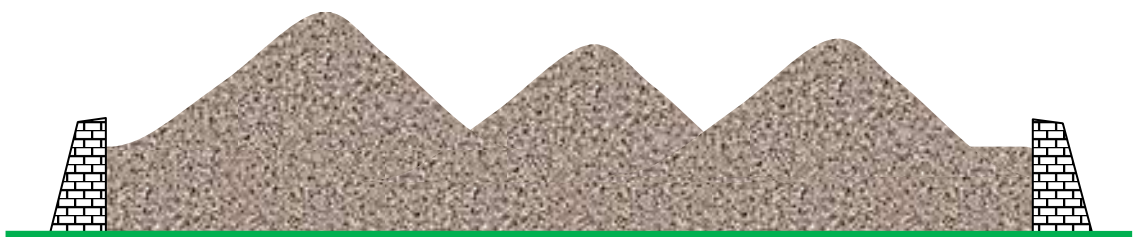


Kursen GEOTEKNIK, VGTF05

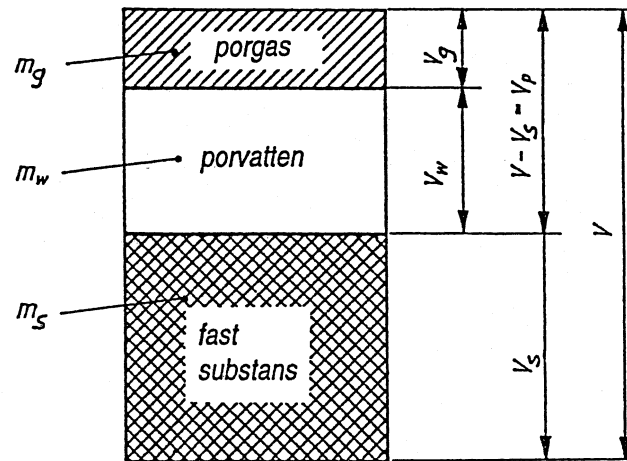
Formelsamling



2019-08-06, P J Gustafsson

1. Grundbegrepp i geoteknik

1.1 Densitet och tunghet



Kompaktdensitet

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

Skrymdensitet

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Torrdensitet

$$\rho_d = \frac{m_s}{V}$$

Mättnadsdensitet (densitet i vattenmättat tillstånd)

$$\rho_m = \frac{V_s \rho_s + V_p \rho_w}{V}$$

Effektiv densitet för vattenmättad jord

$$\rho' = \rho_m - \rho_w \quad \text{där för rent vatten} \quad \rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Tunghet

$$\gamma = \frac{g m}{V} = g \rho \quad \text{där} \quad g \approx 10 \text{ m/s}^2$$

Torrtunghet

$$\gamma_d = \frac{g m_s}{V} = g \rho_d$$

Mättnadstunghet (tunghet i vattenmättat tillstånd)

$$\gamma_m = \frac{V_s \gamma_s + V_p \gamma_w}{V}$$

Effektiv tunghet för vattenmättad jord

$$\gamma' = \gamma_m - \gamma_w \quad \gamma' = \gamma_d \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right) \quad \text{där för rent vatten } \gamma_w \approx 10 \text{ kN/m}^3$$

1.2 Porvolym och packning

Porositet (förhållandet mellan jordens porvolym och jordens totala volym)

$$n = \frac{V_p}{V}$$

Portal (förhållandet mellan jordens porvolym och den fasta substansens volym)

$$e = \frac{V_p}{V_s}$$

Samband mellan porositet och portal

$$n = \frac{e}{1+e} \quad e = \frac{n}{1-n}$$

Portal för vattenmättad jord

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_m}{\gamma'}$$

Lagringstäthet

$$I_D = \frac{e_L - e}{e_L - e_F}$$

Packningsgrad

$$R_D = \frac{\rho_d}{\rho_{d, \max}}$$

1.3 Porvatten

Vattenkvot (fuktkvot)

$$w = \frac{m_w}{m_s}$$

Vattenkvot för vattenmättad jord

$$w = \frac{\rho_w (\rho_s - \rho_m)}{\rho_s \rho'}$$

Vattenmättnadsgrad

$$S_r = \frac{V_w}{V_p} \qquad S_r = \frac{w \rho \rho_s / \rho_w}{\rho_s (w + 1) - \rho}$$

2. Fraktioner och benämningar

2.1 Fraktioner

Fraktionsgrupp	Fraktion	Kornstorlek (mm)	Undergrupp	Kornstorlek (mm)
Block och sten	Block	>600	Klippblock	>2000
			Stenblock	2000-600
	Sten	600-60	Grovsten	600-200
			Mellansten	200-60
Grovjord	Grus	60-2	Grovgrus	60-20
			Mellangrus	20-6
			Fingrus	6-2
	Sand	2-0.06	Grovsand	2-0.6
			Mellansand	0.6-0.2
			Finsand	0.2-0.06
Finjord	Silt	0.06-0.002	Grovsilt	0.06-0.02
			Mellansilt	0.02-0.006
			Finsilt	0.006-0.002
	Ler	<0.002	Grovler	0.002-0.0006
			Finler	<0.0006

2.2 Graderingstal, lerhalt och organisk halt

$$\text{Graderingstal} = C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$$\text{Lerhalt} = \frac{m_s < 0.002 \text{ mm}}{m_s < 60 \text{ mm}}$$

$$\text{Organisk halt} = \frac{m_{s, \text{org}}}{m_s}$$

2.3 Riktvärden för benämning av mineraljordar efter kornstorleksfördelning

Fraktion	Fraktion i vikts-% av material ≤ 60 mm	Fraktion lera (<0.002 mm) i vikts-% av material ≤ 0.06 mm	Tilläggsord (adjektiv)	Huvudord (substantiv)
Grus, 2-60 mm	20-40	-	grusig	-
	>40		-	grus
Sand, 0.06-2 mm	20-40	-	sandig	-
	>40		-	sand
Silt+ lera (finjord), ≤ 0.06 mm	5-15	≤ 20	något siltig	-
		> 20	något lerig	-
	15-40	≤ 20	siltig	-
		> 20	lerig	-
	>40	< 10	-	silt
		10-20	lerig	silt
		20-40	siltig	lera
		> 40	-	lera

Om jorden innehåller sten (60-600 mm) och/eller block (>600 mm) tillkommer tilläggsord och huvudord ändras enligt:

Fraktion	Fraktion i vikts-% av total jordmängd	Fraktion sten (60-600 mm) i vikts-% av material ≥ 60 mm	Tilläggsord (adjektiv)	Huvudord (substantiv)
Sten (60-600 mm)	10-40		stenig	
	>40		-	stenjord
Block (>600 mm)	5-20		blockig	-
	20-40		mkt blockig	-
	>40		-	blockjord
Sten+block (≥ 60 mm)	>40	> 50	-	stenjord
		< 50	-	blockjord

3. Spänning, deformation och brott i jord

3.1 Allmänna spännings samband

Totalspänning vertikalt orsakad av jordens egenvikt

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^N \gamma_i \Delta z_i$$

Porvattentryck (statiskt)

$u = \gamma_w (z - z_w)$ där $(z - z_w)$ är avståndet från grundvattenytan ner till aktuellt djup, räknat positivt nedåt

Effektivspänning

$$\sigma' = \sigma - u$$

Effektivspänning horisontellt för jord i vila

$$\sigma'_x = K_0 \sigma'_z$$

3.2 Spänningstillskott av yttre last

Enligt approximationsmetoden "2:1":

För yttlast q på en rektangulär yta bL :

$$\sigma_z = \frac{qbL}{(b+z)(L+z)} = \frac{q}{(1+z/b)(1+z/L)}$$

För yttlast q på en rektangulär yta bL med stor längd L , så att $z/L \ll 1$ och $b/L < 1$:

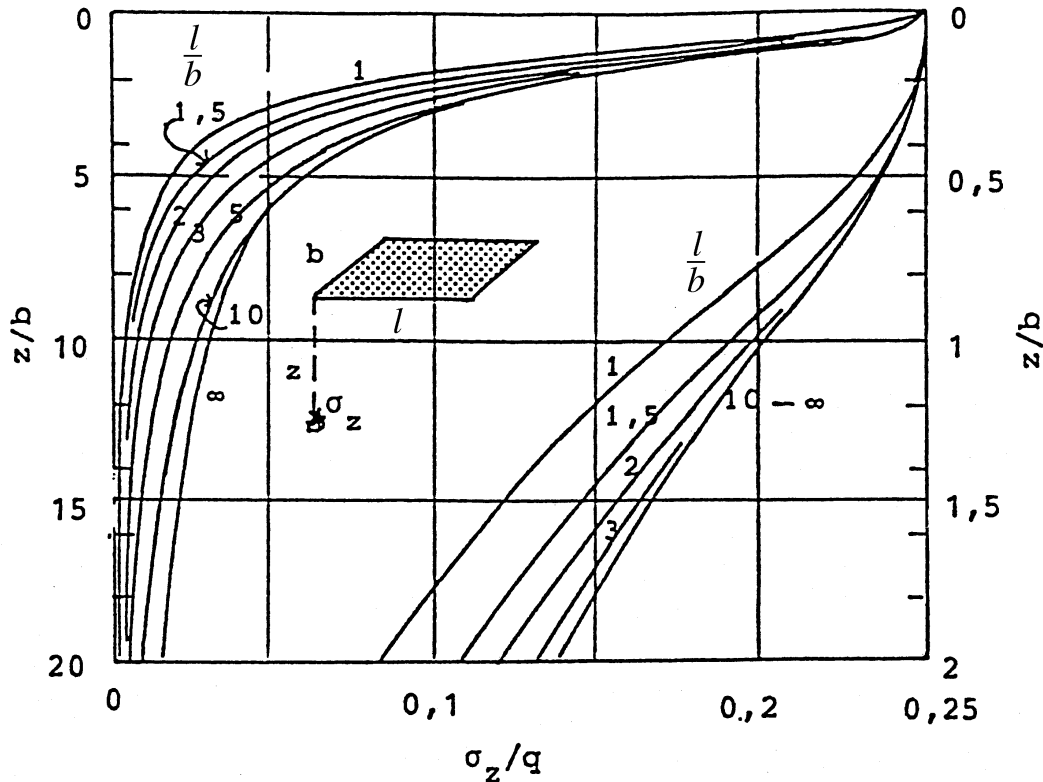
$$\sigma_z = \frac{qbL}{(b+z)(L+z)} \approx \frac{qb}{b+z} = \frac{q}{1+z/b}$$

Enligt elasticitetsteori (Boussinesq):

För punktlast:

$$\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} \frac{z^3}{a^5}$$

För fördelad last på rektangulär yta:



3.3 Kompression av jord

Definition av kompressionsmodulen M (ödometernmodulen, tangentmodulen):

$$M = d\sigma'/d\varepsilon$$

M för typisk grovkornig jord (friktionsjord):

$$M = m \sigma'_j \left(\frac{\sigma'}{\sigma'_j} \right)^{1-\beta}$$

där jämförelse- eller referensspänningen σ'_j vanligen är 100 kPa, och där m är kompressionsmodultalet och β är spänningsexponenten

M för typisk finkornig jord:

$$M = M_O = \text{konstant för } 0 \leq \sigma' \leq \sigma'_c$$

$$M = M_L = \text{konstant för } \sigma'_c \leq \sigma' \leq \sigma'_L$$

$$M = M_L + (\sigma' - \sigma'_L) M' \quad \text{där } M' = dM/d\sigma' = \text{konstant för } \sigma'_L \leq \sigma' < \infty$$

3.4 Sättning

Generellt:

Vertikal töjning ε i jorden orsakad av en ökning $\Delta\sigma'$ av vertikal spänning från σ'_0 till σ'_1 :

$$\varepsilon = \int_{\varepsilon(\sigma'_0)}^{\varepsilon(\sigma'_1)} d\varepsilon = \int_{\sigma'_0}^{\sigma'_1} \frac{d\sigma'}{M}$$

För grovkornig jord (friktionsjord) med M enligt 3.3:

$$\varepsilon = \frac{1}{m\beta} \left(\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_j} \right)^\beta - \left(\frac{\sigma'_0}{\sigma'_j} \right)^\beta \right) \text{ varav speciellt för } \beta=1 \text{ fås att } \varepsilon = \frac{\Delta\sigma'}{m\sigma'_j} = \frac{\Delta\sigma'}{M} \text{ där } M=\text{konstant}$$

För finkornig jord med M enligt 3.3:

$\varepsilon = \varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_d$ är töjningen orsakad av en spänningsökning $\Delta\sigma' = \Delta\sigma'_a + \Delta\sigma'_b + \Delta\sigma'_d$

där $\varepsilon_a = \frac{\Delta\sigma'_a}{M_0}$ är töjningen av en spänningsökning $\Delta\sigma'_a$ inom intervallet $0 \leq \sigma' \leq \sigma'_c$

där $\varepsilon_b = \frac{\Delta\sigma'_b}{M_L}$ är töjningen av en spänningsökning $\Delta\sigma'_b$ inom intervallet $\sigma'_c \leq \sigma' \leq \sigma'_L$

där $\varepsilon_d = \frac{1}{M'} \ln \left(\frac{M_L + (\sigma'_{d1} - \sigma'_L) M'}{M_L + (\sigma'_{d0} - \sigma'_L) M'} \right)$ är töjningen av en spänningsökning $\Delta\sigma'_d$ från σ'_{d0} till σ'_{d1}
inom intervallet $\sigma'_L \leq \sigma' < \infty$

3.5 Brott i jord

Mohr-Coulombs brotteori

$$\tau_f = c + \sigma'_n \tan \varphi'$$

Samband mellan huvudspänningar vid brott

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2(45^\circ + \varphi'/2) + 2c \tan(45^\circ + \varphi'/2)$$

$$\sigma'_3 = \sigma'_1 \tan^2(45^\circ - \varphi'/2) - 2c \tan(45^\circ - \varphi'/2)$$

Skjuvspänning vid brott

$$\tau_f = R \cos \varphi'$$

Normalspänning vid brott

$$\sigma'_f = \sigma'_m - R \sin \varphi'$$

Spänningscirkelns radie

$$R = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)$$

Spänningscirkelns centrum

$$\sigma'_m = \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)$$

4. Allmänna bärförmågeekvationen

Effektiv bärförmåga q_b [kraft/yta] för jorden under en rektangulär grundläggningsyta bL med $b \leq L$ belägen på grundläggningsdjupet d_f :

$$q_b = cN_c s_c d_c i_c g_c + qN_q s_q d_q i_q g_q + (1/2)\bar{\gamma}'bN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma$$

där

c är jordens kohesion

q är effektiva överlagringsstrycket

$\bar{\gamma}'$ är medelvärdet av effektiva tungheten för jordskiktet från grundläggningsnivån och ner sträckan b :

$$\bar{\gamma}' = \begin{cases} \gamma_d & \text{om } h_g \geq b \\ \gamma' + (h_g/b)(\gamma_d - \gamma') & \text{om } b \geq h_g \geq 0 \end{cases} \quad \text{där } h_g \text{ är grundvattenytans nivå neråt under grundläggningsnivån}$$

N_c, N_q, N_γ är funktioner av ϕ enligt tabell nedan

$$s_c = s_q = 1 + 0.2b/L, \quad s_\gamma = 1 - 0.4b/L$$

$$d_c = d_q = \min(1 + 0.35d_f/b, 1.7), \quad d_\gamma = 1$$

$$i_c = \begin{cases} 1 - 2H/(bLcN_c) & \text{om } \phi = 0 \\ i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1) & \text{om } \phi > 0 \end{cases} \quad \text{där } H \text{ är horisontell lastkomponent och } V \text{ är vertikal lastkomponent}$$

$$i_q = (1 - 0.7H/(V + bLc \cot \phi))^3$$

$$i_\gamma = (1 - H/(V + bLc \cot \phi))^3$$

$$g_c = 1 - \beta/147^\circ \quad \text{om } \phi = 0$$

där β är markens lutning i grader

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.7 \tan \beta)^3$$

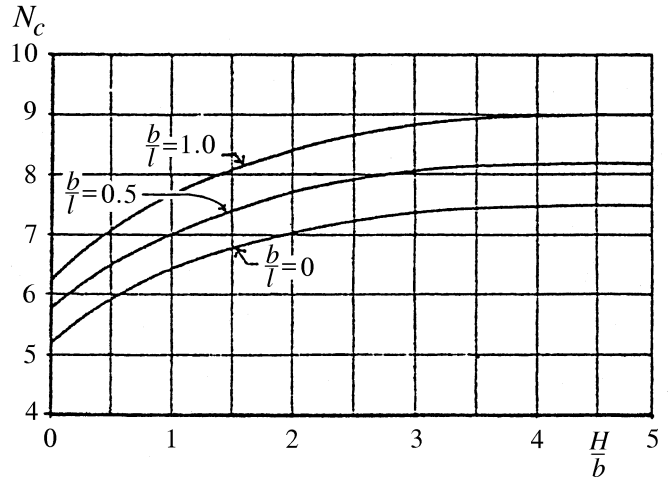
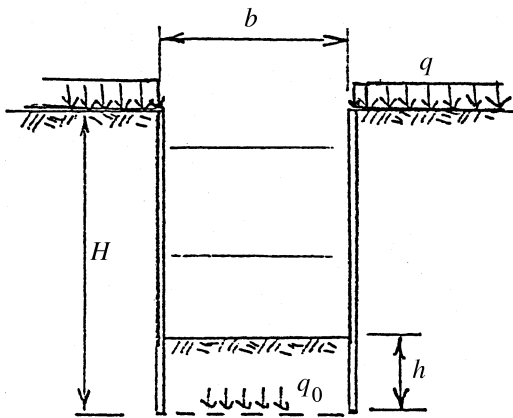
Bärighetsfunktioner enligt Prandtl:

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0	-	-	-	-	-	-	-	-
16	11.6	4.34	1.42	26	22.3	11.9	7.64	36	50.6	37.8	41.1
17	12.3	4.77	1.70	27	23.9	13.2	8.99	37	55.6	42.9	49.1
18	13.1	5.26	2.02	28	25.8	14.7	10.6	38	61.4	48.9	58.9
19	13.9	5.80	2.40	29	27.9	16.4	12.5	39	67.9	56.0	70.9
20	14.8	6.40	2.84	30	30.1	18.4	14.7	40	75.3	64.2	85.6
21	15.8	7.07	3.36	31	32.7	20.6	17.4	41	83.9	73.9	104.0
22	16.9	7.82	3.96	32	35.5	23.2	20.6	42	93.7	85.4	126.0
23	18.1	8.66	4.67	33	38.6	26.1	24.4	43	105.1	99.0	154.0
24	19.3	9.60	5.51	34	42.2	29.4	29.0	44	118.4	115.0	190.0
25	20.7	10.7	6.48	35	46.1	33.3	34.4	45	134.0	135.0	234.0

5. Bottenuptrykning (ingår ej i kursen)

Kohesionsjord:

$$F_c = N_c \frac{c}{\gamma(H-h) + q}$$



Friktionsjord:

$$F_\phi = \frac{\rho'}{i\rho_w}$$

6. Jordtryck

Effektivt aktivt jordtryck:

$$p'_a = \sigma'_z \tan^2(45^\circ - \phi'/2) - 2c \tan(45^\circ - \phi'/2)$$

Effektivt passivt jordtryck:

$$p'_p = \sigma'_z \tan^2(45^\circ + \phi'/2) + 2c \tan(45^\circ + \phi'/2)$$

Effektivt vilojordtryck:

$$p' = K_0 \sigma'_z$$