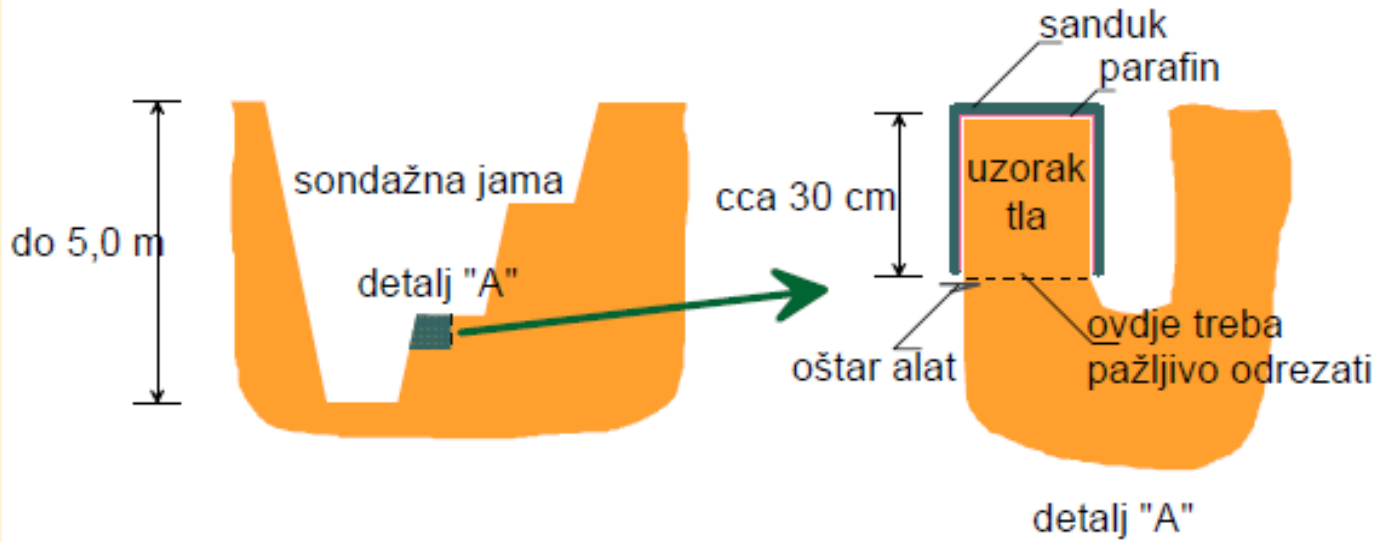


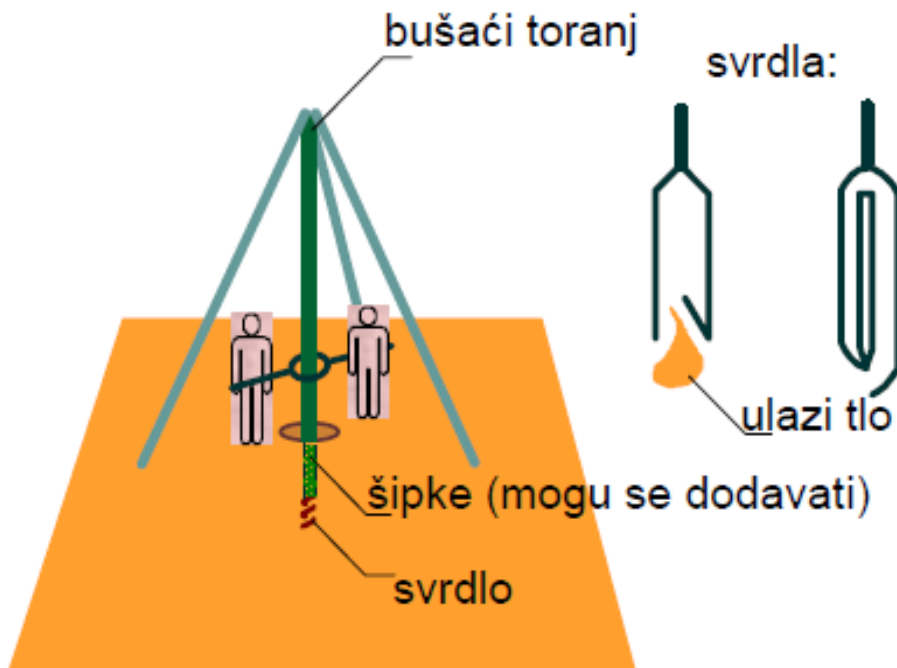
2. Mehanika tla

TERENSKA ISPITIVANJA

Uzorkovanje tla



Slika:
Vađenje
uzoraka iz
sondažnih
jama



Slika:
Vađenje uzoraka iz
bušotina – ručna garnitura

Uzorkovanje tla

Da bi uzorak ostao koliko-toliko **neporemećen**, potrebno je da cilindar zadovolji **dva kriterija**:

- koeficijent površine (EC 7/3) : $C_a = \frac{D_v^2 - D_n^2}{D_n^2} \leq 0,15$,
- koeficijent unutrašnjeg otvora: $C_i = \frac{D_u - D_n}{D_n} \leq 0,015$.

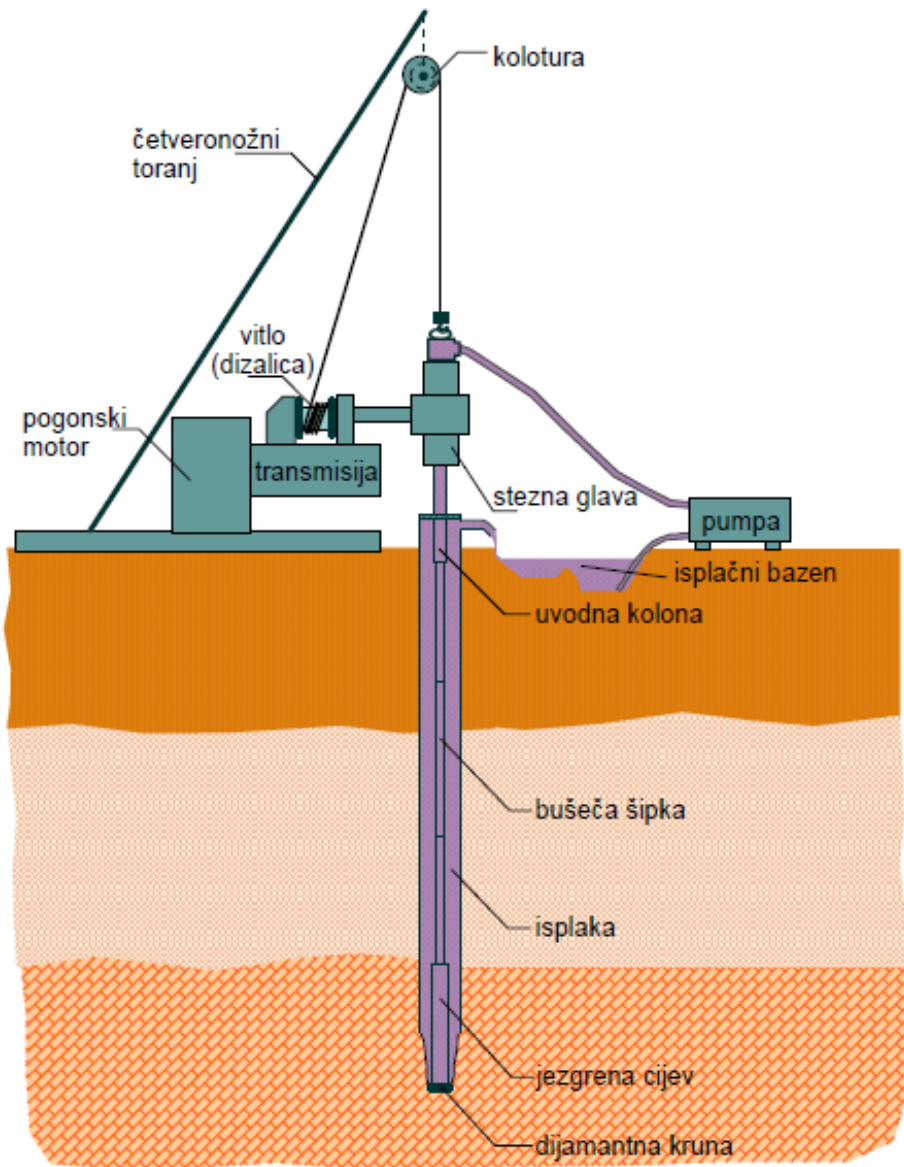
gdje je:

D_n ... unutrašnji rub noža cilindra,

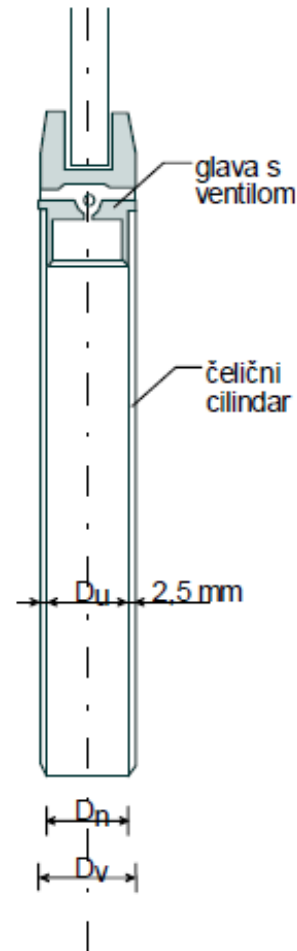
D_v ... najveći vanjski promjer cilindra,

D_u ... unutrašnji promjer cilindra.

Uzorkovanje tla



a)

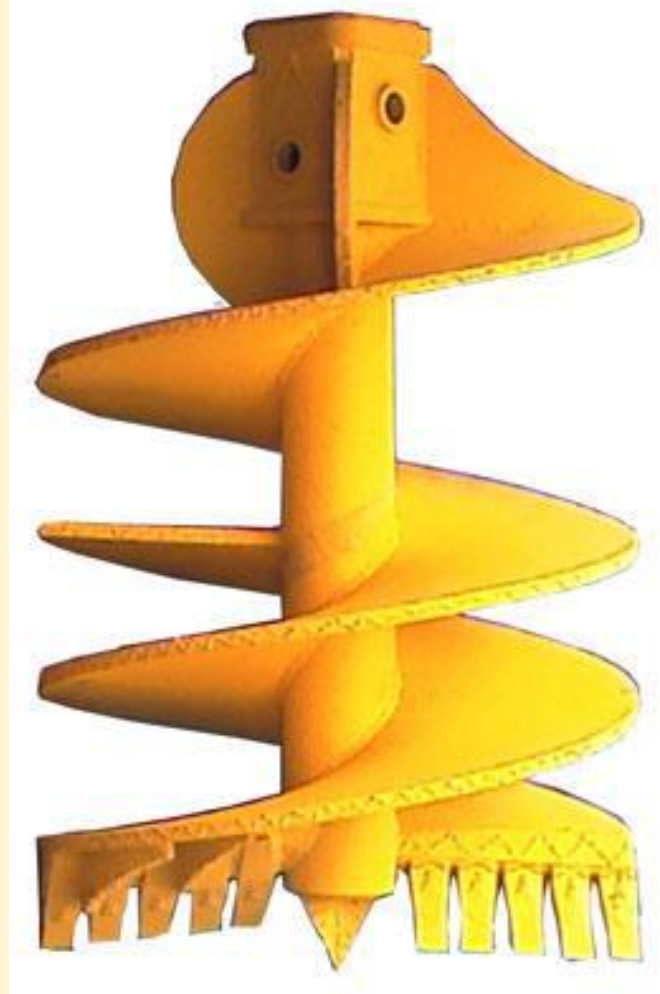


b)

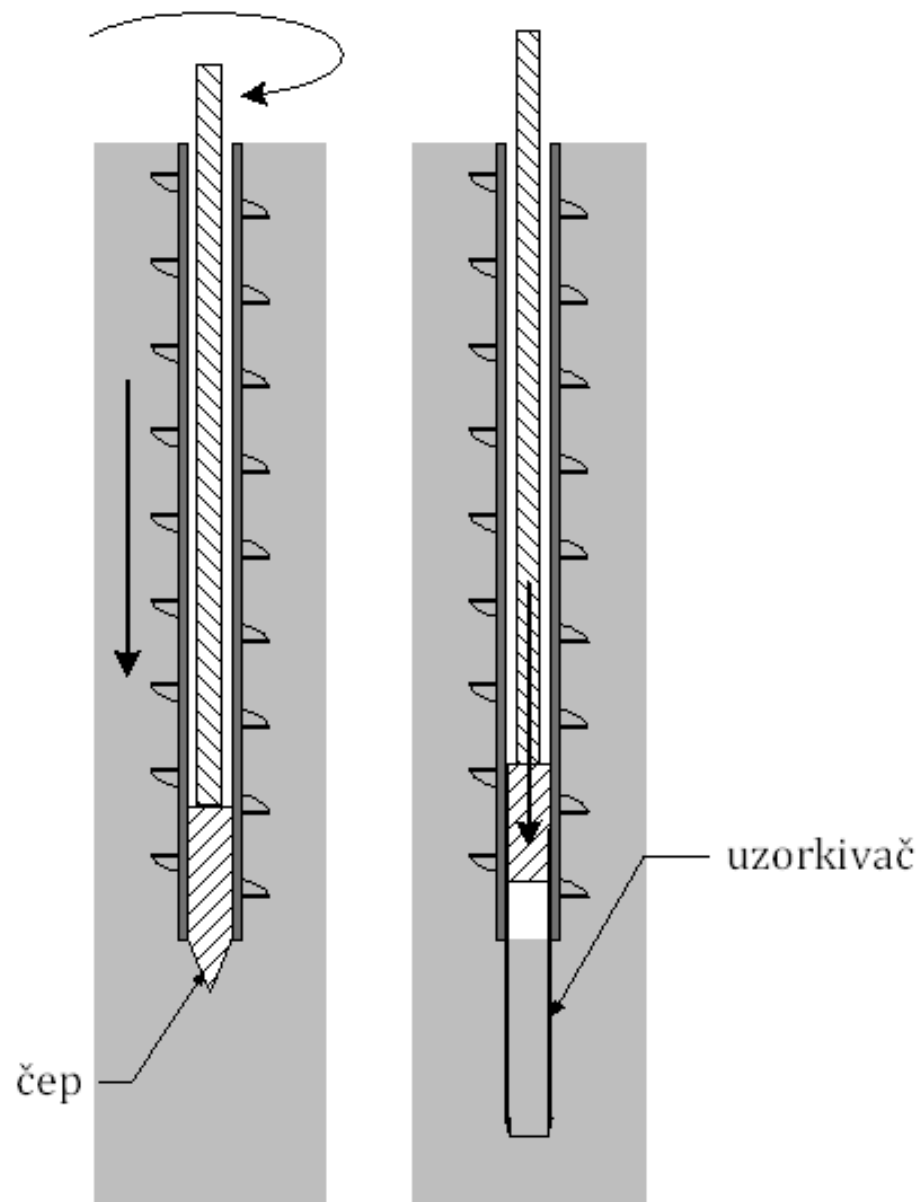
Slika
a) Vađenje uzoraka iz bušotina – motorna garnitura i
b) tankostjeni cilindar za vađenje neporemećenih uzoraka.



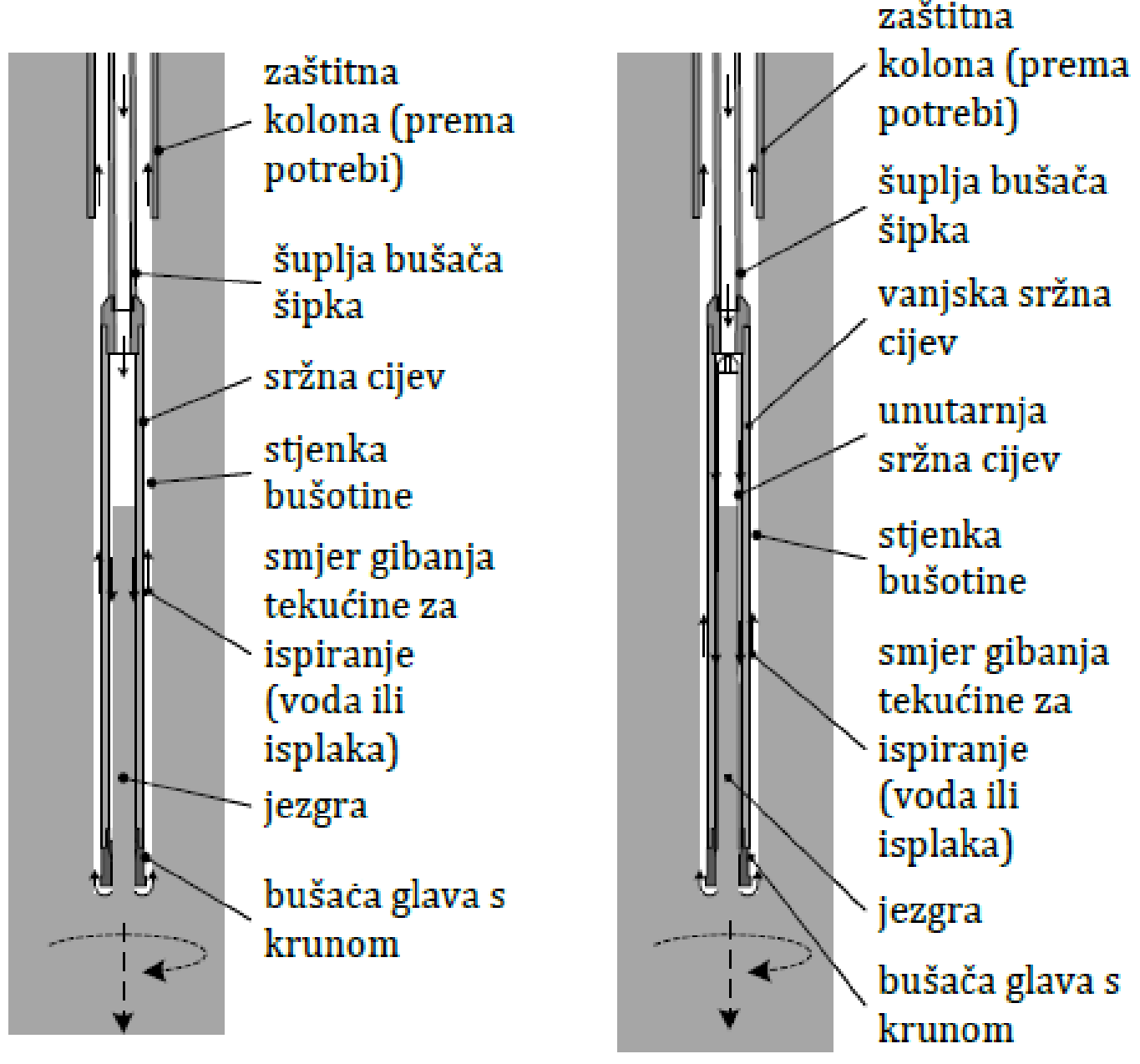
Uređaj za udarno bušenje



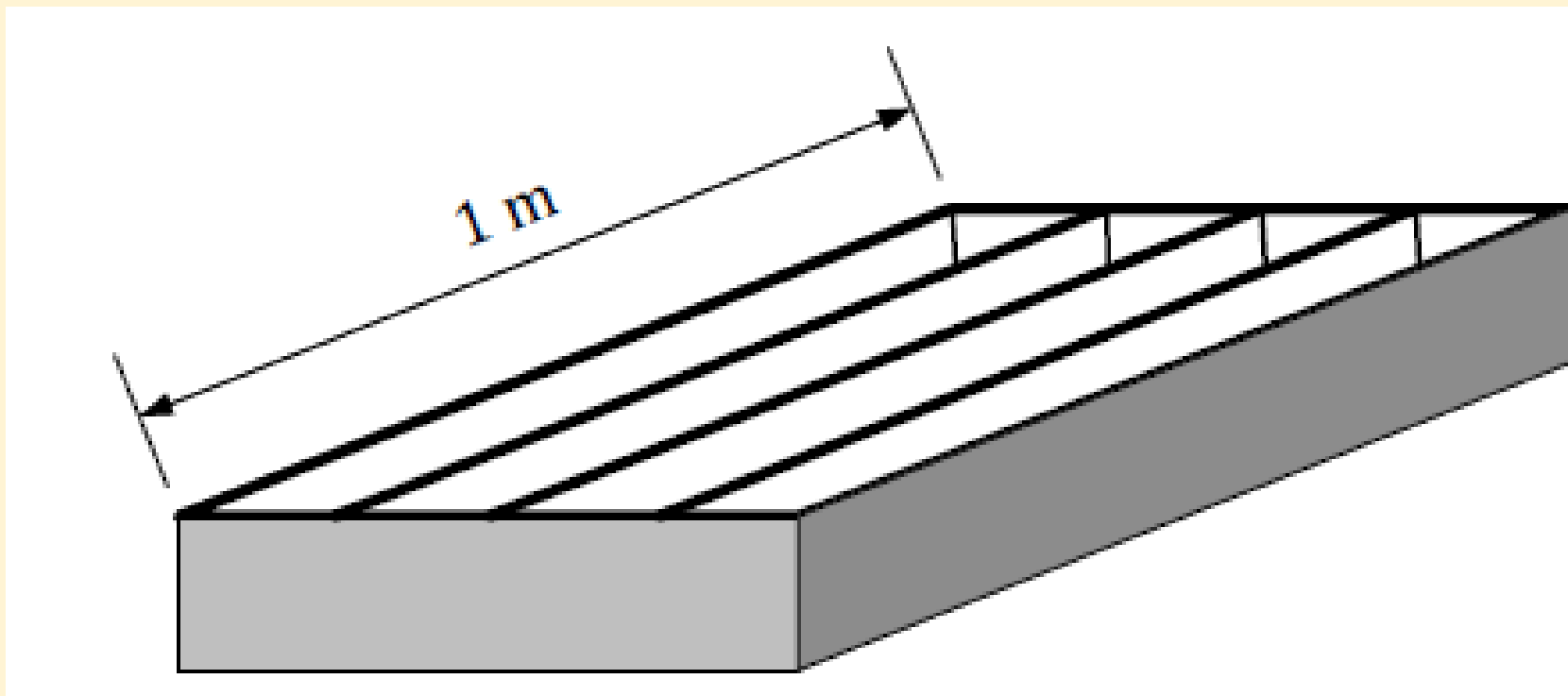
Spirala za svrdlanje



Šuplje bušalice svrdlo s čepom u fazi svrdlanja (lijevo) i prilikom utiskivanja uzorkivača za vađenje uzoraka tla u fazi mirovanja (desno)

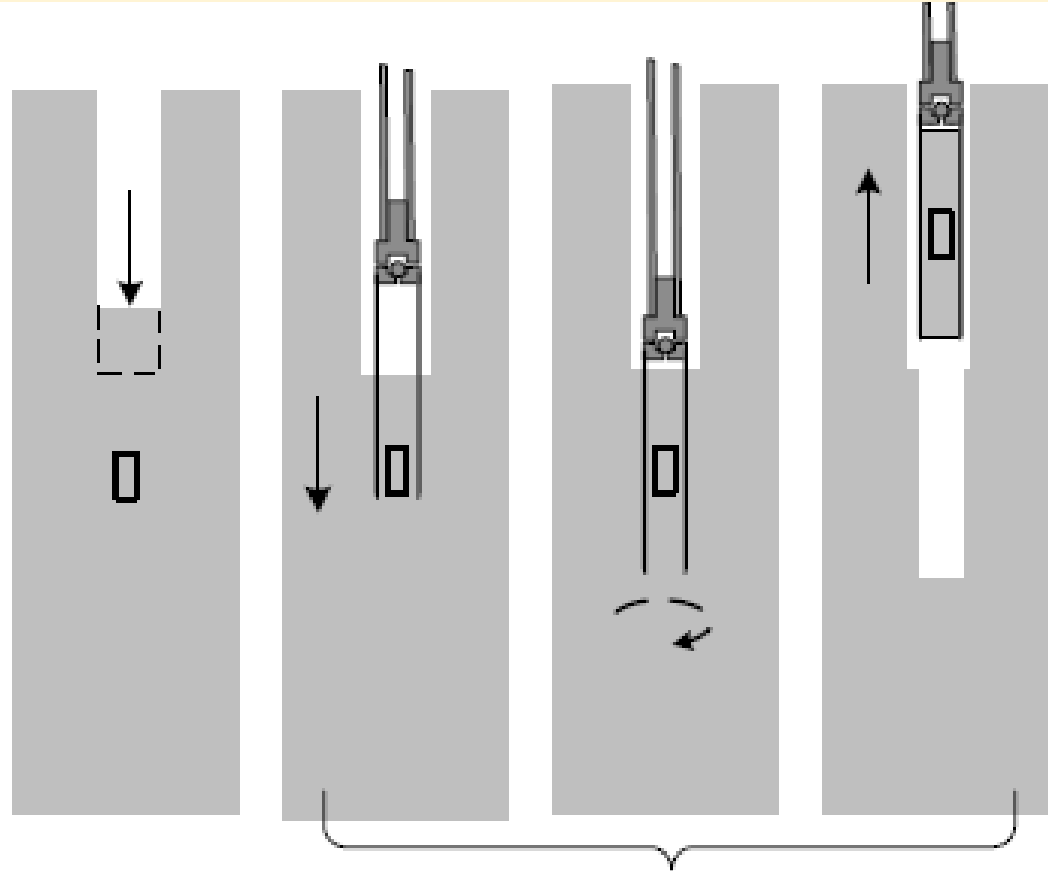


Rotaciono bušenje ili bušenje s jezgrovanjem; jezgrovanje s jednostrukom (lijevo) i dvostrukom sržnom cijevi (desno)



Drveni sanduk za odlaganje jezgre iz sržne cijevi

Faze uzorkovanja i priprema uzorka tla za ispitivanje u laboratoriju (Hight 2000, prema Simons i dr. 2002)



bušenje

uzorkovanje



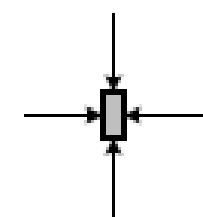
prevoz i spremanje



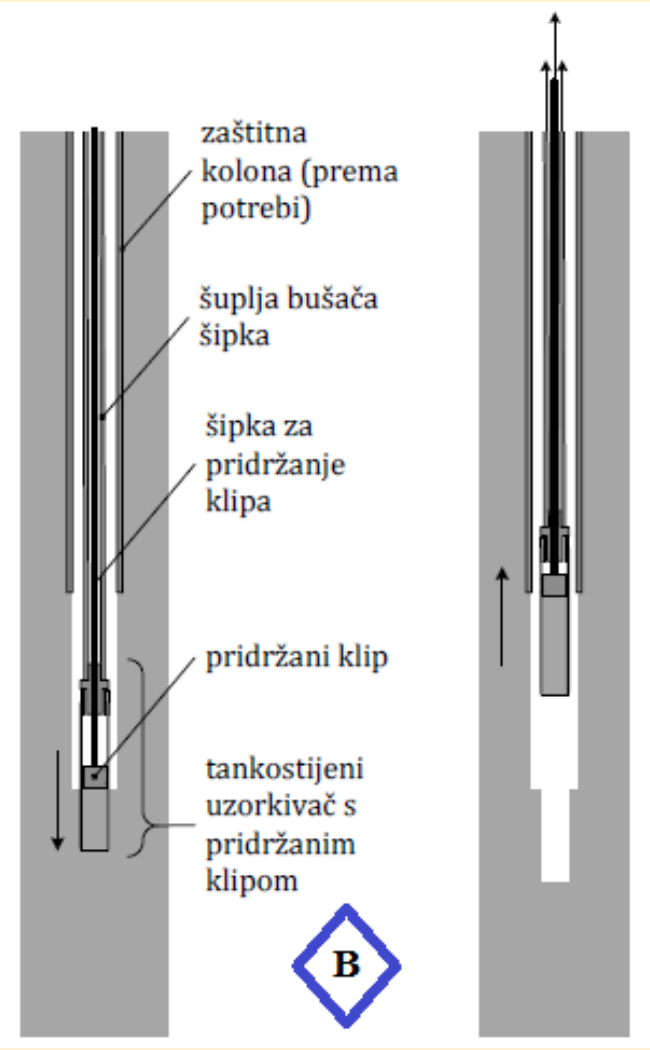
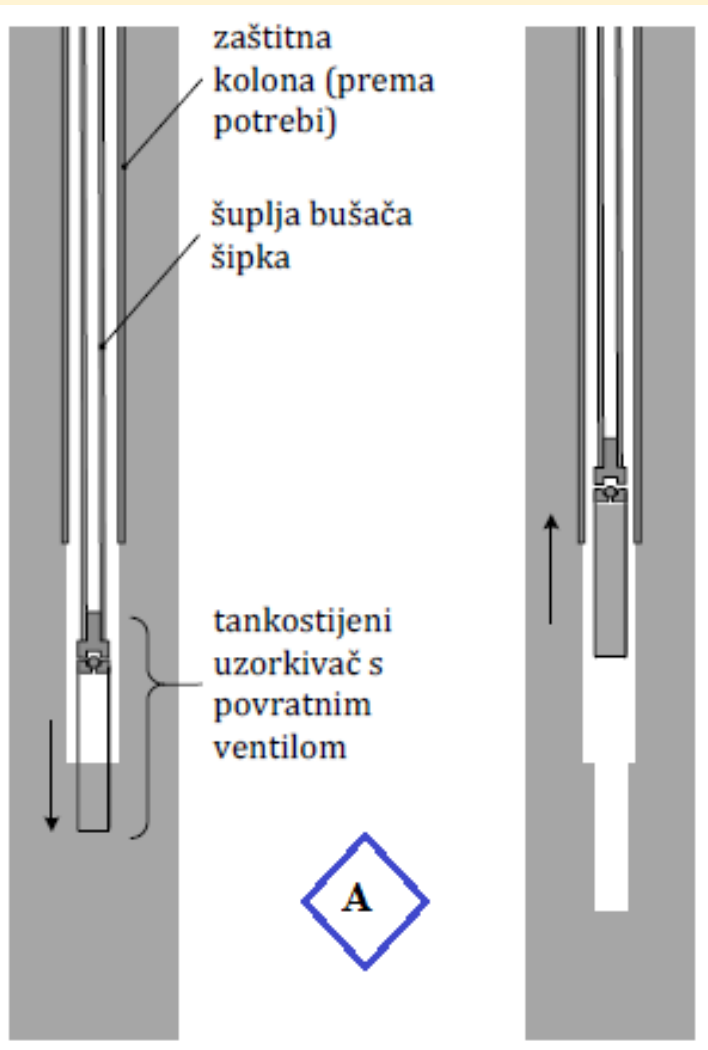
istiskivanje iz cijevi



priprema uzorka

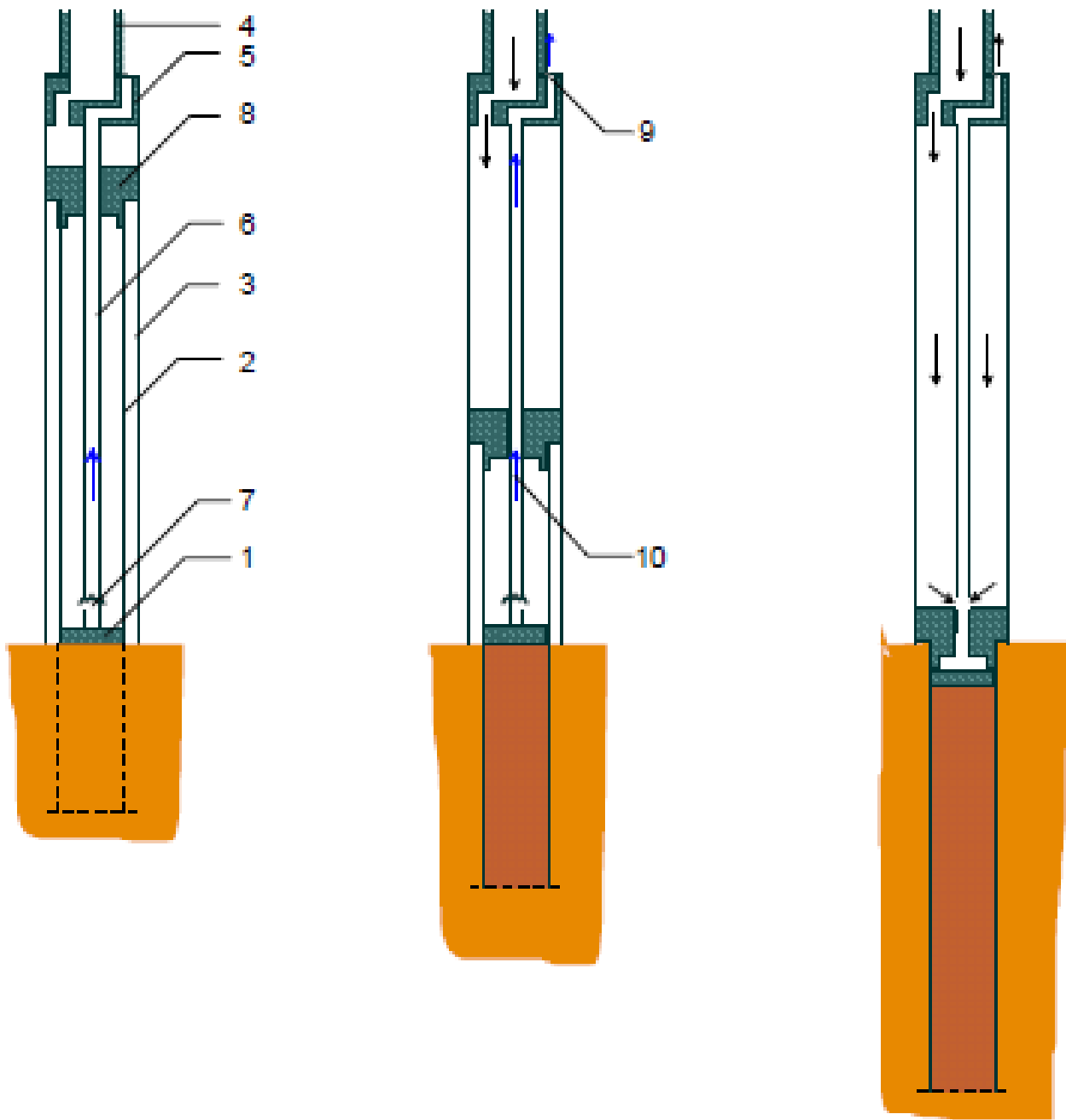


ispitivanje u laboratoriju



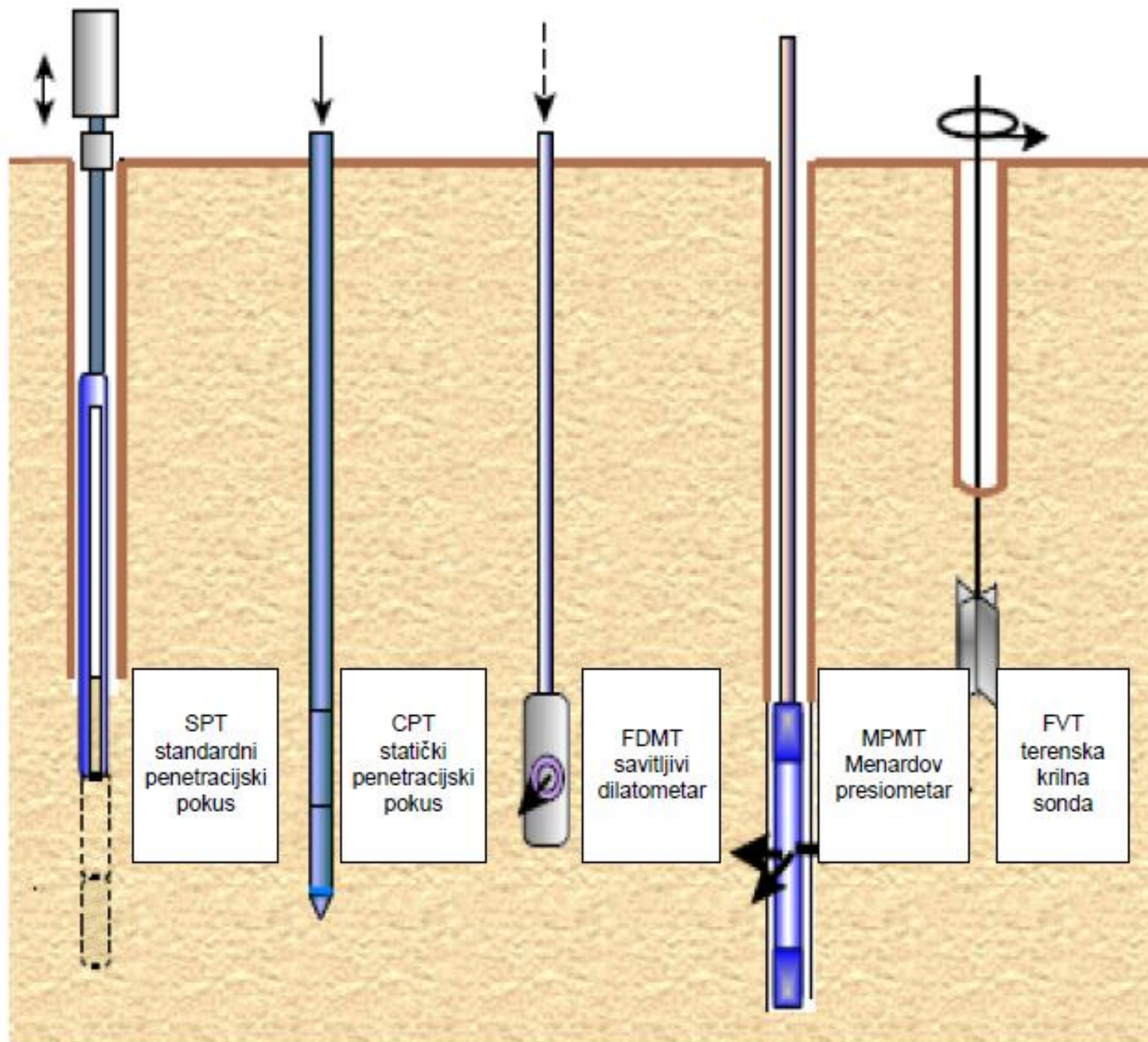
A- Utiskivanje tankostijenog uzorkivača u dno bušotine (lijevo) i vađenje uzorka na površinu (desno)

B- Utiskivanje tankostijenog uzorkivača s pridržanim klipom u dno bušotine (lijevo) i vađenje uzorka na površinu (desno)

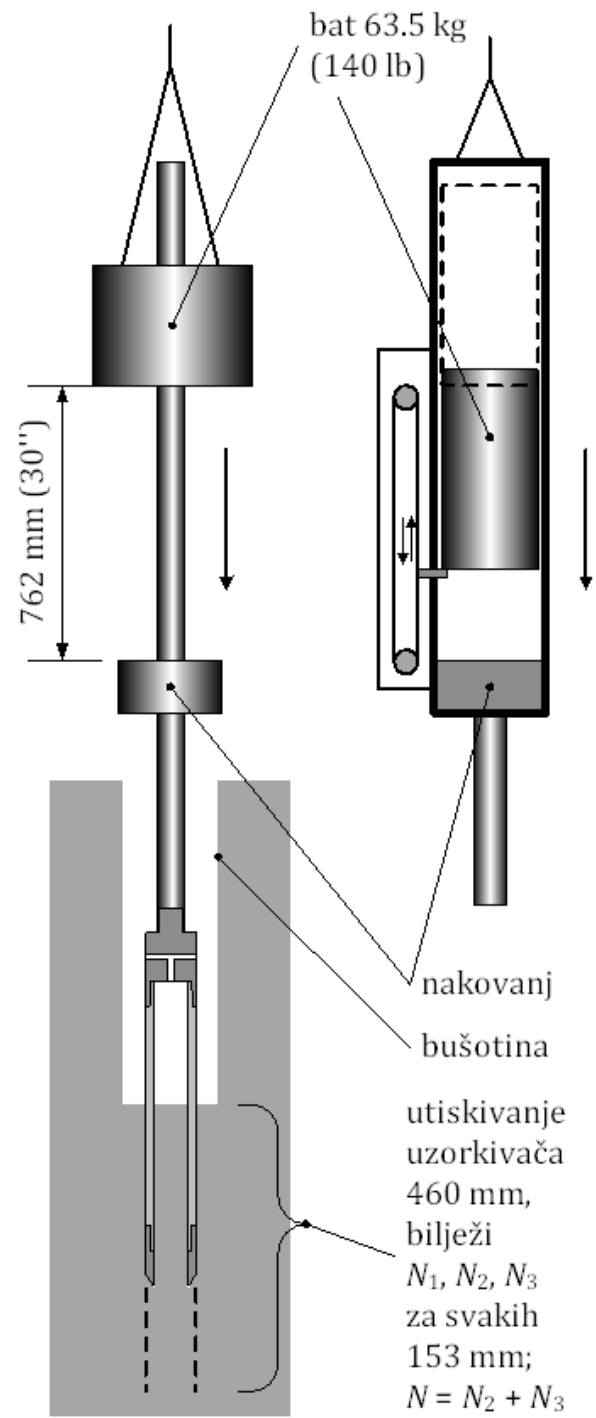
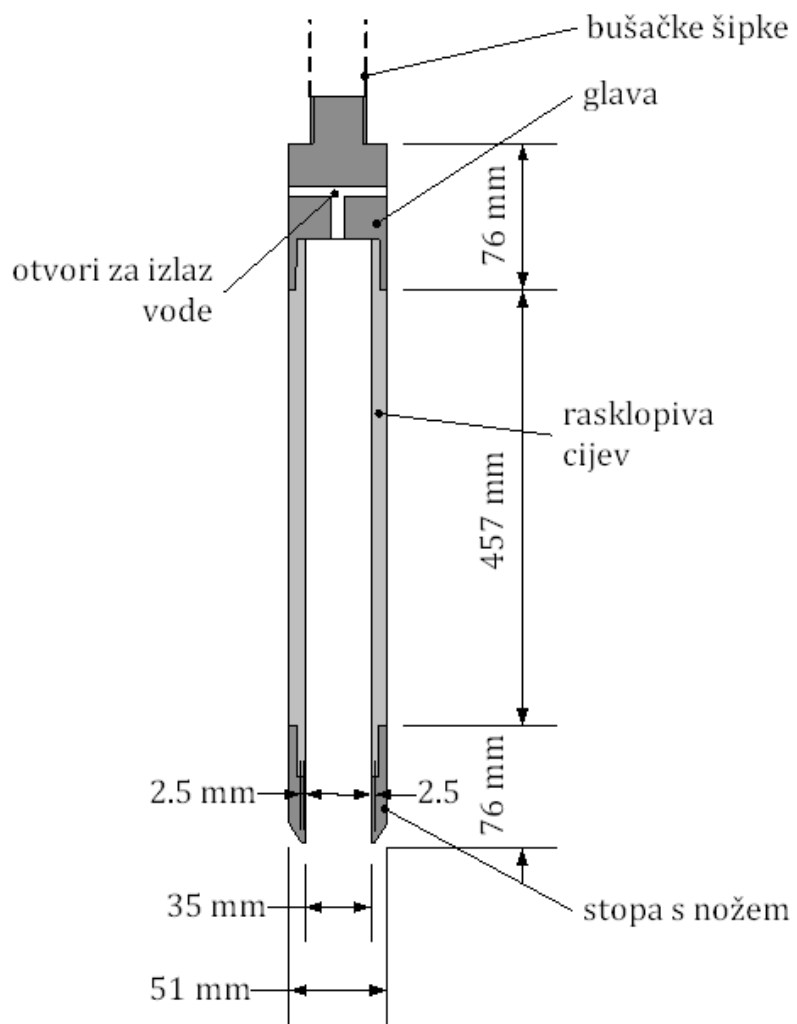


Slika
Cilindar s
fiksniim klipom,
za vađenje
neporemećenih
uzoraka

***Uobičajeni
geotehnički
in-situ
pokusi
(prema
Mayne i dr.
2001)***



**Debelostijeni
rasklopivi uzorkivač
standardnog
penetracijskog
pokusa (lijevo) i
način izvođenja
pokusa zabijanjem
uzorkivača u dno
bušotine tako da
valjkasti bat
slobodno pada na
nakovanj (desno);
dva sistema
otpuštanja bata –
prstenasti
(poludesno) i
automatski
(potpuno desno)**



Standardni penetracijski test (SPT – Standard Penetration Test)



SPT in-situ (udarac bata o nakovanj)

$$N_a \cdot ER_{I,a} = N_b \cdot ER_{I,b} \Rightarrow N_a / N_b = ER_{I,b} / ER_{I,a}$$



$$N_{60} = \frac{ER_r}{60} N$$

Tab: Popravni koeficijenti za dužinu šipke u pijesku (EC 7/3, Tab. 5.1)

Duljina šipke ispod nakovnja [m]	Popravni koeficijent, λ
> 10	1,00
6 - 10	0,95
4 - 6	0,85
3 - 4	0,75

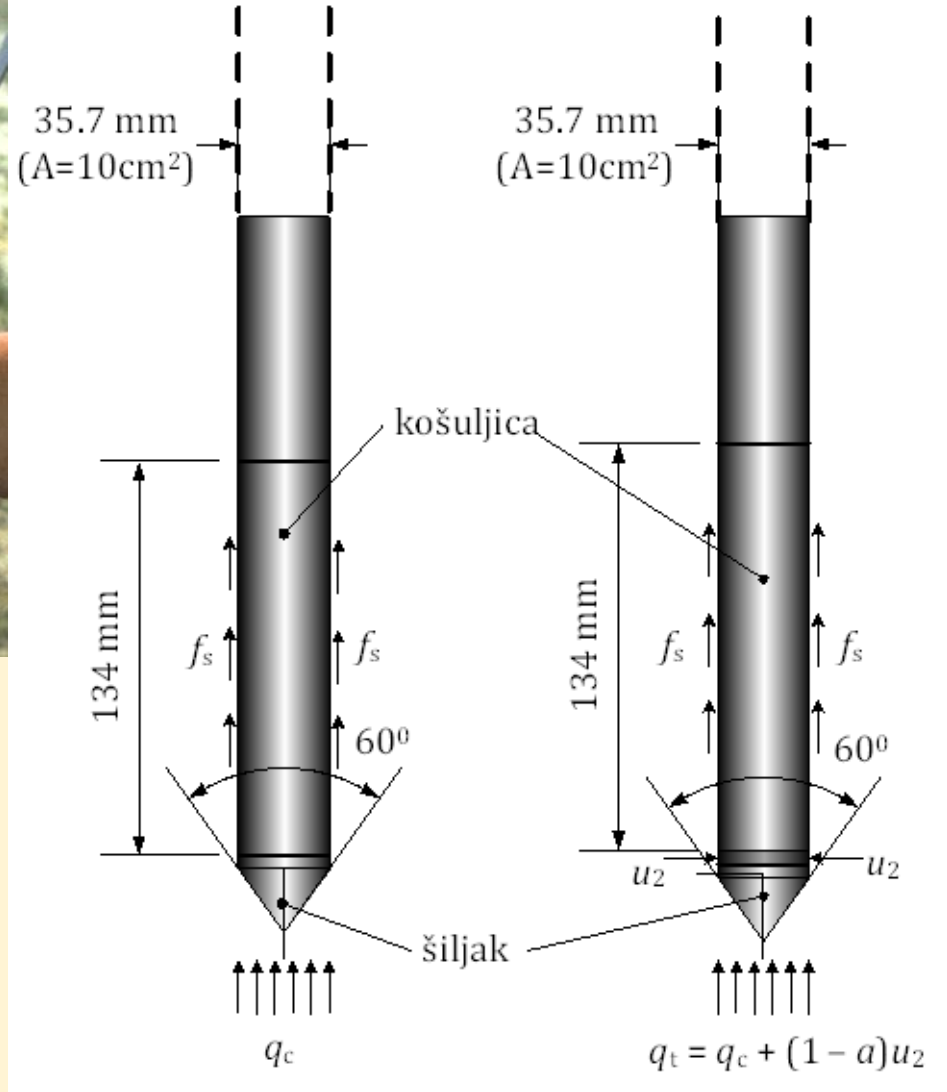
Tab.: Popravni koeficijenti C_N za efektivno naprezanje uslijed nadsloja pijeska (EC 7/3, Tab. 5.2).

Vrsta pijeska	Relativna zbijenost I_D %	C_N za σ'_v u [kPa $\times 10^{-2}$]
Normalno konsolidovan	40 do 60	$\frac{2}{1 + \sigma'_v}$
	60 do 80	$\frac{3}{2 + \sigma'_v}$
Prekonsolidovan		$\frac{1,7}{0,7 + \sigma'_v}$

$$N_{60} = \frac{ER_T}{60} \cdot \lambda \cdot C_N \cdot N$$

Tabela: Stanja materijala tla prema zbijenosti (ISO/CD14688-2, Tab.2)

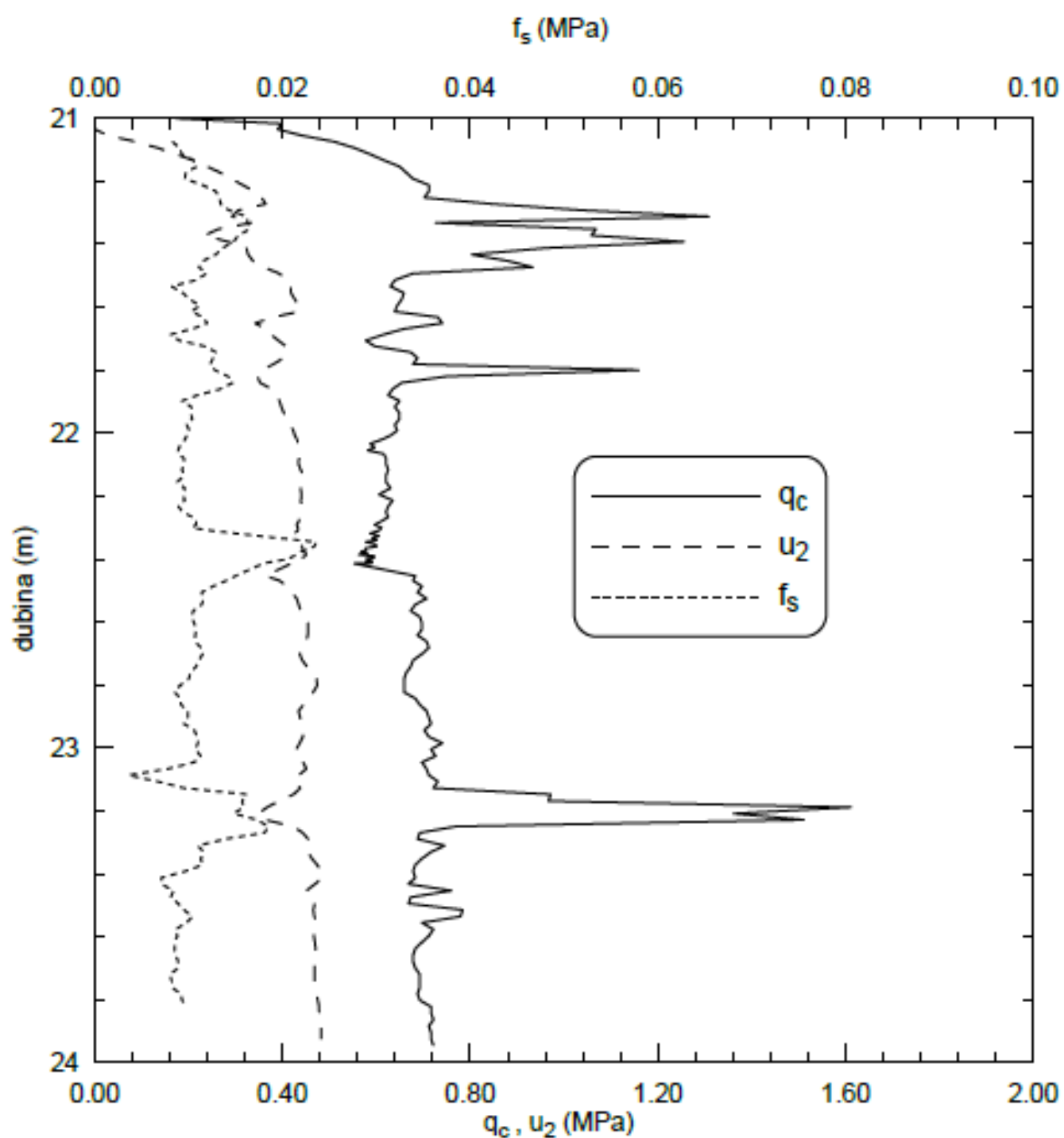
SPT N_{30}	zbijenost tla
0-4	vrlo rahlo
4-7	rahlo (rastresito)
7-15	srednje zbijeno
15-30	zbijeno
>30	vrlo zbijeno



Sonda i šiljak za CPT

Statički penetracijski test (CPT – Cone Penetration Test)

*Tipični rezultati
CPTU testa
(otpor šiljka,
pritisak vode i
trenje na košuljici)*

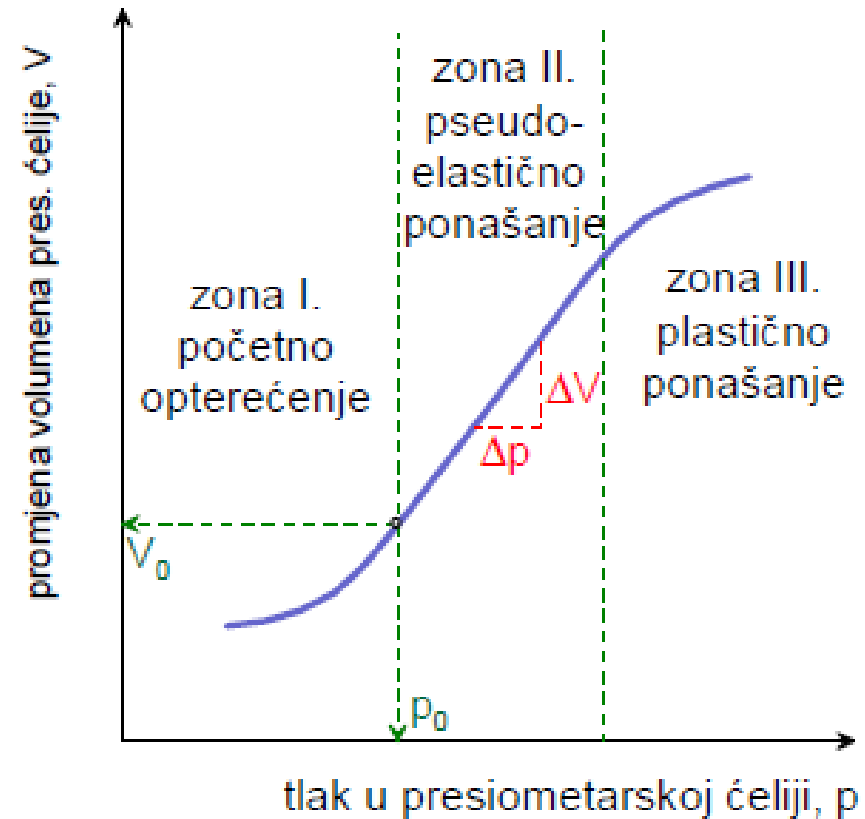
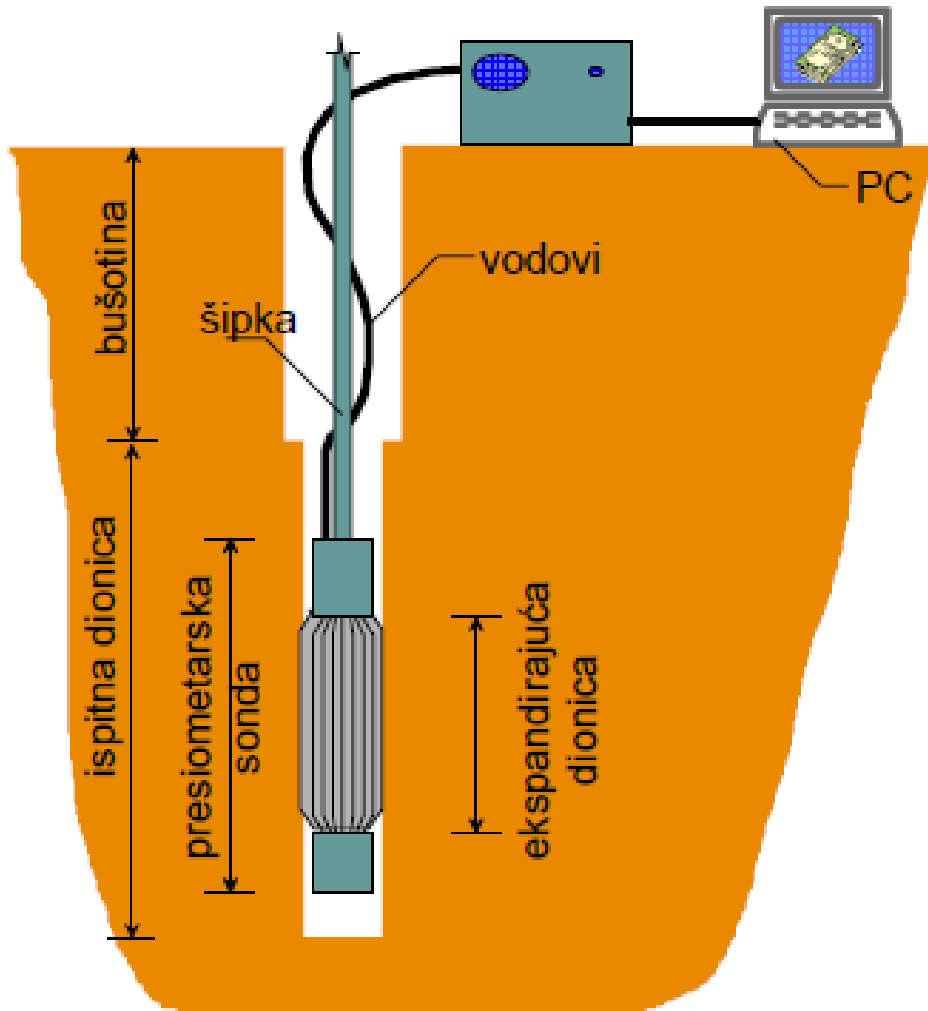


$$E_{oed} = \alpha \cdot q_c$$

Tabela koeficijenata α (prema Sanglerat, 1972 i EC 7/3).

CL - nisko plastična glina:	$q_c \leq 0,7$ (MPa)	$3 < \alpha < 8$
	$0,7 < q_c < 2$ (MPa)	$2 < \alpha < 5$
ML - niskoplastičan prah	$q_c \geq 2$ (MPa)	$1 < \alpha < 2,5$
	$q_c < 2$ (MPa)	$3 < \alpha < 6$
CH - visoko plastična glina	$q_c \geq 2$ (MPa)	$1 < \alpha < 2$
MH - visoko plastičan prah:	$q_c < 2$ (MPa)	$2 < \alpha < 6$
	$q_c > 2$ (MPa)	$1 < \alpha < 2$
OL - visokoplastičan organski prah:	$q_c < 1,2$ (MPa)	$2 < \alpha < 8$
Pt-OH - treset i visokopl. organska glina:	$q_c < 0,7$ (MPa)	
	$50 < w \leq 100$	$1,5 < \alpha < 4$
	$100 < w \leq 200$	$1 < \alpha < 1,5$
Kreda:	$w > 300$	$\alpha < 0,4$
	$2 < q_c \leq 3$ (MPa)	$2 < \alpha < 4$
Pijesak:	$q_c > 3$ (MPa)	$1,5 < \alpha < 3$
	$q_c < 5$ (MPa)	$\alpha = 2$
	$q_c > 10$ (MPa)	$\alpha = 1,5$

Ménardov presiometar (MPMT – Ménard Pressuremeter Test)



(a)

(b)

Slika: (a) Presiometar - shema i (b) dijagram opterećivanja

Ménardov presiometar (**MPMT** – **Ménard Pressuremeter Test**)

Razvio Menard 1955.u Francuskoj

Teorija za Menardov presiometar bazira se na širenju beskonačno debelog cilindra od elastičnog materijala (Das, 1990), pa se Youngov modul tla određuje prema:

$$E = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot V_o \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

gdje je:

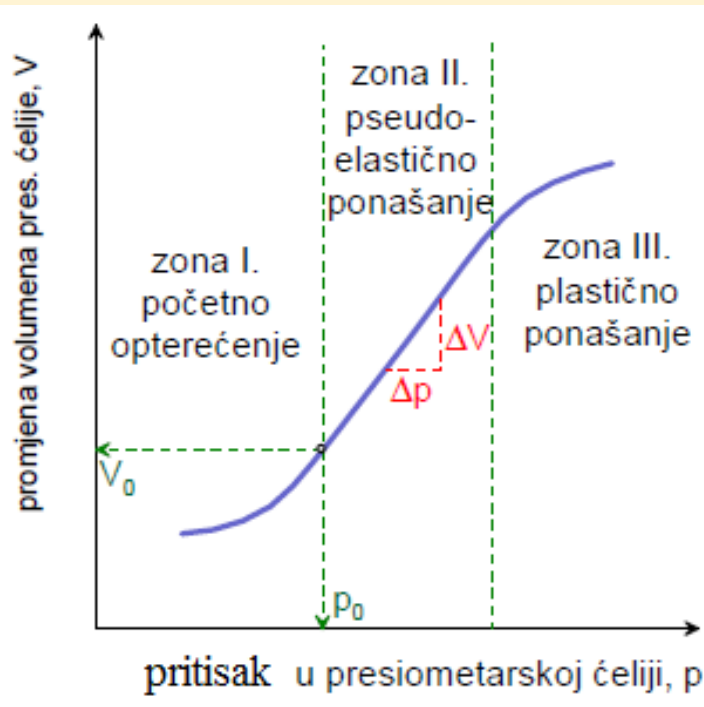
E ... Youngov modul tla,

ν ... Poissonov koeficijent,

V_o -volumen ekspandirajuće dionice (ćelije)

koji odgovara pritisku **p_o** (na početku zone II,

$\Delta p / \Delta V$... nagib pravca za zonu II.

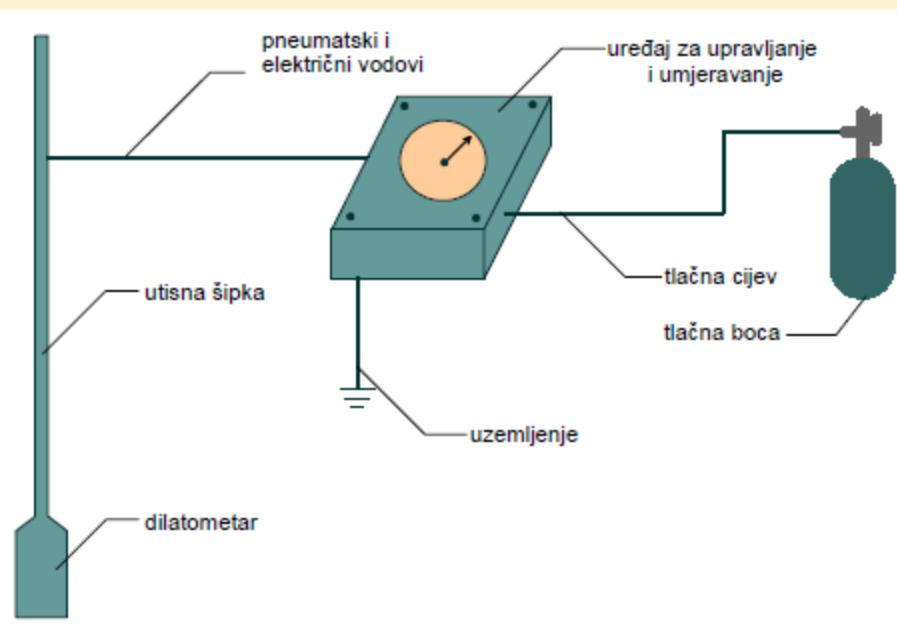


Menard preporučuje da se uzme vrijednost $\nu = 0,33$, pa izraz postaje:

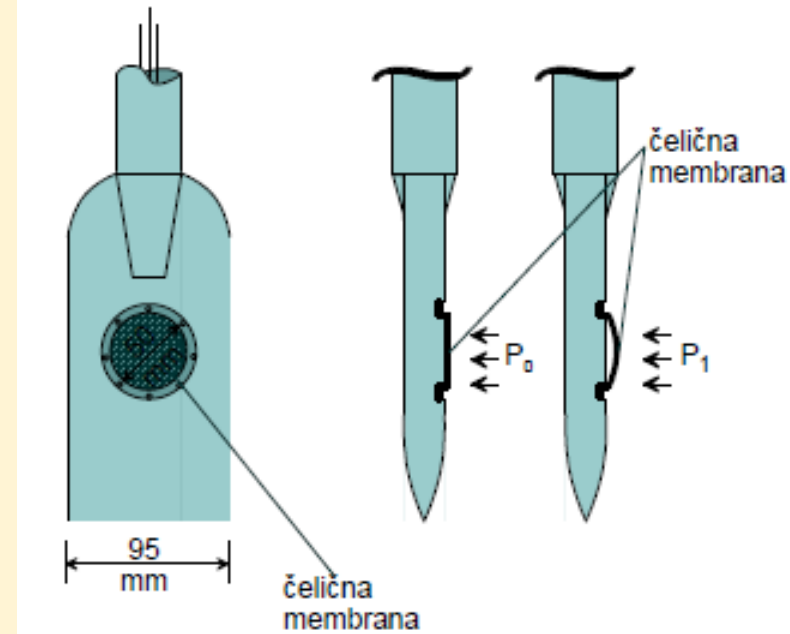
$$E = 2,66 \cdot V_o \cdot \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

Savitljivi dilatometar (**FDMT** – **Flexible Dilatometer Test**)

razvio je Marchetti 1975 u Italiji



Slika: Plosnati dilatometar – shema instalacije uređaja

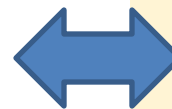


Slika: Plosnati dilatometar (lijevo) i položaji membrane

$$I_{\text{DMT}} = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0),$$

$$K_{\text{DMT}} = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0},$$

$$E_{\text{DMT}} = 34,7 (p_1 - p_0).$$



- koeficijent materijala;
- koeficijent horizontalnog naprezanja ;
- modul elastičnosti

Savitljivi dilatometar (**FDMT** – **F**lexible **D**ilatometer **T**est)

razvio je Marchetti 1975 u Italiji

Postoji korelacija DMT-a i edometarskog modula $E_{oed} = d\sigma' / d\varepsilon$ (tangenti modul) (EC 7/3,)

$$E_{oed} = R_M \cdot E_{DMT}$$

gdje je R_M koeficijent koji se procjenjuje, bilo na temelju lokalno stečenog iskustava, bilo iz sljedećih izraza:

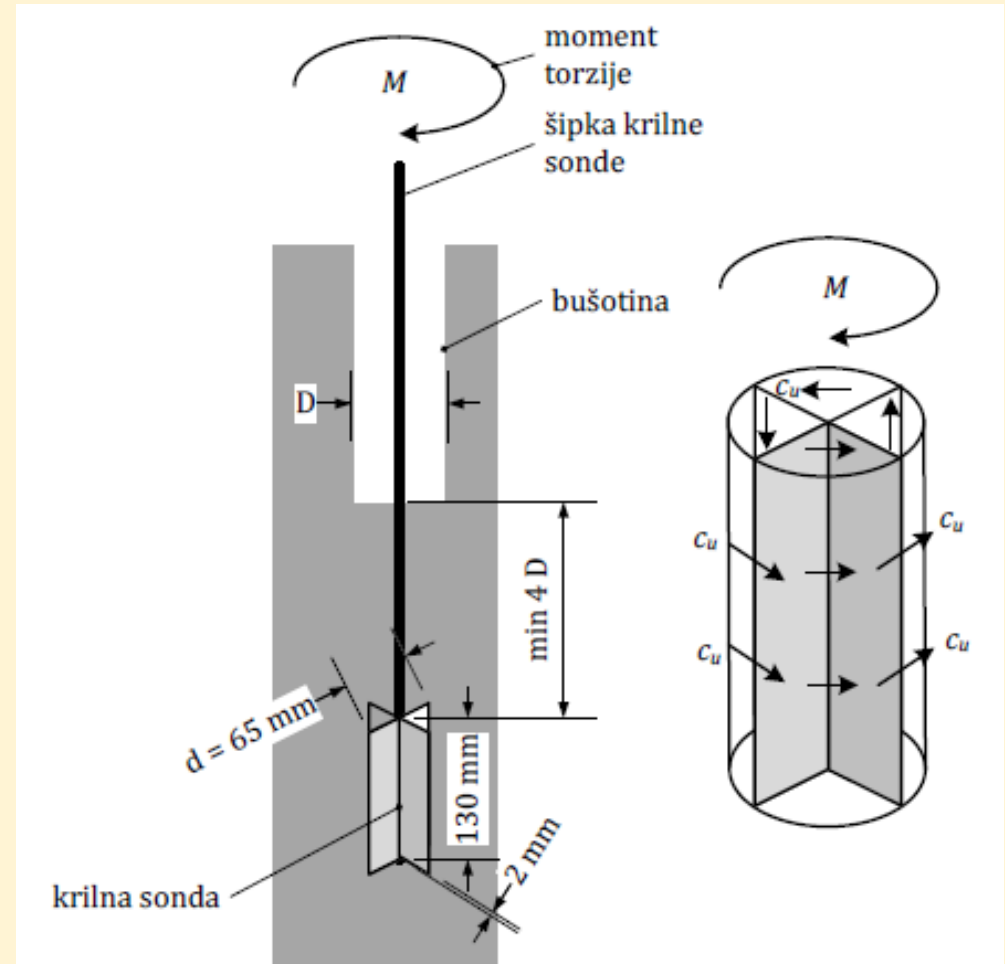
$I_{DMT} \leq 0,6$	$R_M = 0,14 + 2,36 \log K_{DMT}$
$I_{DMT} \geq 3,0$	$R_M = 0,5 + 2 \log K_{DMT}$
$0,6 < I_{DMT} < 3,0$	$R_M = R_{MO} + (2,5 - R_{MO}) \log K_{DMT}$, $R_{MO} = 0,14 + 0,15 (I_{DMT} - 0,6)$
$K_{DMT} > 10$	$R_M = 0,32 + 2,18 \log K_{DMT}$

Ako se iz gornjih izraza dobije vrijednost $R_M < 0,85$, uzima se da je $R_M = 0,85$.

Terenska krilna sonda (**FVT** – **F**ield **V**ane **T**est) izvorno je razvijena u Švedskoj 1911



Terenska krilna sonda in-situ



Slika: *Osnovne dimenzije (lijevo) i interpretacija rezultata (desno) standardne terenske krilne sonde*

Terenska krilna sonda (**FVT** – **F**ield **V**ane **T**est) izvorno je razvijena u Švedskoj 1911

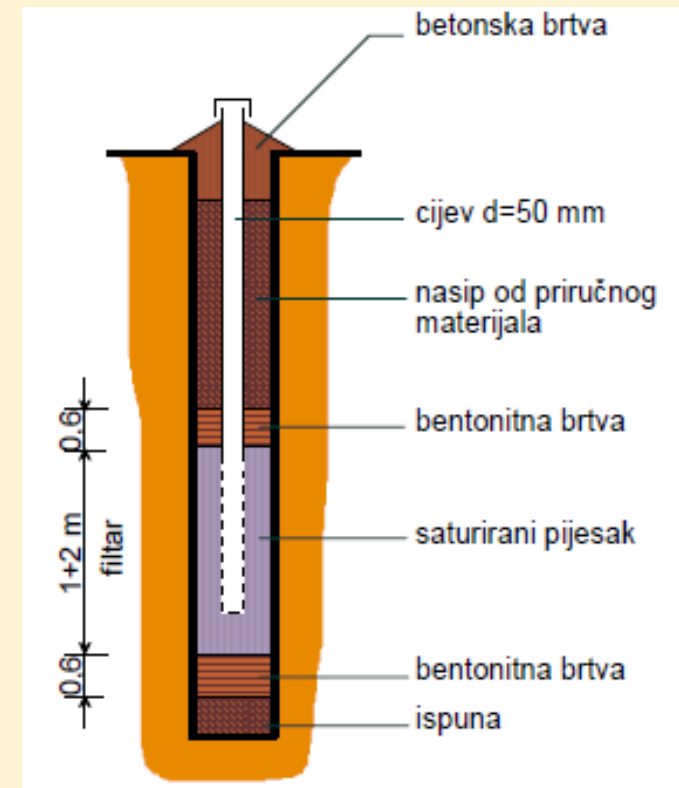
$$M = c_{fv} \cdot \left(2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{d}{2} \frac{d^2 \cdot \pi}{4} + d \cdot h \cdot \pi \cdot \frac{d}{2} \right)$$

$$\tau_f = c_{fv} = \frac{2M}{\pi d^2 \left(h + \frac{d}{3} \right)} = 0,273 \cdot \frac{M}{d^3}$$

Piezometri služe za određivanje *nivoa i pritiska* podzemne vode.



Slika: Osjetila za piezometre



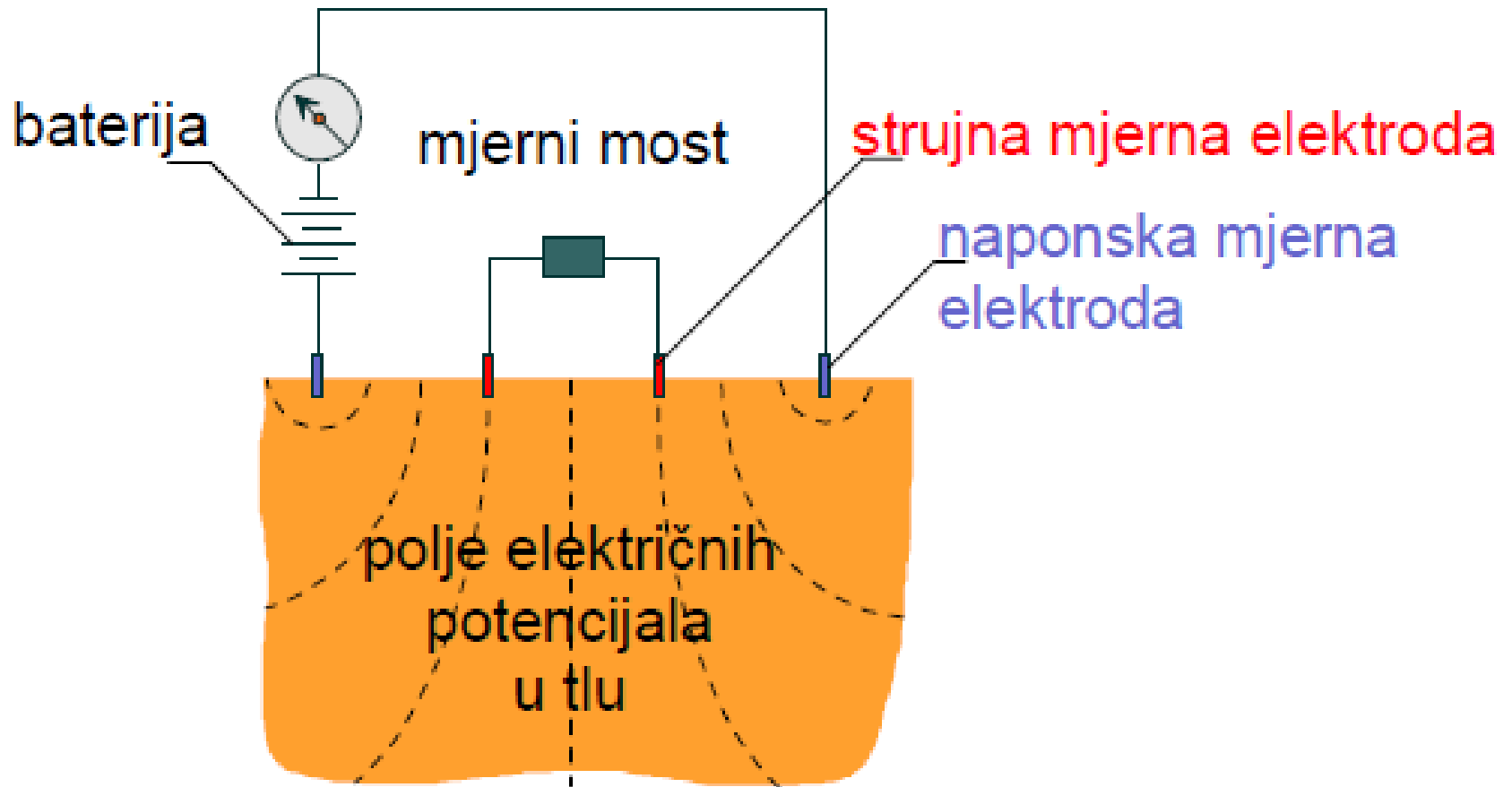
Slika :Piezometar (otvoreni sistem).

Piezometri služe za određivanje *nivoa i pritiska* podzemne vode.

Tabela: Podobnost sistema za mjerenja u podzemnoj vodi, zavisno o vremenu njihova odziva i svrsi mjerenja (EC 7/3, tab. 14.1).

Uslovi u temeljnom tlu	šljunak, krupan pijesak	sitan pijesak, krupan prah	sitan prah, glacijalni nanos, glina
Svrha mjerenja			
mjerenje nivoa podzemne vode ili raspodjele pornog pritiska i njihovih kolebanja	bušotina za opažanje, otvorena cijev filtar na vrhu cijevi	otvorena cijev filtar na dnu cijevi piezometar (hidraulički, pneumatski, električni)	filtar na dnu cijevi piezometar (hidraulički, pneumatski, električni)
mjerenje promjena pornog pritiska uslijed njegovih kolebanja, crpenja, iskopa, opterećenja ili rasterećenja, učinaka zabijanja pilota, ili radi praćenja npr. kosina	filtar na vrhu cijevi piezometar (hidraulički, pneumatski, električni)	filtar na vrhu cijevi piezometar (hidraulički, pneumatski, električni)	piezometar (hidraulički, pneumatski, električni)

Geofizička ispitivanja



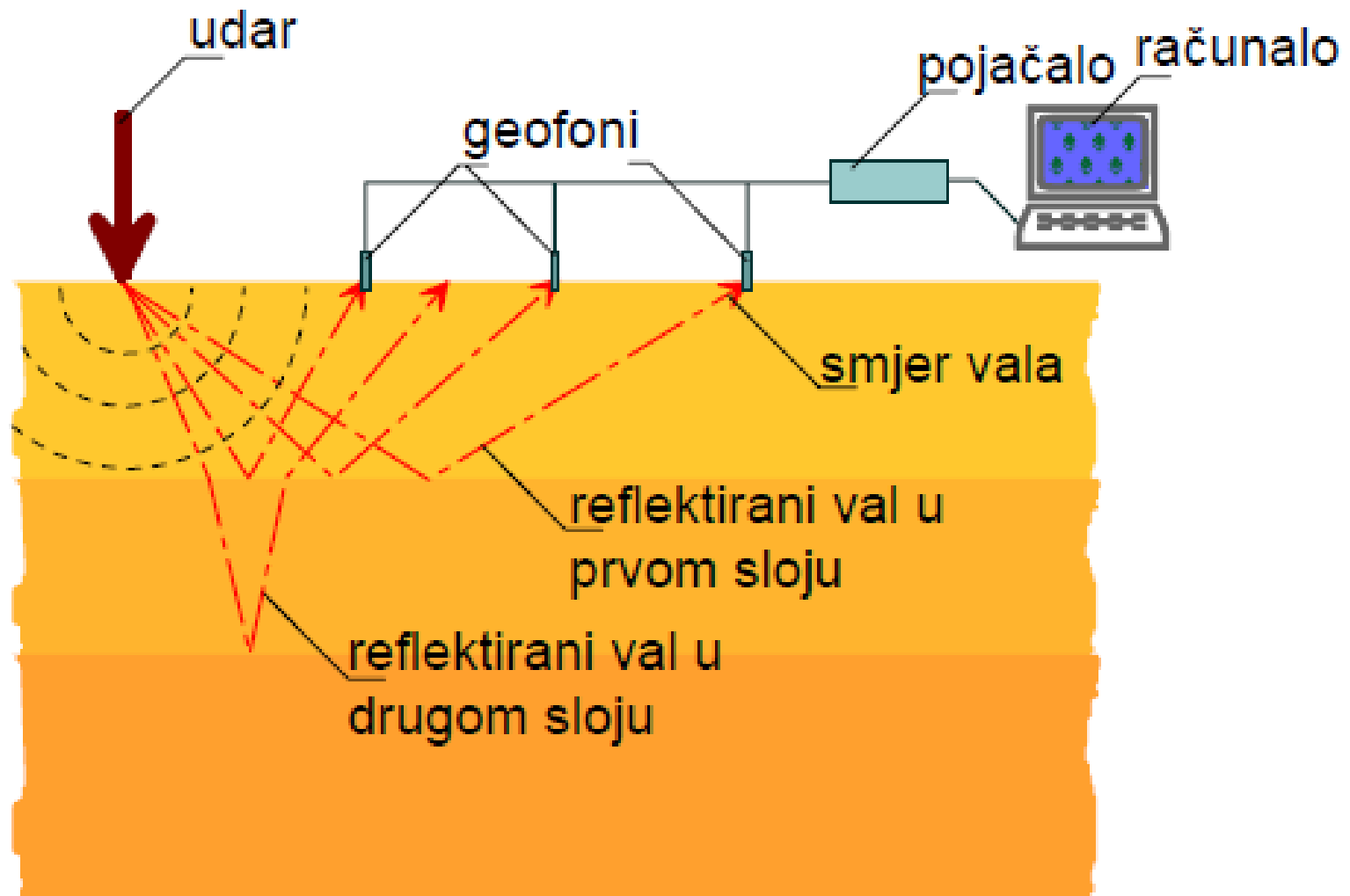
Slika: Shema geoelektričnih ispitivanja.

Geofizička ispitivanja



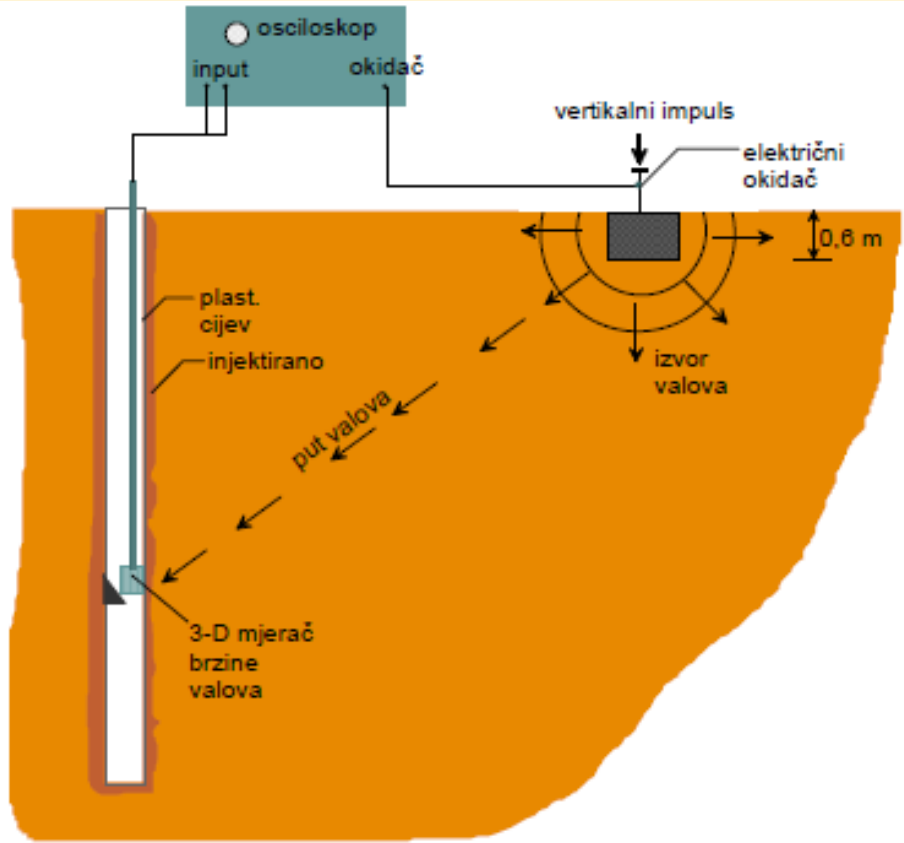
Slika: Vrste mehaničkih valova u tlu.

Geofizička ispitivanja



Slika : Shema seizmičkog refrakcijskog mjerenja

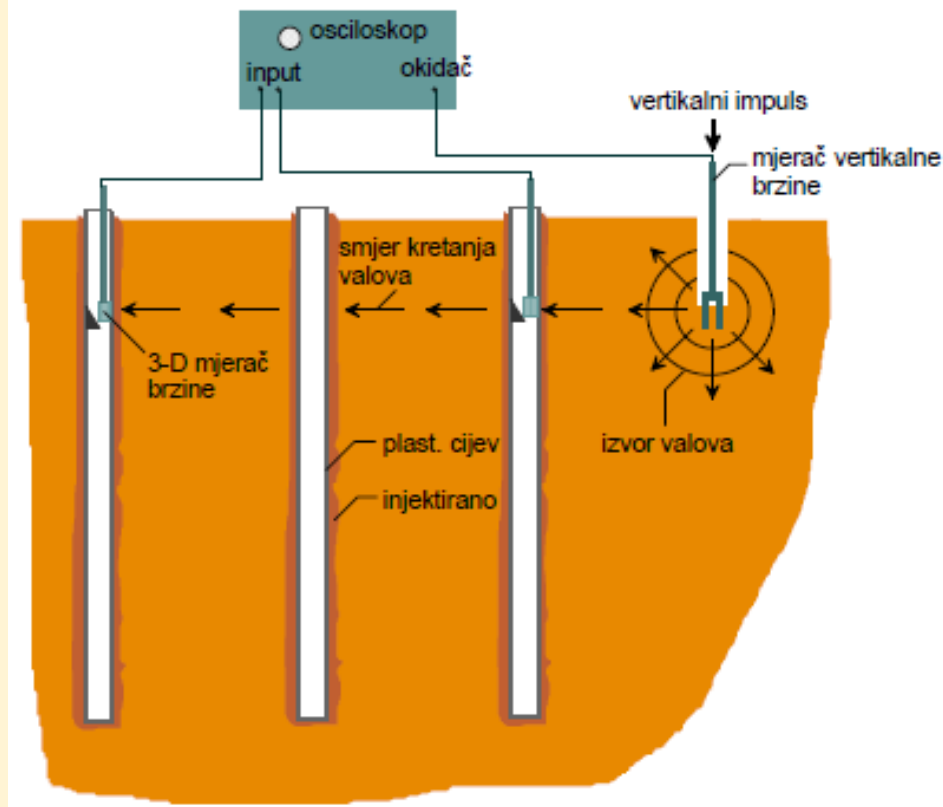
Geofizička ispitivanja



Slika: Down-hole mjerjenje brzine nailaska valova

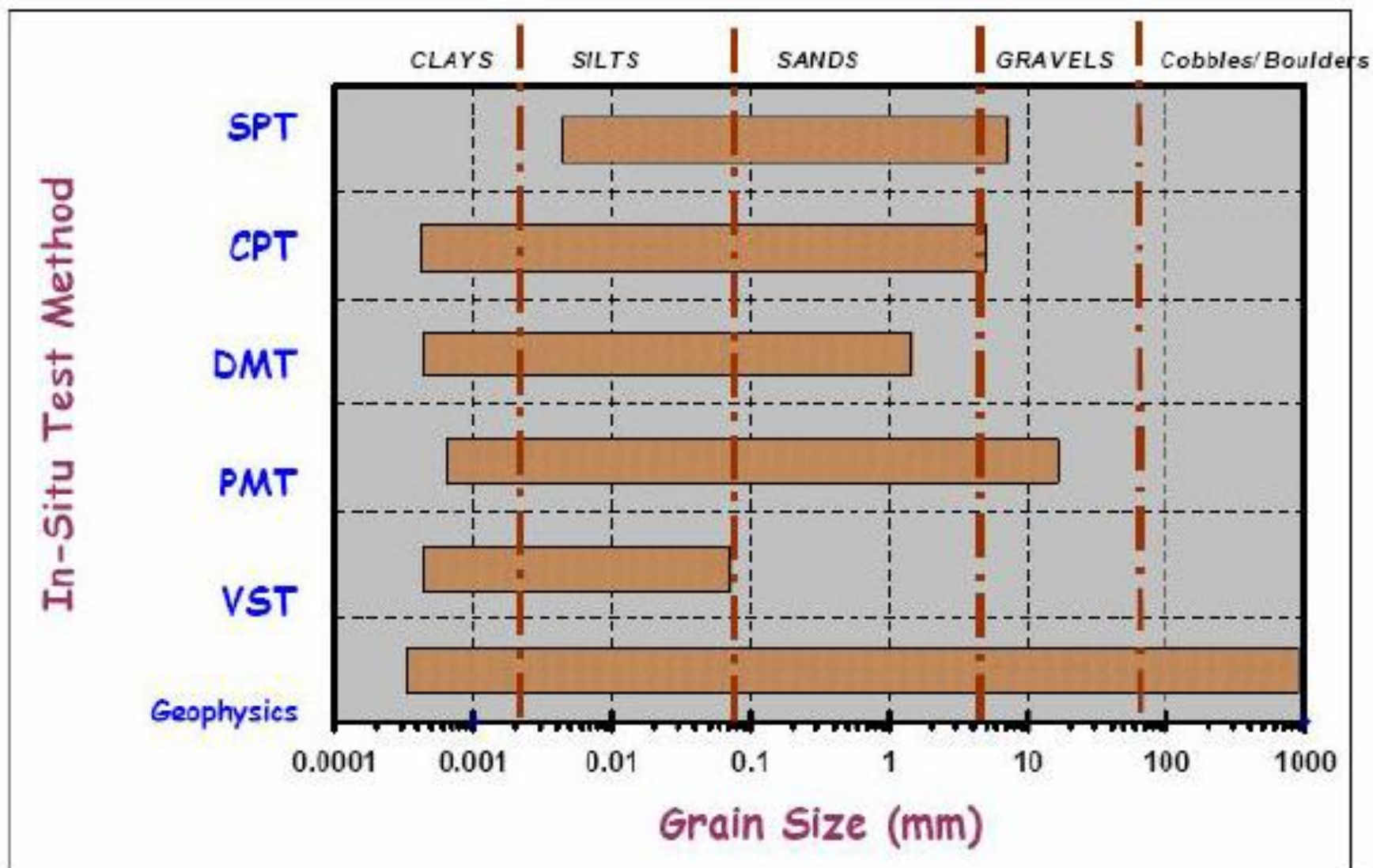
$$G = \rho v_s^2$$

Slika: Cross-hole mjerjenja brzine nailaska valova

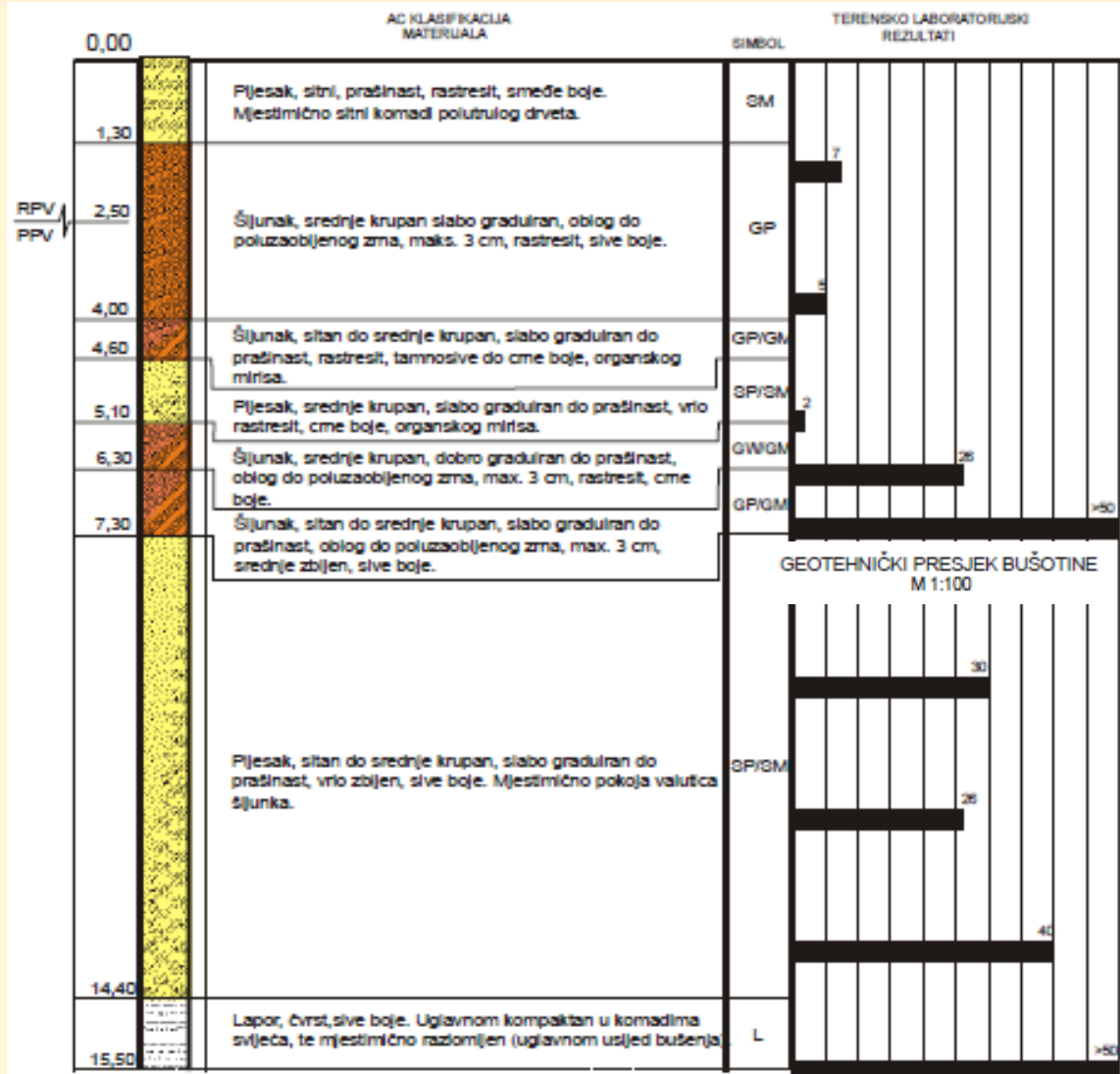


Terenski istražni radovi

RELEVANCE OF IN-SITU TESTS TO DIFFERENT SOIL TYPES



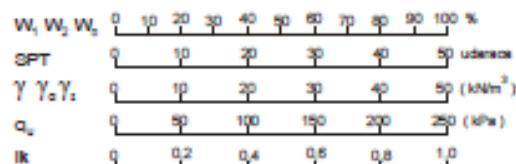
Terenski istražni radovi



Legenda :

- neporemećeni uzorci
- sklopilina čvrstoća q_c (kPa)
- standardni penetracijski test (SPT)
- atterbergove granice W_L, W_P (%)
- prirodna vlažnost W_D (%)
- suha prostorna težina γ_d (kNm⁻³)
- vlažna prostorna težina γ (kNm⁻³)
- razina podzemne vode
- pojave podzemne vode
- indeks konzistencije Ik

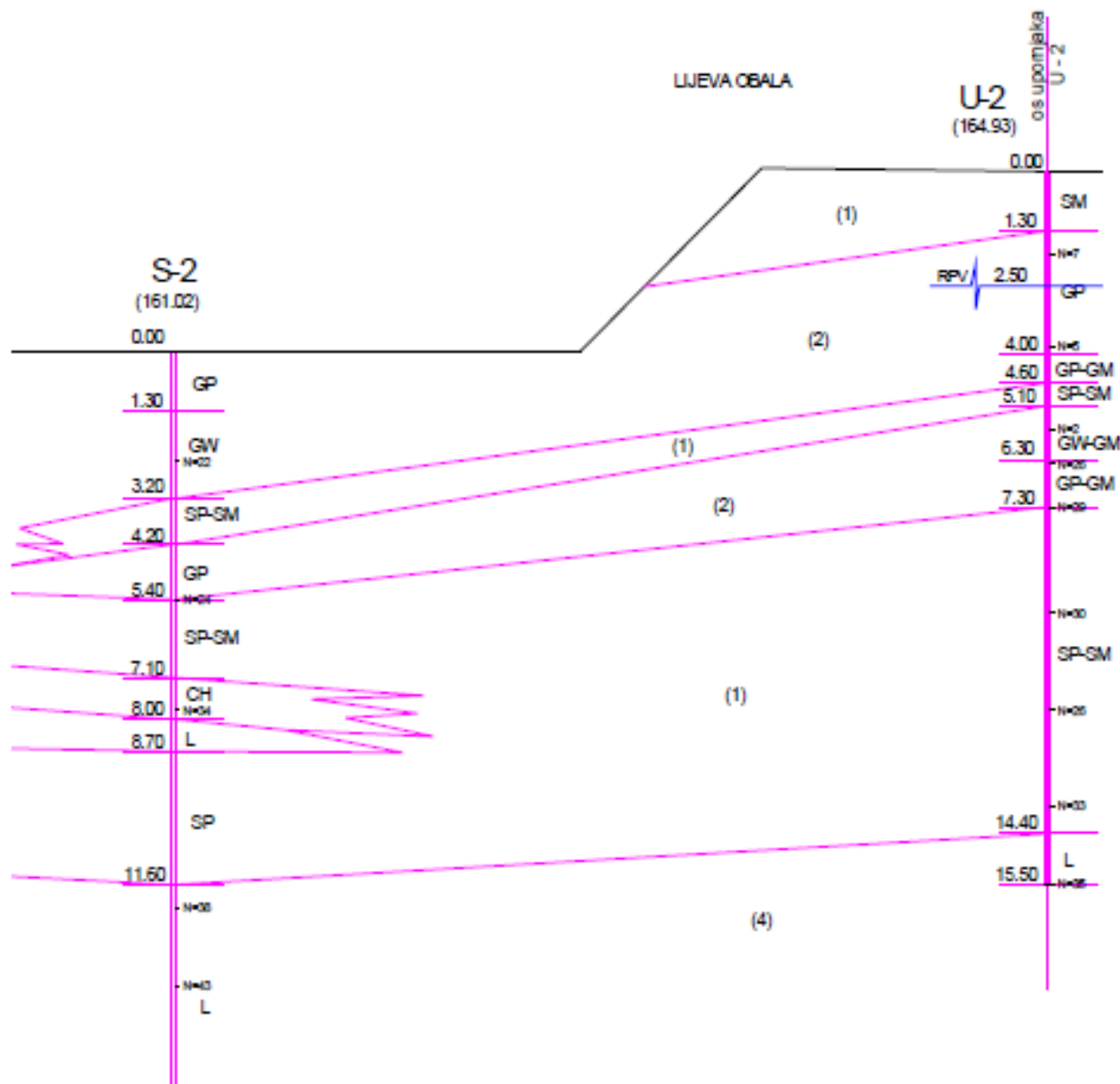
GEOTEHNIČKI PRESJEK BUŠOTINE
M 1:100



Slika:

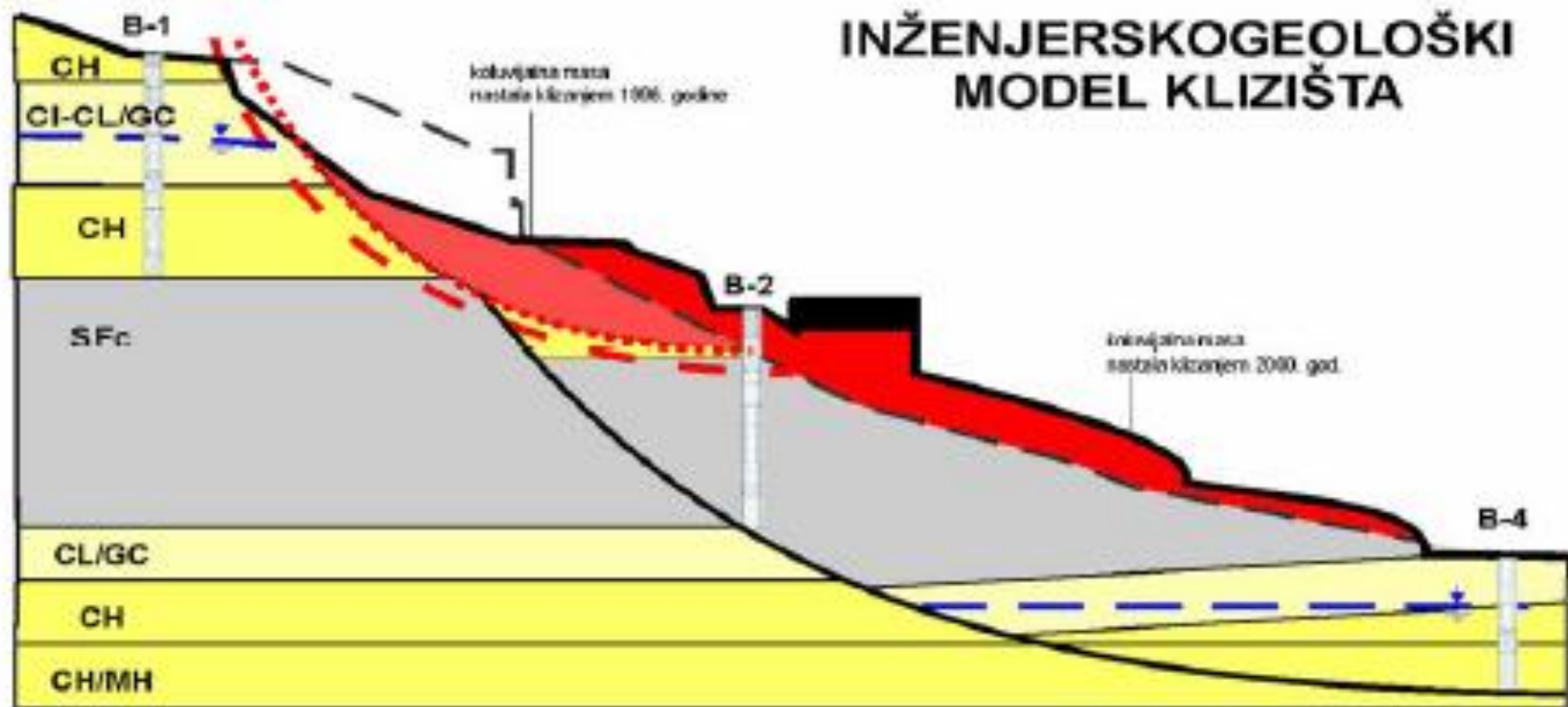
Bušotinski profil.

Terenski istražni radovi



Slika:
Geotehnički
profil za
približno
horizontalno
uslojeno tlo

Terenski istražni radovi

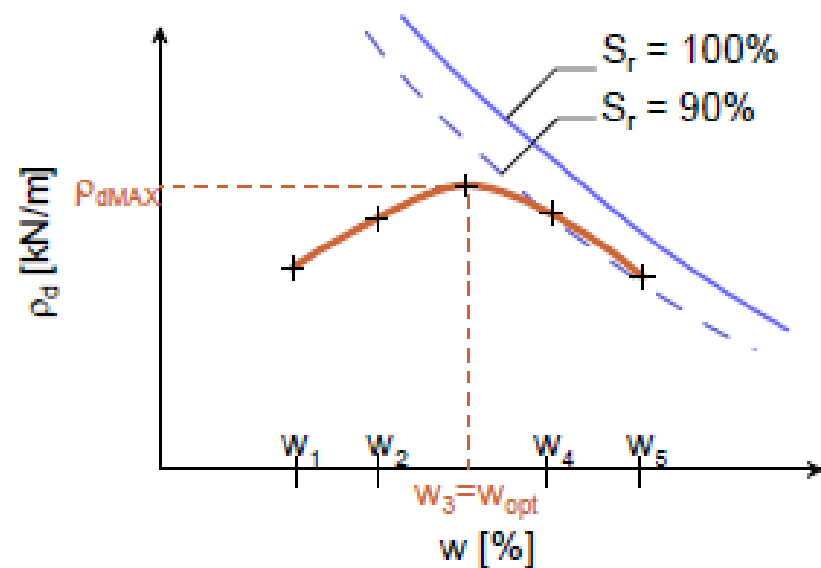
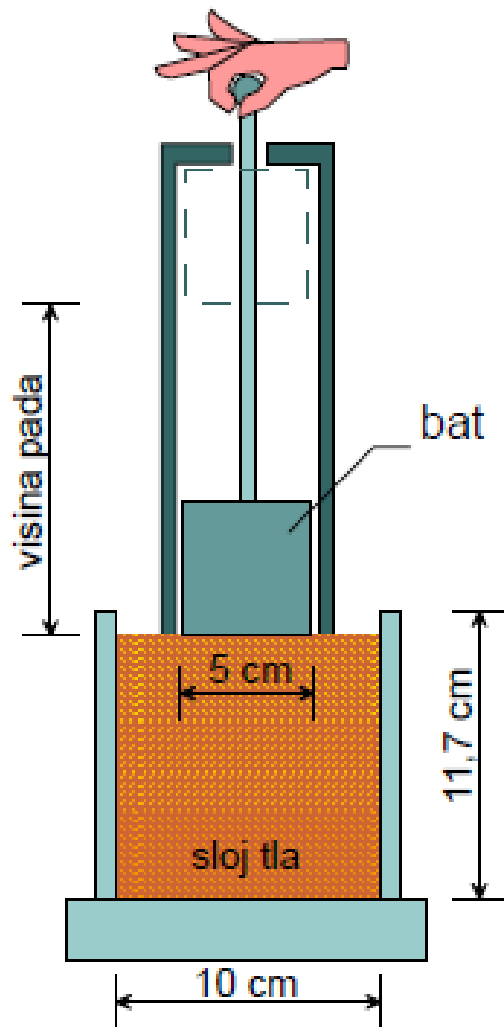


Slika: Geotehnički profil za kosinu (u ovom slučaju ujedno i inženjerskogeološki model klizišta, prema Mihalić, 2001).

Preduslovi 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, **redundantnost** ispitivanja
- ▶ **Relevantnost istraživanja** kojom se osigurava da će biti utvrđena ona svojstva tla koja su bitna za provjeru stabilnosti i upotrebljivosti
- ▶ **Ekonomičnost** istraživanja

UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA



Slika Skica Proctorovog uređaja i dijagram zbijanja (ovisnost gustoće suhog tla o vlažnosti, tj. određivanje optimalne vlažnosti).

UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA

Tabela: Podaci o standardnom i modificiranom Proctorovom pokusu

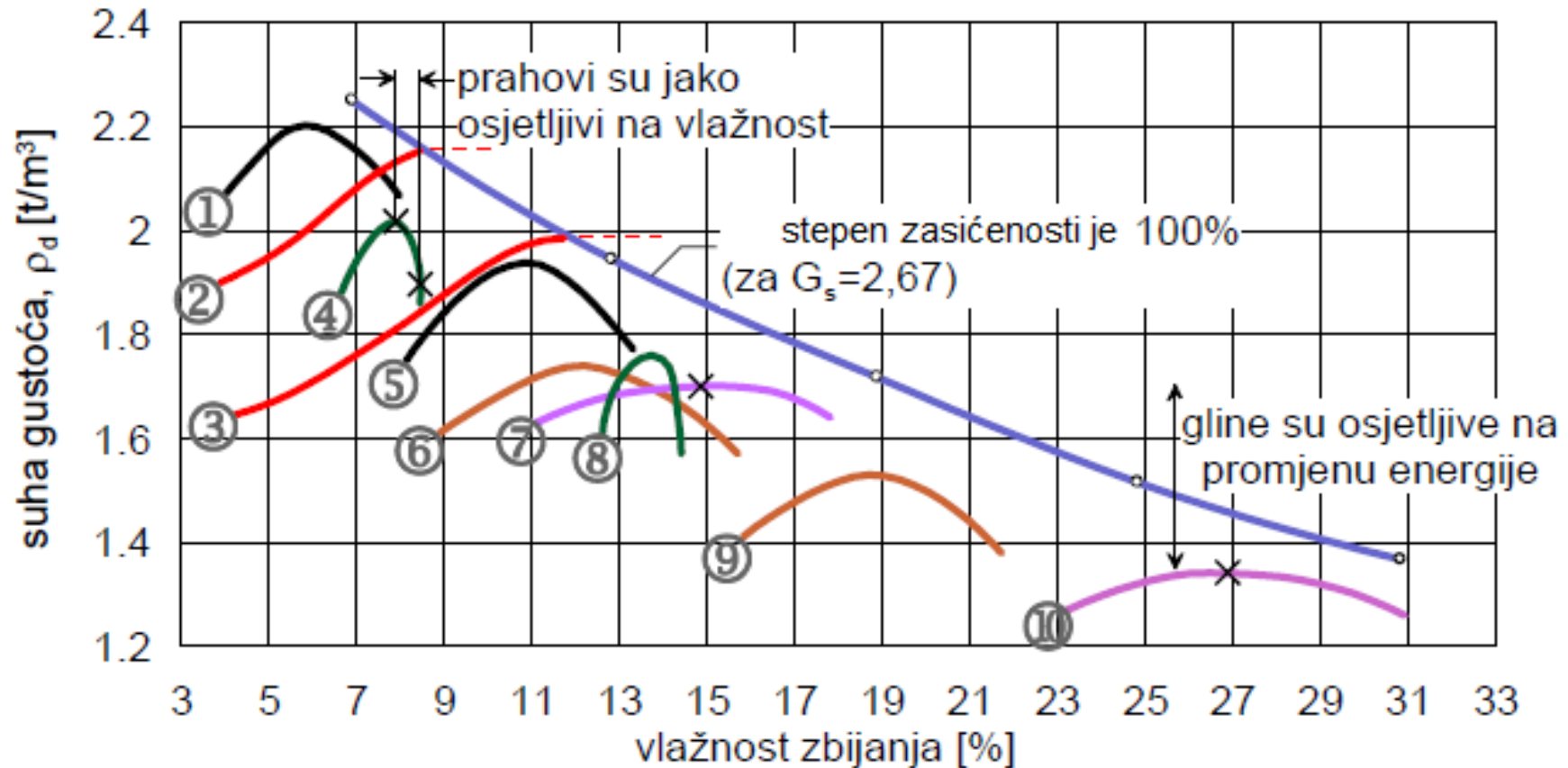
	standardni	modificirani
težina bata (N)	25,0	45,0
visina pada bata (cm)	30,4	42,5
broj slojeva*broj udaraca bata	3*25	5*25
rad zbijanja (kNm/m ³)	610	2750

$$\rho = (1 - n)\rho_s + nS_r\rho_w$$

$$\rho_d = (1 - n)\rho_s \Rightarrow n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}$$

$$w = \frac{m_w}{m_d} = \frac{nS_r\rho_w}{\rho_d} \Rightarrow \rho_d = \frac{\rho_s}{1 + \frac{\rho_s w}{\rho_w S_r}}$$

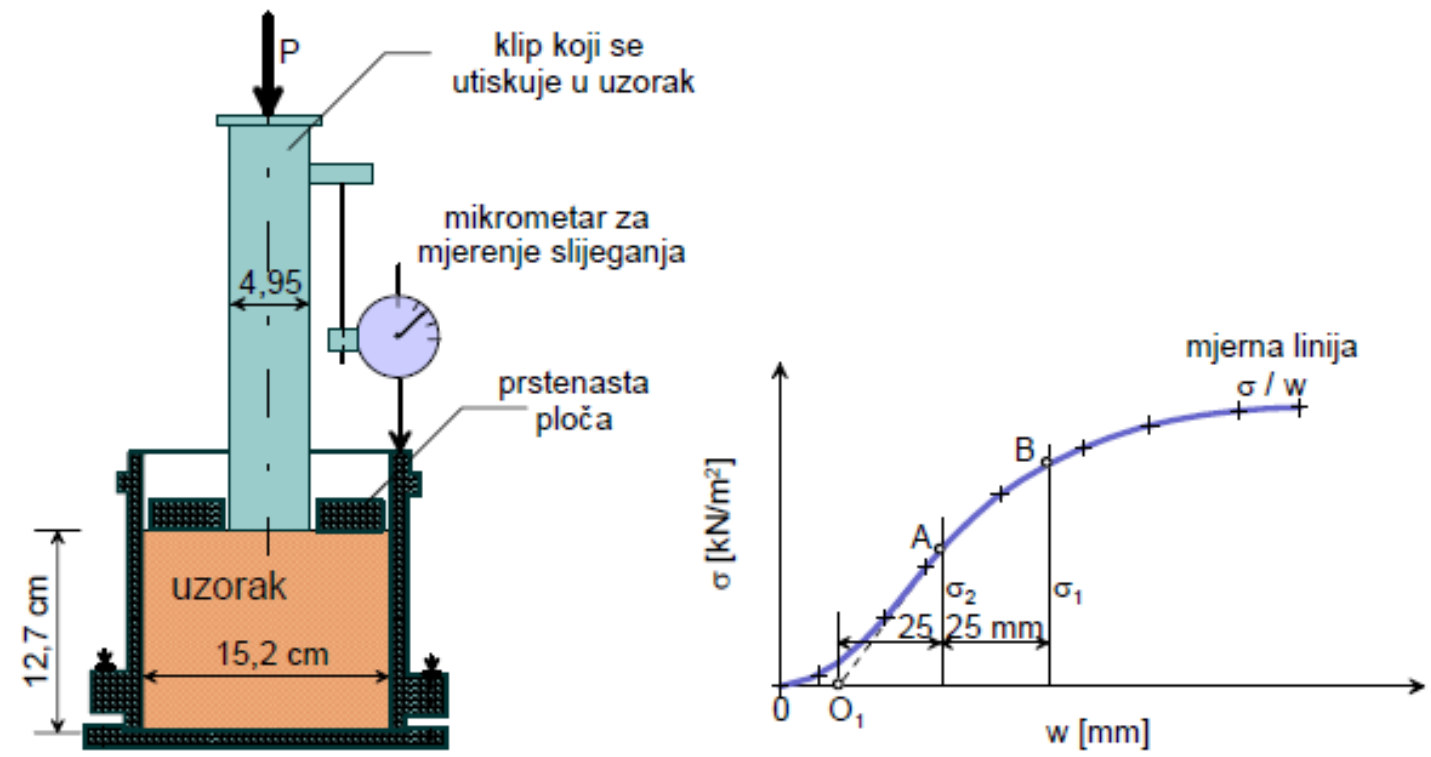
UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA



- (1) i (5) dobro graduirani krupnozrnati materijal sa dosta prašinasto-glinovitih čestica,
- (2) i (3) čisti pijesak,
- (4) i (8) prah,
- (6) i (9) niskoplastična “mršava” glina,
- (7) i (10) visokoplastična “masna” glina

Slika : Prikaz odnosa vlažnosti i gustoće suhog tla za razne materijale (prema Monahan, 1986).

UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA

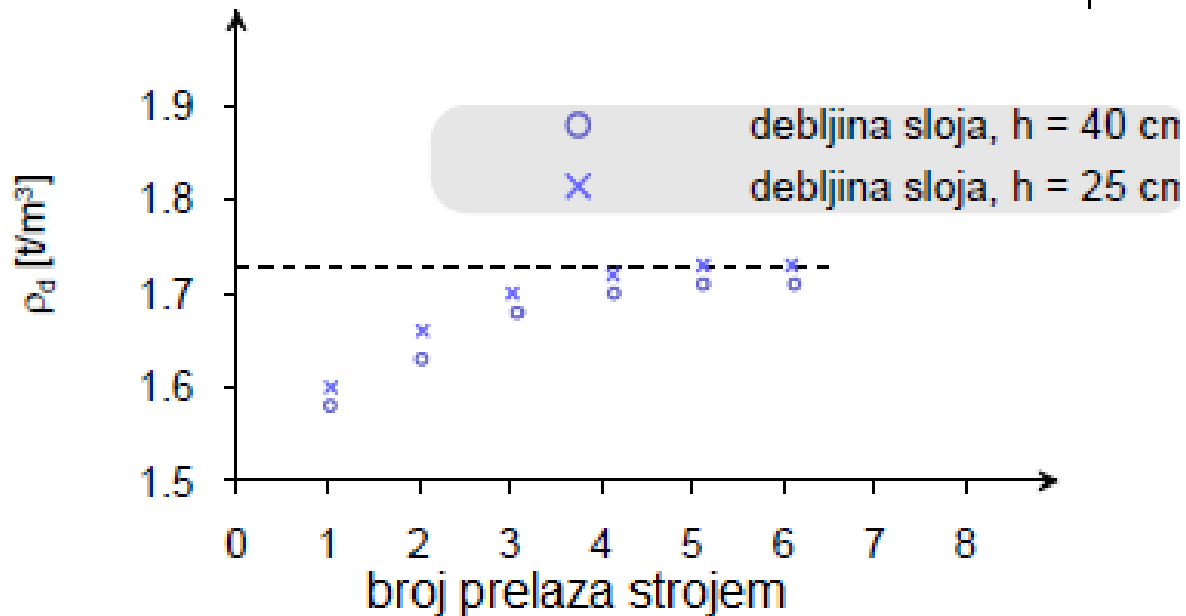
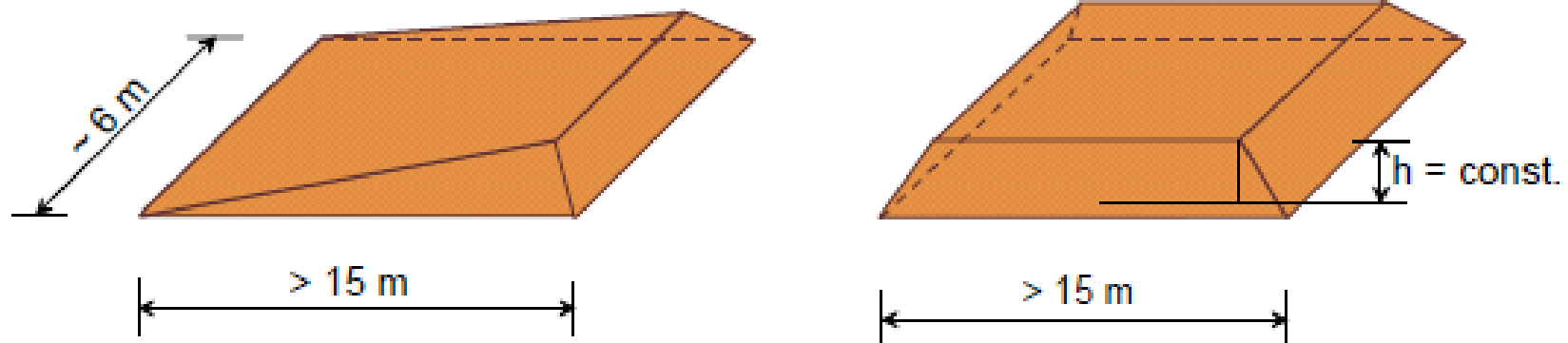


$$CBR_A = \frac{\sigma_A (kN / m^2)}{6900} 100 \quad [\%]$$

$$CBR_B = \frac{\sigma_B (kN / m^2)}{10300} 100 \quad [\%]$$

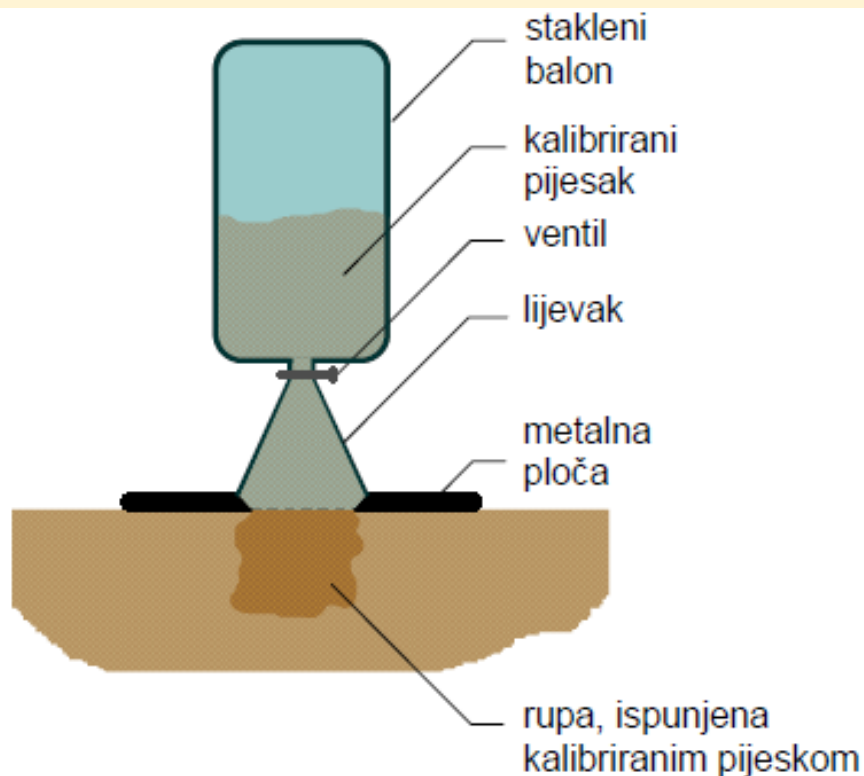
Slika: Presjek kroz uređaj za ispitivanje CBR-a i dijagram prodiranja klipa

UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA

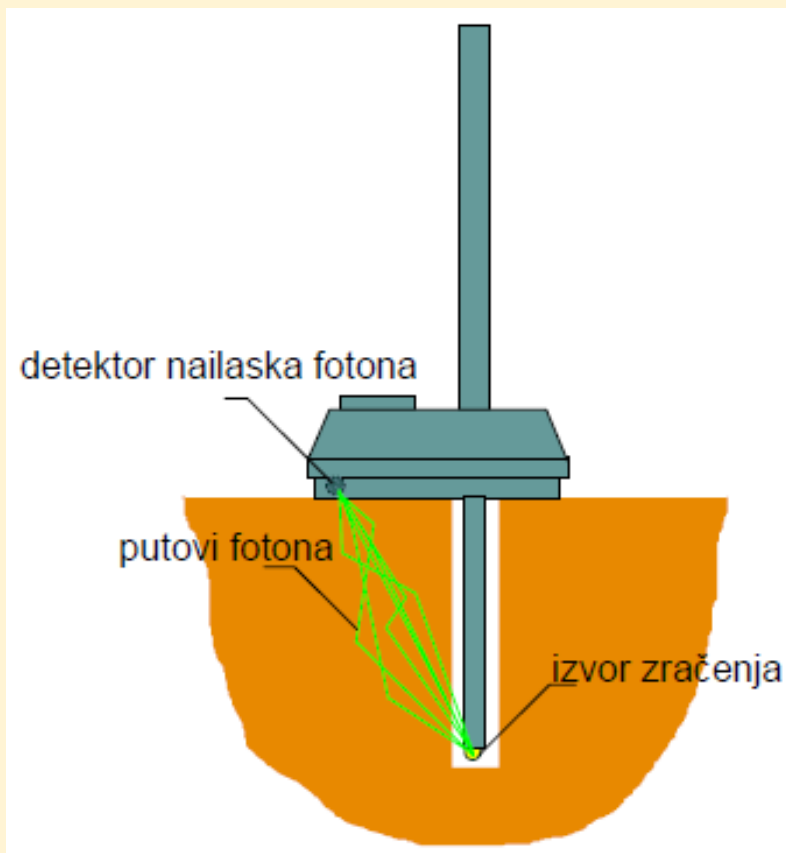


Slika :Prikaz ispitivanja na probnom polju

UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA

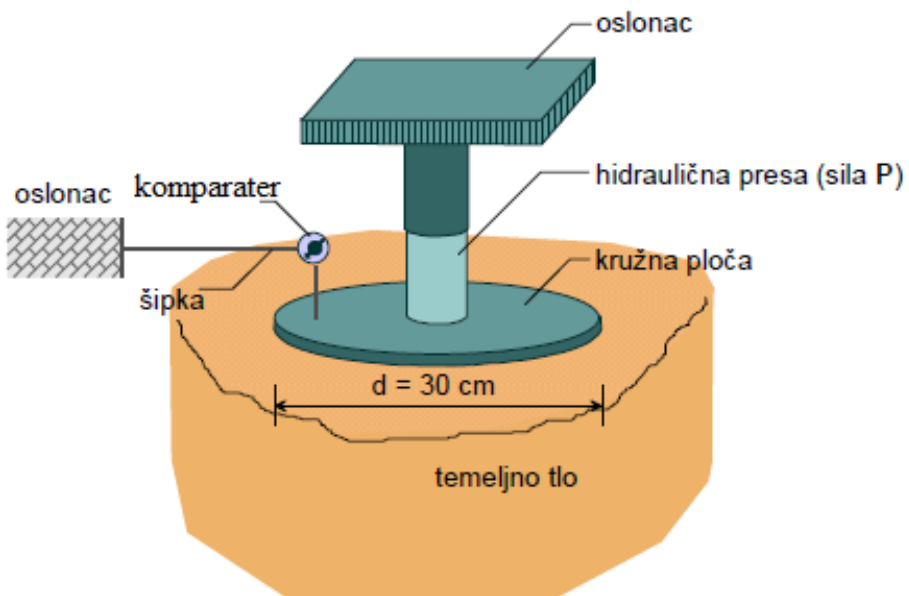


Slika: Određivanje zbijenosti tla pomoću kalibriranog pijeska



Slika: Određivanje zbijenosti tla pomoću nuklearnog densimetra

UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA



Slika: Opitan ploča

Obično se određuje tzv. modul slijeganja probnom pločom (EC 7/3):

$$E_{PLT} = \frac{\Delta p}{\Delta s} \frac{\pi \cdot d}{4} (1 - \nu^2)$$

gdje je:

Δp ... odabrani raspon kontaktnog naprežanja,

Δs ... slijeganje za Δp ,

d ... promjer ploče.

UGRADNJA ZEMLJANIH MATERIJALA

Tabela: Preporuke za odabir stroja za zbijanje prema vrsti materijala:

VRSTA STROJA	MASA STROJA (t)	VRSTA ZEMLJANOG MATERIJALA	DEBLJINE SLOJA (cm)
GLATKI VALJCI	1 do 18,0	kamena podloga, drobljenac, zaglađivanje površina	15 do 45
JEŽEVI bodlje 15-20cm	3,0 do 20,0	koherentni materijali	15 do 25
VALJCI S GUMENIM KOTAČIMA	8,0 do 50,0	koherentni i nekoherentni materijali	20 do 50
VIBRACIJSKI GLATKI VALJCI	1,0 do 15,0	nekoherentni materijali i nasipi od krupnog drobljenca	60 do 2000
VIBRACIJSKI JEŽEVI	5,0 do 15,0	sitnozrni materijali i koherentni materijali	do 50
VIBRACIJSKE PLOČE I EKSPLOZIVNI MALJEVI	mali strojevi	razni materijali (manje količine radova)	10 do 40