Överslagsberäkningar

Göran Sällfors, Chalmers & GeoForce AB
Per-Evert Bengtsson, SGI & PEB Geoteknik AB

Överslagsberäkningar

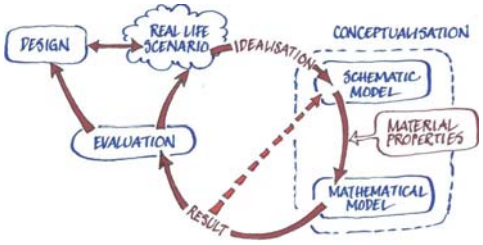
1. *För att lära känna en problemställning*

Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson

Överslagsberäkningar

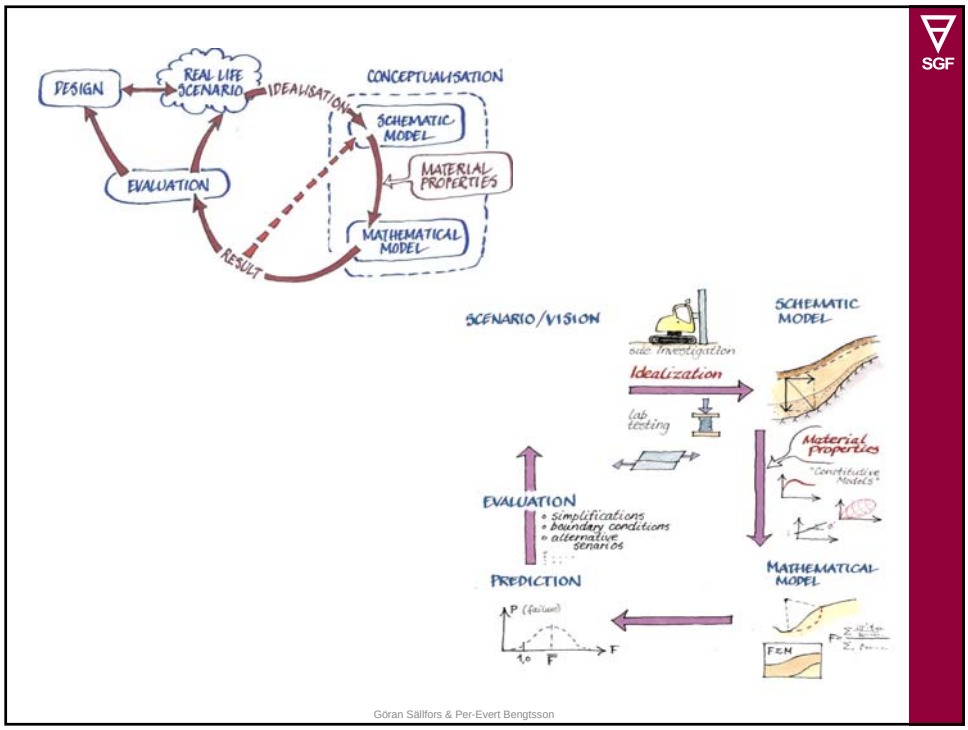
1. *För att lära känna en problemställning*
2. *För att kontrollera rimligheten i erhållna beräkningsresultat*

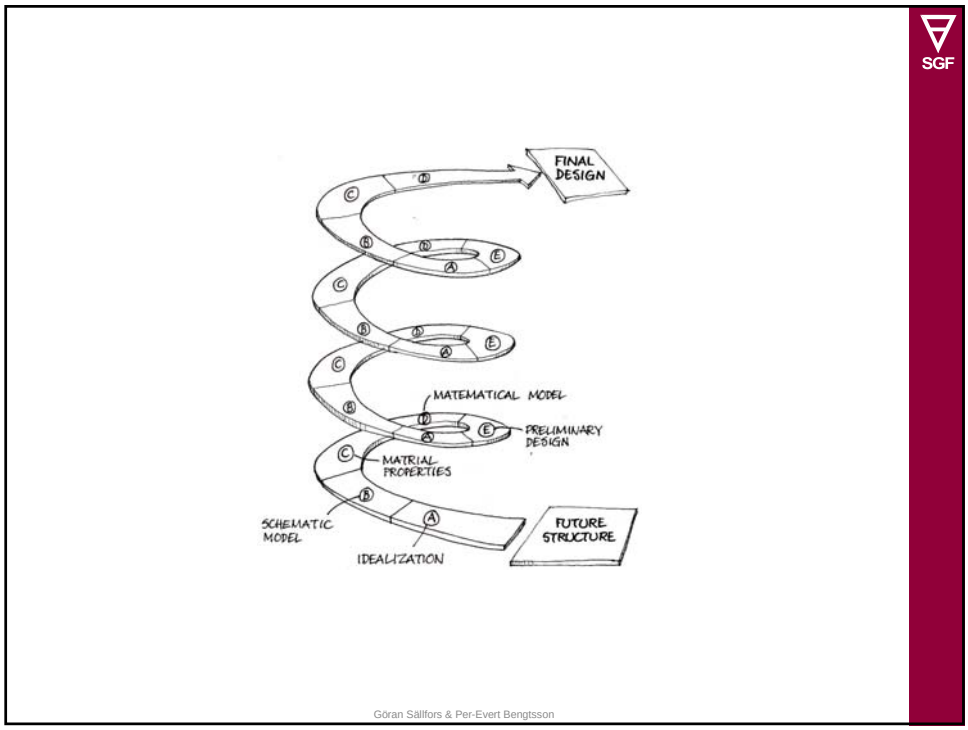
Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson



Olika delar i en Design-Process

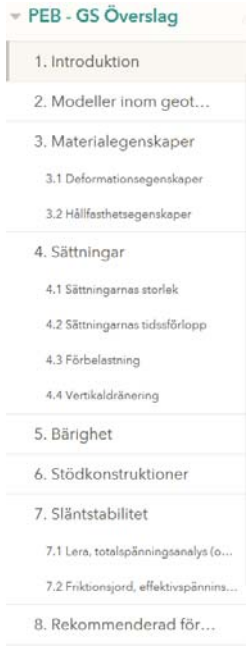
Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson


DESIGN
REAL LIFE SCENARIO
IDEALISATION
CONCEPTUALISATION
SCHEMATIC MODEL
MATERIAL PROPERTIES
MATHEMATICAL MODEL
EVALUATION
RESULT
SCENARIO/VISION
site investigation
Idealization
lab testing
SCHEMATIC MODEL
Material properties
"Constitutive Models"
EVALUATION
• simplifications
• boundary conditions
• alternative scenarios
MATHEMATICAL MODEL
PREDICTION
P (failure)
F
1.0
F.E.M.
Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson


FINAL DESIGN
MATEMATICAL MODEL
PRELIMINARY DESIGN
MATRIAL PROPERTIES
SCHEMATIC MODEL
IDEALIZATION
FUTURE STRUCTURE
Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson

Dokumentation

PEB - GS
Överslagsberäkningar
Versal – länk



Dokumentation

PEB - GS
Överslagsberäkningar
Versal – länk

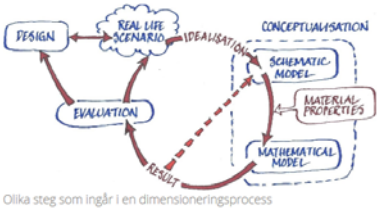
versal

PEB - GS Överslag

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
   3.1 Deformationsegenskaper
   3.2 Hållfasthetsegenskaper
4. Sättningar
   4.1 Sättningarnas storlek
   4.2 Sättningarnas tidsförlopp
   4.3 Förbelastning
   4.4 Vertikaldränering
5. Bärighet
6. Stödkonstruktioner
7. Släntstabilitet
   7.1 Lera, totalspänningsanalys (od
   7.2 Friktionsjord, effektivspänninsa

2. Modeller inom geotekniken

All form av design innebär en förenkling (***Idealization***) av verkligheten. Inom geotekniken leder bl.a. undersökningar i fält till att man kan rita en streckmodell (***Schematic model***) av det aktuella problemet. Sedan krävs att man väljer en jordmodell (***Material properties***) med tillhörande parametrar. Först därefter kan man använda någon form av matematisk modell (***Mathematical Model***), som ger en antydan om resultatet (***Result***) i frågeställningen. Då måste man komma ihåg att det resultatet gäller enbart för den förenklade modellen och med de antaganden man gjort när det gäller jordens hållfasthets och eller deformationsegenskaper, inte nödvändigtis för verkligheten. Värderingen (***Evaluation)***av resultatet är således oerhört viktig.



Olika steg som ingår i en dimensioneringsprocess

En analys av ett problem eller en dimensionering görs som regel med successivt ökande detaljeringsgrad och komplexitet. I figuren nedan illustreras detta som att man går flera varv i den ovan diskuterade dimensionerings-processen.

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 9

versal

PEB - GS Överslag

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
   3.1 Deformationsegenskaper
   3.2 Hållfasthetsegenskaper
4. Sättningar
   4.1 Sättningarnas storlek
   4.2 Sättningarnas tidsförlopp
   4.3 Förbelastning
   4.4 Vertikaldränering
5. Bärighet
6. Stödkonstruktioner
7. Släntstabilitet
   7.1 Lera, totalspänningsanalys (od
   7.2 Friktionsjord, effektivspänninsa

3. Materialegenskaper

De senaste decennierna har en rad komplicerade materialmodeller tagits fram och därmed kan jordars deformations- och hållfasthetsegenskaper studeras som ett kopplat problem. När det gäller enklare överslagsmetoder behandlas bruksstadiet och brottstadiet var för sig. När det gäller deformationer förlitar man sig i stor utsträckning på elasicitetsteorin, medan man för brott oftast antar att jorden är idealelastoplastisk.

Sveriges geologi är, i alla fall i ett internationellt perspektiv, förhållandevis enkel och förutsägbar. Redan med en viss erfarenhet kan man göra relativt rimliga antaganden/gissningar när det gäller olika jordmaterials egenskaper, som kan var rimligt att använda vid en första överslagsberäkning.
Nedan redovisas rimliga jordparametrar, baserade på erfarenhet, sonderingar eller enklare provning.

3.1 Deformationsegenskaper

3.1.1 Friktionsjord

Tolkning av lagringstäthet, baserat på sonderingsresultat.

Relativ fasthet	Tr6, q$_c$ MPa	q$_c$-värdena till vänster motsvaras av nedanstående värden för Vim resp. HfA: Vim Hv/0,2m	HfA$_{sand}$ Sl/0,2m	φ[1]
Mycket löst	<2,5	<10	<5	29-32
Löst	2,5-5	10-30	5-10	32-35
Medelfast	5-10	20-60	7-15	35-38
Fast	10-20	40-100	10-40	38-42
Mycket fast	>20	>80	>30	>42
Fast	10-20	40-100	10-40	38-42
Mycket fast	>20	>80	>30	>42

[1] Angivna värden gäller för sand. För silt görs avdrag med 2° och för grus tillägg med 2° för q$_c$

I diagrammet intill får du en ledning till hur man kan bedöma lagringstätheten för en jord utifrån olika typer av sonderingar.
Observera att man även får en uppfattning om friktionsvinkeln för materialet.

Ännu lite bättre information om moduler, baserade på sonderingsresultat hittar du här!

← 2. Modeller inom... 4. Sättningar →

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 10

versal

PEB - GS Överslag

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
   - 3.1 Deformationsegenskaper
   - 3.2 Hållfasthetsegenskaper
4. Sättningar
   - 4.1 Sättningarnas storlek
   - 4.2 Sättningarnas tidsförlopp
   - 4.3 Förbelastning
   - 4.4 Vertikaldränering
5. Bärighet
6. Stödkonstruktioner
7. Släntstabilitet
   - 7.1 Lera, totalspänningsanalys (od
   - 7.2 Friktionsjord, effektivspänninsa

3. Materialegenskaper

De senaste decennierna har en rad komplicerade materialmodeller tagits fram och därmed kan jordars deformations- och hållfasthetsegenskaper studeras som ett kopplat problem. När det gäller enklare överslagsmetoder behandlas bruksstadiet och brottstadiet var för sig. När det gäller deformationer förlitar man sig i stor utsträckning på klassicitetsteorin, medan man för brott oftast antar att jorden är idealelastoplastisk.

Sveriges geologi är, i alla fall i ett internationellt perspektiv, förhållandevis enkel och förutsägbar. Redan med en viss erfarenhet kan man göra relativt rimliga antaganden/gissningar när det gäller olika jordmaterials egenskaper, som kan var rimligt att använda vid en första överslagsberäkning.
Nedan redovisas rimliga jordparametrar, baserade på erfarenhet, sonderingar eller enklare provning.

3.1 Deformationsegenskaper

3.1.1 Friktionsjord

Tolkning av lagringstäthet, baserat på sonderingsresultat.

Relativ fasthet	Tröskelvärde q_c MPa	q_c-värdena till vänster motsvaras av nedanstående värden för Vim resp. HfA: Vim $H=0.2m$	HfA$_{netto}$ $S@0.2m$	φ^2
Mycket lös	<2,5	<10	<5	29-32
Lös	2,5-5	10-30	5-10	32-35
Medelfast	5-10	20-60	7-15	35-38
Fast	10-20	40-100	10-40	38-42
Mycket fast	>20	>80	>30	>42
Fast	10-20	40-100	10-40	38-42
Mycket fast	>20	>80	>30	>42

1) Angivna värden gäller för sand. För sät görs avdrag med 2° och för grus tillägg med 2° för φ'

I diagrammet intill får du en ledning till hur man kan bedöma lagringstätheten för en jord utifrån olika typer av sonderingar.
Observera att man även får en uppfattning om friktionsvinkeln för materialet.

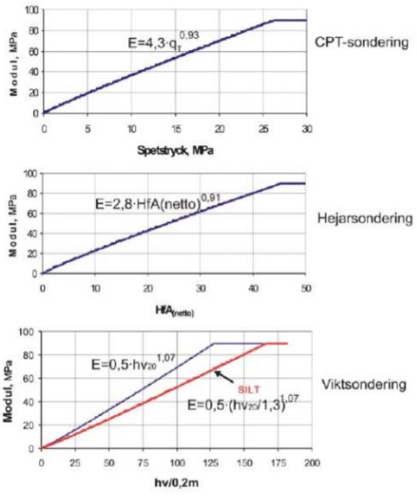
Ännu lite bättre information om moduler, baserade på sonderingsresultat hittar d här

← 2. Modeller inom... 4. Sättningar →

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 11

SGF

Publikation 2011:047 TK Geo 11



Figur 5.2-8. Sättningsmodul ur sonderingsresultat för sand.

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 12

PEB - GS Överslag

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
   3.1 Deformationsegenskaper

SGF

3.1.2 Lera

När det gäller kohesionsjord är det mycket svårare att bedömma vilken modul som kan vara aktuell, då den är kraftigt beroende av bl.a. kornfördelning, konsolideringsförhållanden, belasstningsriktining mm.

Odränerade förhållanden

Ett ungefärligt värde på E-modulen kan erhållas om den odränerade skjuvhållfastheten är känd, se tabell nedan

siltig lera	1 000 ·c_u
lågplastisk lera	500 ·c_u
högplastisk lera	250 ·c_u
gyttjig lera	250 ·c_u
gyttja	150 ·c_u

$$E = c_u \cdot 215 \cdot (\ln F) / I_P$$

där c_u = odränerad skjuvhållfasthet
F = beräknad säkerhetsfaktor för odränerat brott
I_P = plasticitetsindex

Ett annat sätt att bedöma elasticitetsmodulen är att använda formeln här intill

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 13

PEB - GS Överslag

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
   3.1 Deformationsegenskaper

SGF

Dränerade förhållanden

För spänningssförändringar under förkonsolideringstrycket är modulen ganska hög, och kan vara i intervallet 5 till 25 MPa. För spänningökningar över förkonsolideringstrycket är modulen ganska låg men beror av bl.a. lerhalt, konsolideringsgrad och effektivspänningsnivå. Det är inte ovanligt att den ligger i intervallet 300 till 1 000 kPa.

Förkonsolideringstrycket för en gammal lera, där spänningsförhållandena inte förändrats väsentligen under lång tid (>300 år) kan förkonsolideringstrycket skattas enligt följande:

Saltvattenavsatt lera: $\sigma'_c = 1{,}3 \cdot \sigma'_0$

Söt/brackvattenavsatt lera: $\sigma'_c = 1{,}15 \cdot \sigma'_0$

Ödometermodulen $M = E \cdot (1-\nu) / (1+\nu)\cdot(1-2\nu)$

Skjuvmodul $G = 500 \cdot c_u / w_L$

Avlastningsmodul $M_{ul} = 10 \cdot \sigma'_c \cdot e^{5\cdot\sigma'_0/\sigma'_c}$

Alternativt kan man för avlastningsmodulen anta följande värden

$M_s = a\cdot\sigma'$

där
- a = 100 för lera och organisk jord
- a = 200 för silt
- a = 1000 för sand och grövre jord samt torrskorpelera ovan grundvattenytan

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 14

PEB - GS Överslag

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
   - 3.1 Deformationsegenskaper
   - 3.2 Hållfasthetsegenskaper

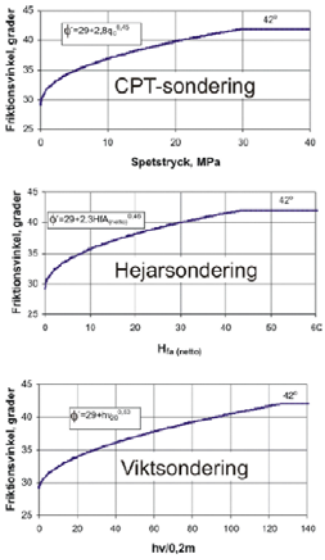
3.2.1 Friktionsjord

Lagrings-täthet	Jordart						
	Silt	Sand	Grus	Sand-morän	Grus-morän	Maka-dam	Spräng-sten
Löst lagrad	26°	28°	30°	42°	38°	30°	40°
Fast lagrad	33°	35°	37°	45°	45°	38°	45°

I detta diagram återfinns ungefärliga värden på friktionsvinkeln för olika friktionsmaterial som funktion av lagrings-täthet. Lagringstätheten kan i sig uppskattas från sonderingsresultat, som framgår av tabellen under avsnitt 3.1.1 ovan

Lite mer detaljerad information om friktionsvinkel utvärderad från sonderingsresultat hittar du ***här***!

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 15



Lagringstäthet:

Lagrings-täthet	CPT MPa	Hejare $H_{fa\ (netto)}$	Vikt Hv/0,2m
Mycket lös	0-2,5	0-4	0-10
Lös	2,5-5	4-8	10-25
Medelfast	5-10	8-12	25-45
Fast	10-20	12-25	45-80
Mycket fast	>20	>25	

Anmärkning:
För grus görs ett tillägg med 2° och för silt görs ett avdrag med 3°.
Vid utfylld eller packad jord divideras sonderingsmotstånden med 1,2 före utvärdering av friktionsvinkeln.
I siltig jord divideras viktsonderings-motståndet med 1,3 före utvärdering av friktionsvinkeln.

Figur 5.2-9. Utvärdering av friktionsvinkel och lagringstäthet ur sonderingsresultat.

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 16

PEB - GS Överslag

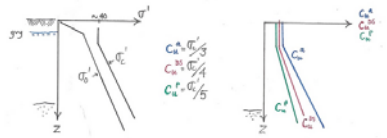
1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
   - 3.1 Deformationsegenskaper
   - 3.2 Hållfasthetsegenskaper

3.2.2 Lera

Odränerad hållfasthet

Det finns en stark koppling mellan en leras skjuvhållfasthet (cu) och dess förkonsolideringstryck (σ'c).

En första ansats kan vara:



En ung lera kan antas vara normalkonsoliderad (OCR=1), medan man för en gammal lera kan anta

OCR=1,15 i östra Sverige

OCR=1,3 i västra Sverige

Odränerad hållfasthet baserad på empiri

Den odränerade skjuvhållfastheten är påtagligt beroende av konflytgränsen wL. De i figuren angivna värdena kan anses representativa för en lera med en konflytgräns på 70 à 80 %. Är konflytgränsen påtagligt lägre, säg 40 à 50 %, kan det vara rimligt att dela med 3, 4,5 och 6, istället för 3, 4 och 5 i formlera i figuren.

Om du vill läsa mer om detta, kan du ladda ner SGF Rapport 2017:1 "Metodik för bestämning av skjuvhållfassthet i lera - en Vägledning" från SGFs hemsida. Den är gratis.

Dränerad hållfasthet

Vanligen antas friktionsvinkeln till 30 grader och c' sätts till 0,1 gånger den odränerade skjuvhållfastheten.

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 17

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
   - 3.1 Deformationsegenskaper
   - 3.2 Hållfasthetsegenskaper
4. Sättningar
   - 4.1 Sättningarnas storlek

4. Sättningar

4.1 Sättningarnas storlek

Den enklaste sättningsberäkningsmodellen bygger på formeln från hållfasthetsläran

sättning = PL/EA

För en last med stor utbredning blir sättningen

$\delta = \Delta\sigma \cdot h / M$

där h är lagertjockleken och Modulen skattas från 3.1.1 eller 3.2 ovan.

Om lasten har begränsad utbredning kan 2:1-metoden användas för att beakta lastspridningen mot djupet.

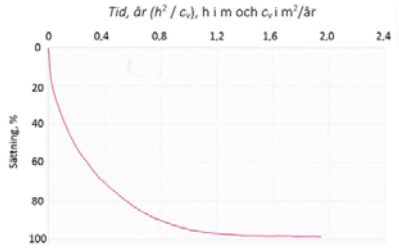
SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 18

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
3.1 Deformationsegenskaper
3.2 Hållfasthetsegenskaper
4. Sättningar
4.1 Sättningarnas storlek
4.2 Sättningarnas tidsförlopp

SGF

4.2 Sättningarnas tidsförlopp

För en jord med låg permeabilitet kommer sättningarna att utbildas under lång tid.
En bra skattning av sättningarnas tidsförlopp kan erhållas med hjälp av nedanstående diagram.



För att få rätt tidsskala skall c_v först bestämmas som

$$c_v = k \cdot M / 10$$ **och dimensionen skall vara i m^2/år**

Därefter väljs *h* till halva lermäktigheten vid dubbelsidig dränering och hela vid enkelsidig.

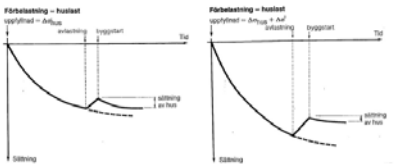
Ett större diagram kan laddas ner *här*.

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
3.1 Deformationsegenskaper
3.2 Hållfasthetsegenskaper
4. Sättningar
4.1 Sättningarnas storlek
4.2 Sättningarnas tidsförlopp
4.3 Förbelastning

SGF

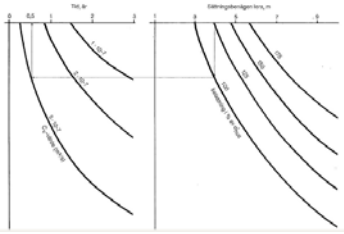
4.3 Förbelastning

Ett sätt att minimera ett byggnadsverks sättningar är att förbelasta jorden. Det kan åstadkommas genom att lägga upp fyllnadsmassor på den framtida byggnadsytan, som gärna får vara lite större än brukslassten.



På så sätt blir sättningarna för byggnaden eller vägen påtagligt lägre, eftersom stora delar av sättningarna tagits ut i förväg.

Här nedanför hittar du ett enkelt dimensioneringsdiagram, där du snabbt kan se hur stor överlast som krävs beroende på vilka egenskaper jordprofilen har och hur 'lång tid du har på dig'. Om jorden består av material med förhållandevis hög permeabilitet, utbildas söttningarna inom någon månad.



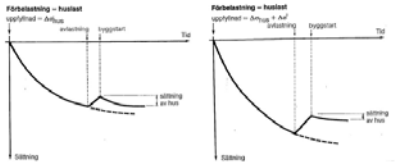
I detta exemplet bestod jorden av ett lerlager som var 4 m tjockt, jordens konsolideringkoefficient, cv var 5*10exp(-7) och man hade massor precis motsvarande framtida brukslast.
Av diagrammet framgår att lasten behöver verka i 6 månader.

Du kan läsa mer om förbelastning och se några praktiska exempel i ett Metodblad, som du kan ladda ner *här*!

1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
3.1 Deformationsegenskaper
3.2 Hållfasthetsegenskaper
4. Sättningar
4.1 Sättningarnas storlek
4.2 Sättningarnas tidsförlopp
4.3 Förbelastning

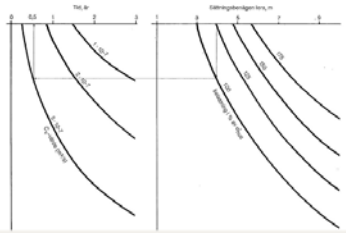
4.3 Förbelastning

Ett sätt att minimera ett byggnadsverks sättningar är att förbelasta jorden. Det kan åstadkommas genom att lägga upp fyllnadsmassor på den framtida byggnadsytan, som gärna får vara lite större än brukslassten.



På så sätt blir sättningarna för byggnaden eller vägen påtagligt lägre, eftersom stora delar av sättningarna tagits ut i förväg.

Här nedanför hittar du ett enkelt dimensioneringsdiagram, där du snabbt kan se hur stor överlast som krävs beroende på vilka egenskaper jordprofilen har och hur 'lång tid du har på dig'. Om jorden består av material med förhållandevis hög permeabilitet, utbildas söttningarna inom någon månad.



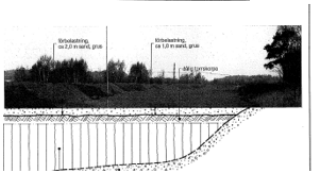
I detta exemplet bestod jorden av ett lerlager som var 4 m tjockt, jordens konsolideringkoefficient, cv var 5*10exp(-7) och man hade massor precis motsvarande framtida brukslast.
Av diagrammet framgår att lasten behöver verka i 6 månader.

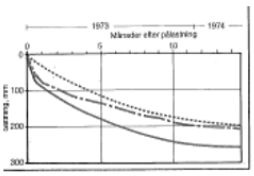
Du kan läsa mer om förbelastning och se några praktiska exempel i ett Metodblad, som du kan ladda ner här



När kan förbelastning användas?

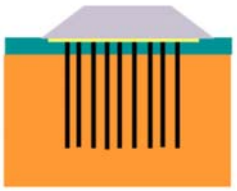
Exempel på utförda förbelastningar





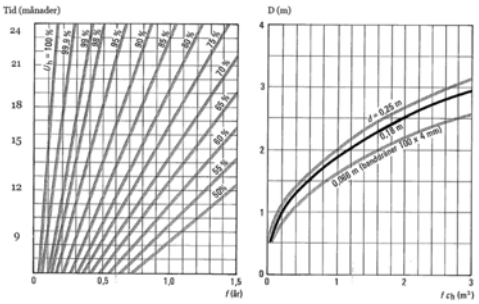
1. Introduktion
2. Modeller inom geote...
3. Materialegenskaper
3.1 Deformationsegenskaper
3.2 Hållfasthetsegenskaper
4. Sättningar
4.1 Sättningarnas storlek
4.2 Sättningarnas tidsförlopp
4.3 Förbelastning
4.4 Vertikaldränering

4.4 Vertikaldränering



Ett sätt att påskynda sättningarna är att använda vertikaldränering. Moderna maskiner är mycket effektiva och kan sätta prefabricerade dräner till stort djup

En bra uppfattning om erforderlig tid och vilket dränavstånd man behöver använda för ett speecifikt fall, kan man snabbt skatta med hjälp av nedanstående diagram



Diagrammen är baserade på antagandet att störda zonens diameter är 2 ggr drändiametern och att permeabiliteten i den störda zonen är 0,5 ggr den i den ostörda jorden.

Du kan läsa mer om vertikaldränering och se några praktiska exempel i ett Metodblad, som du kan ladda ner här!

SGF Översslagsberäknignar – Göran Sällfors & Per-Evert Bengtsson 23