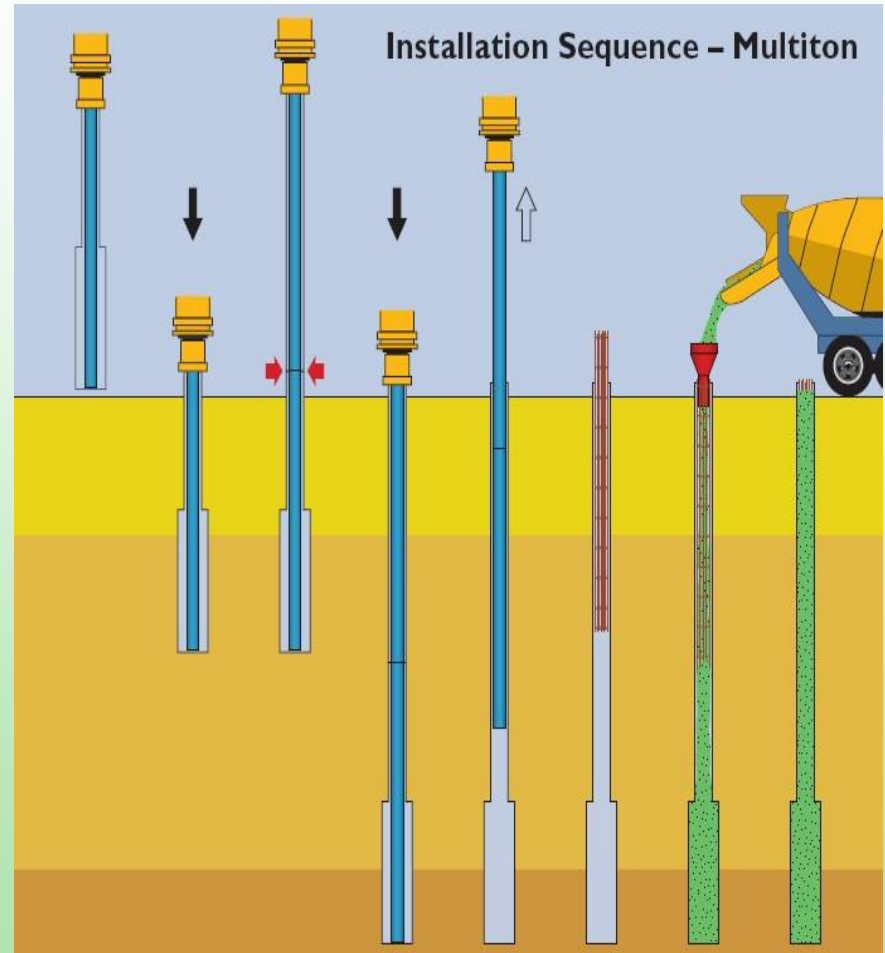


# GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO

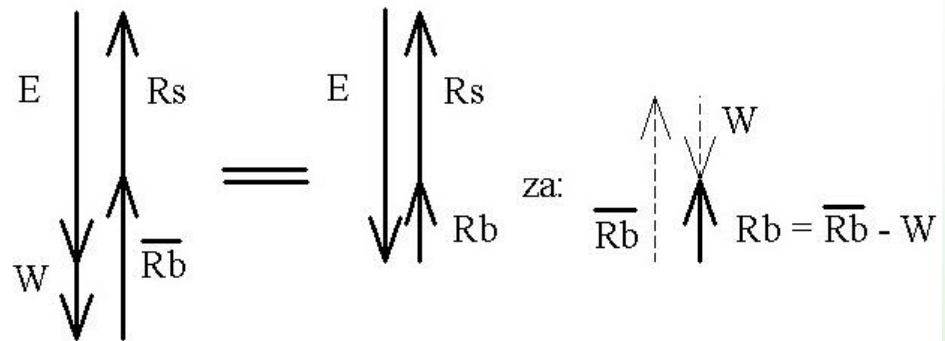
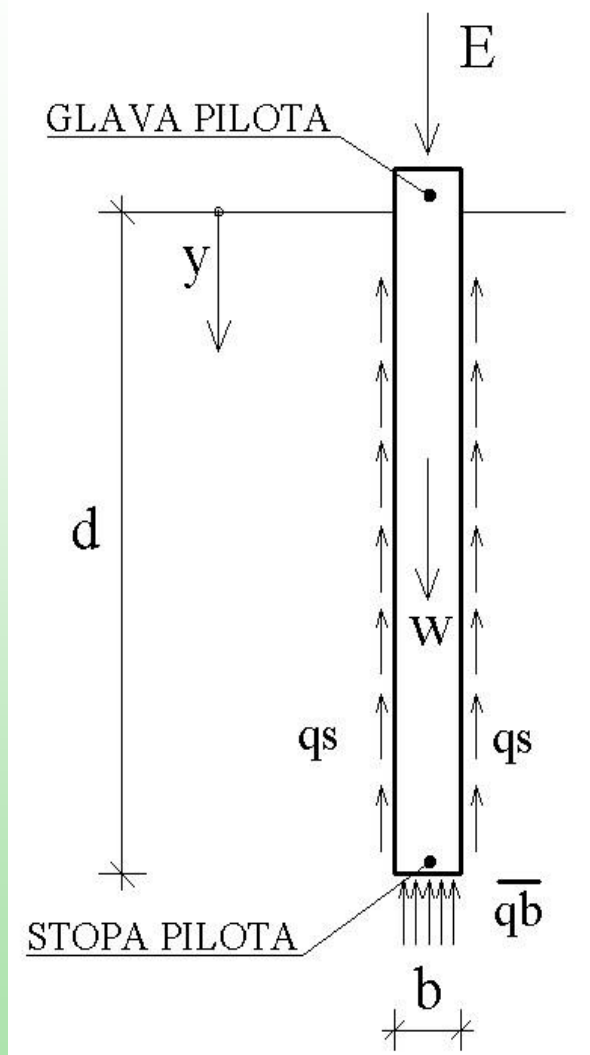
( XI . vježbe )

5. program – DUBOKO TEMELJENJE NA PILOTIMA

# DUBOKO TEMELJENJE – piloti



# PILOT – kontrola nosivosti



$E$  - opterećenje pilota (djelovanje)

$W$  - težina pilota

$\bar{R}_b$  - otpor stope pilota

$R_s$  - otpor plašta

$$R_s = \int_0^d q_s \cdot c \cdot dy$$

$R_b$  - otpor stope pilota i zražen na glavi pilota

$$R_b = A_b \cdot q_b$$

# NOSIVOST PILOTA

## SPECIFIČAN OTPOR PILOTA

$q_s$  [kN/m<sup>2</sup>] – otpor na plaštu

$c$  – opseg pilota [m];  $d$  – duljina pilota [m]

$q_b$  [kN/m<sup>2</sup>] – otpor na bazi

$A_b$  – površina baze pilota [m<sup>2</sup>]

Za **koherentna tla (C, M)** određuje se prema nedreniranoj čvrstoći -  $c_u$ .

Za **nekoherentna tla (S, G)** određuje se prema broju udaraca SPT-pokusa -  $N_{60}$ .

## KARAKTERISTIČNA NOSIVOST PILOTA

Ovisi o količini istražnih radova ili količini probnog ispitivanja pilota 'n' na temelju kojeg se određuje **faktor korelacije** -  $\xi_i$  (srednja čvrstoću);  $\xi_j$  (minimalna čvrstoća).

$$R_{c;k} = \min \left[ \frac{(R_{c;m})_{srednje}}{\xi_i}; \frac{(R_{c;m})_{min}}{\xi_j} \right]$$

## PRORAČUNSKA NOSIVOST PILOTA

$\gamma_b$  – parc. koef. za otpor baze

$\gamma_s$  – parc. koef. za otpor plašta

$\gamma_t$  – parc. koef. baza + plašt

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k} + R_{s;k}}{\gamma_t} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t}$$

# NOSIVOST PILOTA – specifičan otpor baze

<b>KOHERENTNA TLA</b> (glina C, prah M) $c = c_u ; \varphi = 0$	<b>NEKOHERENTNA TLA</b> (šljunak G, pijesak S) $c = 0 ; \varphi \neq 0$										
<b>Specifičan otpor na stopi pilota izražen na glavi pilota (za bušene pilote)</b>											
$q_b = N_c \cdot c_u$ <table border="1" data-bbox="405 685 695 913" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th><math>c_u</math> [kN/m<sup>2</sup>]</th> <th><math>N_c</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>6,5</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>8,0</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>8,7</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>9,0</td> </tr> </tbody> </table> <p><math>c_u</math> – nedrenirana čvrstoća</p>	$c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$N_c$	25	6,5	50	8,0	100	8,7	200	9,0	$q_b [kN/m^2] = 60 \cdot N_{60} \cdot \frac{d}{10b} \quad \text{za } \frac{d}{b} \leq 10$ $q_b [kN/m^2] = 60 \cdot N_{60} \quad \text{za } \frac{d}{b} > 10$ <p><math>N_{60}</math> – broj udaraca SPT reduciran na 60% teoretske energije zabijanja</p>
$c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$N_c$										
25	6,5										
50	8,0										
100	8,7										
200	9,0										

# NOSIVOST PILOTA – specifičan otpor plašta

<b>KOHERENTNA TLA</b> (glina C, prah M) $c = c_u ; \varphi = 0$	<b>NEKOHERENTNA TLA</b> (šljunak G, pijesak S) $c = 0 ; \varphi \neq 0$
<b>Specifičan otpor po plaštu (za bušene pilote)</b>	
'ALFA' postupak	'BETA' postupak
$q_s = \alpha \cdot c_u$ $\alpha = 0,55 \quad \text{za } \frac{c_u}{p_{atm}} \leq 1,5$ $\alpha = 0,55 - 0,1 \left( \frac{c_u}{p_{atm}} - 1,5 \right) \quad \text{za } 1,5 \leq \frac{c_u}{p_{atm}} \leq 2,5$ <p><math>p_{atm}</math> – atmosferski pritisak (100 kN/m<sup>2</sup>)</p>	$q_s = \beta \cdot \sigma'_{ysr}$ <p><math>\sigma'_{ysr}</math> - vertikalno efektivno naprežanje u sredini lamele za koju računamo trenje</p> <p>- za pijeske: <math>\beta = \max \left\{ 0,25; \bar{N} (1,5 - 0,25 \sqrt{y_{sr}}) \right\}</math></p> <p><math>\bar{N} = N_{60} / 11 \quad \text{za } N_{60} &lt; 15</math></p> <p><math>\bar{N} = 1 \quad \text{za } N_{60} &gt; 15</math></p> <p>- za šljunke: <math>\beta = \bar{\beta} \quad \text{za } 0,25 \leq \bar{\beta} \leq 1,8</math></p> <p><math>\beta = 0,25 \quad \text{za } \bar{\beta} &lt; 0,25</math></p> <p><math>\beta = 0,25 \quad \text{za } \bar{\beta} &gt; 1,8</math></p> <p><math>\bar{\beta} = 2,0 - 0,15 (y_{sr})^{0,75}</math></p> <p>- za vlačno opterećene pilote:</p> <p><math>q_{sVLAK} \approx 0,75 q_{sTLAK}</math></p>

# NOSIVOST PILOTA – korelacijski koeficijent - $\xi$

$$R_{c;k} = \min \left[ \frac{(R_{c;m})_{\text{srednje}}}{\xi_i}; \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_j} \right]$$

iz statičkog probnog opterećenja ( $n =$ broj probno opterećenih pilota)							
$n =$	1	2	3	4	$\geq 5$		
$\xi_1$	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00		
$\xi_2$	1.40	1.20	1.05	1.00	1.00		
iz parametara tla ( $n =$ broj bušotina, sondažnih profila)							
$n =$	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1.40	1.35	1.33	1.31	1.29	1.27	1.25
$\xi_4$	1.40	1.27	1.23	1.20	1.15	1.12	1.08
iz dinamičkih pokus ( $n =$ broj ispitanih pilota)							
$n =$	$\geq 2$	$\geq 5$	$\geq 10$	$\geq 15$	$\geq 20$		
$\xi_5$	1.60	1.50	1.45	1.42	1.40		
$\xi_6$	1.50	1.35	1.30	1.25	1.25		

# NOSIVOST PILOTA – korelacijski koeficijent - $\xi$

$$R_{c;k} = \min \left[ \frac{(R_{c;m})_{\text{srednje}}}{\xi_i}; \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_j} \right]$$

iz statičkog probnog opterećenja ( $n =$ broj probno opterećenih pilota)							
$n =$	1	2	3	4	$\geq 5$		
$\xi_1$	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00		
$\xi_2$	1.40	1.20	1.05	1.00	1.00		
iz parametara tla ( $n =$ broj bušotina, sondažnih profila)							
$\xi$ za $n =$	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
$\xi_4$	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
iz dinamičkih pokus ( $n =$ broj ispitanih pilota) <b>HRN EN 1997</b>							
$n =$	$\geq 2$	$\geq 5$	$\geq 10$	$\geq 15$	$\geq 20$		
$\xi_5$	1.60	1.50	1.45	1.42	1.40		
$\xi_6$	1.50	1.35	1.30	1.25	1.25		



# NOSIVOST PILOTA – p. koef. za nosivost - $\gamma_R$

## PRORAČUNSKA NOSIVOST PILOTA

$\gamma_b$  – parc. koef. za otpor baze

$\gamma_s$  – parc. koef. za otpor plašta

$\gamma_t$  – parc. koef. baza + plašt

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} \quad R_{c;d} = \frac{R_{b;k} + R_{s;k}}{\gamma_t} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t}$$

<b>(3) Parcijalni koeficijenti otpornosti (<math>\gamma_R</math>)</b>						
Otpornost		simbol	R1	R2	R3	R4
zabijeni piloti	stopa	$\gamma_b$	1	1.1	1	1.3
	plašt (tlak)	$\gamma_s$	1	1.1	1	1.3
	stopa+plašt (tlak)	$\gamma_t$	1	1.1	1	1.3
bušeni piloti	plašt (vlak)	$\gamma_{s;t}$	1.25	1.15	1.1	1.6
	stopa	$\gamma_b$	1.25	1.1	1	1.6
	plašt (tlak)	$\gamma_s$	1	1.1	1	1.3
	stopa+plašt (tlak)	$\gamma_t$	1.15	1.1	1	1.5
	plašt (vlak)	$\gamma_{s;t}$	1.25	1.15	1.1	1.6

# NOSIVOST PILOTA – p. koef. za nosivost - $\gamma_R$

## PRORAČUNSKA NOSIVOST PILOTA

$\gamma_b$  – parc. koef. za otpor baze

$\gamma_s$  – parc. koef. za otpor plašta

$\gamma_t$  – parc. koef. baza + plašt

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} \quad R_{c;d} = \frac{R_{b;k} + R_{s;k}}{\gamma_t} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t}$$

<b>(3) Parcijalni koeficijenti otpornosti (<math>\gamma_R</math>)</b>						
Otpornost		simbol	R1	R2	R3	R4
zabijeni piloti	stopa	$\gamma_b$	1	1.2	1	1.3
	plašt (tlak)	$\gamma_s$	1		1	1.3
	stopa+plašt (tlak)	$\gamma_t$	1		1	1.3
bušeni piloti	plašt (vlak)	$\gamma_{s;t}$	1.25		1.1	1.6
	stopa	$\gamma_b$	1.25		1	1.6
	plašt (tlak)	$\gamma_s$	1		1	1.3
	stopa+plašt (tlak)	$\gamma_t$	1.15	1	1.5	
	plašt (vlak)	$\gamma_{s;t}$	1.25	1.1	1.6	

HRN EN 1997

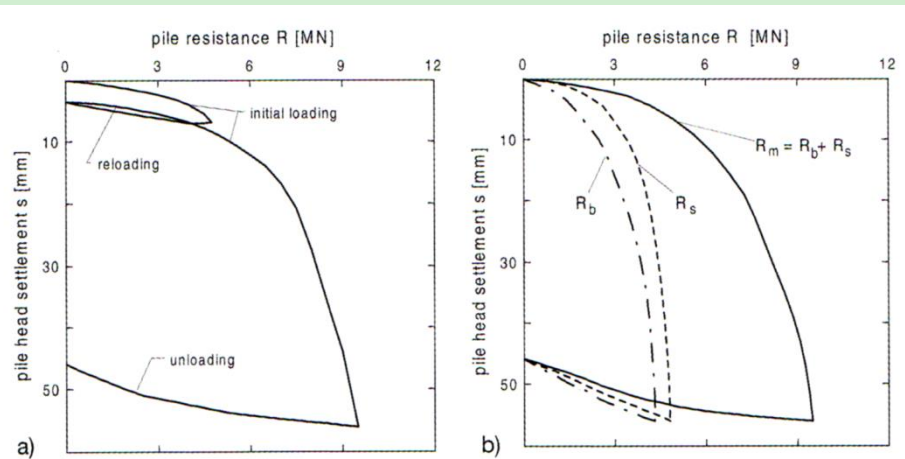
# NOSIVOST PILOTA – p. koef. za nosivost - $\gamma_R$

Partial factors for GEO/STR in persistent and transient design situations  
Piles (see Chapter 13)

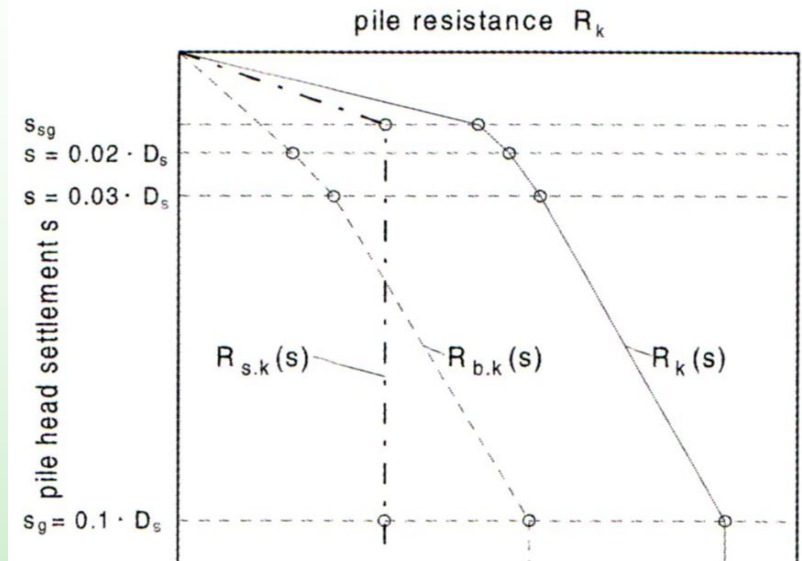
<i>Design Approach 1</i>		Combination 1		Combination 2					
		↓		↓		↓			
<i>Design Approach 2</i>			↓		↓			↓	
<i>Design Approach 3</i>			↓	↓		↓			↓
Partial factor set		A1	A2	M1	M2	R1	R2	R3	R4
Actions	$\gamma_F$	See inside front cover							
Material properties	$\gamma_M$								
Base resistance ( $R_b$ )	$\gamma_b$						1.1	1.0	
... driven pile						1.0			1.3
... bored pile						1.25			1.6
... CFA pile						1.1			1.45
Shaft resistance ( $R_s$ )	$\gamma_s$					1.0	1.1	1.0	1.3
Total resistance ( $R_t$ )	$\gamma_t$						1.1	1.0	
... driven pile						1.0			1.3
... bored pile						1.15			1.5
... CFA pile						1.1			1.4
Tensile resistance ( $R_{st}$ )	$\gamma_{st}$					1.25	1.15	1.0	1.6

# SLIJEGANJE PILOTA

Statičko ispitivanje nosivosti pilota



Normalizirana krivulja slijeganja



s / D <sub>s</sub>	R <sub>b</sub> / R <sub>b,max</sub>		
	R <sub>b</sub>	S, G	C, M
2 %	R <sub>b,002</sub>	0,37	0,77
3 %	R <sub>b,003</sub>	0,51	0,88
10 %	R <sub>b,010</sub>	1,00	1,00

s – slijeganje glave pilota

D<sub>s</sub> – promjer pilota

R<sub>b</sub> – otpor na bazi pilota za pomak s

R<sub>b,max</sub> – nosivost baze pilota

$$s_{sg} (cm) = 0,5 \cdot R_s(MN) + 0,5 < 3,0cm$$

# NOSIVOST I SLIJEGANJE GRUPE PILOTA

## NOSIVOST GRUPE PILOTA:

$$R_{grupa} = R_{pilot} \times m \times n \times \eta$$

$m, n$  – broj redova, stupaca grupe pilota

$\eta$  – faktor redukcije nosivosti

### a) Converse – Labarre

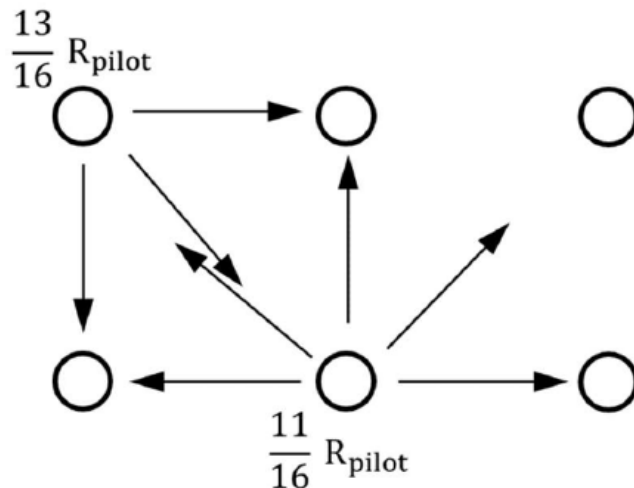
$$\eta = 1 - \psi \cdot \left[ \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{b}{a}$$

$b$  – promjer pilota

$a$  – razmak između redova i stupaca

### b) Feld



$$\eta = \frac{\text{suma koeficijenata redukcije nosivosti}}{m \cdot n}$$

$\frac{k}{16}$  – koeficijent redukcije nosivosti

– nosivost svakog pilota u grupi smanjuje se za 1/16 po svakom susjednom pilotu

# NOSIVOST I SLIJEGANJE GRUPE PILOTA

## SLIJEGANJE GRUPE PILOTA:

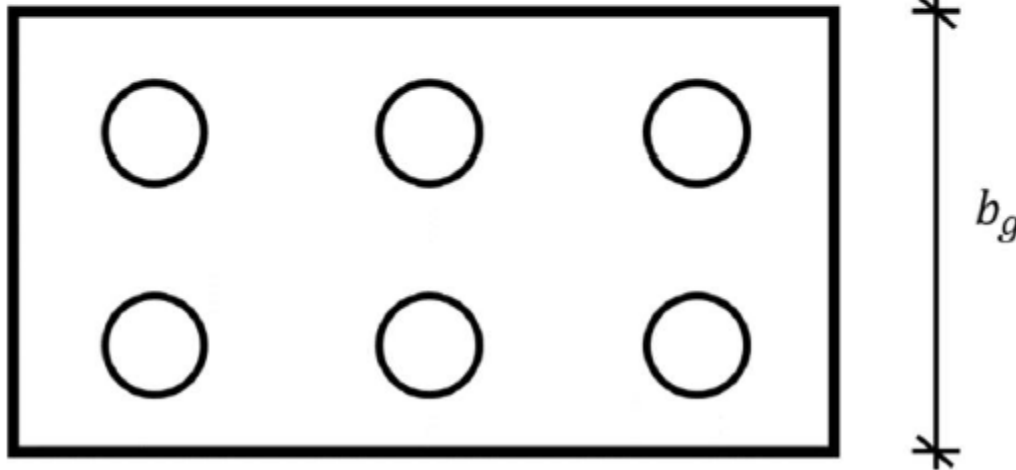
$$S_{grupa} = S_{pilot} \times \eta$$

$$\eta = \frac{4 \cdot \frac{b_g}{b} + 9}{\frac{b_g}{b} + 12}$$

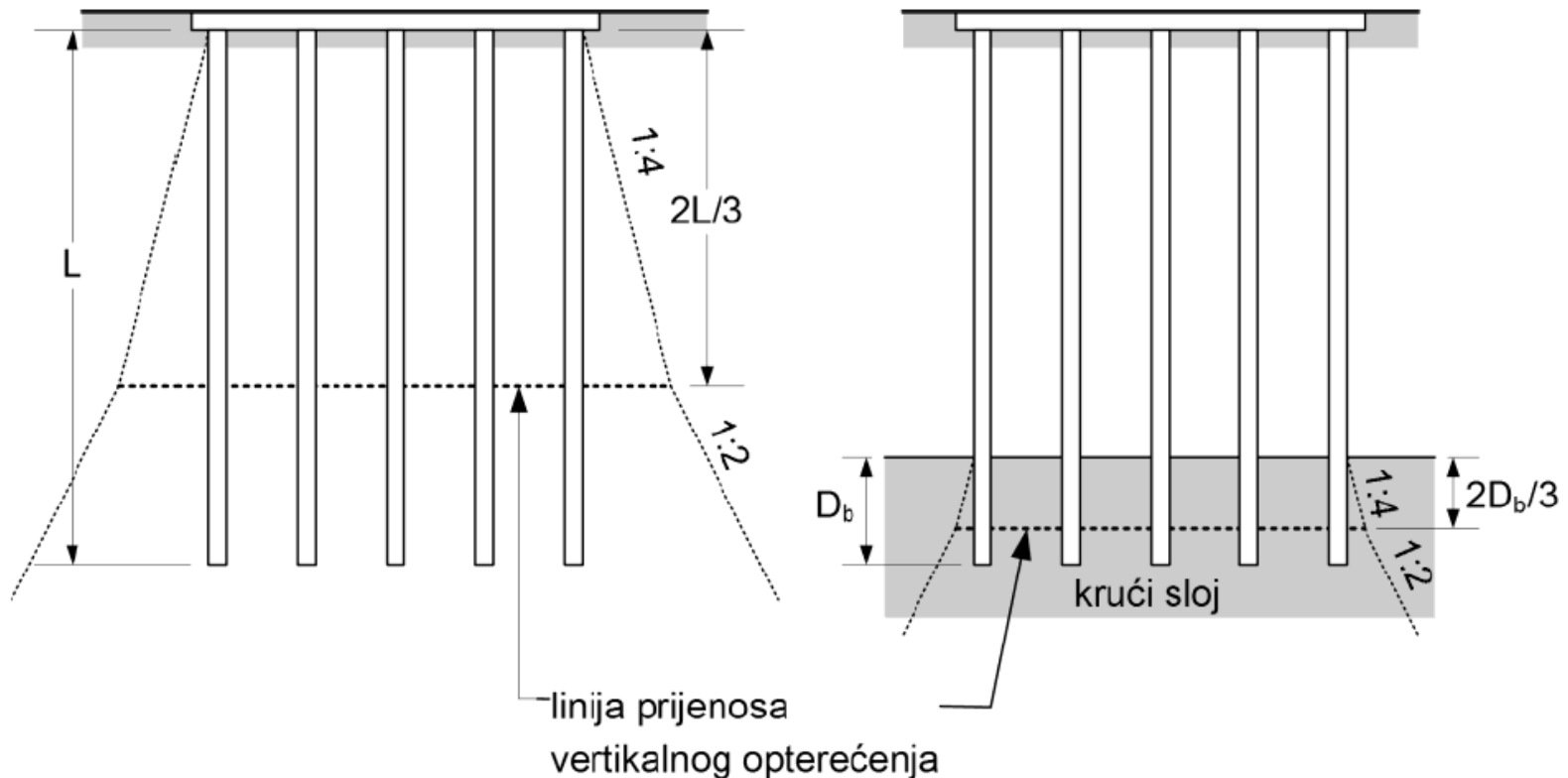
$b_g$  – širina grupe

$b$  – promjer pilota

$\eta$  – faktor slijeganja



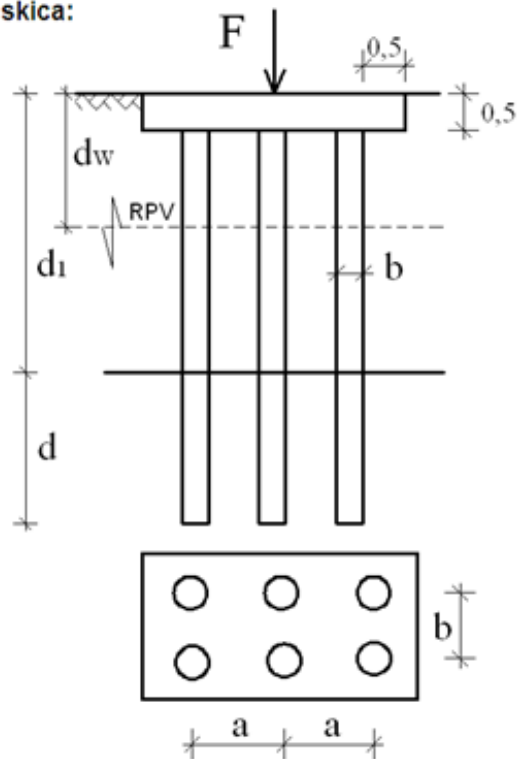
# NOSIVOST GRUPE PILOTA – sudjelujuća širina



**Slika 6-4 Uz približni proračun raspodjele vertikalnih naprezanja ispod grupe pilota: (a) u tlu približno homogene krutosti ("plutajući" piloti), i (b) za slučaj kad piloti prenose vertikalno opterećenje u krući sloj (piloti koji nose preko kraja)**

# 5. PROGRAM – geometrija, profil tla, zadatak

skica:



tlo:

1\_sloj: CH  
2\_sloj: SW

$l_p = 17$

Rezultati SPT ispitivanja u temeljnom tlu

dubina [m]	B1 $N_{60}$	B2 $N_{60}$	B3 $N_{60}$	B4 $N_{60}$	B5 $N_{60}$
1			11		
2	11	12			
3		12	14		
4	10	12			
5	10	13			
6			23		
7		26	23		
8	25				
9		24	23		
10					
11		24			
12	25	25			
13	25		23		
14					
15		21	27		
16		26	26		
17			23		
18	23	27			
19	21		26		
20	26	22			

geometrija:

$d_1 = 5.5$  m

$d_w = 4.0$  m

opterećenje:

$F = 10000$  kN



## 5. PROGRAM – geometrija, profil tla, zadatak

### ZADATAK:

- \* kontrolu nosivosti pilota treba provesti primjenom 'API metode', prema proračunskom pristupu: PP2
- \*\* koristiti jedinstveni parcijalni koeficijent za nosivost pilota: plašt + baza
- a) odredi dimenzije pilota ( $d=?$ ,  $b=?$ ) i potreban broj pilota u grupi ( $n=?$ ) za proračunsku 'čvrstoću' tla
- b) odredi potreban broj pilota uzimajući u obzir međusobno djelovanje pilota u grupi ( $n=?$ )
- c) nacrtaj dijagram slijeganja pilota za odabrane dimenzije
- d) odredi slijeganje pojedinačnog pilota (za opterećenje jednog pilota) i grupe pilota (za opterećenje grupe)