

**Tentamen i geoteknik med grundläggning  
BOM355  
Måndag den 3/1 2022 kl. 8:30 – 12:30**

**Telefon till jourhavande lärare på institutionen:  
Mats Karlsson 031-772 2101 eller 0721-58 22 54**

**Allmänt**

Tentamen består av beräkningsuppgifter i två delar med efterföljande ”teori”-frågor. Varje resultat skall styrkas med en **väl strukturerad** beräkning där alla eventuella antaganden **tydligt** framgår. Vidare skall eventuella resonemang och/eller värderingar av dina beräkningar motiveras.

Max poäng på tentamen är 100 poäng och fördelas på uppgifterna, se respektive uppgift. Följande krav måste också vara uppfyllt för att få godkänt på tentamen, minst 40% av respektive huvuduppgift, dvs om tentamen består av två huvuduppgifter med t.ex. 1a delen behandlar sättningar och 2a delen stödkonstruktion med tillhörande teori så måste man få minst 40% av poängen från varje del för att klara minikravet.

För denna tentamen gäller således att man klara minst 16p på uppgift 1 och minst 24p på uppgift 2.

**Hjälpmedel vid räkne delen enbart**

Valfri miniräknare, kursboken ”Geoteknik, Sällfors. Göran”, formelsamlingar och matematiska uppslagsverk.

Dock får inga egenhändigt lösta exempel finnas. Stöd anteckningar i boken accepteras.

Övrigt: Tesen får behållas av studenten om inga lösningsförslag finns på den.

Granskning tid kommer utlysas på Canvas.

**Betygsgränser (tentamen inkl. projekt)**

Underkänt <50p

Betyg 3 - 50-70p

Betyg 4 - 71-85p

Betyg 5 - 86-100p

Anonym tentamenskod:.....

## Räkne- samt teoridelen (100% av tentamens poäng)

### Uppgift 1 Sättning (40p)

En hög byggnad med bottenarean 25m\*9m ska byggas och en sättningsberäkning ska utföras. Byggnaden har en last på 150 kPa, men 3 meter jord kommer att schaktas bort ner till nivån +37. Jorden består av fyllning med tunghet 19 kN/m<sup>3</sup> mellan nivå +40 och +38. Mellan nivå +38 och +27 är det lera med  $\gamma=16$  kN/m<sup>3</sup>, mellan nivå +27 och +10 har leran  $\gamma=17$  kN/m<sup>3</sup>. Grundvattenytan bedöms ligga i underkant av fyllningen. Fem CRS försök har utförts och dess resultat är redovisade nedan. Leran bedöms vara överkonsoliderad med 30 kPa.

Nivå (m)	MO (kPa)	ML (kPa)	k (m/s)
33	2175	540	$1.55 \cdot 10^{-9}$
30	2400	660	$1.55 \cdot 10^{-9}$
25	2775	860	$1.55 \cdot 10^{-9}$
18	3300	1140	$1.55 \cdot 10^{-9}$
13	3675	1340	$1.55 \cdot 10^{-9}$

- Beräkning slutsättningen samt sättningen efter 7år. (25p)
- Nämn två saker som kan göra en jord överkonsoliderad, samt två som kan göra att den blir normal konsoliderad. (4p)
- Förklara vad differentialsättningar är och hur de kan uppstå, samt lämna ett förslag på hur de kan hindras från att uppstå. (5p)
- Förklara varför leror generellt är mer sättningsbenägna än sand. (6p)

Anonym tentamenskod:.....

## Uppgift 2 Jordtryck och stabilitet (60p)

En 3,0 m djup schakt skall utföras i Partille för en pumpstation. Schakten har utbredningen 5 m x 5 m och utförs inom spont vilken stötts på en nivå motsvarande 1,0 m under markytan.

Jordlagren i området utgörs av fyllning (sand) till 3,0 m djup och därunder lera till >50 m djup. Grundvattenytan är belägen på 1,0 m djup under markytan med hydrostatisk tryckfördelning mot djupet. Jordlagrens egenskaper framgår av tabellen nedan.

Egenskaper fyllning (sand)	
Friktionsvinkel, $\varphi'$	35 °
Tunghet ovan grundvattenytan, $\gamma$	19 kN/m <sup>3</sup>
Effektiv tunghet under grundvattenytan, $\gamma'$	11 kN/m <sup>3</sup>

Egenskaper lera	
Konflytgräns, $w_L$	60 %
Okorrigerad odränerad skjuvhållfasthet, $c_u$	30 kPa
Tunghet ovan grundvattenytan, $\gamma$	17 kN/m <sup>3</sup>
Effektiv tunghet under grundvattenytan, $\gamma'$	7 kN/m <sup>3</sup>

Ytterligare förutsättningar:

- Säkerhetsfaktor  $\gamma_m=1,4$  skall tillämpas på lerans hållfasthetsegenskaper och  $\gamma_m=1,3$  på sandens hållfasthetsegenskaper.
- Råhet mellan spontvägg-sand skall sättas till 0 och mellan spontvägg-lera till 0,5.
- Schakten angränsar mot en väg, denna kommer att nyttjas för transporter och materialupplag motsvarande en utbredd last 10 kPa.

a) Beräkna och redovisa dimensionerande jordtryck samt bestäm erforderlig spontlängd och stämpkraft. (25p)

b) Ange ytterligare en brottmekanism vilken skall kontrolleras i fall med spontschakt i mäktiga lerlager (till stort djup). OBS inga beräkningar krävs för denna deluppgift. (5p)

c) I samband med schakter och stödkonstruktioner använder man begreppen aktivt och passivt jordtryck. Hur rör sig stödkonstruktionen i förhållande till jorden om det utbildas:

- i. Aktivt jordtryck?
- ii. Passivt jordtryck?

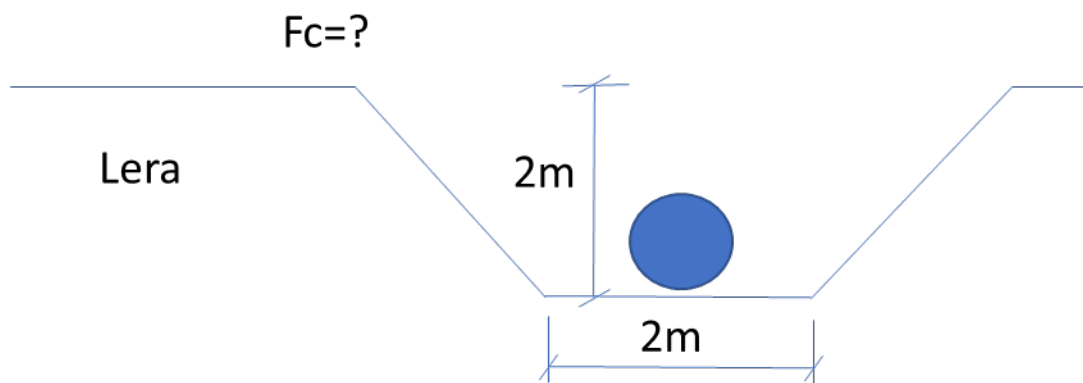
Rita/skissa och förklara kortfattat

(8p)

Anonym tentamenskod:.....

- d) Beskriv kortfattat med ord och skiss vad som händer med jordtrycken om deformationerna i sponten och jorden kraftigt begränsas (t.ex. på grund av strikta krav att begränsa deformationerna i närliggande byggnader). (7p)
- e) Lite längre ifrån schakten ( $>100\text{m}$ ) kommer en slänt att tillfälligt byggas för att anlägga ett dagvattenrör. Schakten är 2 m djup och schaktbotten är 2 m bred, se figur nedan. Beställaren kräver att säkerhetsfaktorn,  $F_c$ , ska vara minst 1.4 i korttidsfallet. I detta område finns ingen fyllning (sand), utan marken består av lera direkt från markytan och leran antas med samma egenskaper som ovan.

Vilken släntlutning kan man utföra schakten med enligt direktmetoden? (15p)





## Lösningförslag sättningstal januari 2022

Byggnaden har ett  $q=150$  kPa och en area på  $25\text{m} \times 9\text{m}$  detta ger ett  $Q$  på  $33750$  kN. Men efter som 3 meter med jord (2m fyllning och 1m lera) ska schaktas bort behöver vi dra av det från lasten.  $q$  blir alltså följande:

$$q = 9 * 25 * 150 - 2 * 9 * 25 * 19 - 1 * 9 * 25 * 16 \\ = 33750 - 8550 - 3600 = 21600 \text{ kN}$$

Lastspridningen från 3 meter djup blir följande:

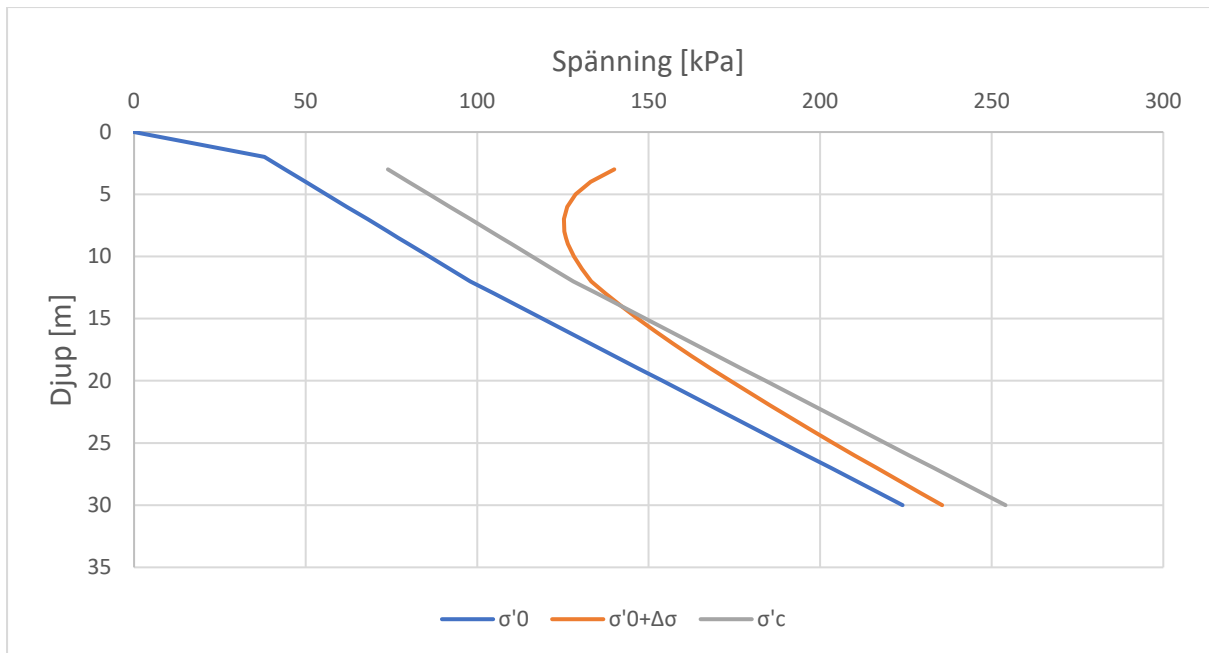
$$\Delta\sigma = \frac{21600}{(9 + z)(25 + z)}$$

Leran är över konsoliderad med 30 kPa så förkonsolideringstrycket  $\sigma'_c$  blir:

$$\sigma'_c = \sigma' + 30$$

Med Fyllning med  $\gamma=19$  mellan djup 0m och 2m, Lera 1 med  $\gamma=16$  mellan djup 2m och 12m, Lera 2 med  $\gamma=17$  mellan djup 12m och 30m samt en grundvattenyta som börjar vid 2m djup får vi följande spänningar:

Nivå	Djup	$\sigma$	U	$\sigma'_0$	$\Delta\sigma$	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$	$\sigma'_c$	
40	0	0	0	0	0			
39	1	19		0	19			
38	2	38		0	38			
37	3	54		10	44	96.0	140.0	74
36	4	70		20	50	83.1	133.1	80
35	5	86		30	56	72.7	128.7	86
34	6	102		40	62	64.3	126.3	92
33	7	118		50	68	57.3	125.3	98
32	8	134		60	74	51.4	125.4	104
31.5	8.5	142		65	77	48.8	125.8	107
31	9	150		70	80	46.5	126.5	110
30	10	166		80	86	42.2	128.2	116
29	11	182		90	92	38.5	130.5	122
28	12	198		100	98	35.3	133.3	128
27	13	215		110	105	32.5	137.5	135
26	14	232		120	112	30.0	142.0	142
25	15	249		130	119	27.8	146.8	149
20	20	334		180	154	19.8	173.8	184
15	25	419		230	189	14.8	203.8	219
10	30	504		280	224	11.5	235.5	254



Tillskottsspänningen börjar vid 3 meters djup på grund av urschaktningen.

Vi kan se i diagrammet att vi har konsolideringssättningar (Fall 2) mellan 3 och 14 meters djup och momentana sättningar (Fall 1) från 14 meter ner till 30 meters djup.

För beräkningen delar jag in i 4 skick:

- 3 till 8: Mittpunkt 5.5m djup, Fall 2
- 8 till 14: Mittpunkt 11m djup, Fall 2
- 14 till 22: Mittpunkt 18m djup, Fall 1
- 22 till 30: Mittpunkt 26m djup, Fall 1

$M_0$  och  $M_L$  antas variera linjärt med djupet och räknas ut med linjär interpolering till följande:

5.5m:  $M_0 = 2062.5 \text{ kPa}$ ,  $M_L = 480 \text{ kPa}$

11m:  $M_0 = 2475 \text{ kPa}$ ,  $M_L = 700 \text{ kPa}$

18m:  $M_0 = 3000 \text{ kPa}$

26m:  $M_0 = 3600 \text{ kPa}$

$$S1 = 5 \left( \frac{89 - 59}{2062.5} + \frac{127.3 - 89}{480} \right) = 0.073m + 0.4m$$

$$S2 = 6 \left( \frac{122 - 92}{2475} + \frac{130.5 - 122}{700} \right) = 0.073m + 0.4m$$

$$S3 = 8 \left( \frac{22.5}{300} \right) = 0.06m$$

$$S4 = 8 \left( \frac{14.1}{3600} \right) = 0.031m$$

Total sättningen:

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = (0.073 + 0.4) + (0.073 + 0.1) + 0.06 + 0.031 = 0.708m$$

För tidsberoendesättningen behöver vi räkna ut  $C_v$  då vi har fått  $k = 1.55 \cdot 10^{-9} m/s$ , det görs med följande ekvation:

$$C_v = \frac{M_L * k}{\rho_w * g} = \frac{600 * 1.55 * 10^{-9}}{1 * 10} = 9.318 * 10^{-8}$$

$M_L$  togs från mitt punkten av skikten med fall 2 vilket var vid 8.5 meters djup.

$$Tv = C_v \frac{t}{h^2} = 9.318 * 10^{-8} \frac{7 * 365 * 24 * 3600}{11^2} = 0.17$$

$Tv=0.17$  ger en medelkonsolideringsgrad  $U_v$  från kurva A till  $U_v=0.6$ . Kurva A väljs då vi har närmare 16 meter med lera som är fortsatt överkonsoliderad, vilket kan ses som ett tätskikt neråt. Detta ger att vi har följande sättning efter 7år:

$$S_{7\text{år}} = (0.073 + 0.6 * 0.4) + (0.073 + 0.6 * 0.1) + 0.06 + 0.031 = 0.519m$$

### Teori frågor:

1. Att en jord är överkonsoliderad innebär vanligtvis att en last på jorden har försvunnit på något sätt, t.ex. genom erosion, en glaciär som har smält eller att en byggnad på jorden har rivits. Men en jord kan också bli överkonsoliderad genom krypsättningar eller att den har bildat en struktur mellan jordpartiklarna.

För att en jord ska bli normal konsoliderad igen måste jorden utsättas för en större last än vad utsatts för tidigare, t.ex. av grundvattensänkning, deponering av något nytt material eller en nybyggnad på jorden.

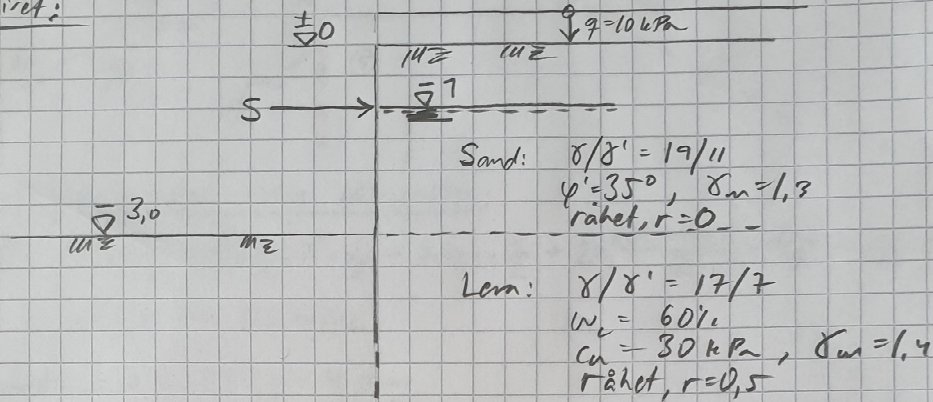
2. Differential sättningar är när marken under en byggnad sätter sig olika mycket. Det kan uppstå när leran under byggnaden varierar i tjocklek så vissa delar av den sätter sig snabbare än andra, bl.a. på grund av kortare dräneringsvägar. Sätt att motverka detta kan vara genom förbelastning för hela området, någon form av jordförstärkning t.ex. kalkcementpelare eller att man pålar ner till fastare mark för att motverka sättningar.
3. Sand har generellt sätt en högre styvhet än lera vilket gör att det krävs en större last för att komprimera sanden. Eftersom sanden har högre permeabilitet än leran kan det vatten (porövertryck) som eventuella finns där dräneras väldigt fort jämfört med lera, nästan omedelbart. För en lera kan det ta många år innan porövertryck har förskingrats vilket gör att sättning i lera kan utvecklas under en lång tid.

## Uppgift jordtryck

Schakt till 3,0 m djup inom sport, 1 stämpelstäm

Kontrollera a): din jordtryck, spouttryck, stämpelkraft

Givet:



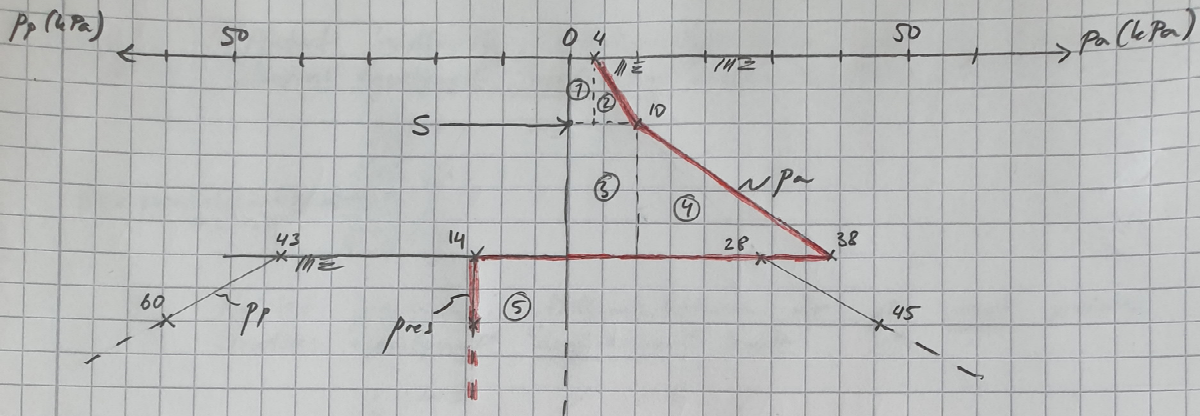
Lösning:

Sanden:  $\left\{ \begin{aligned} \phi'd &= \arctan\left(\frac{\tan(35^\circ)}{1,3}\right) = 28,3^\circ \\ K_a &= \tan^2\left(45 - \frac{28,3}{2}\right) = 0,36 \\ K_p &= \tan^2\left(45 + \frac{28,3}{2}\right) = 2,80 \end{aligned} \right.$

Leran:  $\left\{ \begin{aligned} w_L = 60\% \Rightarrow \mu &= 0,86 \\ c_{akt} &= 30 \times 0,86 = 25,8 \text{ kPa} \quad c_{ud} = \frac{25,8}{1,4} = 18,4 \text{ kPa} \end{aligned} \right.$

	$z(\text{m})$	$\sigma_{va}$	$u_a$	$\sigma'_{va}$	$p_a$
Sand	0	10	0	10	$10 \cdot 0,36 = 3,6$
	-1	29	0	29	$29 \cdot 0,36 = 10,3$
	-3 <sup>⊕</sup>	$29 + 2 \cdot 21 = 71$	20	51	$51 \cdot 0,36 + 20 = 38,2$
Lera	-3 <sup>⊖</sup>	71	-	-	$71 - 2 \cdot 18,4 \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,5}{3}} = 28,4$
	4	88	-	-	$88 - 2 \cdot 18,4 \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,5}{3}} = 45,4$
	$z(\text{m})$	$\sigma_{vp}$	$p_p$	$p_{res}$	
Lera	-3 <sup>⊖</sup>	0	$0 + 2 \cdot 18,4 \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,5}{3}} = 42,6$	$42,6 - 28,4 = 14,2$	
	4	17	$17 + 2 \cdot 18,4 \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,5}{3}} = 59,6$	$59,6 - 45,4 = 14,2$	





Spantlängd, rotation kring stämpeln:

$$\bar{A}^v: -3,6 \times \frac{1}{2} - \frac{(10,3-3,6)}{2} \times \frac{1}{3} + 2 \times 10,3 \times \frac{2}{2} + 2 \times \frac{(38,2-10,3)}{2} \times \frac{2+2}{3} - x \cdot 14 \times \left(2 + \frac{x}{2}\right) = 0$$

$$x = 1,5 \Rightarrow VL \approx HL$$

$$\text{Spantlängd} = 3 + 1,5 = \underline{\underline{4,5 \text{ m}}}$$

Stämpkraft, horisontell jämvikt:

$$\rightarrow: -3,6 - \frac{(10,3-3,6)}{2} - 2 \times 10,3 - 2 \times \frac{(38,2-10,3)}{2} + 1,5 \times 14,2 + S = 0$$

$$S = 34 \Rightarrow VL \approx HL$$

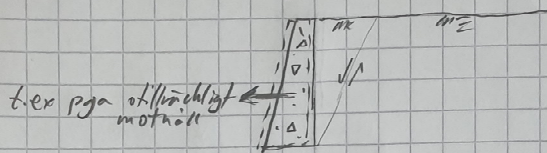
$$\text{Stämpkraft} = \underline{\underline{34 \text{ kN/m}}}$$

Svar a) Se diagram ovan för jordtryck  
 Spantlängd 4,5 m  
 Stämpkraft 34 kN/m

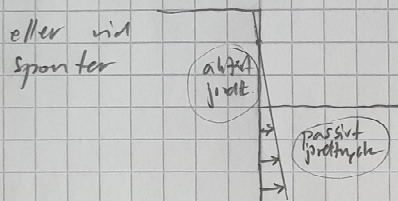
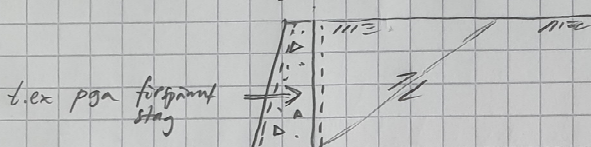
b) Bottenuppträckning  $F_c = N_c \frac{C_{ulorr}}{H \gamma + q - p}$



c) Aktivt jordtryck, stödkonstruktionen rör sig fån jorden.  
 Jordens egentvångd "medverkar" till brott

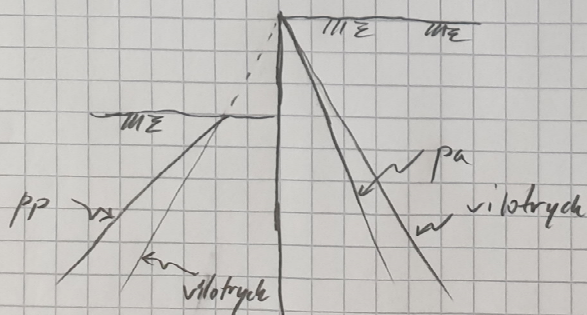
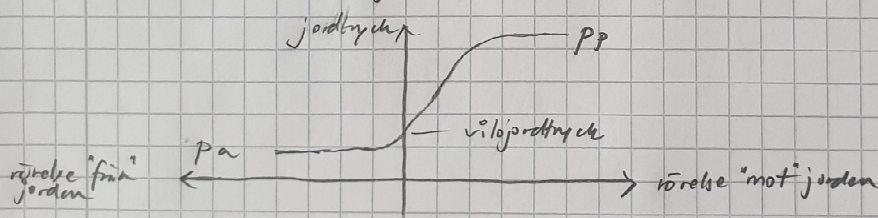


Passivt jordtryck, stödkonstruktionen rör sig mot jorden.  
 Jordens egentvångd "motverkar" brott



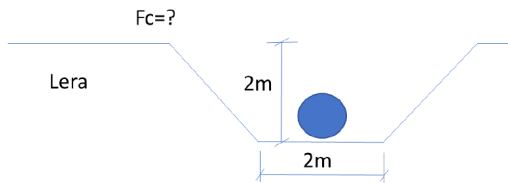
d) Om deformationerna begränsas närmar sig jordtrycken vilojordtryck, dvs fallt aktiv- resp. passiv gränsvardtryck (enligt Rankine) utbildas ej.

Det aktiva jordtrycket "ökar" och det passiva "minskar".



Tentamen 2022-01-03  
Geoteknik del 2 uppgifter

Vilken släntlutning kan man utföra schakten med enligt direktmetoden? (15p)



$$F_c := 1.4 \quad \text{krav ställt} \quad c_{\text{ukorr}} := 0.86 \cdot 30 \text{ kPa} = 25.8 \text{ kPa}$$

$$\gamma := 17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad H_s := 2 \text{ m}$$

$$P_d := \gamma \cdot H_s \quad P_d = 34 \text{ kPa}$$

$$F_c = N_0 \cdot \frac{c_{\text{ukorr}}}{P_d} \quad \Rightarrow \quad N_0 = \frac{P_d \cdot F_c}{c_{\text{ukorr}}} \quad N_0 := \frac{P_d \cdot F_c}{c_{\text{ukorr}}} \quad N_0 = 1.845 \quad < 3.83$$

Då  $N_0$  är mindre än 3.83, dvs lägsta värdet i tabellen i boken sida 10:17 så indikerar det att släntlutningen kan vara 90 grader i korttidsfallet. Detta är dock inget som rekommenderas.