

PLATTGRUNDLÄGGNING AV BYGGNADER

GARY AXELSSON

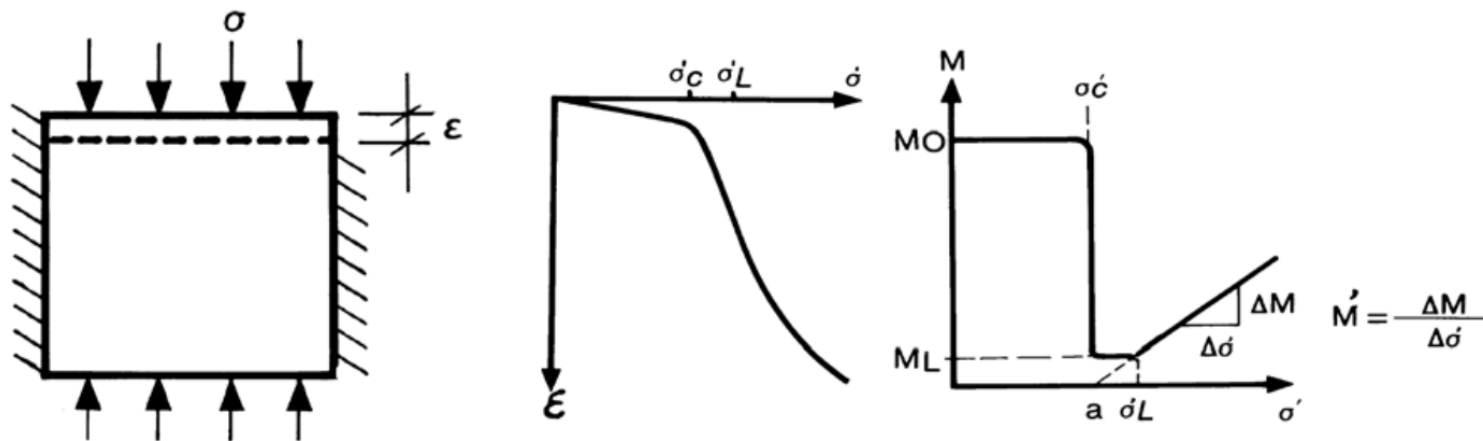


INNEHÅLL

- På vilka jordar kan man plattgrundlägga
- Bärighet
- Sättningar
- Styv platta
- Packning och fyllning
- Grundläggning under grundvattennivån

JORDAR ATT PLATTGRUNDLÄGGA BYGGNADER PÅ MED SMÅ SÄTTNINGAR

- + **Friktionsjordar**; silt, sand, grus, stenjordar
- + **Finsilt?** Beror på belastningshastighet och GV-ytan
- + **Morän** oavsett fraktion, även moränlera (kraftigt överkonsoliderad)
- + **Torrskorpelera** (kraftigt överkonsoliderad)
- + **Svagt överkonsoliderad lera?** Ja, upp till 80% av förkonsolideringstrycket (σ_c)



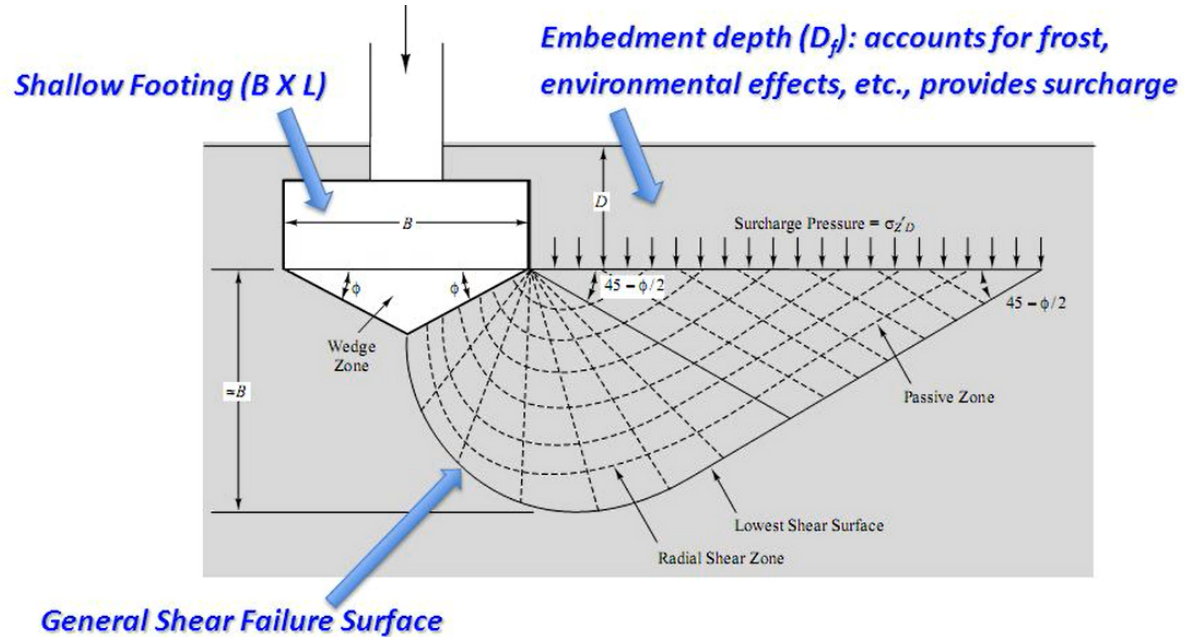
Storlek	SS-EN ISO 14688-1 (2002)		
> 2000 mm	Block	Stora block	LBo
630–2000 mm			Bo
200–630 mm		Co	
63–200 mm	Sten		
20–63 mm	Grus	Grovgrus	CGr
6,3–20 mm		Mellangrus	MGr
2–6,3 mm		Fingrus	FGr
0,63–2 mm	Sand	Grovsand	CSa
0,2–0,63 mm		Mellansand	MSa
63–200 μ m		Finsand	FSa
20–63 μ m	Silt	Grovsilt	CSi
6,3–20 μ m		Mellansilt	MSi
2–6,3 μ m		Finsilt	FSi
0,63–2 μ m	Ler		Cl
< 0,63 μ m			



BÄRIGHET

**VILKET
GRUNDTRYCK?**

ALLMÄNNA BÄRIGHETSEKVATIONEN



- **Friktionsjordar:** silt, sand, grus, sprängsten, lättfyllning mm
- **Överkonsolidera lera**
- **Normalkonsol lera**
Nc=5,5, c'=cu
- **Packad sprängbotten,** uppsprucket berg

$$q_{ult} = \cancel{c' N_c f_c} + q N_q f_q + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma f_\gamma$$

överlagringstryck

q_{ult} = ultimate bearing capacity (stress)

c' = cohesion (or s_u for undrained load and $\phi = 0$; short term analysis for clay)

q = overburden stress ($q = \gamma D_f$)

B = footing width (or diameter)

γ = total unit weight of soil (need to correct for water table)

N_c, N_q, N_γ = "Bearing capacity factors" = $f(\phi)$

f_c, f_q, f_γ = correction factors (shape, depth, load inclination, slope, etc...)

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45^\circ - \phi / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

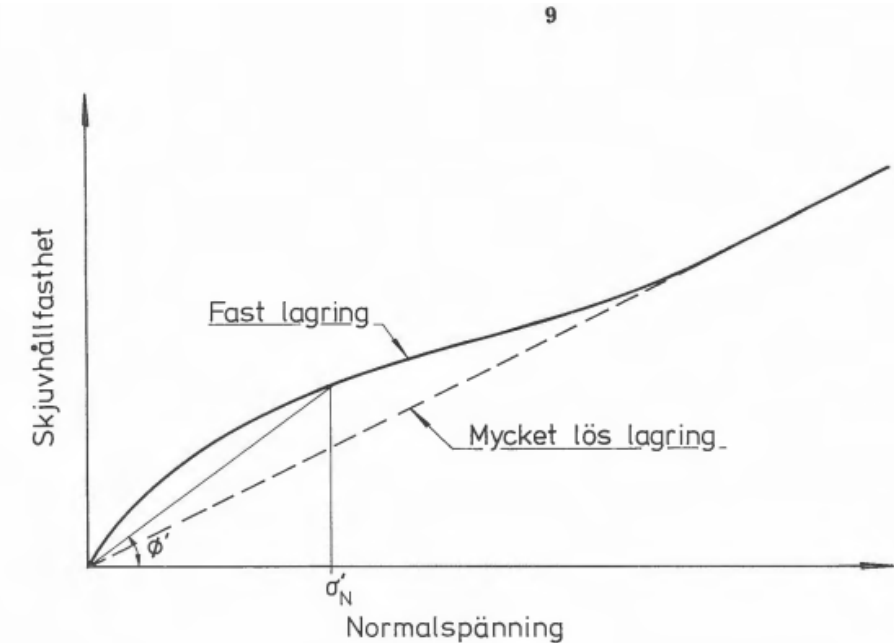
$$N_\gamma = 1.5 (N_q - 1) \tan \phi$$

HUR BESTÄMS JORDENS FRIKTIONSVINKEL?

- + Mycket svårt att bestämma på lab – beror på lagringstäthet
- + Bestäms via olika typer av insitu sondering (fallande kvalitetskala):
 - + CPT
 - + Trycksondering (Tr)
 - + Viktsondering (Vim)
 - + Hejarsondering (Hfa)

+ Friktionsvinkel varierar inom ett relativt snävt intervall:

Relativ fasthet	Karakteristiskt värde
Mycket lös	29-32 ⁰
Lös	32-35 ⁰
Medelfast	35-38 ⁰
Fast	38-42 ⁰
Mycket fast	>42 ⁰



GRUNDTRYCK PÅ NATURLIG JORD

- NÄRA MARKYTAN (-0,5 M GVV, 0,3 M ÖVERLAST)

+ Fast grovkorning bottenmorän,

+ $\varphi=43$, $q= 1,8$ MPa ($q_d= 0,5$ MPa)

+ Fast lagrad sand

+ $\varphi=38$, $q= 800$ kPa ($q_d= 300$ kPa)

+ Mycket löst lagrad sand

+ $\varphi=30$, $q= 200$ kPa

+ Fast lagrad silt $\varphi=33$

+ $\varphi=33$, $q= 350$ kPa

+ Normalkonsoliderad lera ("lös lera") $5,5x c_u$,

▪ Ex: $c_u=10$ kPa, $q= 55$ kPa

+ Torrskorpelera

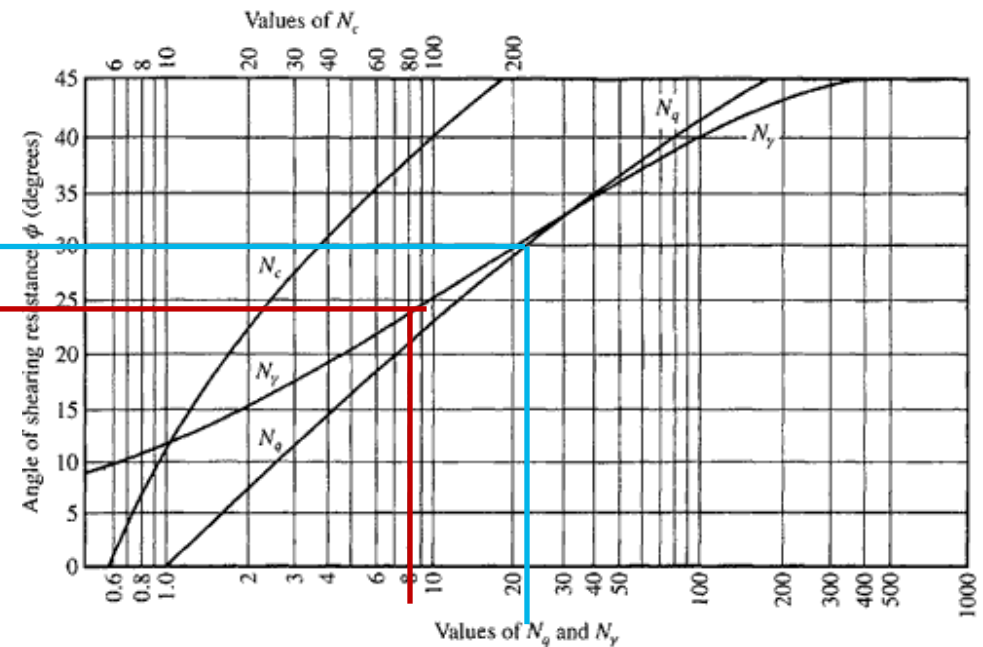
▪ Räkna som friktionsjord med $\varphi=30$

▪ Kontrollera för $c_u=40$ kPa

$$\tan \varphi_d = \frac{\tan \varphi_k}{\gamma_m} \quad \gamma_m = 1,3$$

kar. värde

dim. värde



GRUNDTRYCK PÅ BERG

- + Tillåtet grundtryck styrs till **liten del** av **bergets hållfasthet** (enaxlig tryckhållfasthet, q_u)
- + Men **huvudsakligen** av **sprickriktning, mängden sprickor** och om sprickorna är fyllda med t ex lera
- + Samt av ev berglutning och överlagringstryck

- + $q_u =$ ca **150-250 MPa** för **granit/gnejs (bergtyp 1)** och ca 100-150 MPa för gråvacka (bergtyp 2)
- + Teoretisk grundtryck för osprucket plant berg är **$3xq_u$**
- + Men vi tillåter **max 10 MPa** för bergtyp1 om bergsakunring inpekterar eller om borrhärnor tas. Vid enkel inspektion max 3 MPa.



GRUNDTRYCK PÅ BERG

- + sk hävdvunnen åtgärd enligt TK Geo (berglutning < 1:2):

Behålls som **hävdvunnen åtgärd** i nya Eurokod

Tabell 2.6-1. Dimensionerande grundtryck, q_b , för plattor på berg.

Bergtyp	Enkel undersökning ¹	Avancerad undersökning ²
1	3 MPa	10 MPa
2	1 MPa	4 MPa
3	0,5 MPa	2 MPa

1) Omfattar fastställande av bergart och kontroll av bergyta genom besiktning eller bergsondering.
2) Innebär att bergets kvalitet verifieras av bergmekaniskt sakkunnig person genom inspektion av grundläggningsytan samt vid behov bedömning av representativa borrhärdar och resultat av vattenförlustmätning.

För fast lagrad bottenmorän ska dimensionerande grundtryck, q_b , sättas till högst 0,6 MPa.

- + Eller så bestäms bergets RMR- eller Q-värde, förslag I BeFo rapport 224:

Dimensionering genom **beräkning** i nya Eurokod (totalsäkerhet 1,4)

Tabell I Karaktäristiskt tillåtet grundtrycket för bergklass A till D

Bergklass	RMR	GSI (RMR-10)	Bergkvalitet	Tillåtet karaktäristiskt grundtryck [MPa]	Deformationsmodul [GPa]
A	>80 ≤ 100	80	Mycket bra berg	62	35
B	>60 ≤ 80	60	Bra berg	33	15
C	>40 ≤ 60	40	Rimligt berg	18	4
D	>20 ≤ 40	20	Dåligt berg	8	2

RMR-VÄRDE FÖR BERG?

RMR bestäms av bergtekniker/bergsgeolog baserat på:

- Berget enaxliga tryckhållfasthet
- RQD-värde (spricktäthet)
- Sprickavstånd
- Sprickkondition (sprickvidd, sprickfyllning, råhet)
- Grundvattenförhållanden
- Sprickorientering

Table 1: RMR classification of rock masses (Bieniawski, 1989).

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

PARAMETER		Range of values // ratings							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range uniaxial compr. strength is preferred		
		Uniaxial compressive strength	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	RATING	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core quality RQD	90 - 100%	75 - 90%	50 - 75%	25 - 50%	< 25%			
	RATING	20	17	13	8	5			
3	Spacing of discontinuities	> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	RATING	20	15	10	8	5			
4	Condition of discontinuities	Length, persistence	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Rating	6	4	2	1	0		
		Separation	none	< 0.1 mm	0.1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Rating	6	5	4	1	0		
		Roughness	very rough	rough	slightly rough	smooth	slickensided		
		Rating	6	5	3	1	0		
		Infilling (gouge)	none	Hard filling		Soft filling			
Rating	6	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm	0			
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length	none	< 10 litres/min	10 - 25 litres/min	25 - 125 litres/min	> 125 litres /min		
		p_w / σ_1	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	completely dry	damp	wet	dripping	flowing		
RATING	15	10	7	4	0				

p_w = joint water pressure; σ_1 = major principal stress

B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS

		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
RATINGS	Tunnels	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60

SÄKERHETSFAKTOR I DAG OCH I NYA EUROKODEN

+ Idag:

$$\tan \phi_d = \frac{\tan \phi_k}{\gamma_m} \quad \gamma_m = 1,3$$

$$X_d = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \eta \cdot \bar{X} \quad (3.1.a)$$

η -faktorn normalt 0,95-1,0 men kan vara upp till 1,1 under mycket gynnsamma förutsättningar

Hänsyn tagen till osäkerheter förknippade med jordens egenskaper samt aktuell geokonstruktionen. Enligt SS-EN 1997-1 definierad som egenskapens

Geokonstruktionens γ_M

där:

γ_M

Fast partialkoefficient, som erhålls från den nationella bilagan

η

Omräkningsfaktor som tar hänsyn till osäkerheter relaterade till jordens egenskaper och aktuell geokonstruktion.

\bar{X}

Värderat medelvärde baserat på härledda värden för den aktuella materialparametern

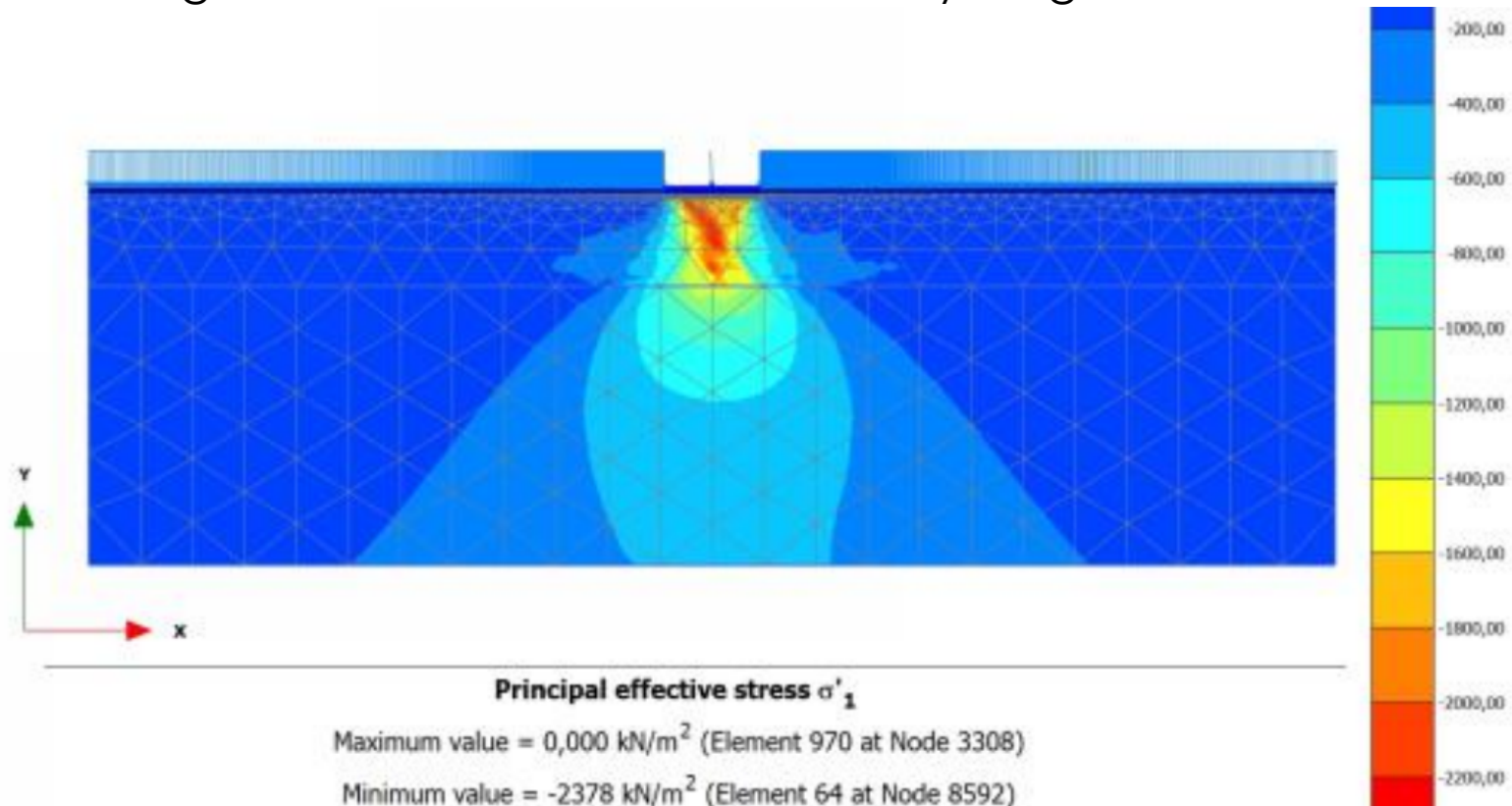
+ Nya Eurokod: $R_d = \frac{R_{rep}}{\gamma_R}$

R_{rep} = representativt värde (5% fraktil)

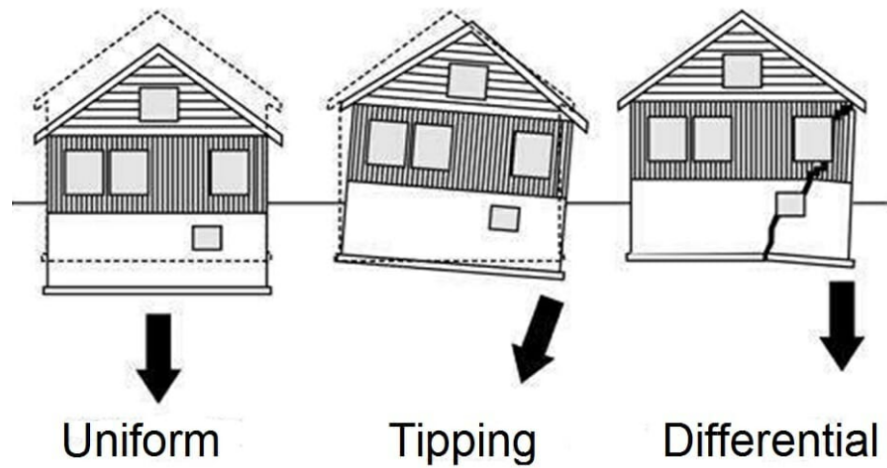
$\gamma_R = 1,4$ Gäller för berg och jord (prel)

GRUNDLÄGGNING FYLLNING PÅ BERG

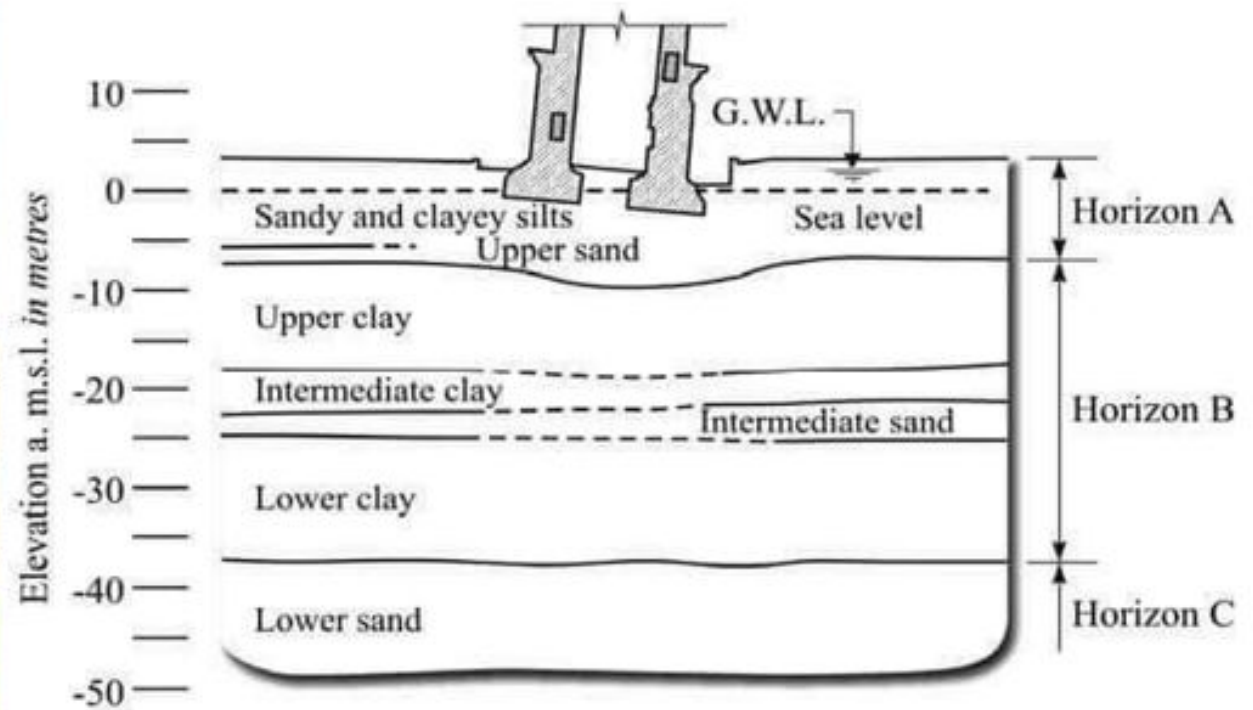
- + $B > ca\ 0,25 \cdot D$ dvs bredden mycket större än jorddjupet
- + Max ca 1 m packad fyllning
- + Begränsning bergets grundtryck enl hävdvunnen åtgärd
- + Dimensionerande grundtryck 1,5 MPa (begränsa krypsättningar)
- + Sättning ca 15 mm momentant för 1 m fyllning



SÄTTNINGAR



DIFFERENSSÄTTNING OCH TOTALSÄTTNING



SÄTTNINGSKRAV FÖR BYGGNADER STYRS AV

- + Komfort
- + Utseende
- + Brukbarhet
- + Beständighet, SLS (sprickor, krypning)
- + Hållfasthet, ULS
- + Installationer
- + Underhåll

När sker sättningarna?

- Momenta, korttid – under byggtiden
- Långtidsättningar – konsolidering, krypning

Vem bestämmer kraven?

- 1:500 normal
- 1:1000 strängt
- Totalsättning 5,10, 20 cm?

Tabell 3:3 Största acceptabla vinkeländring ($\tan \beta = \Delta s_{acc}/l$) för några olika konstruktioner i bruksgränstillstånd. Litteraturuppgifter.

Vinkeländring	Typ av skada och konstruktion
1/2000	gränsvärde för skada på exvis pappersmaskiner
1/600	risk föreligger för brott i ramar och diagonaler
1/500	gränsvärde för säkerställande av upplag vid elementbyggande säker gräns för undvikande av sprickor
1/300	gränsvärde för sprickor i utfackningsväggar
1/500	knappt synbar snedsättning hos höga byggnader
1/200	gränsvärde för statiskt bestämda konstruktioner

Sättning för bruks- eller brottgräns?

SÄTTNINGAR I SLS (BRUKSGR.) RESPEKTIVE ULS (BROTTGR.)

+ SLS:

- + Oftast generella krav för totalsättning/differenssättning för aktuell byggnadstyp (t ex putsad fasad)
- + Vanligtvis en uppskattning/prognos av sättningen, oftast anges ett medelvärde
- + Ingen säkerhetsfaktor

+ ULS:

- + Dimensionerande sättningskrav (från konstruktör)
- + I nya Eurokod: **excessive deformation**, dvs en sättning som leder till brott (obrukbarhet) i konstruktionen

STORLEK PÅ SÄTTNINGAR

- + Beräkna sättningar?
 - CPT-sondering ger bästa input (naturlig jord)
 - Uppskattad E-modul (fyllning) enligt TK Geo
- + Övre gränsvärde på sättningar, enligt Burland:

Material/Jordart	Elasticitetsmodul, MPa	
	Löst lagrad ²	Fast lagrad ^{1,2}
Förstärkningslagermaterial	-	50
Makadamballast	-	50
Underballast	-	50
Krossad sprängsten	-	50
Sorterad sprängsten	-	50
Sprängsten	-	50
Grovkornig mineraljord	10	30
Grus	10	40
Grusig morän	10	40
Sand	5	20
Sandig morän	5	20
Silt	2	10
Siltig morän	2	10

¹Fyllningsmaterial som packats enligt AMA 13 kan förutsättas vara fast lagrad.
²Lagringstäthet kan beskrivas med resultat från fältundersökningar enligt Figur 5.2-9 i TR Geo 13.

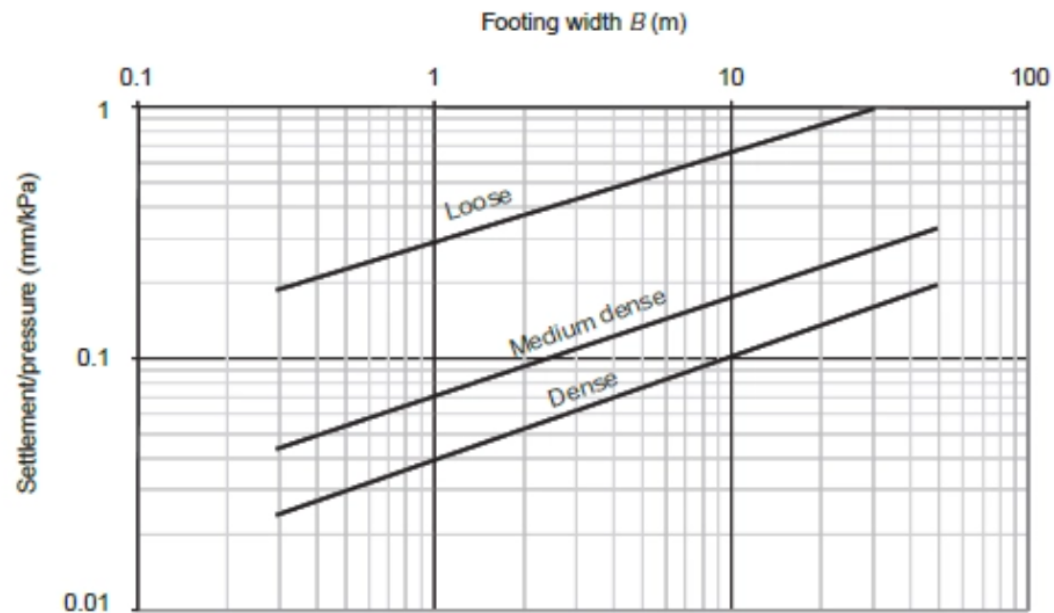


Figure 12.13 Upper limits of settlement per unit pressure (after Burland et al. 1977)

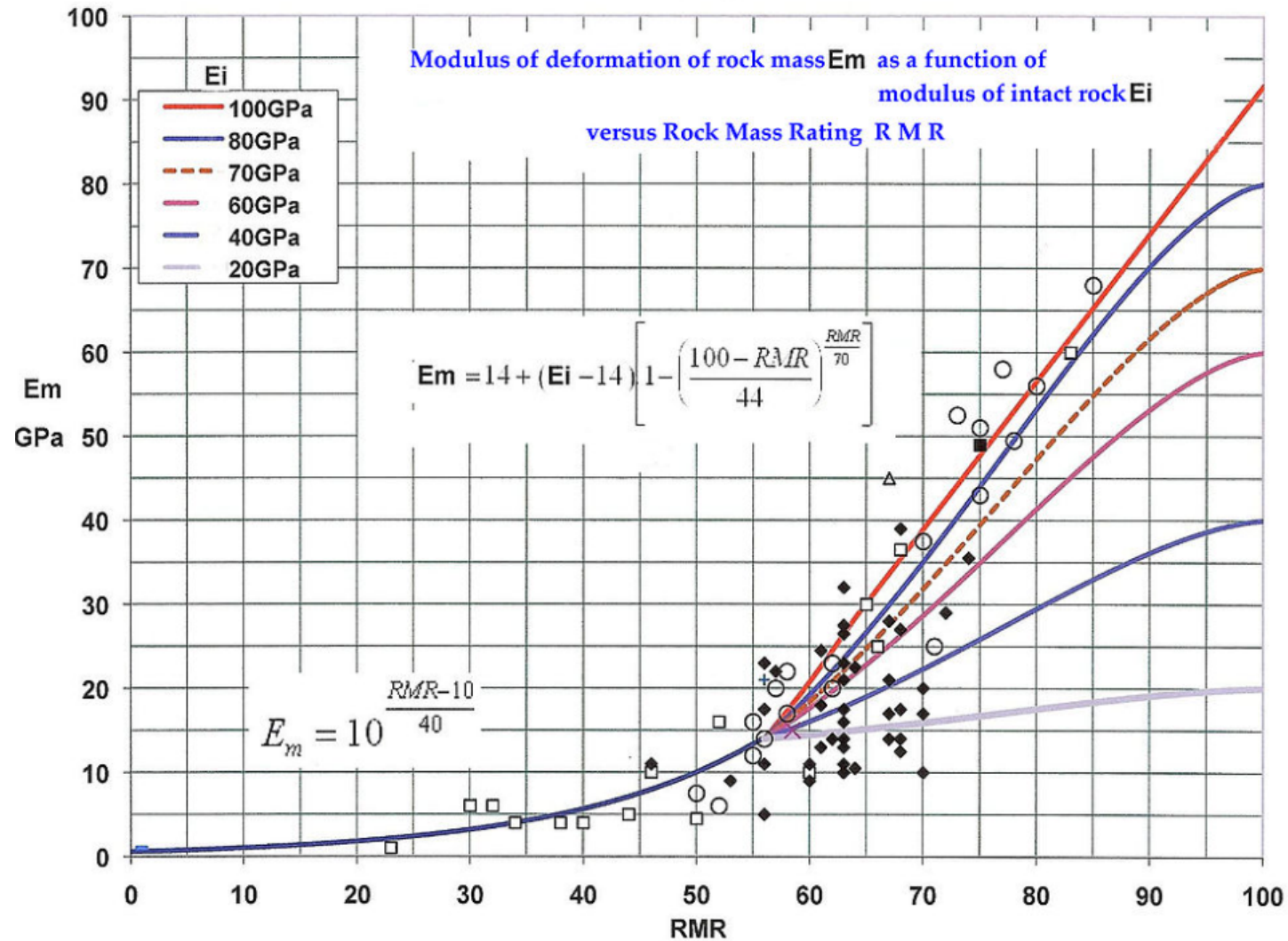
Exempel:

- B=2 m
- Medelfast sand (> ca 8 m)
- **0,1 mm/kPa**
- Dvs 20 mm sättning för 200 kPa i grundtryck OK ?
- 4 ggr så mkt i en lös sand
- ½ ggr så mkt i en fast sand

KRYPSÄTTNINGAR

- + Ett långsamt sättningsförlopp som sker vid konstant tryck
- + Beror huvudsakligen på en gradvis omorientering av jordpartiklarna, krossning korn och glidning mellan korn.
- + I en friktionsjord brukar detta försummas om långtidslasten $< 2/3$ av den dimensionerande bärförmågan (tumregel)
- + Grovt antagande:
 - + Lera: Krypsättning 50% av konsolideringssättning efter 100 år
 - + Sand; Krypsättning 20% av elastiskt sättning efter 100 år

E-MODUL FÖR BERGMASSAN





RELATIV STYVHET

RELATIV STYVHET ENLIGT EURKOD 7 (2:A GEN.)

$$K_s = 5.57 \left(\frac{E_f}{E_g} \right) \frac{(1 - \nu_g^2)}{(1 - \nu_f^2)} \left(\frac{B}{L} \right)^{0.5} \left(\frac{D_f}{L} \right)^3 \quad (\text{B.13})$$

where:

E_f is the Young's modulus of the foundation material;

E_g is the representative Young's modulus for the ground beneath the foundation (i.e. the value of Young's modulus at a depth equal to the radius of a circular footing or half the foundation width);

ν_g is Poisson's ratio of the ground;

ν_f is Poisson's ratio of the foundation material;

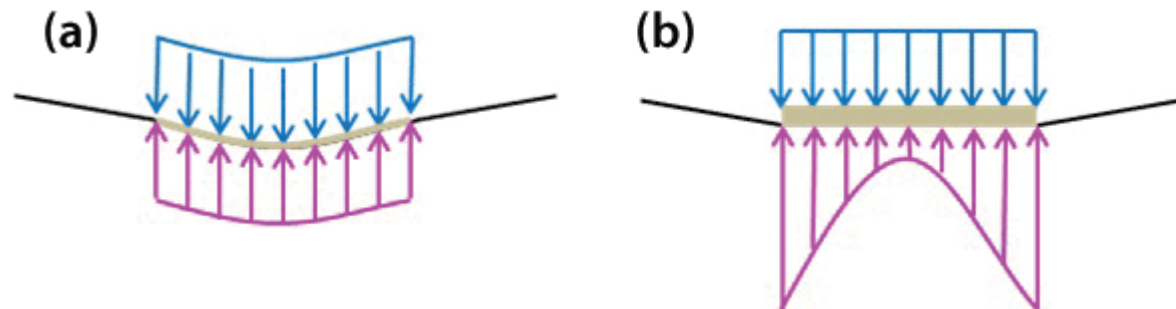
B is the foundation width;

L is the foundation length; and

D_f is the foundation depth (thickness).

(a): $K_s > 10$ styvt

(b): $K_s < 0,05$ flexibelt



STYVT ELLER FLEXIBELT, EXEMPEL

Exempel:

- $L = B = 10 \text{ m}$
- $D_f = 0,15 \text{ m}$ resp $1,0 \text{ m}$
- $E_f = 32 \text{ Gpa}$
- $E_g = 20 \text{ MPa}$ sandig morän (E_{ekv} för pålad platta)
- $\nu_f = 0,15$
- $\nu_g = 0,33$ elastisk friktionsjord


Resultat:

- $K_{s,15} = 0,03 < 0,05$ flexibel $K_{s,100} = 8 \approx 10$ | det närmaste styv

Tumregler:

$D_f \approx 0,1L$ styv

$D_f \approx 0,02L$ flexibel



PACKNING OCH KONTROLL

PACKNING OCH FYLLNING

- + Packningsarbete av fyllning utförs nästan uteslutande enligt anvisningar i AMA Anläggning
- + AMA är ingen norm! Och om AMA inte används?
- + Packning av naturlig löst lagrad friktionsjord?
- + Ytpackning med tung vält är bara effektiv till ca 1-2 m.
- + Packning av vattenmättad jord problematisk om mycket finmaterial
- + Packning av fyllning under vatten kräver sorterad fyllning
- + Packning av naturlig jord med fallviktspackning eller med vibro-sond



SCHAKTBOTTENBESIKTNING

Utförs av sakkunnig geotekniker eller bergtekniker(geolog)

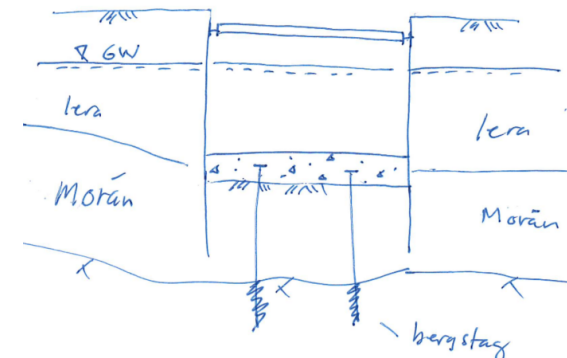
- + När: För **geotekniker** när det föreskrivs, se t ex PM Geo, alltid för plattgrundläggning?
- + När: För **bergtekniker** när grundtrycket >3 Mpa bergtyp 1 och > 1 MPa bergtyp 2
- + Vad: **geotekniker** kontrollerar endast att förutsättningar vid SB överensstämmer med projekteringsförutsättningar.
- + Vad: **bergtekniker** kontrollerar bergart, sprickor (riktning o antal) och bergytans lutning för bedömning av grundtryck
- + Åtgärder: **geotekniker**: t ex ytterligare urgrävning, packning av SB, geoduk, tjäle, grundvatteninströmning
- + Åtgärder: **bergtekniker**: t ex förstärkning, plansprängning

GRUNDLÄGGNING UNDER GRUNDVATTENYTAN

- + Grundvatten ska aldrig sänkas genom LÄNSHÅLLNING inom öppen schaktgrop:
 - Inåtströmmande vatten luckrar upp SB, sk piping
 - Slänter rasar in
 - Sänk utanför gropen eller i gropen, till minst 0,5-1 m under SB
 - **Stora problem** att sänka i fin- och mellansilt, t o m med vakum (well-point)

Eller varför inte grundlägga innanför spont under vatten:

- Schakta under vatten (tillsätt vatten och upprätthåll grundvattennivån
- gjut en tätkaka (gravitationsbetong eller stag)
- Länsa och gjut i torrhet



GRUNDLÄGGNING I SILT UNDER GVVY



FRIBÄRANDE GOLVPLATTA?

- + Stomme på grundläggs men golvet plattgrundläggs
 - Billig grundläggning, men underhåll?
 - Rekommenderas ej för industriella/kommersiella lokaler (stillestånd mycket kostsamt)
- + Uppfyllnad för FG-nivå? Förekomst av lera (= sättningar)
 - Kolla naturliga marknivåer!



TACK FÖR MIG!

