



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET



MEHANIČKO POBOLJŠANJE *kontrolna ispitivanja*

Prof. dr. sc. Biljana Kovačević Zelić

KONTROLA ZBIJANJA

- metode koje se provode s površine terena,
- metode koje se provode na većim dubinama.

CILJ:

- jeftino i efikasno provjeriti uspješnost metode mjerenjem:
 w , ρ , SPT, CPT
- rjeđe je mjerenje projektnih parametara (čvrstoća, deformabilnost) jer je skupo

UMJESTO TOGA: korištenje korelacijskih veza i procjena projektnih parametara na temelju jednostavnijih i jeftinijih mjerenja



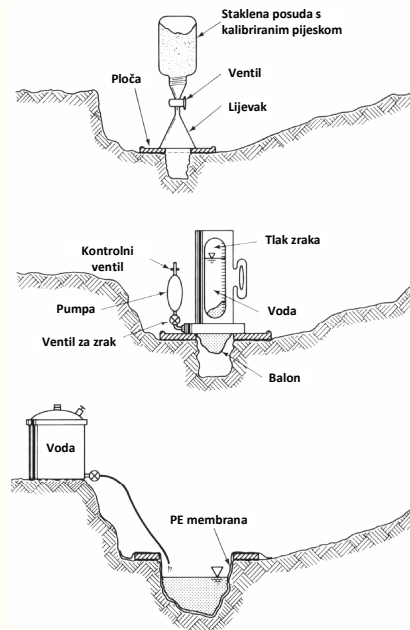
Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET

2

PLITKO ZBIJANJE

Mjerenje gustoće

- Cilindar s kalibriranim pijeskom
- Balon s vodom
- Membrana i voda

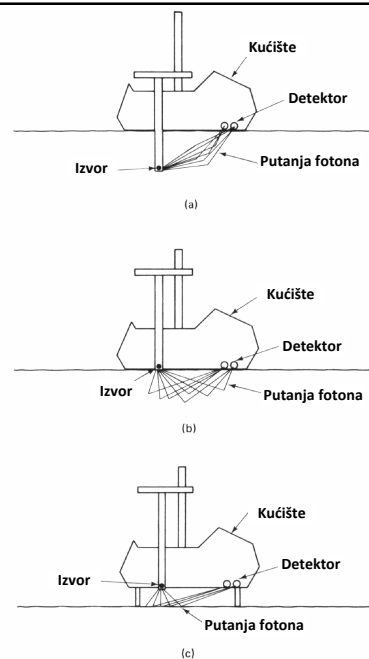


PLITKO ZBIJANJE

Nuklearni denzimetar

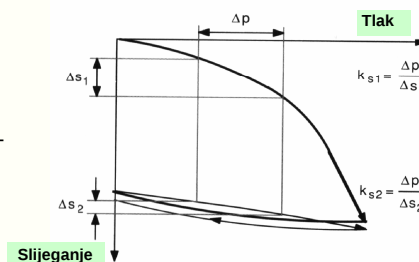
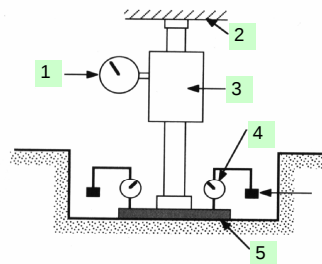
MJERENJE:

- vlažnosti
(usporeenje neutrona, Am 241:Be)
- gustoće
(apsorpcija γ - zraka, Cs-137)



PLITKO ZBIJANJE Pokus kružnom pločom

- 1 - manometar,
- 2 - oslonac,
- 3 - klip,
- 4 - mjerenje deformacije,
- 5 – ploča



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLOŠKO
 NAFTNI FAKULTET

5

Modul elastičnosti iz pokusa kružnom pločom

$$s = \frac{I \cdot p \cdot D \cdot (1 - \nu^2) \cdot \alpha_c}{E}$$

p – pritisak,
D – promjer kružne ploče,
ν – Poissonov koeficijent,
I – faktor oblika,
α_c – faktor korekcije.

Faktor I ovisi o obliku temelja i njegovoj krutosti (npr. za kružni temelj iznosi $I = 0,79(\pi/4)$)

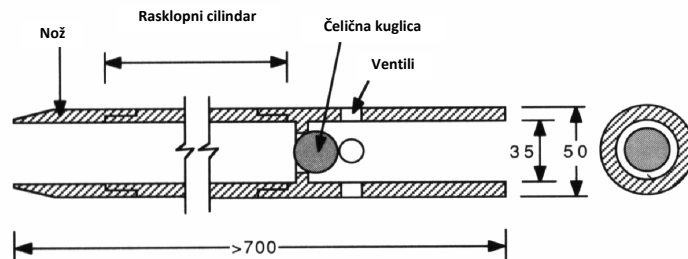
Koeficijent α_c ovisi o dubini ukapanja, pa je tako za D=0, α_c=1.



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLOŠKO
 NAFTNI FAKULTET

6

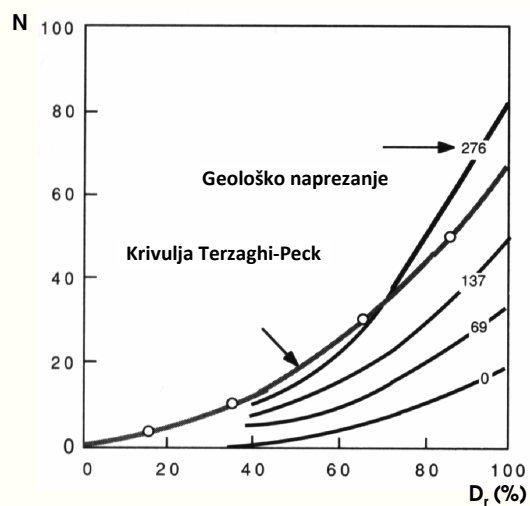
DUBOKO ZBIJANJE SPT



Broj udaraca – N	Relativna gustoća
0-4	Vrlo rahlo
4-10	Rahlo
10-30	Srednje zbijeno
30-50	Zbijeno
>50	Vrlo zbijeno

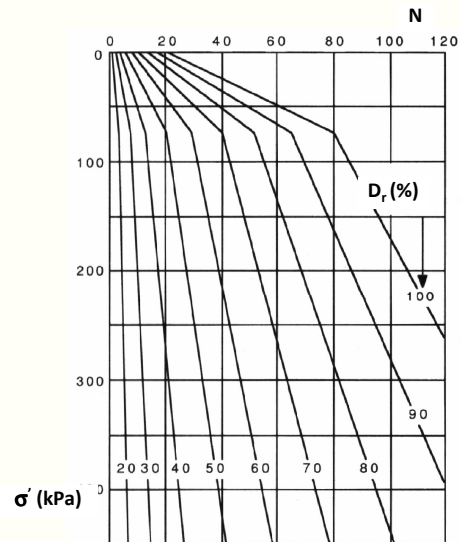
Odnos $N - D_r$ u ovisnosti o geološkom naprezanju (Gibbs & Holtz, 1957)

za normalno
konsolidirana tla

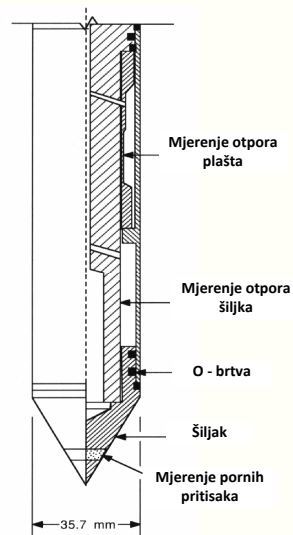
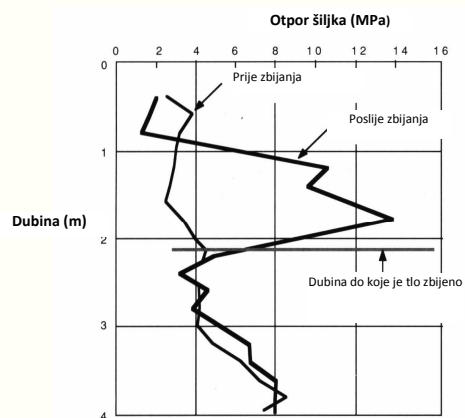


Odnos $N - D_r$ u ovisnosti o geološkom naprezanju (Bazaraa, 1967)

za prekonsolidirana
tla



DUBOKO ZBIJANJE CPT



Otpor šiljka (Schmertmann, 1978)

$$C_c = \frac{\beta \cdot \sigma'_{v0} \cdot (1 + e_0)}{q_c}$$

C_c – indeks kompresije

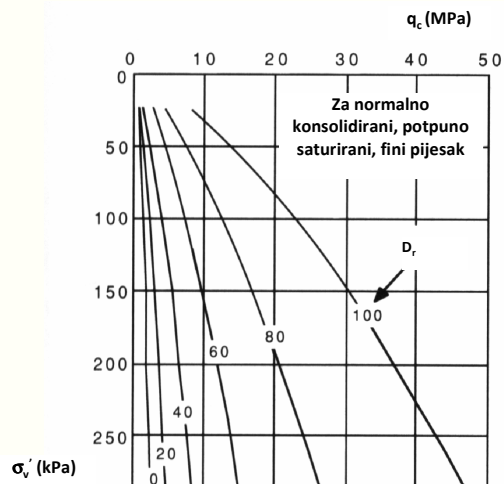
$\beta \sim 1$ za pijesak

$\beta \sim 0,7$ za glinu

$\beta \sigma'_{v0}$ – geološko naprezanje

q_c – otpor šiljka

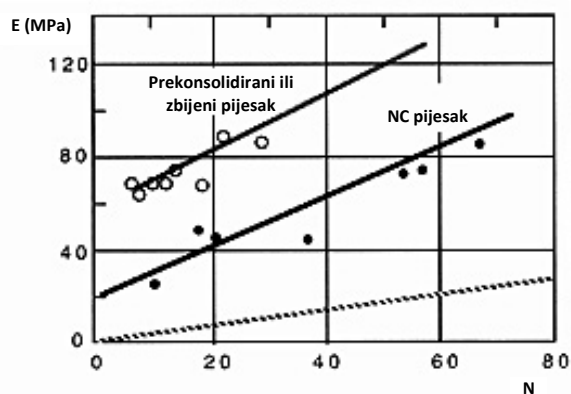
e_0 – koeficijent pora



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLOŠKO
 NAFTNI FAKULTET

11

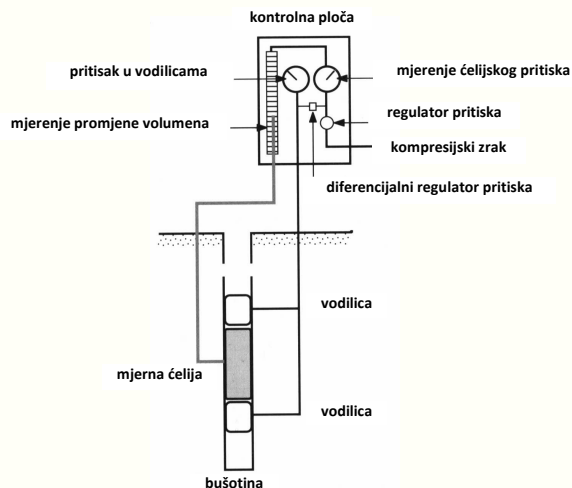
Procjena krutosti na temelju penetracijskih pokusa (D'Appolonia, 1970)



Sveučilište u Zagrebu
 RUDARSKO
 GEOLOŠKO
 NAFTNI FAKULTET

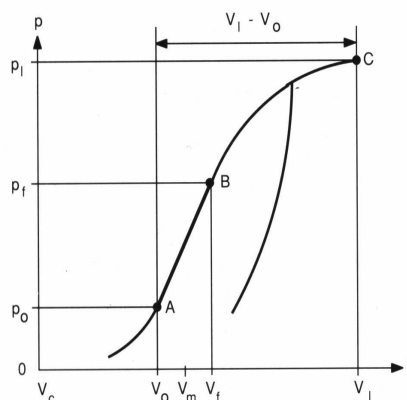
12

Menard-ov presiometar



Presiometarska krivulja

p – tlak na tlo,
 V – volumen vode u sustavu za mjerenje,
 V_c – volumen mjerne ćelije,
 AB – elastično područje,
 V_0 – početni volumen u bušotini,
 p_0 – tlak na početku elastičnog područja
 (jednak je in-situ naprezanju),
 V_f – volumen na kraju elastičnog područja,
 p_f – tlak puzanja,
 V_m – volumen na sredini elastičnog područja,
 C – slom tla,
 p_l – granični tlak pri slomu tla,
 K_e – konstanta opreme.



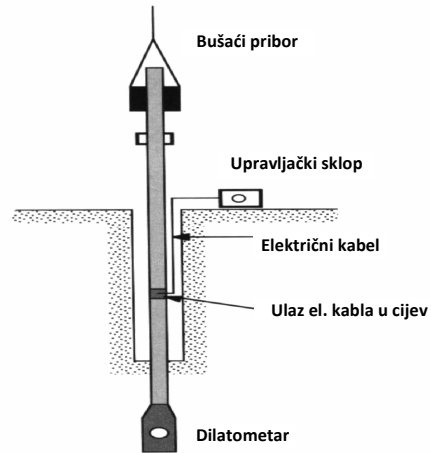
$$E = (1 + \nu) \cdot 2 \cdot V_m \cdot \frac{p_f - p_0}{V_f - V_0} = K_e \cdot \frac{p_f - p_0}{V_f - V_0}$$

Marchetti-jev dilatometar

$$E_D = \frac{E}{1-\nu} = \frac{2 \cdot D}{s_0} \cdot \Delta p$$

Uz promjer membrane $D=60$ m
i pomak središta membrane
 $s_0=1$ mm dobiva se:

$$E_D = 32,2 \cdot \Delta p$$



Marchetti-jev dilatometar

I_D – indeks materijala – ukazuje na granulometrijski sastav tla

$$I_D = \frac{\Delta p}{p_0 - u_0}$$

K_D – indeks horizontalnog naprezanja – ukazuje na koeficijent
mirnog pritiska i koeficijent prekonsolidacije tla

$$K_D = \frac{p_0 - u_0}{\sigma'_{v0}}$$

Seizmička ispitivanja

cross-hole
down-hole

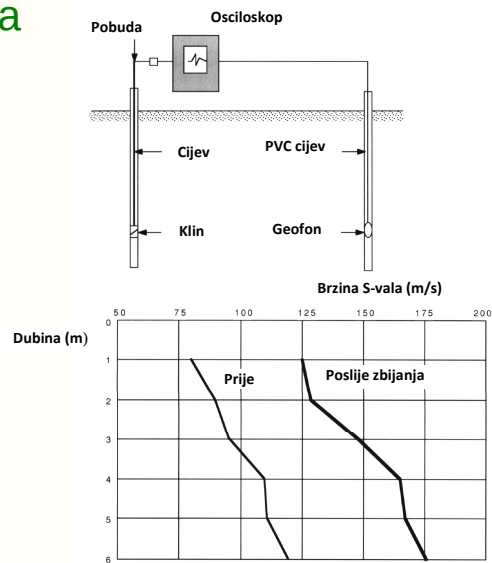
C_s – brzina S-val

γ – gustoća tla

M – modul stišljivosti

$$G_{\max} = C_s^2 \cdot \gamma$$

$$M = 3,5 \cdot G = 1,34 \cdot E$$



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLÓŠKO
NAFTNI FAKULTET

17

ZAKLJUČAK

Uspješnost metoda zbijanja ovisi o:

- **Vrsti tla**
 - gustoća tla
 - granulometrijski sastav, oblik zrna
 - prirodna vlažnost
- **Korištenim strojevima**
 - masa, veličina
 - frekvencija
- **Primijenjenom postupku**
 - broj prijelaza
 - debljina sloja
 - raspored i razmak bušotina
 - frekvencija vibratora
 - brzina kretanja stroja

Na što možemo
utjecati pri
projektiranju?



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLÓŠKO
NAFTNI FAKULTET

18