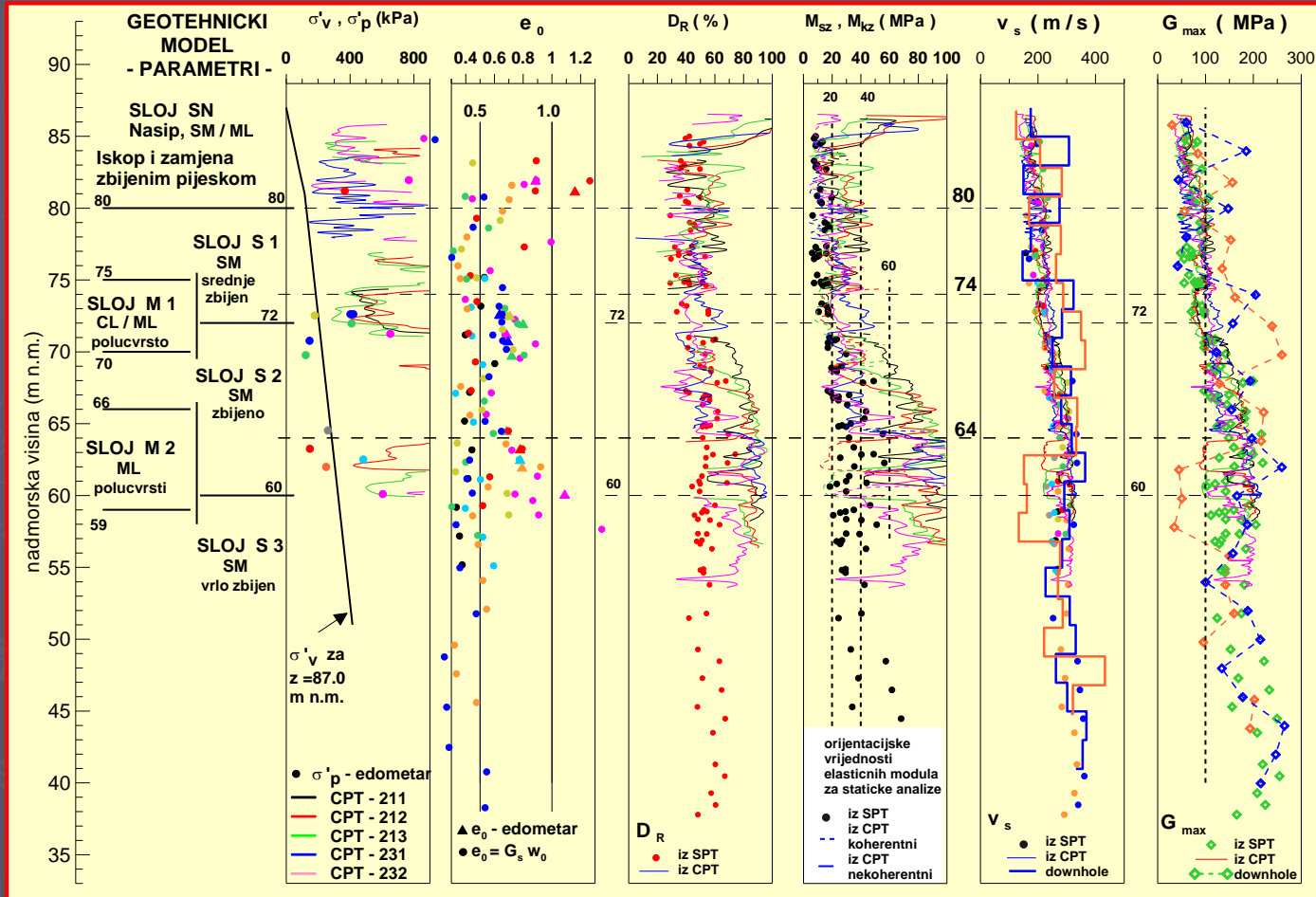
Stvaranje geotehničkog modela 7 primjer: Luka Osijek

Određivanje karakterističnih slojeva prema klasifikacijskim ili indeksnim pokazateljima



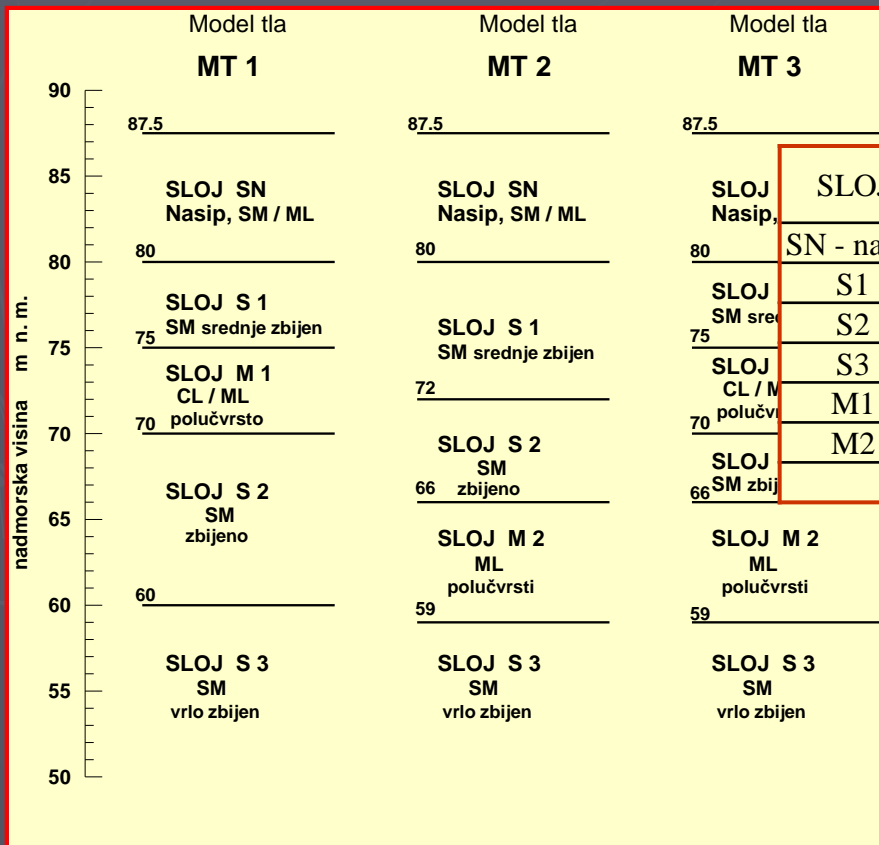
Stvaranje geotehničkog modela 8 primjer: Luka Osijek

Određivanje karakterističnih slojeva prema mehaničkim pokazateljima;
podloga za izbor karakterističnih vrijednosti



Stvaranje geotehničkog modela 9 primjer: Luka Osijek

Geotehnički modeli tla – idealizacija
za proračune



Tablica 1.5-1: Karakteristične vrijednosti
tipičnih geotehničkih parametara

SLOJ	Oznaka	S_u (kPa)	ϕ_{cv}' (°)	e_0	D_R	C_v (m^2/sec)	M statički (MPa)
SN - nasip	SM/ML	-	32	-	-	-	10
S1	S / SM	-	32	-	50	-	20
S2	S / SM	-	35	0.5	70	-	40
S3	S / SM	-	36	0.4	80	-	60
M1	CL / ML	80	29	0.7	-	$1 \cdot 10^{-6}$	20
M2	ML / CL	100	29	0.8	-	$1 \cdot 10^{-6}$	30

dublji slojevi nisu od inženjerskog interesa za očekivane zahvate

Stvaranje geotehničkog modela 10 primjer: Luka Osijek

Geotehnički model za
geotehničke seizmičke
analize – analize
seizmičkog odziva
lokalnog tla, analize
likvefakcijskog
potencijala

