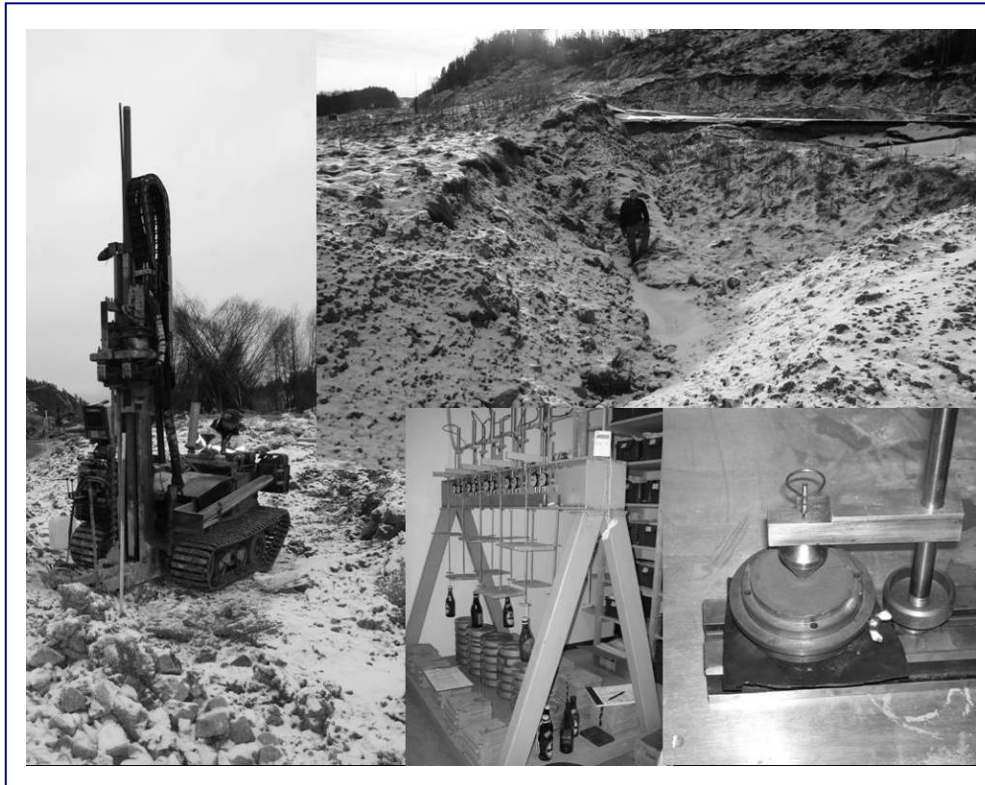




Skjuvhållfasthetstillväxt hos skredade lermassor

En studie kring skjuvhållfasthetstillväxt samt metodik för rapiditetsbestämning

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet väg- och vattenbyggnad

JESPER KARLSSON
JOHAN THYLÉN

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargruppen geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007:109

Skjuvhållfasthetstillväxt hos skredade lermassor

En studie kring skjuvhållfasthetstillväxt samt metodik för rapiditetsbestämning

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet väg- och vattenbyggnad

JESPER KARLSSON

JOHAN THYLÉN

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargruppen geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2007

Skjuvhållfasthetstillväxt hos skredade lermassor
En studie kring skjuvhållfasthetstillväxt samt metodik för rapiditetsbestämning

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet väg- och vattenbyggnad

JESPER KARLSSON
JOHAN THYLÉN

© JESPER KARLSSON, JOHAN THYLÉN, 2007

Examensarbete 2007:109
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Forskargruppen geoteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Skredområdet i Småröd, Munkedal samt laboratorieutrustning. *Thylén (2007)*

Chalmers Reproservice
Göteborg 2007

Growth of shear strength in landslided clays
A study in the growth of shear strength and methodology in classification of rapidity
Master's Thesis Civil and Environmental Engineering
JESPER KARLSSON, JOHAN THYLÉN
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of GeoEngineering
Geotechnical Engineering Research Group
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

This thesis has been carried out in cooperation with Bohusgeo AB. This study investigates the reconsolidation of clays following a landslide and the resulting increase in shear strength, it also includes an evaluation of new methods for the classification of the rapidity of clay.

The initiative for the study was taken by Per-Gunnar Larsson, Bohusgeo AB, in connection with the restoration progress after the landslide in Småröd, Munkedal. Prior to this study there have been no theories about the increase of shear strength during reconsolidation after landslides, which have been a major difficulty in the restoration progress.

During this study there have been 198 reconsolidation experiments made, mainly on clay from Småröd. The study indicates that the growth of shear strength is considerably greater and faster than all other conclusions about consolidation imply. Of great importance is the fact that this study mainly treats silty clays, therefore it is impossible to make any conclusion about if the increase is independent of the type of clay or not.

Also the concept of rapidity is studied and five methods for objective classification have been developed and evaluated. Three of these have been rejected since the results were unsatisfactory. The two remaining methods have the potential to be used in future routine inspections.

Keyword: Growth of shear strength, Landslide, Quick clay, Rapidity, Reconsolidation, Sensitivity

Skjuvhållfasthetstillväxt hos skredade lermassor
En studie kring skjuvhållfasthetstillväxt samt metodik för rapiditetsbestämning
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad
JESPER KARLSSON / JOHAN THYLÉN
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
Forskargruppen Geoteknik
Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Detta examensarbete har utförts i samarbete med Bohusgeo AB. Studien behandlar dels rekonsolidering av skredade lermassor och den därigenom erhållna skjuvhållfasthetstillväxten, dels utvärdering av nya metoder för klassificering av en leras rapiditet.

Initiativet till studien togs av Per-Gunnar Larsson, Bohusgeo AB, i samband med återställningsarbetet efter skredet i Småröd, Munkedal. Det har tidigare inte funnits några vedertagna teorier kring hur skjuvhållfastheten ökar vid rekonsolidering efter ett skred och detta har varit en stor brist vid återställningsarbetet.

Vid denna studie har 198 rekonsolideringsförsök genomförts på lera huvudsakligen ifrån Småröd. Studien påvisar att tillväxten av skjuvhållfasthet är betydligt kraftigare i sitt initialskede än vad jämförelser med tidigare framtagna samband gällande konsolideringsförlopp antyder. Viktigt att notera är att studien i huvudsak behandlar siltiga leror, därmed kan inga slutsatser kring huruvida tillväxten är oberoende av lertyp eller ej dras.

Även rapiditetsbegreppet har behandlats och fem undersökningsmetoder för objektiv klassificering har arbetats fram och utvärderats. Tre av dessa har dömts ut på grund av otillfredsställande resultat. De två återstående metoderna, multipelt fallkonsförsök samt siktning, har potential för att kunna användas i framtida rutinundersökningar.

Nyckelord: Kwicklera, Rapiditet, Rekonsolidering, Sensitivitet, Skjuvhållfasthetstillväxt, Skred

Innehållsförteckning

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	II
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
BILAGEFÖRTECKNING	VI
FÖRORD	VIII
BETECKNINGAR	IX
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och avgränsningar	2
1.3 Metod	2
2 LITTERATURSTUDIE	3
2.1 Skjuvhållfasthet	3
2.1.1 Triaxialförsök	4
2.1.2 Direkt skjuvförsök	5
2.1.3 Fallkonförsök	5
2.1.4 Vingsondering	6
2.1.5 CPT-sondering	6
2.1.6 Enkelt tryckförsök	7
2.2 Skjuvhållfasthetstillväxt	7
2.2.1 Konsolidering	7
2.2.2 Rekonsolidering	8
2.3 Sensitivitet	9
2.4 Rapiditet	9
2.4.1 Rapiditetstal	10
2.4.2 Störningsgrad	11
2.4.3 Energiåtgång	13
3 GEOTEKNISKA PARAMETRAR, UNDERSÖKT MATERIAL	15
3.1 Småröd	15
3.2 Kasens industriområde – Uddevalla	19
3.3 Heljeredes ängar, Mölndal	19
4 METODBESKRIVNING, REKONSOLIDERINGSFÖRSÖK	20
4.1 Provserier – Metodutveckling	20
4.2 Utrustning	21
4.2.1 Ödometer	21
4.2.2 Lastcell	22

4.2.3	Störningsapparat - delvis störning av lera	23
4.3	Utförande	24
4.3.1	Rekonsolideringsförsök på totalstörda leror	24
4.3.2	Rekonsolideringsförsök på delvis störda leror	25
4.4	Felkällor	26
4.4.1	Vid försöksladdning	26
4.4.2	Under försöket	26
4.4.3	Efter försöket	26
5	RESULTAT, REKONSOLIDERINGSFÖRSÖK	27
5.1	Totalstörda leror	27
5.2	Delvis störda leror	29
6	ANALYS	30
6.1	Skjuvhållfasthetstillväxt vid rekonsolidering av totalstörda leror	30
6.1.1	Sensitivitet	30
6.1.2	Provtagningsdjup / Förkonsolideringstryck	33
6.1.3	Naturlig vattenkvot	35
6.1.4	Konflytgräns	36
6.1.5	Förhållandet mellan vattenkvot och konflytgräns	37
6.2	Skjuvhållfasthetstillväxt, delvis störda leror	38
6.3	Effektivspänningsanalys	38
6.3.1	Uppmätta portryck, BG 10	39
6.3.2	Analys av portrycksutjämning	40
6.4	Förväntad skjuvhållfasthetstillväxt i fält	42
6.4.1	Validering i fält	43
7	RAPIDITETSFÖRSÖK	48
7.1	Multipelt fallkonförsök	48
7.1.1	Utrustning	48
7.1.2	Utförande	49
7.1.3	Resultat	49
7.1.4	Utvärdering	49
7.2	Siktning	50
7.2.1	Utrustning	50
7.2.2	Utförande	50
7.2.3	Resultat	51
7.2.4	Utvärdering	52
7.3	Påtvingad tvärsnittsförändring	52
7.3.1	Utrustning	52
7.3.2	Utförande	52
7.3.3	Resultat	53
7.3.4	Utvärdering	54
7.4	Siktning, tät botten	54

7.4.1	Utrustning	54
7.4.2	Utförande	54
7.4.3	Resultat	55
7.4.4	Utvärdering	55
7.5	Ultraljudsstörning	56
7.5.1	Utrustning	56
7.5.2	Utförande	56
7.5.3	Resultat och utvärdering	56
8	SLUTORD	57
9	REFERENSER	59

Bilageförteckning

BILAGA 1 Föklaring till rekonsolideringsprotokoll samt tillhörande grafer

<i>Förklaring; Rekonsolideringsförsöksprotokoll</i>	1.1-1.2
<i>Förklaring; Skjuvhållfasthetstillväxt – Grafer</i>	1.3-1.4
<i>Förklaring; Deformationsförlopp – Graf</i>	1.5

BILAGA 2 Provserier, protokoll + resultat

<i>Provserie 1; Borrhål BG 61, 4/5/13m</i>	2.1-2.2
<i>Provserie 2; Borrhål BG 44, 4m</i>	2.3-2.5
<i>Provserie 3; Borrhål BG 44, 6m</i>	2.6-2.8
<i>Provserie 4; Borrhål BG 204, 4m</i>	2.9-2.11
<i>Provserie 5; Borrhål BG 204, 8m</i>	2.12-2.14

BILAGA 3 Försöksprotokoll + skjuvhållfasthetstillväxt, delvis störd lera

<i>Delvis störning – 30 / 40 mm störningstratt; Borrhål Kasen 21, 16m</i>	3.1-3.4
<i>Delvis störning – 30 mm störningstratt; Borrhål Kasen 21, 18m</i>	3.5-3.7

BILAGA 4 Försöksprotokoll samt tillhörande grafer, rekonsolideringsförsök

<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 3m</i>	4.1-4.5
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 5m</i>	4.6-4.10
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 6m</i>	4.11-4.14
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 7m</i>	4.15-4.18
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 10m</i>	4.19-4.23
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 12m</i>	4.24-4.28
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 14m</i>	4.29-4.33
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 16m</i>	4.34-4.38
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 18m</i>	4.39-4.43
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 26m</i>	4.44-4.47
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 204, 29m</i>	4.48-4.52
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål BG 44, 8m</i>	4.53-4.57
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål Kasen 21, 10m</i>	4.58-4.61
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål Kasen 21, 12m</i>	4.62-4.65
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål Okänt 1, 6m</i>	4.66-4.69
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål Okänt 2, 7m</i>	4.70-4.73
<i>Rekonsolideringsförsök; Borrhål Heljeredes ängar, 6m</i>	4.74-4.77

BILAGA 5 Sammanställning av delvisa störningar **5.1**

BILAGA 6 Skjuvhållfasthetstillväxt, grupperad efter S_t

<i>Sammanställning, tillväxtstrender – S_t</i>	6.1
<i>Tillväxttrend: $23 < S_t < 50$</i>	6.2
<i>Tillväxttrend: $50 < S_t < 150$</i>	6.3
<i>Tillväxttrend: $50 < S_t < 387$</i>	6.4

BILAGA 7 Skjuvhållfasthetstillväxt, grupperad efter w_n

<i>Sammanställning, tillväxtstrender – w_n</i>	7.1
<i>Tillväxttrend: $21 < w_n < 30$</i>	7.2
<i>Tillväxttrend: $30 < w_n < 40$</i>	7.3
<i>Tillväxttrend: $40 < w_n < 48$</i>	7.4

BILAGA 8 Skjuvhållfasthetstillväxt, grupperad efter w_L	
<i>Tillväxtstrend: $14 < w_L < 49$</i>	8.1
BILAGA 9 Skjuvhållfasthetstillväxt, grupperad efter w_n/w_L	
<i>Tillväxtstrend: $w_n/w_L < 1$</i>	9.1
<i>Tillväxtstrend: $w_n/w_L = 1$</i>	9.2
<i>Tillväxtstrend: $w_n/w_L > 1$</i>	9.3
BILAGA 10 Porttrycksmätning, Borrhål BG 10 – Småröd	10.1
BILAGA 11 Protokoll, multipelt fallkonförsök	11.1
BILAGA 12 Protokoll, siktning	12.1
BILAGA 13 Protokoll, påtvingad tvärsnittsförändring	
<i>Påtvingad tvärsnittsförändring: Borrhål Kasen 21, 18m</i>	13.1
<i>Påtvingad tvärsnittsförändring: Borrhål BG 204, 7m</i>	13.2
<i>Påtvingad tvärsnittsförändring: Borrhål BG 204, 10m</i>	13.3
BILAGA 14 Protokoll, siktning tät botten	14.1

Förord

Detta examensarbete är baserat på rekonsolideringsförsök utförda främst på totalt omrörda leror men även på delvis störda leror och har pågått under perioden januari – september 2007. Initiativtagare till arbetet är Per-Gunnar Larsson, Bohusgeo AB.

Arbetet syftar till att studera hur störda lerors skjuvhållfasthet återhämtar sig med avseende på effektivspänningsökningen/portrycksutjämningen efter ett skred. Undersökningarna har i huvudsak genomförts på Bohusgeo AB:s laboratorium i Uddevalla.

Arbetet har även behandlat rapiditetsbegreppet och förslag till möjliga standardiserade undersökningsmetoder har behandlats.

Examinator har varit professor Göran Sällfors vid avdelningen för geologi och geoteknik, CTH.

Vi vill rikta ett stort tack till;

Per-Gunnar Larsson, Bohusgeo AB – Handledare

Göran Sällfors, avdelningen för geologi och geoteknik, CTH – Professor, Examinator

Peter Hedborg, avdelningen för geologi och geoteknik, CTH - Forskningsingenjör

Aaro Pirhonen, avdelningen för geologi och geoteknik, CTH – Tekniker

Övriga anställda på Bohusgeo AB

Göteborg september 2007

Jesper Karlsson

Johan Thylén

Beteckningar

A	Area
c	kohesion
DR	Störningsgrad (Disturbance Ratio, <i>R. Massarsch</i>)
i	Konintryck vid fallkonförsök
k	Konstant
N	Normalkraft
R_n	Rapiditetsnummer (<i>R. Söderblom</i>)
SK	Störningskvot (<i>J. Karlsson, J. Thylén</i>)
S_i	Sensitivitet
w_L	Konflytgräns
w_n	Naturlig vattenkvot
$\frac{w_n}{w_L}$	Quasi liquidity index
Q	Massa
μ^1	Friktionstal
μ	Reduktionsfaktor
σ	Normalspänning
σ'	Effektivspänning
σ'_c	Förkonsolideringstryck
σ_1	Vertikalspänning
σ_3	Horisontalspänning
τ	Odränerad skjuvhållfasthet
τ_{di}	Odränerad delvis störd skjuvhållfasthet, fallkonförsök
τ_{fu}	Reducerad odränerad skjuvhållfasthet

τ_k	Odränerad ostörd skjuvhållfasthet, fallkonförsök
τ_r	Odränerad omrörd skjuvhållfasthet, fallkonförsök
$\varnothing$	Jordens inre friktionsvinkel

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Initiativet till denna undersökning togs i samband med återställningsarbetet efter skredet i Småröd strax söder om Munkedal, den 20 december 2006. Skredet omfattade ett område om ungefär 400 x 200 meter, se Figur 1.1, i anslutning till nybyggnationen utav väg E6. All trafik på E6 fick ledas om och järnvägstrafiken på Bohusbanan sattes helt ur spel under knappt två månader. Konsekvenserna av skredet var mycket omfattande för hela regionen och arbetet med återställningen var därför högt prioriterat. Efter ett rekordsnabbt återställningsarbete kunde vägen åter öppnas den 15 februari och järnvägen den 24 februari 2007^{1,2}.

Vid återställningsarbetet uppkom frågeställningar kring vilken skjuvhållfasthet som faktiskt kunde tillgodoräknas för de skredade glidzonerna samt med vilken takt rekonsolideringen sker?



Figur 1.1: Bildkollage från skredområdet i Småröd, strax söder om Munkedal.

¹ Vägverket, 2007-06-05
<http://www.vv.se>

² Banverket, 2007-06-05
<http://www.banverket.se>

1.2 Syfte och avgränsningar

Examensarbetet syftar till att genom laboratieförsök studera störda lerors skjuvhållfasthetstillväxt i förhållande till effektivspänningsökning samt huruvida någon vanligen utvärderad parameter vid en geoteknisk rutinundersökning kan tänkas styra eller markant påverka detta tillväxtsförlopp.

Studien har även till avsikt att ge förslag till nya laboratiemetoder för bestämning av en leras rapiditet.

Arbetet kommer till största del behandla borrhål BG 204 i Småröd, där det finns lera upptagen ner till drygt 35 meters djup. Borrhålet är beläget strax utanför det skredade området men lerans egenskaper bedöms stämma överens med de skredade lermassorna.

1.3 Metod

Laboratiearbetet rörande rekonsolideringsförsöken har genomförts med en specialbyggd ödometer utrustad för stegvis belastning med datoriserad deformationsmätning. Skjuvhållfastheten har utvärderats med hjälp av fallkonförsök. Leran har utsatts för varierande effektivspänningar för att på så sätt erhålla tillväxten i relation till effektivspänningsökningen.

Tabellen 1.1 nedan är tänkt för att ge en överblick över studiens omfattning.

Tabell 1.1 Samtliga utförda rekonsolideringsförsök

Djup [m]	3	4	5	6	7	8	10	12	13	14	16	18	26	29	
Antal [st]	10	18	13	26	15	20	15	14	1	10	10	9	9	10	Σ180

Utöver dessa har nio rekonsolideringsförsök med delvis störda leror genomförts vid 16 m respektive 18 m djup.

Vid rapiditetsundersökningen har fem olika metoder tagits fram och kontroll kring huruvida metoderna verkar ge relevanta resultat eller ej har genomförts.

2 Litteraturstudie

2.1 Skjuvhållfasthet

En jords brottvillkor kan beskrivas som den maximala skjuvspänning som jorden kan uppta, vanligen benämnd skjuvhållfasthet. Denna beror på en rad faktorer som till exempel spänningsnivå vid brott, spänningshistoria och dräneringsförhållanden.

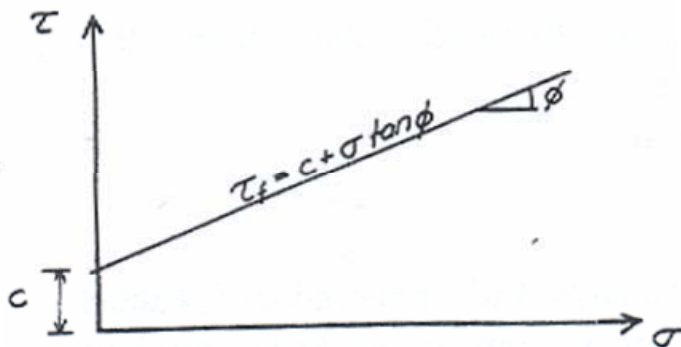
Skjuvhållfastheten hos en jord kan i huvudsak delas in i två styrande komponenter:

- Friktion mellan mineralkorn
- Kohesion mellan jordpartiklar

För leror spelar bindningskrafterna, kohesionen, mellan partiklarna en stor roll och de benämns traditionellt för kohesionsjordar. För samtliga jordar spelar makrostrukturen en betydande roll för hur ett brott utbildas. Skjuvhållfastheten kan i många fall uppvisa ett starkt volymberoende och på så sätt uppvisa en minskad skjuvhållfasthet med en ökande provkroppsvolym, *Sällfors (2001)*.

Skjuvhållfastheten hos en jord kan definieras som skjuvspänningen i brottplanet vid tidpunkten för brott. För jord används Mohr-Coulombs brottkriterium, se Figur 2.1, vilket säger:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$



Figur 2.1: Brottenvelopen enligt Mohr-Coulombs brottkriterium.

Källa – Geoteknik jordmateriallära-jordmekanik.

τ_f = odränerad skjuvhållfasthet

c = kohesion

σ = normalspänning

$\tan \phi$ motsvarar μ^1 , friktionstalet vid vanlig mekanisk friktion, där ϕ är jordens inre friktionsvinkel.

För alla spänningstillstånd som representeras av punkter under den så kallade brottenvelopen, ekv 2.1, råder jämvikt. Om punkten däremot faller på eller över linjen inträffar brott. Brottplanets lutning är känt såsom $45 \pm \phi / 2$.

Ett brottkriterie som har en bättre användbarhet är om man uttrycker skjuvhållfastheten som en funktion av den effektiva normalspänningen. Detta uttryck

stämmer överens med Terzaghis teori om att hållfasthets- och deformationsegenskaperna i jordar bestäms av effektivspänningarna och inte av totalspänningarna. Vid effektivspänningsanalys gäller:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.2)$$

där c' och ϕ' är skjuvhållfasthetsparametrar med avseende på effektivspänningen. c' kan överslagsmässigt antas vara 3 % av förkonsolideringstrycket eller 10 % av den odränerade skjuvhållfastheten, *Sällfors (2001)*.

Den effektiva normalspänningen mot brottplanet motsvaras av:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.3)$$

Traditionellt korrigeras skjuvhållfastheten på grund av att organiskt innehåll i jorden kan medföra att den odränerade skjuvhållfastheten överskattas. Enligt rekommendation ifrån SGI - Info 3, bör korrektion ske enligt:

$$\mu = \left(\frac{0,43}{w_L} \right)^{0,45} \quad (2.4)$$

$$\tau_{fu} = \mu \times \tau_k \quad (\text{konprov}) \quad (2.5)$$

$$\tau_{fu} = \mu \times \tau_v \quad (\text{vingsondering}) \quad (2.6)$$

Normalfallet är att jordens hållfasthetsparametrar c och ϕ ej är kända utan måste bestämmas genom laboratorieförsök. För friktionsjordar bestäms skjuvhållfastheten med hjälp av triaxialförsök eller skjuvförsök. För kohesionsjordar används i huvudsak fallkonförsök, ving- samt CPT-sondering för att bestämma den odränerade skjuvhållfastheten. I enstaka fall används enkelt tryckförsök. Den dränerade skjuvhållfastheten bestäms med triaxialförsök eller direkt skjuvförsök.

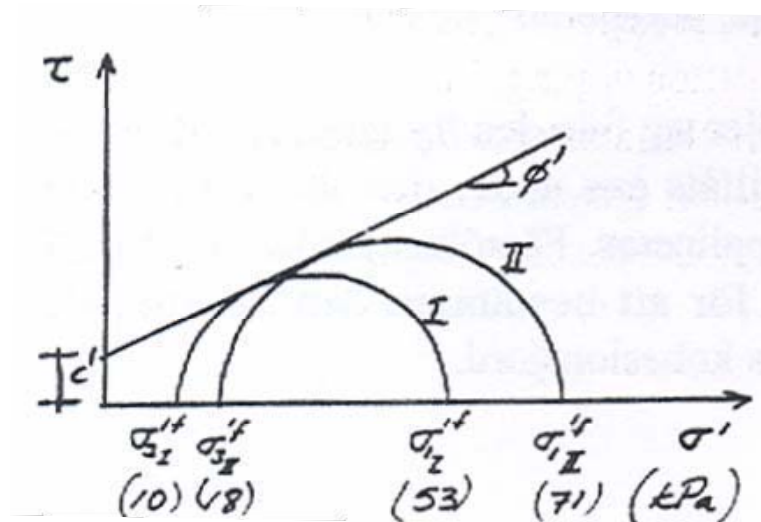
2.1.1 Triaxialförsök

Triaxialförsök kan utföras på två sätt. Antingen genom att provet trycks till brott (aktivt försök) eller att det dras till brott (passivt försök). Man skiljer på konsoliderat, odränerat och konsoliderat, dränerat försök. Att försöket är konsoliderat innebär att man innan hållfasthetsprovningen tillåter en volymförändring av provet tills insituförhållande är uppnått, detta tar vanligtvis mindre än ett dygn.

Vid aktivt försök ökas vertikallasten tills brott inträffar medan den vid passivt försök minskas tills brott inträffar³. Horisontalspänningen hålls konstant under försöken genom celltryck. Vid dränerade försök utförs pålastningen långsamt för att undvika påtagliga porövertryck.

³Kompetenscentrum infrastruktur, 2007-06-26
<http://www.kcentrum-infra.chalmers.se>

Vid utvärdering av triaxialförsök görs två försök med olika initiala tillstånd. Utifrån dessa får man två brottcirkclar och hållfasthetsparametrarna c' och ϕ' kan utvärderas, se Figur 2.2. Sällfors (2001)



Figur 2.2: Schematisk bild av utvärdering triaxialförsök.
Källa – Geoteknik jordmateriallära-jordmekanik.

2.1.2 Direkt skjuvförsök

Skjuvförsöken genomförs antingen genom att två boxar förskjuts relativt varandra, skjuvboxförsök, eller som enkel skjuvning i en skjuvapparat.

Vid försöken anbringas en normalspänning, $\sigma = N / A$, som provet får konsolidera för. Därefter skjuvas provet genom att en skjuvkraft anbringas vid provets överyta. Vid utvärdering av försöken kan hållfasthetsparametrarna c' och ϕ' eller c och ϕ erhållas beroende på de rådande dräneringsförhållandena. Sällfors (2001)

2.1.3 Fallkonförsök

Fallkonförsök genomförs genom att en kon med en spetsvinkel av 30° eller 60° och en vikt om 10, 60, 100 eller 400 gram vidrör en horisontell yta av ett ostört prov. Därefter släpps konen och tillåts sjunka ner i leran. Konintrycket avläses på 0,1 mm när och skjuvhållfastheten kan beräknas som, Wiesel et al (1985):

$$\tau_k = \frac{k \times Q \times 10}{i^2} \quad (2.7)$$

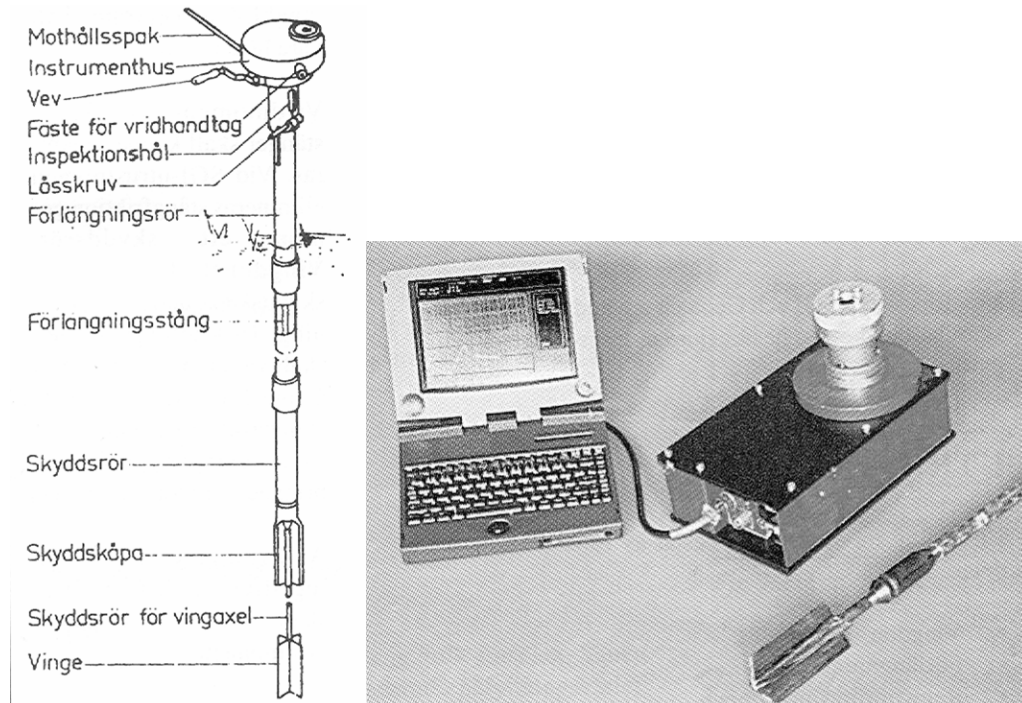
$k = 0,25$ för 60° konen och 1,0 för 30° konen

Q = konens massa i gram

i = konintryck i mm

2.1.4 Vingsondering

Vid vingsondering, se Figur 2.3, trycks vingdonet ner till önskat provtagningsdjup utan slag, vibration eller rotation. Vid önskat djup avvaktar man två till fem minuter för att minska eventuella störningar på grund av neddrivningen. Sedan roteras vingen till brott på 3 ± 1 minut. Detta ger den odränerade skjuvhållfastheten, *Berggren* (1996).



Figur 2.3: T.v. vinginstrument av typen SGI.

T.h. vinginstrument av typen Geotech med elektronisk mätning.

Källa – SGF Rapport 1:96, Geoteknisk Fätlthandbok.

2.1.5 CPT-sondering

Vid en CPT-sondering drivs en cylindrisk sond med en tvärsnittsarea om 1000 mm^2 och en spetsvinkel på 60° ned i jorden med hastigheten 20 mm/s . Under tiden mäts neddrivningsmotståndet, mantelfriktionen samt vid behov det porvattentryck som genereras vid spetsen under neddrivningen.

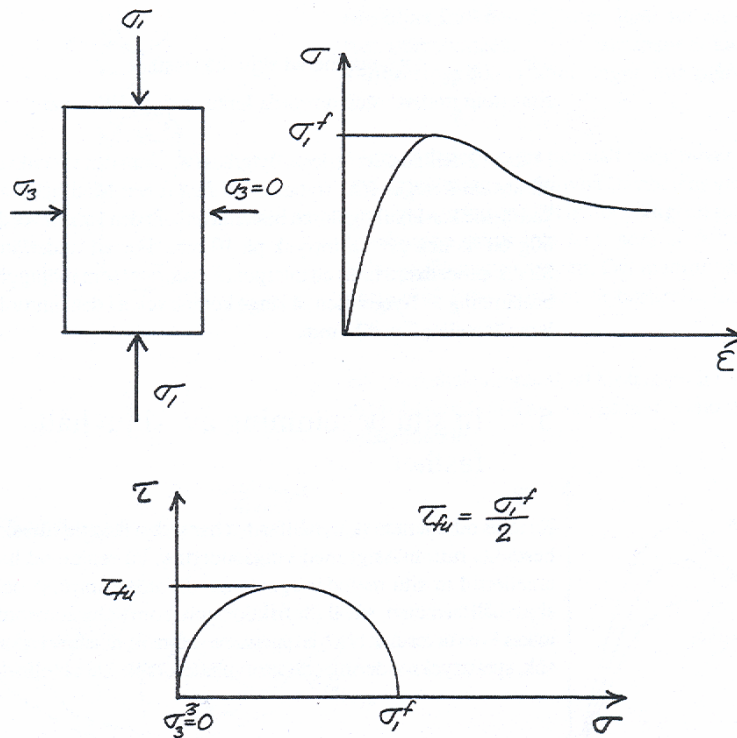
Mätningen är elektronisk och nära nog kontinuerliga kurvor över mätvärdernas variation med djupet kan erhållas.

Utvärdering av CPT-sonderingar görs vanligen med hjälp av datorprogrammet CONRAD, framtaget av SGI.

2.1.6 Enkelt tryckförsök

Det enkla tryckförsöket är ett okonsoliderat, odränerat triaxialförsök utan någon anbringad horisontalspänning, $\sigma_3 = 0$. Provet påförs en vertikalkraft och registrering av spänningsökning görs, *Wiesel et al (1985)*. Se Figur 2.4 för principen för utvärdering av skjuvhållfastheten:

$$\tau_{fu} = F_{\max} \frac{1}{2 \times A} = \frac{\sigma^f}{2} \quad (2.8)$$



Figur 2.4: Principen för enkelt tryckförsök.

Källa – Geoteknik jordmateriallära-jordmekanik.

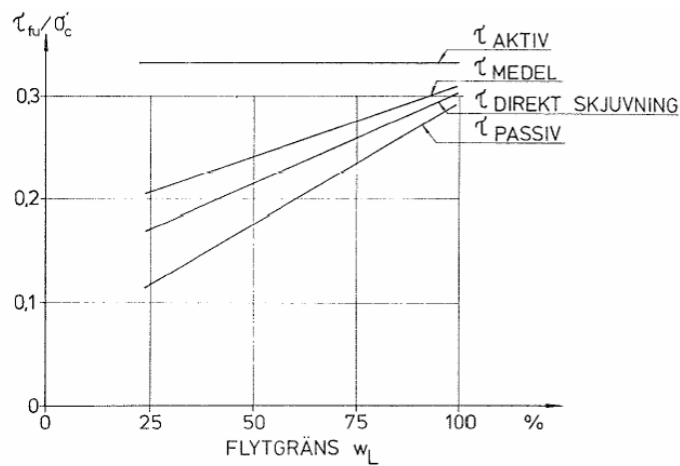
2.2 Skjuvhållfasthetstillväxt

2.2.1 Konsolidering

När en lera belastas och konsolideras ökar förkonsolideringstrycket, σ'_c , vilket även leder till en ökad skjuvhållfasthet. Ökningen av skjuvhållfastheten kan relateras till förkonsolideringstrycket och relationen kan bestämmas genom försök eller empiri:

$$\Delta \tau_{fu} = k \times \Delta \sigma'_c \quad (2.9)$$

där k beror på belastningsfallet, enligt Figur 2.5, *Larsson et al (1984)*.



För $w_L = 0,25$ gäller:

$$\tau_{AKTIV} : k = 0,33$$

$$\tau_{MEDEL} : k = 0,21$$

$$\tau_{DIREKT SKJUVNING} : k = 0,17$$

$$\tau_{PASSIV} : k = 0,12$$

Figur 2.5: Empiriska relationer mellan skjuvhållfasthet, konflytgräns och förkonsolideringstryck.

Källa – Skredkommisionen Rapport 3:95.

Från undersökningar genomförda utanför Örebro på förbelastning utan dränerande åtgärder har man funnit tendenser till att skjuvhållfastheten, vid antagen 100 % konsolidering, ökat enligt, *Holm et al (2002)*:

$$\Delta \tau_{fu} = 0,2 \times \Delta \sigma'_c \quad (2.10)$$

2.2.2 Rekonsolidering

Vid pålning uppkommer en kraftig störning runt pålen på ett avstånd av ungefär 1,5 gånger påldiametern. När leran därefter har rekonsoliderat och pålen i ett senare skede dras upp har det uppmärksamats att adhesionskrafterna runt pålen är större än lerans skjuvhållfasthet, det vill säga lera sitter kvar vid pålen. Leran har således brustit en bit utanför pålen. Det har även uppmärksamats att vid pålning i kvicklera får pålen en större bärkraft efter rekonsolidering än förväntat, *Torstensson (1973)*.

Torstensson (1977) genomförde undersökningar med delvis störda leror som rekonsoliderades kring den förväntade framtida effektivspänningen, σ'_0 , vid provtagningsnivån. Dessa undersökningar antyder att den kraftigt störda leran hade ett förkonsolideringstryck motsvarande 40 - 50 kPa (upp till detta tryck påvisade proverna en förhållandevis liten skjuvhållfasthetsökning). Vid ökande konsolideringstryck förhöll sig kvoten $\Delta \tau / \Delta \sigma$ kring 0,3 för att sedan avta mot 0,15. I medeltal inom intervallet 45 - 160 kPa var kvoten 0,2 vilket stämmer väl överens med *Hansbos (1957)* relation:

$$\Delta \tau_{fu} = (0,45 \times w_L) \Delta \sigma'_c \quad (2.11)$$

samt ekvationerna 2.9-2.10.

2.3 Sensitivitet

En leras sensitivitet definieras som kvoten mellan den ostörda och den omrörda skjuvhållfastheten.

$$S_i = \frac{\tau_k}{\tau_r} \quad (2.12)$$

Leran klassificeras sedan som låg-, mellan- eller högsensitiv, enligt Tabell 2.1.

Tabell 2.1: Klassificering av leror med hänsyn till sensitivitet, Rankka (2003).

Benämning	Sensitivitet
Lågsensitiv	< 8
Mellansensitiv	8 – 30
Högsensitiv	> 30

Vid utvärdering av en leras karaktär kontrolleras huruvida den är en så kallad kvicklera eller ej. Definitionen för en kvicklera är sensitivitet, S_i , högre än 50 samt en omrörd skjuvhållfasthet, τ_r , lägre än 0,4 kPa, Rankka (2003). Det bör noteras att det finns leror med sensitivitet upp emot 600.

Vid släntstabilitetsanalyser är det av yttersta vikt att kontrollera eventuell förekomst av kvickleror. Enligt Gregersen et al (1983) kan vid uppkomsten av skred i områden med riklig förekomst av kvicklera stora retrogressiva (bakåtgripande) skred initieras. Detta har till exempel skett i Rissa, Norge. Retrogressiva skred arbetar sig snabbt bakåt i småskred som skredar del för del. När lermassorna skredat bryts strukturen snabbt ner till en vattenliknande massa som rinner undan. Detta leder till att skredet fortsätter tills mer stabila markförhållanden uppnås, Tavenas et al (1983). I Kanada har dock skred i mycket sensitiva (kwicka) jordar skett som ej uppvisat samma förlopp, vilket tyder på att bara förekomst av kvicklera inte per automatik leder till bakåtgripande skred. Således bör det alltså finnas skillnader i hur kvickleror beter sig vid skred.

2.4 Rapiditet

Vid genomförandet av en geoteknisk rutinundersökning kontrolleras bland annat den omrörda skjuvhållfastheten, τ_r , för bestämning av lerans sensitivitet. Vid omrörning av leran är det stor skillnad på hur snabbt olika lerors ursprungliga skjuvhållfasthet avtar. För att uppnå en jämn störning av lerprovet kan skillnaden i tillfört arbete vara avsevärd mellan olika leror, Hedborg (2007). Detta leder till att leror med liknande sensitivitet kan uppvisa stora skillnader i omrörd skjuvhållfasthet vid lika stor mängd tillfört arbete.

Leror som är lättstörda benämns rapida leror. Ju mer rapid en lera är desto snabbare bryts dess skjuvhållfasthet ned vid tillfört arbete. Rapida leror medför således en stor risk vid till exempel pålning och andra vibrationsframkallande arbeten i slänter. Om en rapid lera störs i en slänt så sjunker skjuvhållfastheten och därmed släntens stabilitet, medan den knappt blir påverkad om den är av en mer störningstålig lertyp, Massarsch (1976).

Vid en geoteknisk rutinundersökning görs i nuläget ingen kontroll av en leras rapiditet. Detta leder till att viktig information om lerans egenskaper ej tas hänsyn till vid exempelvis stabilitetsanalyser. Vid uppkomsten av skred i ett område med rapid lera är som nämnts risken för stora skador hög på grund av retrogressiva skred, *Tavenas et al (1983)*.

2.4.1 Rapiditetstal

För bestämning av en leras rapiditet har *Rolf Söderblom (1974)* utarbetat ett klassificeringssystem. Undersökningen utförs med hjälp av Casagrandes stötflytgränsapparat, se Figur 2.6.



Figur 2.6: Casagrandes stötflytgränsapparat

Ett 40 mm högt lerprov med diametern 50 mm placeras i apparaten och utsätts för 250 fall om 10 mm. Under tiden studeras cylindern okulärt och eventuella förändringar antecknas. Utifrån klassificeringssystemet benämns provet med ett rapiditetstal. Talet varierar mellan 1 och 10 där 1 är opåverkat prov och 10 är mycket påverkat prov, se Tabell 2.2. Provets rapiditetstal bedöms som tidigare nämnts visuellt, vilket medför en högst subjektiv bedömning som i sin tur inverkar negativt på tillförlitligheten hos försöket, *Massarsch (1976)*.

Tabell 2.2: Klassificeringsskala för rapiditetstal enligt R. Söderblom.

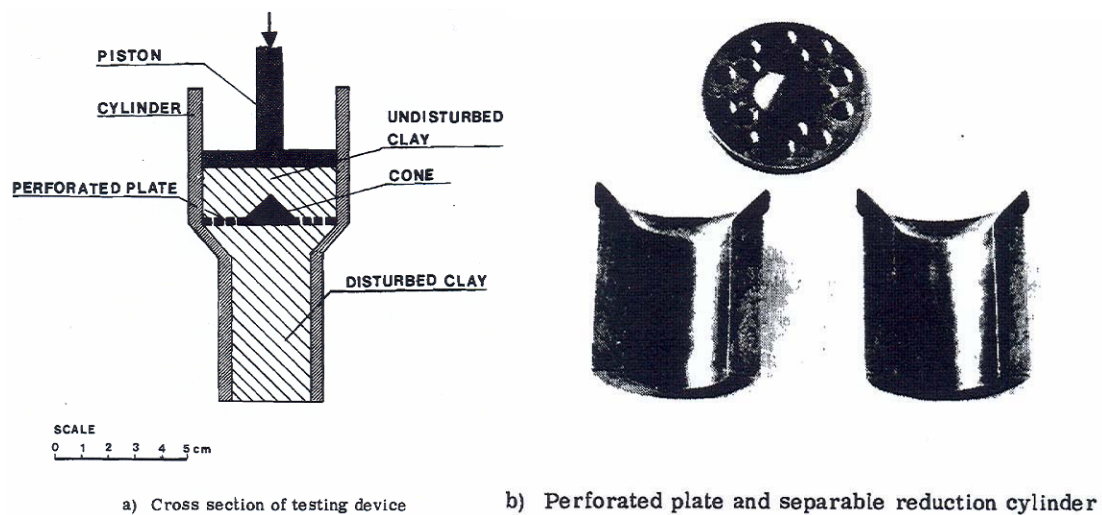
Rapidity number, R_n	Degree of influence
1	Sample not visually affected
2	Hardly visually affected
3	About 1 mm of bottom part deformed to a gelatinous mass
4	About 5 mm of bottom part deformed, gelatinous mass formed. Upper part visually unchanged
5	About 5 mm of bottom part deformed, gelatinous mass and liquid mass formed. Upper part visually unchanged.
6	About 10 mm of bottom part deformed, gelatinous mass and liquid mass formed. Upper part visually unchanged.
7	Bottom part highly deformed, liquid mass formed. Upper part visually unchanged.
8	Whole sample begins to deform, liquid mass formed. Sharp edges and irregularities disappear.
9	Whole sample begins to deform, liquid mass forms and begins to flow out from the vessel.
10	Whole sample transformed into a liquid mass.

Utifrån Söderbloms (1974) rapiditetsförsök föreslogs en ny definition på kvicklera. Söderblom föreslog att en lera skulle betraktas som kvicklera om sensitiviteten > 50 och rapiditetstalet ≥ 8 . Vid lägre rapiditetstal bedömdes det ej vara lika hög risk för att leran skulle förlora stora delar av sin skjuvhållfasthet redan vid mindre störning.

2.4.2 Störningsgrad

Även Rainer Massarsch har tittat på rapiditeten som fenomen. Tankarna kring definitionen av rapiditet var likartade med Söderbloms men en annan försöksmetodik utarbetades. Detta dels för att en objektiv bedömning skulle vara möjlig, dels för att Söderbloms metod ej kvantitativt relaterade till någon annan lerparameter, Massarsch (1976).

Massarsch genererade en störning av leran genom att pressa den genom en perforerad platta samt påtvinga en minskning av provets diameter ifrån 50 till 30 mm, se Figur 2.7. På detta sätt erhöles en likartad störning av proven varje gång. Därefter genomfördes fallkonförsök för att kontrollera den kvarvarande skjuvhållfastheten τ_{di} .



Figur 2.7: Massarsch metod för delvis störning utav lera.

Källa – Pålkommisionen Rapport 51

För att få ett mått på hur känslig lera var för störning definierade Massarsch den så kallade störningsgraden, DR (Disturbance Ratio):

$$DR = \frac{\tau_k}{\tau_{di}} \quad (2.13)$$

där τ_k = Odränerad ostörd skjuvhållfasthet, fallkonförsök

och τ_{di} = Odränerad delvis störd skjuvhållfasthet, fallkonförsök

Lera delades sedan i tre känslighetskategorier beroende på graden av störning.

$$DR: \quad (I) < 6 \leq (II) < 15 \leq (III)$$

Vid känslighetskategori I är bedömningen att lera är tämligen stabil medan man vid kategori III bör iaktta stor försiktighet vid störningsframkallande arbete såsom pålning med mera.

En nackdel med denna försöksmetod är att mängden energi som åtgår för att pressa lera igenom störningsapparaturen ej mäts. Den tillförda energin kommer vid varje försök variera med lerans skjuvhållfasthet och friktionen mellan utrustning och lera.

2.4.3 Energiåtgång

Vid en kanadensisk studie har *Tavenas et al (1983)* utfört fyra olika försök för att simulera vad som faktiskt händer under ett skredförlopp. De simulerade förloppen är:

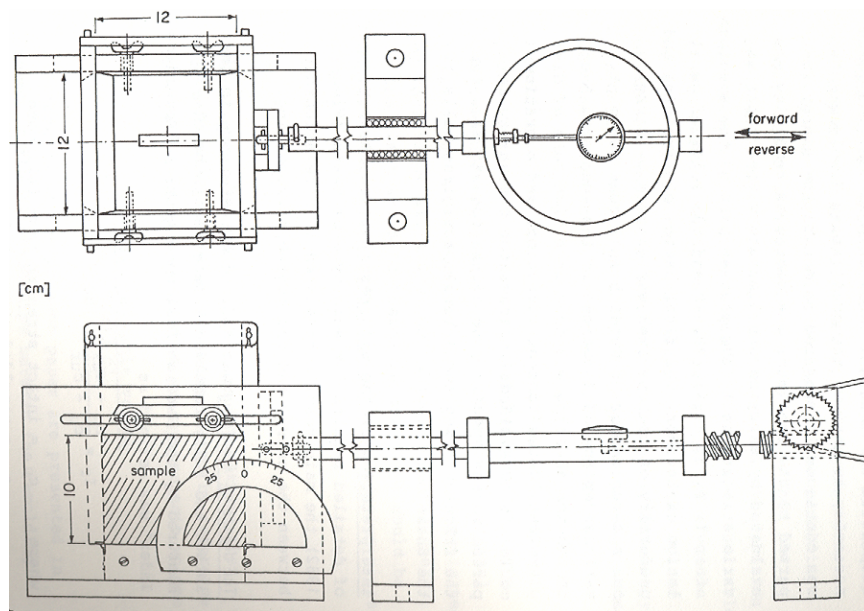
1. Fallande lerblock mot mark
2. Fallande material/föremål mot lera
3. Inpressning av lera mellan relativt intakta lerblock
4. Skjuvning

Vid laboratoriesimuleringen för fall 1 släpptes lerprov av olika storlek från flera olika höjder mot en fast yta. Vid försöket bortsågs det ifrån alla former av friktion det vill säga den tillförda energin till leran ansågs ekvivalent med den potentiella energin vid utgångsläget. Därefter genomfördes mätningar av lerprovets form samt fallkonförsök på det deformerade provet.

För fall 2 applicerades lerprov av olika storlek på en fast yta. Därefter släpptes vikter på 3-10 kg från olika höjd mot lerprovet. Sedan genomfördes mätning av lerprovets form samt fallkonförsök på det deformerade provet.

Vid fall 3 pressades lerprovet genom en avsmalnande tratt liknande den som Massarsch använde, dock utan den perforerade plattan. Tvärsnittet på tratten varierade mellan 1,25 och 4,5 cm. Kraften för att åstadkomma den genomförda deformationen mättes med en kraftgivare. Därefter genomfördes fallkonförsök på proverna.

Vid skjuvningen, fall 4, användes en stor skjuvbox, se Figur 2.8. Lerprovet skjuvades och med jämna mellanrum gjordes laborativförsök centralt i provet. Därefter genomfördes fallkonförsök på proverna.

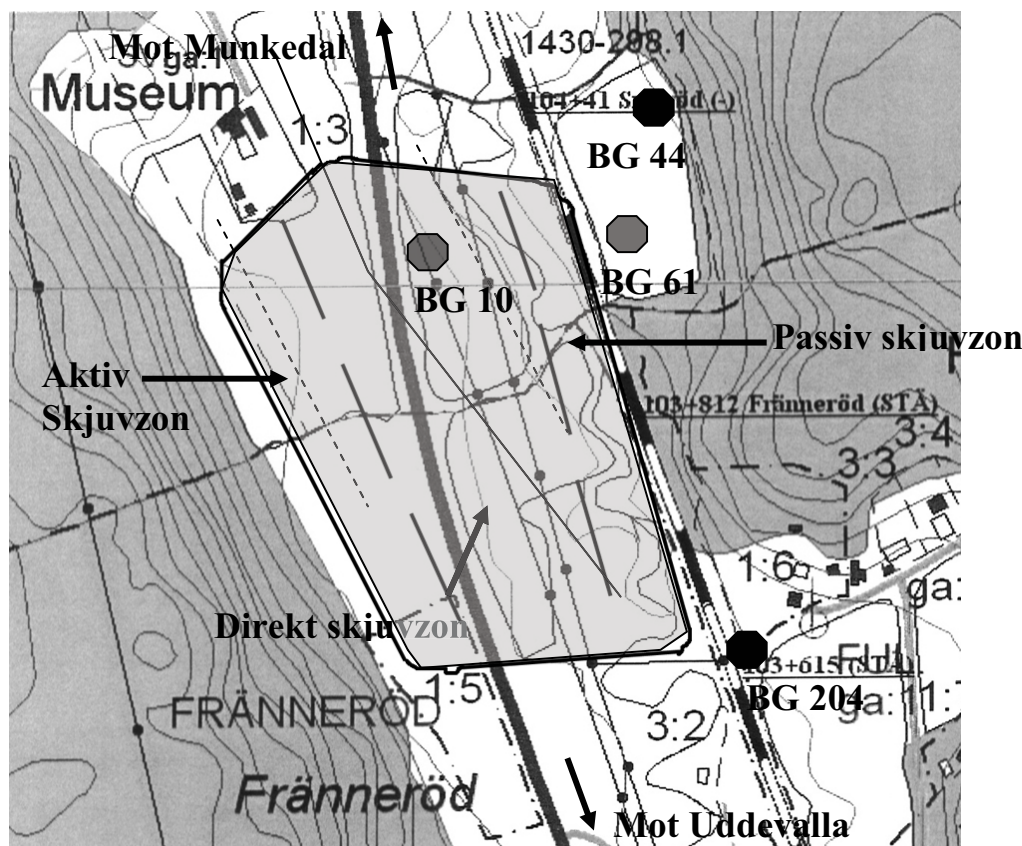


Figur 2.8: Schematisk bild på skjuvbox.
Källa – SGI Rapport Nr 17

Vid utvärdering av de nämnda metoderna konstaterades att fallförsöken (1 och 2) var svårtolkade samt att resultaten hade en stor spridning beroende på var i provkroppen kontrollen utfördes. För försök 3 uppkom problem vid energiberäkningar på grund av friktion. Ett gemensamt problem för dessa försök är också den relativt stora leråtgången. Det försök som ansågs fungera bäst var skjuvförsöket. Vidare försök med odränerad direkt skjuvning förespråkas i denna studie, *Tavenas et al (1983)*.

3 Geotekniska parametrar, undersökt material

Denna studie behandlar till största del lera tagen från skredområdet i Småröd, se Figur 3.1, och främst borrhål BG 204. Borrhålet ligger strax sydost om skredområdet men lerans egenskaper bedöms stämma överens med de skredade lermassornas. Vid analysen av resultaten används borrhål BG 10, i den direkta skjuvzonen, som referenspunkt.



Figur 3.1: Plan över skredområdet Småröd och de i studien huvudsakligen berörda borrhålen.

De parametrar som beskrivs nedan är redovisade utifrån rutinundersökningar. Parametrarna kommer till de genomförda försökserierna att förändras något när lera ifrån flera provtuber (inom samma kolv/nivå) blandas, se utförligare beskrivning i Kapitel 4.

3.1 Småröd

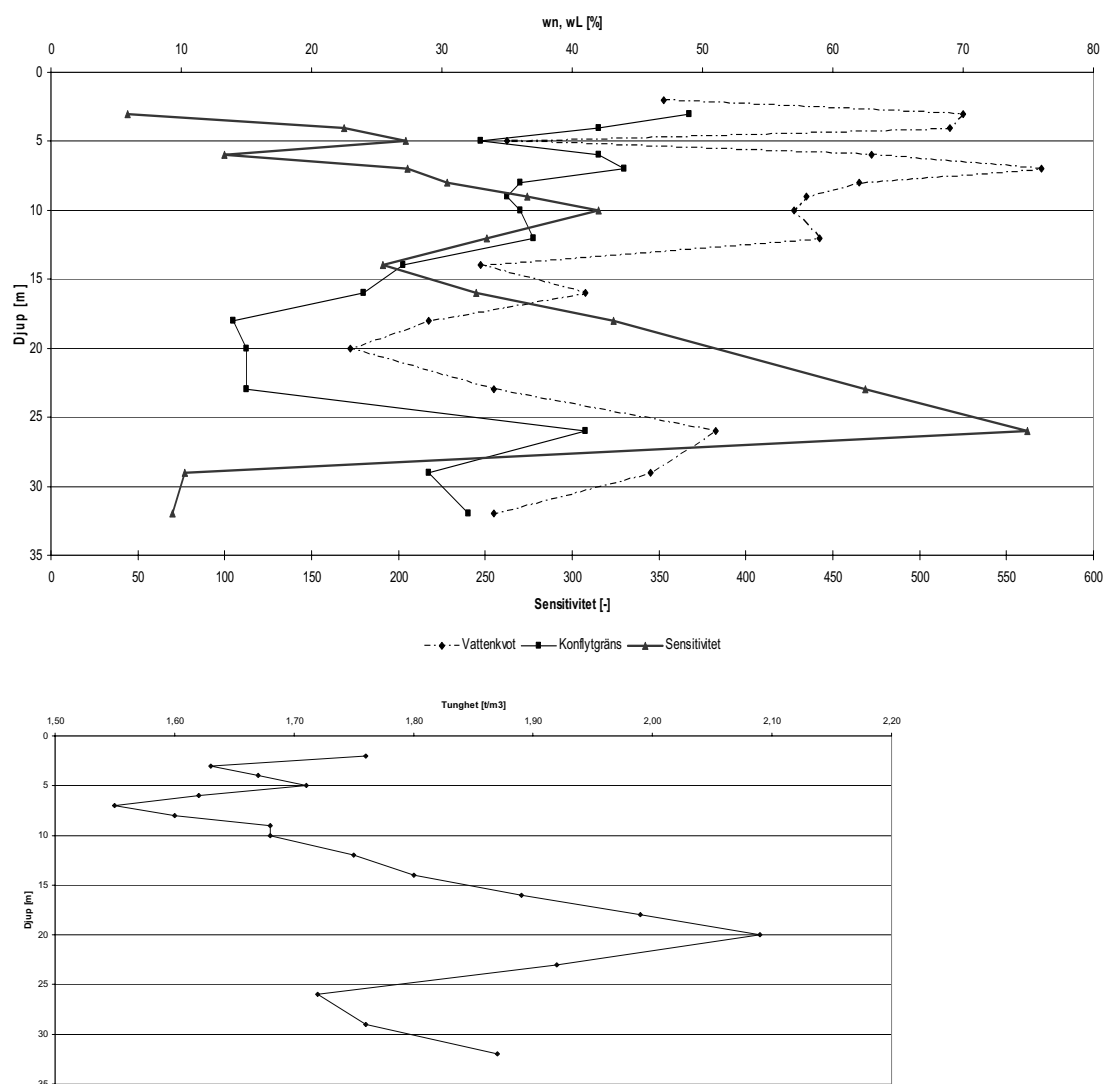
Borrhål, BG 204:

I Figur 3.2 redovisas värden från rutinundersökningen för borrhålet. De sensitiviteter som utvärderats i rekonsolideringsförsöken är utvärderade med fallkonförsök och ej som i rutinundersökningen vilka är utvärderade ifrån vingsoneringen.

Leran är i hela borrhålet siltig till mycket siltig. Konflytgränsen varierar mellan 49 % och 37 % på djupen 3 till 12 meter, i medeltal ligger konflytgränsen inom detta intervall på 39 %. Därefter minskar den ner till 15 % vid 23 meters djup, för att sedan öka något.

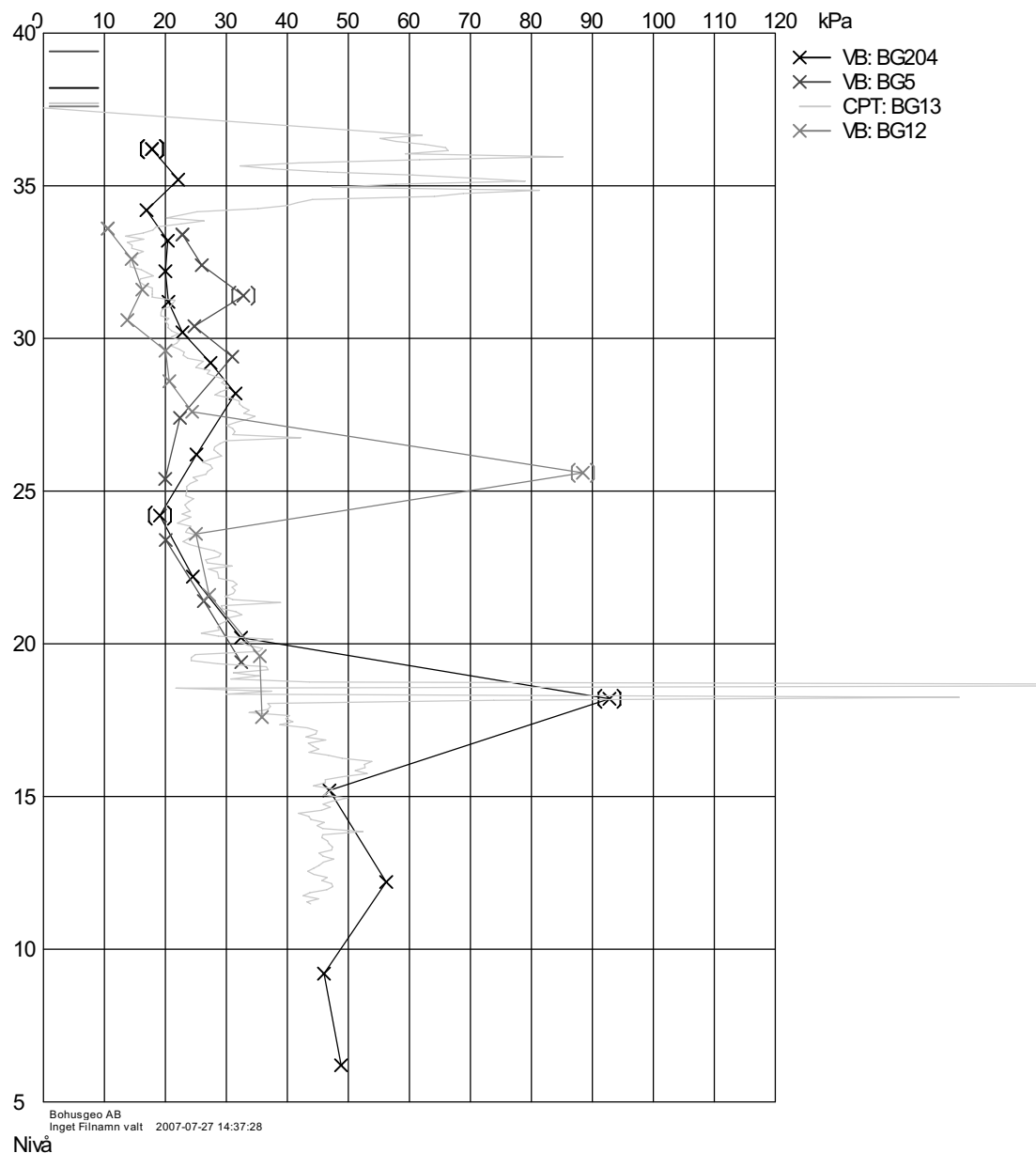
Från 4 meters djup är sensitiviteten genomgående hög och i medeltal är den högre än 200.

Vattenkvoten i det undersökta materialet varierar kraftig genom profilen och är som högst 76 % och som lägst 23 %.



Figur 3.2: Sammanställning av rutinundersökningsdata från BG 204.

I BG 204 samt närliggande borrhål har även ving- och CPT-sonderingar utförts, de reducerade skjuvhållfastheter som uppmäts in situ i området kring borrhålet redovisas närmare i Figur 3.3.



Figur 3.3: Sammanställning av oreducerade skjuvhållfastheter (in situ) kring borrhål BG 204, Småröd.

Borrhål, BG 10:

Detta borrhål är beläget i den direkta skjuvzonen och används genomgående i studien som referensobjekt.

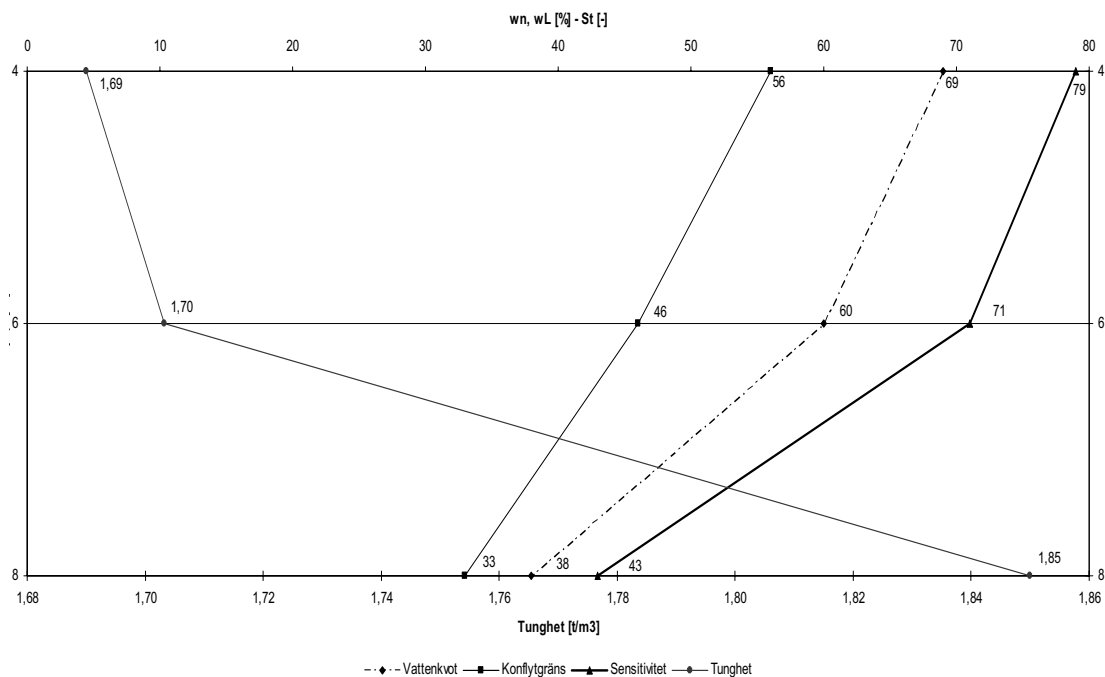
I denna denna punkt är skredzonen belägen på mellan 11,2 och 12,6 m djup. Närmast ovan zonen är vattenkvoten 61 % och konflytgränsen 31 %. Sensitiviteten är högre än 200 (utanför mätområdet) och skjuvhållfastheten är 16 kPa.

I skredzonen är vattenkvoten betydligt lägre, mellan 42 och 46 % och konflytgränsen är så låg som 18 - 27 %. Sensitiviteten är högre än 200.

Nedan skredzonen är förhållandena liknande skredzonens med den väsentliga skillnaden att sensitiviteten är 48. I gränsskiktet mellan den nedre zonen och skredzonen återfinns sand- och siltskikt.

Borrhål, BG 44:

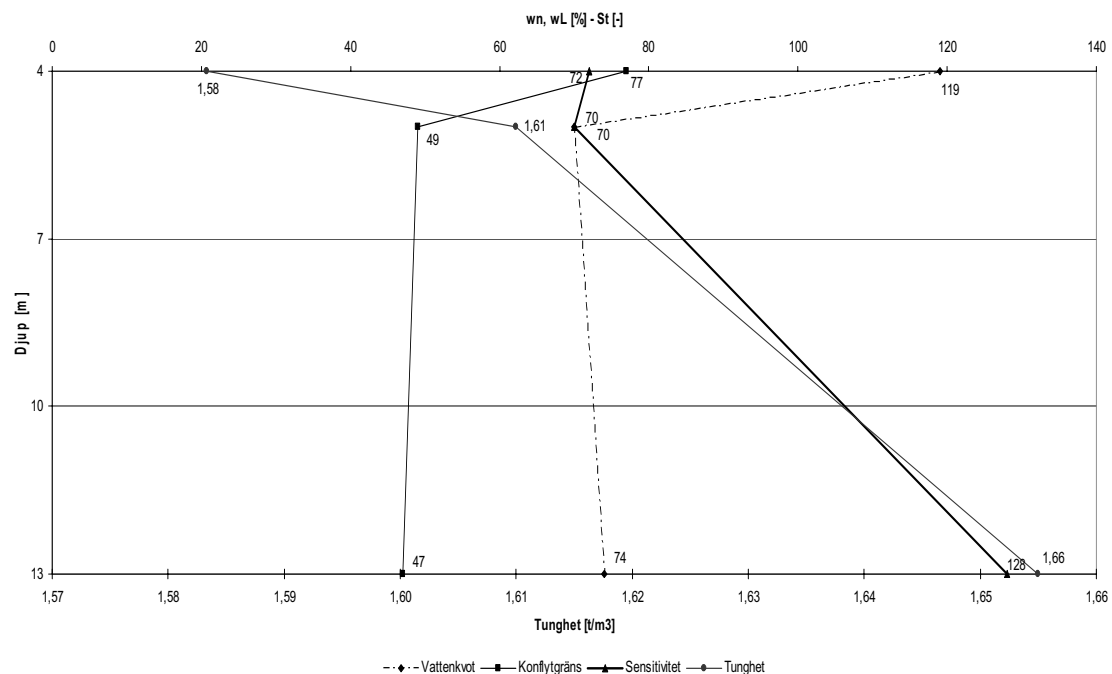
I Figur 3.4 redovisas data ifrån detta borrhål. Leran är tagen från 4, 6 och 8 meters djup och den är siltig. Till studien är det enbart leran ifrån 8 m ($w_n = 38\%$, $w_L = 33\%$, $S_t = 43$) som använts, de övriga har nyttjats vid metodframtagningen.



Figur 3.4: Sammanställning av rutinundersökningsdata från BG 44.

Borrhål, BG 61:

Leran ifrån detta borrhål har enbart använts vid metodframtagningen, den är tagen från 4, 5 och 13 meters djup och rutinundersökningens resultat redovisas i Figur 3.5. Samtliga lera är siltig.

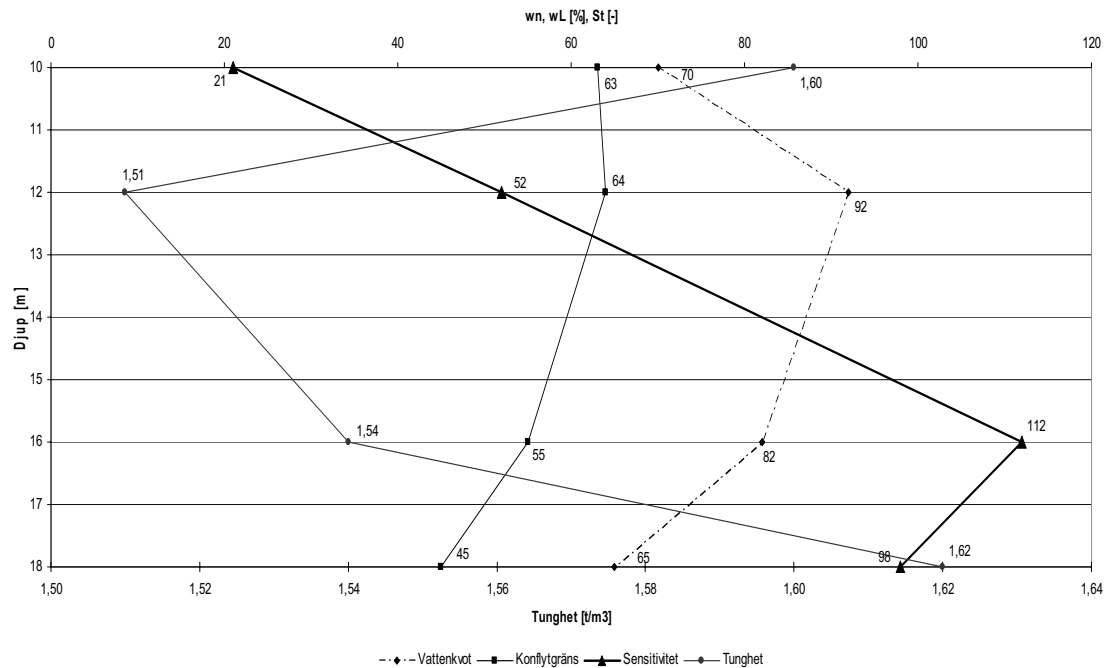


Figur 3.5: Sammanställning av rutinundersökningsdata från BG 61.

3.2 Kasens industriområde – Uddevalla

Borrhål, Kasen 21:

Den använda leran är tagen ifrån 10, 12, 16 och 18 m djup. Det är grå lera till något siltig grå lera som behandlats. Sammanställning av rutinundersökningen redovisas i Figur 3.6.



Figur 3.6: Sammanställning av rutinundersökningsdata från Kasen 21.

3.3 Heljeredes ängar, Mölndal

Lerprovet som använts ifrån Heljeredes ängar i Mölndal är taget från 6 m djup, det har en skjuvhållfasthet på 12 kPa och en sensitivitet på 59. Vattenkvoten är 97 % och konflytgränsen 71 %.

Denna lera har en betydligt högre vattenkvot och förhållandevis låg sensitivitet i jämförelse med övriga studerade leror.

4 Metodesbeskrivning, rekonsolideringsförsök

De i studien genomförda rekonsolideringsförsöken syftar till att generera en tillväxt av skjuvhållfasthet i störda leror i förhållande till orsakad effektivspänning.

Initialt efter ett skred uppkommer en markant portrycksökning i den skredade zonen. Detta kan medföra en effektivspänning i zonen som är nära noll, det vill säga portrycket motsvarar i stort sett totaltrycket. Återhämtningen av effektivspänningen sker i takt med portrycksutjämningen i den skredade zonen.

Nedan beskrivs de genomförda provserier som ligger till grund för den i studien använda metoden, den använda utrustningen samt utförandet.

4.1 Provserier – Metodutveckling

De inledande provserierna utfördes för att utvärdera eventuella svårigheter och modifieringsbehov hos metoden och utrustningen.

Provserie 1:

I den första provserien laddades 6 celler med varierande mängd störda lera. Detta försök genomfördes för att ”lära känna” metoden. Under detta provförsök framkom att lerprovet blev för tunt efter rekonsolidering för att ett fallkonförsök skulle kunna genomföras. Således modifierades metoden och distansringar, beskrivna i Kapitel 4, stycke 4.2.2 började användas för att erhålla en större provhöjd. Försöksprotokoll från provserie 1 redovisas i bilaga 2.1-2.2, se bilaga 1 för förklaring av protokollen.

Provserie 2-5:

I de följande 4 provserierna (30 celler) utvärderades distansringarnas funktion. Det kontrollerades även huruvida proverna initieellt skulle klara sin slutgiltiga belastning eller om stegvis upplastning skulle vara nödvändig. Efter provserie 5 beslutades att fullständig belastning kunde påföras från försöksstart.

Det uppmärksammades att en stor risk för störning av proverna uppkom vid fullständig demontering ifrån lastcellerna. På grund av detta genomfördes fallkonförsöken med lerprovet kvar i odometerringen från och med provserie 4. För resultat och försöksprotokoll från provserie 2-5 se bilaga 2.3-2.14 samt bilaga 1 för förklaring av dessa.

I provserierna användes värden för ostörd skjuvhållfasthet, sensitivitet samt vattenkvot från tidigare genomförda rutinundersökningar, beskrivna i Kapitel 3. I de följande försöksserierna har en ny rutinundersökning genomförts för att på så sätt erhålla så korrekt data som möjligt för den studerade leran.

Vid störning av leran omrördes varje lastcells lerprov var för sig. Detta medförde att hänsyn till naturliga variationer inom tuben, gällande vattenkvot, siltinnehåll, skjuvhållfasthet och sensitivitet, ej var möjlig. De olika lastcellernas egenskaper kunde i dessa försök skilja sig åt varpå en jämförelse mellan de olika laststegen i ett senare skede försvårades. I efterföljande försöksserier har hela lermängden blandats och omrörts till en homogen massa för att på så sätt erhålla ett enhetligt initialförhållande, se vidare stycke 4.3.1.

Provserie 6:

I den sista provserien kontrollerades metoden för rekonsolidering av delvis störda leror, närmare beskriven i stycke 4.2.3. För resultat och försöksprotokoll se bilaga 3.1-3.4 samt bilaga 1 för förklaring av dessa.

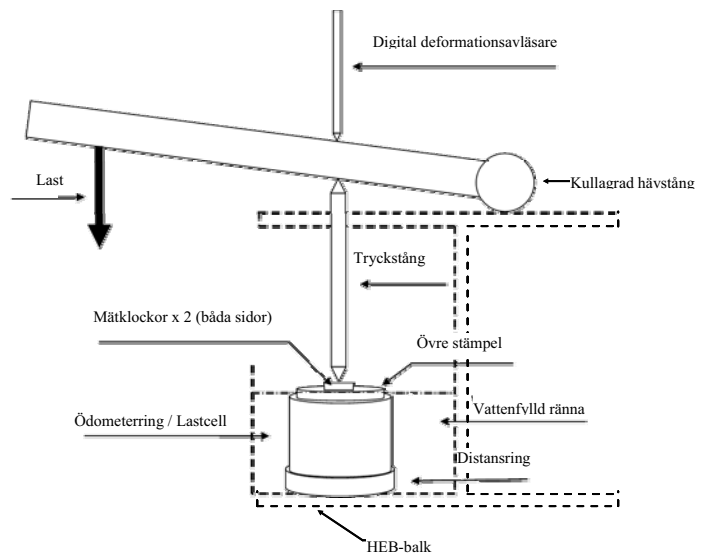
4.2 Utrustning

4.2.1 Ödometer

Utrustningen som har nyttjats är en stegvis ödometer framtagen av Bohusgeo AB. Den består av tio individuella lastceller placerade i en vattenfylld ränna, se Figur 4.1. I samband med denna studie modifierades utrustningen för att kunna belasta cellerna med så låga spänningar som 4 kPa. Vid standardanvändning är den minsta möjliga spänningen 10 kPa.

Digital avläsning av deformationsförloppet genomförs var femte minut under de två till tre dygn som försöken fortlöper. Regelbundna avläsningar görs även manuellt via mätklockor, detta främst i kontrollsyfte.

Utrustningen är placerad i Bohusgeo AB:s klimatrum i Uddevalla.

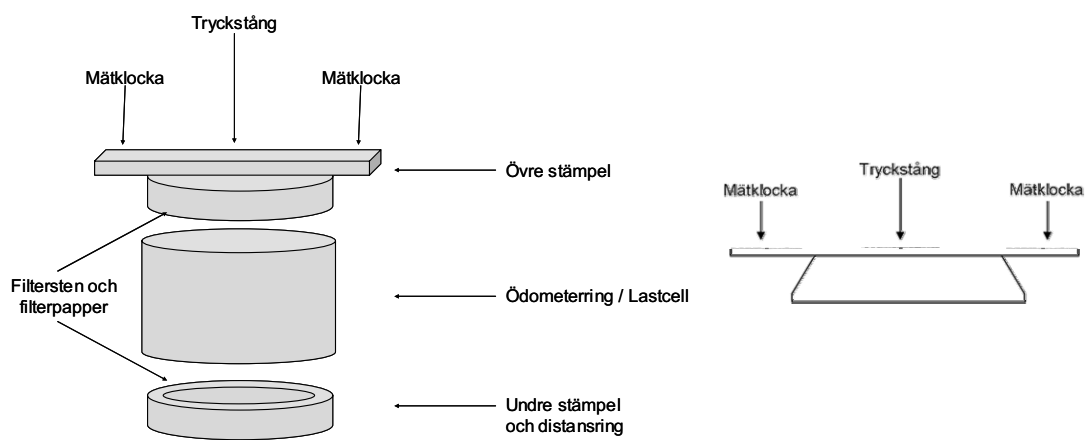


Figur 4.1: Stegvis ödometer på Bohusgeo AB, Uddevalla

4.2.2 Lastcell

Lastcellerna består utav en ödometerring av stål med en innerdiameter på 50 mm, en övre och en undre stämpel. Stämplarna består av en dränerad filtersten med ett hölje av stål. Dessa är injusterade och fasade för att kunna löpa utan någon större friktion inuti ödometerringen, se Figur 4.2. Fasningen av kanterna är även gjord för att tillåta en ojämn deformation (tilt) av lerprovet. Om lerprovet av någon anledning är stort i ena kanten kommer således provanordningen att tilta.

I centrum på den övre stämpele finns en försänkning där tryckstången, som påför lasten till lerprovet, placeras. På båda sidor om denna placeras mätlockor som ger möjlighet till manuell avläsning av deformationerna, detta främst för att kunna kontrollera huruvida provet tilar eller ej, samt som en säkerhetsåtgärd vid ett eventuellt längre strömavbrott (avbrutna digitala avläsningar). Huruvida proven har satt sig skevt eller ej är högst väsentligt vid bedömningen av provets tillförlitlighet. För en schematisk bild över lastcellen se Figur 4.2.



Figur 4.2: Schematisk bild över lastcell och förtydligande bild på den övre stämpele

När ödometerförsöken utförs på ostörd lera (standardanvändning), utförs dessa med flytande ring. Detta innebär att stora delar av såväl den övre som den undre stämpele är belägna "utanför" ödometerringen. När proven är kraftigt störda, som de är i den genomförda studien, så kan inte proven monteras med flytande ring. För att provhöjden inte skall bli allt för liten så har en extra distansring på 1 cm placerats under ödometerringen. Den undre stämpele innesluts av distansringen som ödometerringen i sin tur vilar på. På detta sätt har provhöjder om 2 - 2,5 cm kunnat erhållas.

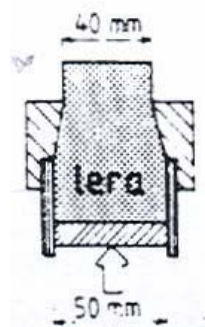
Mellan lerprovet och filterstenarna appliceras fuktiga filterpapper för att minska risken att lera tränger upp i filterstenarna och sätter igen dem. De appliceras fuktiga för att undvika uttorkning av lera i anslutning mot filterpappret.

4.2.3 Störningsapparat - delvis störning av lera

För att kunna generera en delvis störning utav lera har en specialtillverkad störningsanordning tagits fram. Anordningen har likheter med den Massarschs använder sig av vid störningsförsök på lera, se Kapitel 2, stycke 2.4.2, samt *Torstenssons (1977)* och *Tavenas et al (1983)* liknande försök, se Kapitel 2, stycke 2.4.3. Den använda anordningen är tillverkad av Aaro Pirhonen – Chalmers.

Massarsch genererade en störning utav leran genom att pressa den genom en perforerad platta samt påtvinga en minskning av provets diameter ifrån 50 till 30 mm, se Figur 2.2. Därefter genomfördes fallkonförsök.

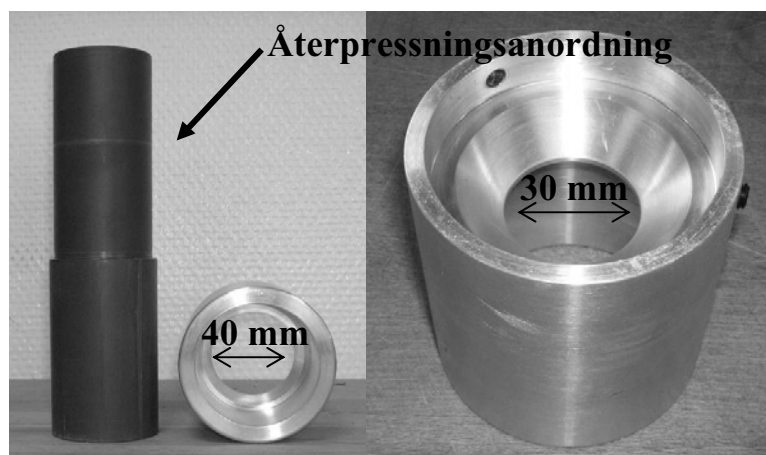
Torstenssons störningsmetod gick ut på att leran pressades genom en avsmalnande tratt, 50 mm till 40 mm, se Figur 4.3. Därefter rekonsoliderades leran för spänningar kring de förväntade in situ förhållandena vid provtagningsdjupet och skjuvhållfasthetstillväxten kontrollerades.



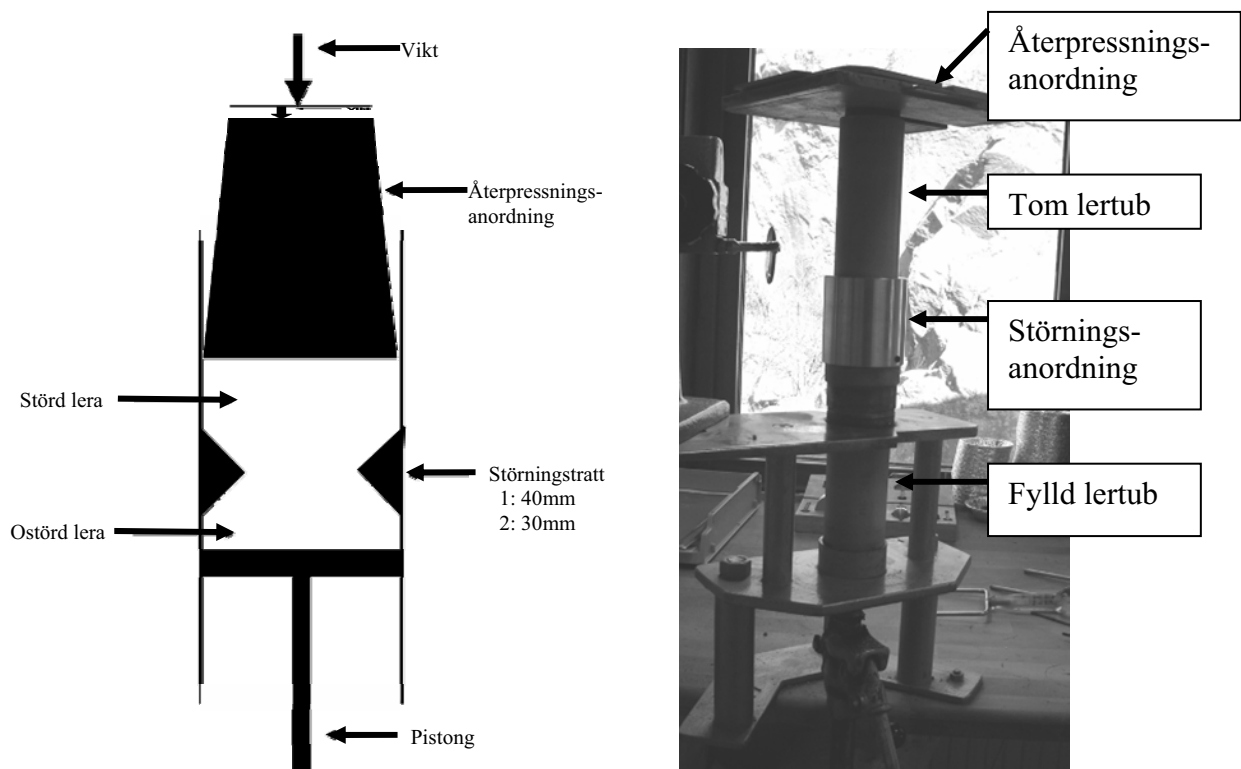
Figur 4.3: Torstenssons metod för delvis störning av lera.

Källa – Internrapport J&W, Tuveskredet.

Bedömningen har gjorts att Massarsch störningsmetod genererar alltför stora störningar för att kunna appliceras på de högsensitiva leror som främst behandlas i denna studie. En tratt liknande Torstenssons har konstruerats, med två olika diametrar, se Figur 4.4. Leran har tvingats, med hjälp av en domkraft, genom en infasning på 40 eller 30 mm. Därefter har leran pressats tillbaka av en mothållande vikt till en diameter av 50 mm. Som mothållande vikt används en återpressningsanordning lastad med 4 kg, se Figurerna 4.4 och 4.5 för en tydligare bild av anordningen.



Figur 4.4: Bild på återpressnings- och störningsanordning.



Figur 4.5: T.v. schematisk bild av den använda störningsanordningen
T.h. fotografi av anordningen

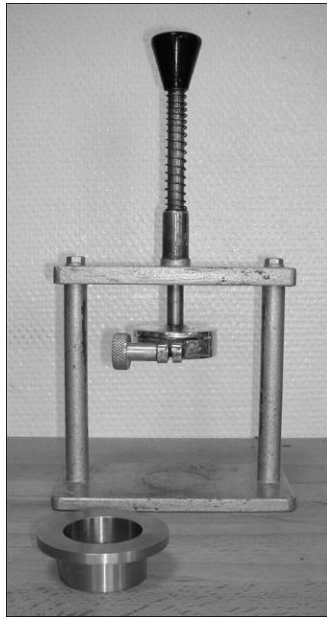
4.3 Utförande

4.3.1 Rekonsolideringsförsök på totalstörda leror

Arbetsgången vid totalstörda försök är följande:

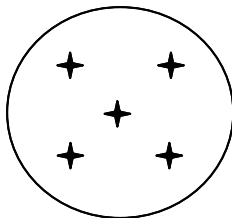
1. Genom mellan- och undertub genomförs var tredje centimeter ett fallkonförsök (5 st / tub, totalt 10 st) på den ostörda leran. Detta för att få en uppfattning om medelvärdet på den ostörda skjuvhållfastheten för försöksleran.
2. Samtlig lera (mellan- och undertub) omrörs sedan till en homogen totalstörd massa.
3. Fallkonförsök genomförs på den totalstörda massan för utvärdering av sensitivitet.
4. Prov tas för bestämning av vattenkvot på den totalstörda massan.
5. Lastcellerna med distansringen monterad fylls med lera och den övre stämpeln pressas jämnt mot provet med pressanordningen som visas i Figur 4.6. Detta för att pressa ut eventuella luftfickor.
6. Mätning av lerprovets höjd.
7. Montering av lastcellerna i ödometern och ansättning av belastning.
8. Proverna står under belastning i två till tre dygn.
9. Demontering av lastcellerna från ödometern.

10. Den övre stämpeln monteras av lastcellen och fallkonförsök genomförs, se Figur 4.7, samt vattenkvot bestäms på den rekonsoliderade leran.



Figur 4.6: Bild på pressapparat samt tolk.

Proverna står under belastning i två till tre dygn, men de huvudsakliga deformationerna erhålls redan under det första dygnet. Efter att ha varit belastade demonteras proverna och skjuvhållfastheten kontrolleras med hjälp av fallkonförsök, se Figur 4.7. Proven är fortfarande monterade i ödometerringarna under fallkonförsöket (endast den övre stämpeln är borttagen), detta för att generera en så liten störning som möjligt mellan provstationen och fallkonförsöket. Det har vid ytterligare demontering av lastcellen visat sig vara alltför lätt att störa leran.



Figur 4.7: Placering av kon vid fallkonförsök efter rekonsolidering.

4.3.2 Rekonsolideringsförsök på delvis störda leror

Den ostörda skjuvhållfastheten kontrolleras enligt standardförfarande initiiellt på lertuben, innan störningsapparaturen monteras.

1. Montering av lertub i provstativ (enligt standardförfarande).
2. Montering av störningsanordningen på provstativet.
3. Montering av tom tub på störningsanordningen, se Figur 4.5.
4. Pressning av leran genom störningsanordningen, tillse att återpressningsanordningen belastas tillräckligt för att återpressa leran till en diameter om 50 mm, se Figurerna 4.4 och 4.5.
5. Frigör den nyfyllda lertuben (med delvis störd lera).

6. Demontering av störningsanordningen och den tomma lertuben.
7. Montering av den nyfyllda lertuben i provstativet.
8. Pressa leran ur tuben och montera den i en lastcell med hjälp av tolk, se Figur 4.6, för att säkerställa en provhöjd om 20 mm.
9. Genomför fallkonförsök på lera ifrån varje lastcell för att erhålla initialförhållandet.
10. Den övre stämpeln pressas jämnt mot provet med pressanordningen som visas i Figur 4.6.
11. Följ rutinerna för totalstörda leror, stycke, 4.3.1, punkterna 7 - 10.

4.4 Felkällor

Den främsta identifierade felkällan är friktion mellan den övre stämpeln och ödometerringen vilket medför en minskad deformation och därigenom även en minskad skjuvhållfasthetstillväxt.

Den främsta felkällan torde vara när lera eller främst siltkorn fastnar på cellens väggar och därmed genererar en väsentligt ökad friktion mellan stämpeln och cellväggen. Vid de låga laster som påförs vissa av proven bedöms denna friktionsförlust vara nästan lika stor som den pålagda lasten.

4.4.1 Vid försöksladdning

Felet kan uppkomma när leran förs ner i lastcellen då siltkorn kan fastna i fettet och ej uppmärksammas av den som laddar cellen. Dock är risken störst när den övre stämpeln förs på plats. Det räcker att stämpeln förs ner lite snett så kan problemet uppstå.

Vid monteringen i ödometern uppkommer samma källa till fel igen. Proverna är så kraftigt störda att det endast med stor svårighet går att föra ner lastcellerna i den vattenfyllda rännan. Det uppkommer vid detta moment en stor risk för att någon av stämplarna tiltar och att det på så sätt fastnar siltkorn mellan cellvägg och stämpel.

4.4.2 Under försöket

Problemen med ökad friktion kan även uppkomma i samband med kompressionen av lerprovet, siltkorn kan under försökets gång pressas in mellan cellvägg och stämpel och därigenom störa deformationsförloppet.

4.4.3 Efter försöket

Efter rekonsolideringen så uppkommer källor till fel främst när den övre stämpeln skall monteras bort ifrån provet för att möjliggöra fallkonförsök. Leran kan då störas främst i gränserna emot cellväggen. Men i vissa fall kan provet i helhet störas vid isärmonteringen. Detta kan leda till försämrade värden på den slutliga skjuvhållfastheten som utvärderas från fallkonförsök på leran i lastcellen.

5 Resultat, rekonsolideringsförsök

Ett stort antal, 198 st, rekonsolideringsförsök har genomförts. 45 av dessa försök har genomförts i 6 provserier enbart för att ta fram en fungerande undersökningsmetodik, se Kapitel 4, stycke 4.1. Därefter har 144 försök genomförts på totalstörda leror och 9 på delvis störda leror.

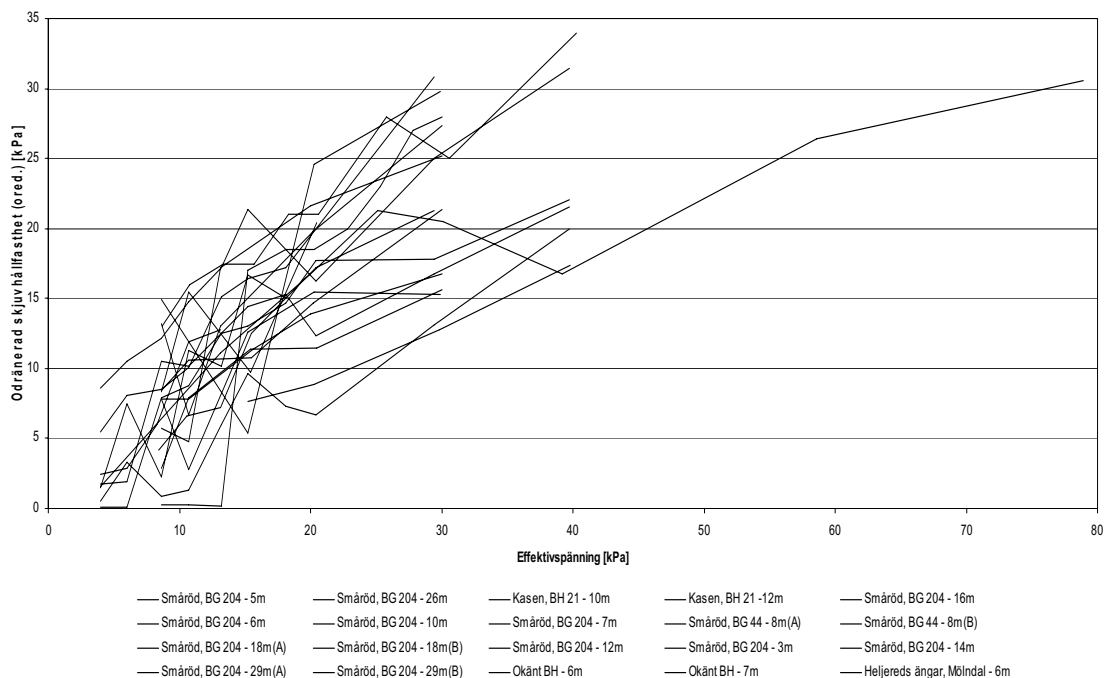
5.1 Totalstörda leror

Rekonsolideringsförsöken har genomförts i enlighet med beskrivningen i Kapitel 4, stycke 4.3.1. Som en följd av svårigheter beskrivna i Kapitel 4, stycke 4.4, har bortfallet av försök varit ca 20 %. Majoriteten av dessa återfinns vid låga effektivspänningar.

De uppenbart felaktiga försöken, även kallade bortfallet, kan relativt enkelt identifieras, främst med hjälp av tids-deformationskurvorna. Antingen avstannar deformationen i stort sett omedelbart eller så har deformationskurvan ett oregelbundet utseende. Exempel påvisas i bilaga 1.5.

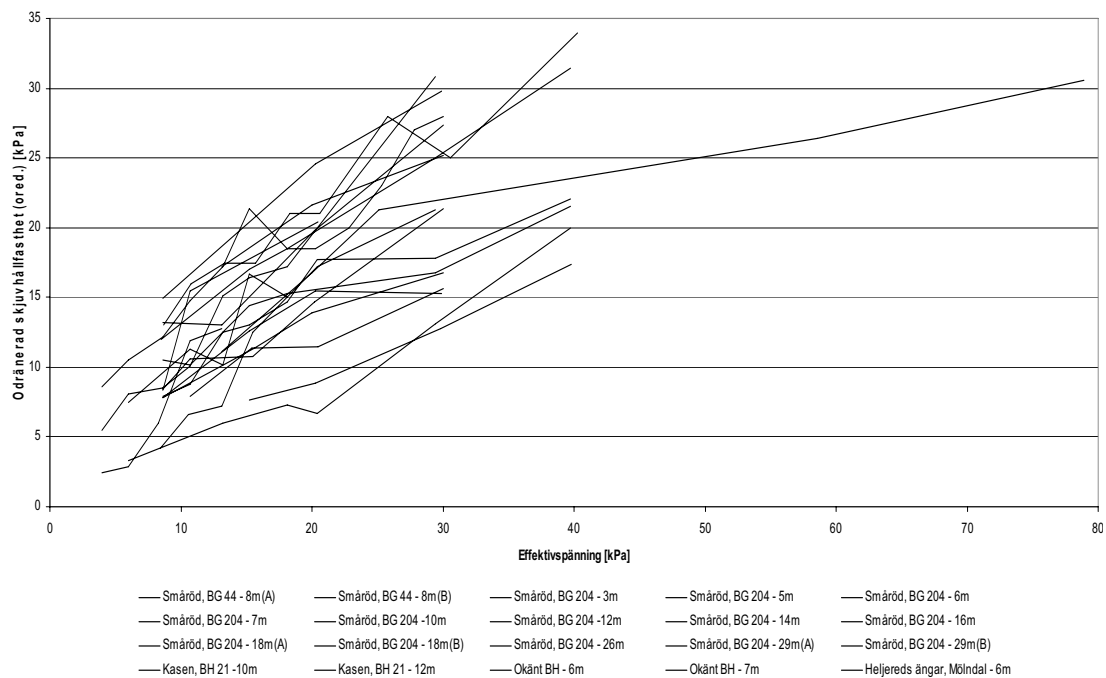
Vid behandling av bortfallet är det enskilda provceller som betraktas, således kommer inte hela försöksserier att bortses ifrån utan endast enskilda värden vilket ses vid jämförelse av bilagorna 1.3 och 1.4.

Tillväxten av skjuvhållfasthet kopplad till påförd effektivspänning hos samtliga genomförda försök (inklusive bortfallen) redovisas nedan i Figur 5.1.

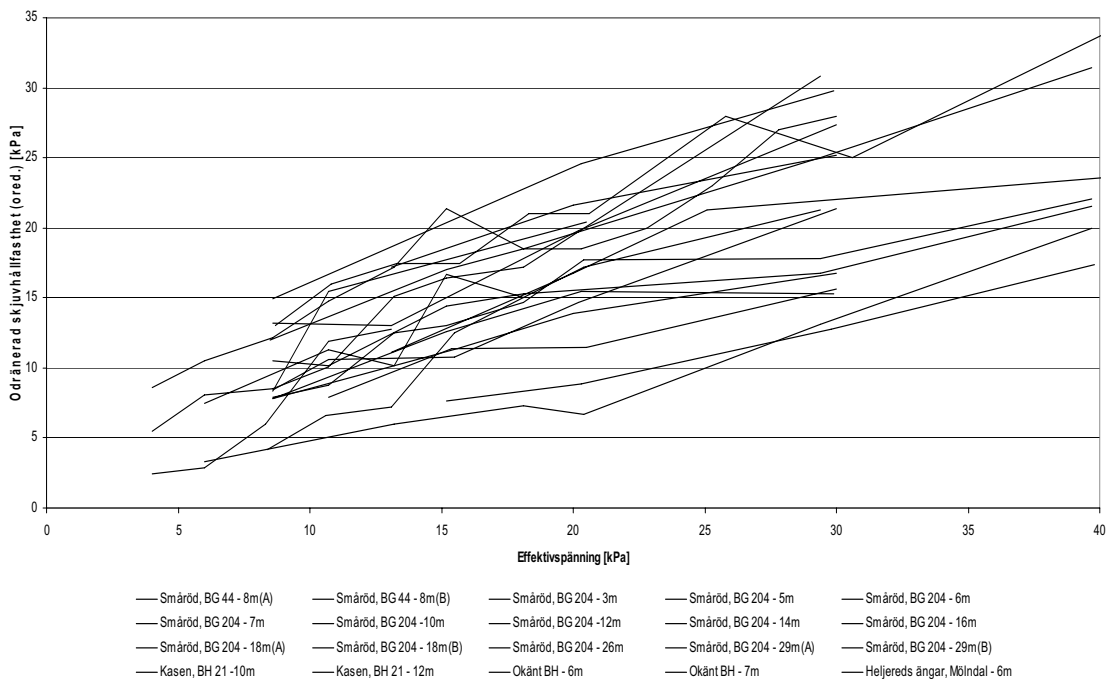


Figur 5.1: Samtliga genomförda rekonsolideringsförsök på totalstörda leror.

För en tydligare bild av resultaten har bortfallen tagits bort, se Figurerna 5.2 – 5.3. En del värden faller fortfarande tydligt utanför trenderna, men det går inte att påvisa någon uppenbar orsak till variationen.



Figur 5.2: Rekonsolideringsförsök på totalstörda leror, uppenbart felaktiga resultat är exkluderade.



Figur 5.3: Rekonsolideringsförsök på totalstörda leror inom det huvudsakligen undersökta spänningsintervallet 8 – 40 kPa, uppenbart felaktiga resultat är exkluderade.

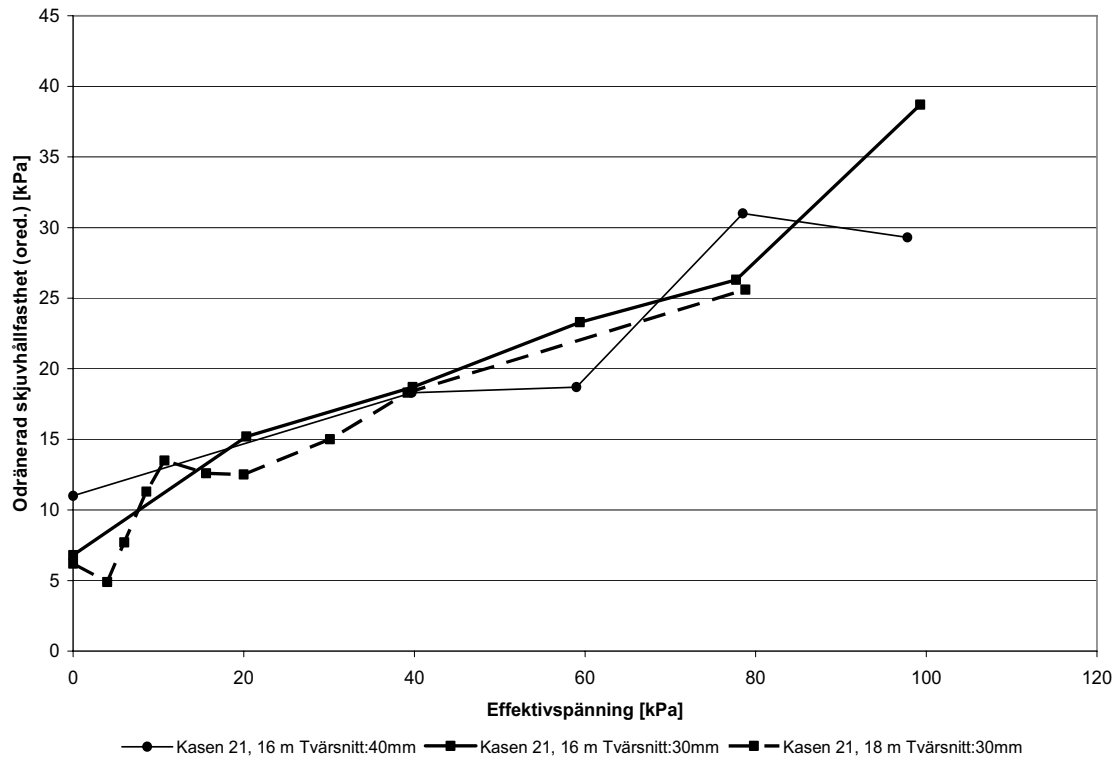
För kontroll av tillförlitligheten i försöken har tre försöksserier om totalt 29 provceller genomförts där samma effektivspänning har anbringats på två celler vardera. Detta genererar, för varje serie, upp till fem parvis jämförbara värden. Serierna visar på en god överensstämmelse vilket kan ses i bilagorna 4.43, 4.52 samt 4.57. I dessa jämförelser har bortfallet varit något större än vid den totala studien, nära 30 %. Den huvudsakliga förklaringen till bortfallet i dessa serier överensstämmer med de ovan nämnda.

För redovisning av samtliga försöksprotokoll, deformationskurvor och skjuvhållfasthetstillväxter se bilaga 4 samt förklaringar till dessa i bilaga 1.

5.2 Delvis störda leror

Följande rekonsolideringsförsök har genomförts i enlighet med beskrivningen i Kapitel 4, stycke 4.3.2. Totalt har 18 st försök genomförts varav 9 st gjordes i provserie 6, samtliga försök redovisas här ty ingen modifikation av metoden har krävts.

Tillväxten av skjuvhållfastheten kopplad till effektivspänningen redovisas nedan i Figur 5.4 samt i bilaga 5.



Figur 5.4: Samtliga genomförda rekonsolideringsförsök på delvis störda lera.

För redovisning av försöksprotokoll och skjuvhållfasthetstillväxter, se bilaga 3 samt förklaringar till dessa i bilaga 1.

6 Analys

Den genomförda analysen syftar till att belysa vilka parametrar som tenderar till att påverka tillväxten av skjuvhållfasthet vid rekonsolidering av lera. Även en matematisk relation mellan effektivspänningsökning och skjuvhållfasthetstillväxt eftersöks.

De i analysen berörda parametrarna är:

- Sensitivitet, S_t
- Provtagningsdjup, m / Förkonsolideringstryck, σ'_c
- Naturlig vattenkvot, w_n
- Konflytgräns, w_L

Försöken har grupperats efter de ovan nämnda parametrarna och därefter har likartade tendenser eftersökts.

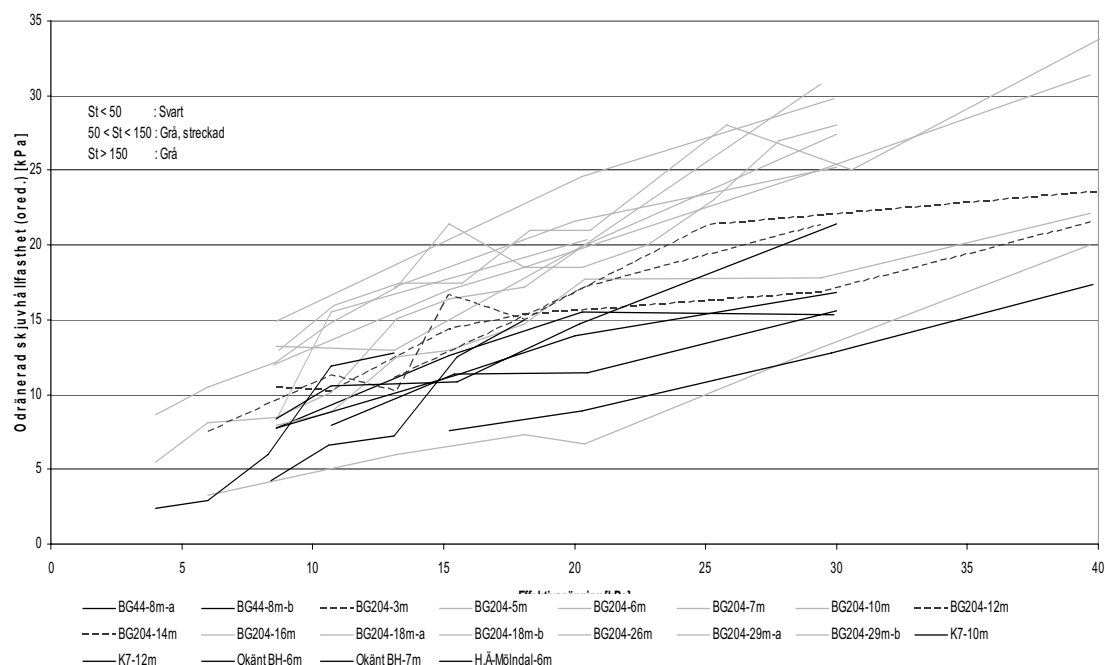
Något som tydligt har framgått under studiens gång är att fallkonförsök genomförda med 400 gramskonen i regel har genererat lägre värden på skjuvhållfastheten än vad 100 gramskonen har gjort. Detta tycks i enlighet med SGF:s laboratoriekommitté vara en brist som ligger i de standardiserade tabeller som används vid utvärderingen, *Erikson et al (2004)*⁴.

6.1 Skjuvhållfasthetstillväxt vid rekonsolidering av totalstörda leror

6.1.1 Sensitivitet

Vid gruppering efter sensitivitet, S_t , redovisad i Figur 6.1 framgår en tämligen tydlig trend där en högre sensitivitet tycks kunna kopplas till högre erhållen skjuvhållfasthet efter rekonsolidering.

⁴ SGF – Svenska Geotekniska Föreningen, 2007-08-23
<http://www.sgf.se>



Figur 6.1: Skjuvhållfasthetstillväxt grupperad efter sensitivitet, S_t .

Viktigt att belysa i detta skede är de tendenser som tyder på att en högre sensitivitet även medför ett ökat initieellt tillväxtsförlopp. De genomförda mätserierna sträcker sig i ett fåtal fall ner till effektivspänningar på 4 kPa men majoriteten av försöken sträcker sig från 8 kPa. I Tabell 6.1 redovisas en jämförelse av de erhållna skjuvhållfastheterna vid en anbringad effektivspänning om 8 kPa.

Tabell 6.1: Tendenser kring ökad initiell tillväxt (gradient) vid ökad sensitivitet, jämförelsen är gjord vid $\sigma' = 8$ kPa.

S_t	< 50	50 - 150	> 150
$\tau_{\text{rekons.}}$	3,7	7,0	3,9
	5,6	9,0	7,6
	5,9	10,6	7,7
	7,3	-	7,9
	7,5	-	8,4
	7,6	-	11,7
	-	-	12,0
	-	-	13,3
	-	-	14,0
	-	-	14,4
τ_m	6,3	8,9	10,1
k	0,8	1,1	1,3

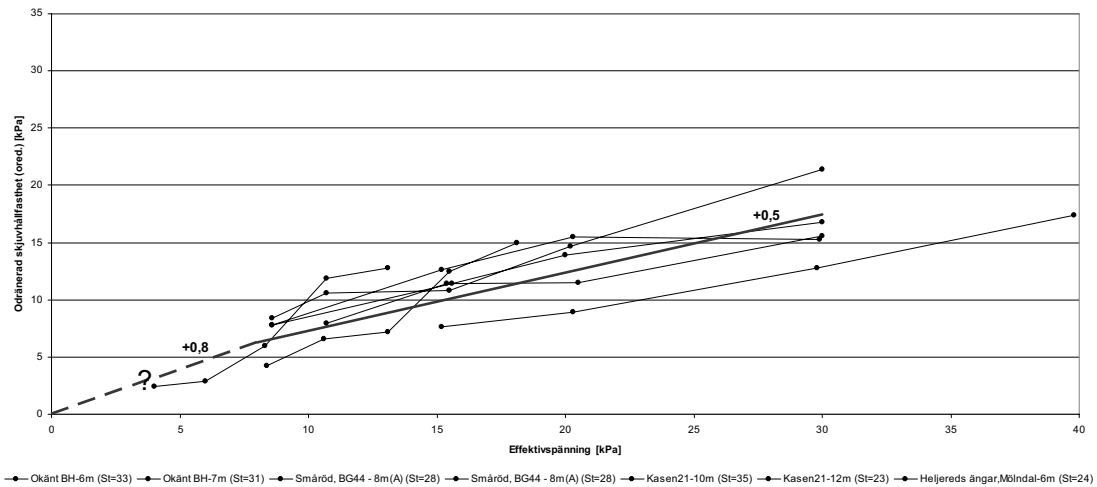
I den fortsatta analysen har grupperingarna som framgår i Figur 6.1 lyfts ut var för sig för att möjliggöra en djupare analys av tillväxttendenserna inom de olika grupperna, dessa redovisas i Figurerna 6.2 – 6.4 samt i bilaga 6. I figurerna redovisas det initiella tillväxtsförloppet som en streckad linje med ett frågetecken ty studien kan inte styrka hur detta förlopp ser ut.

Skjuvhållfasthetstillväxten i detta hänseende tenderar till följa sambandet:

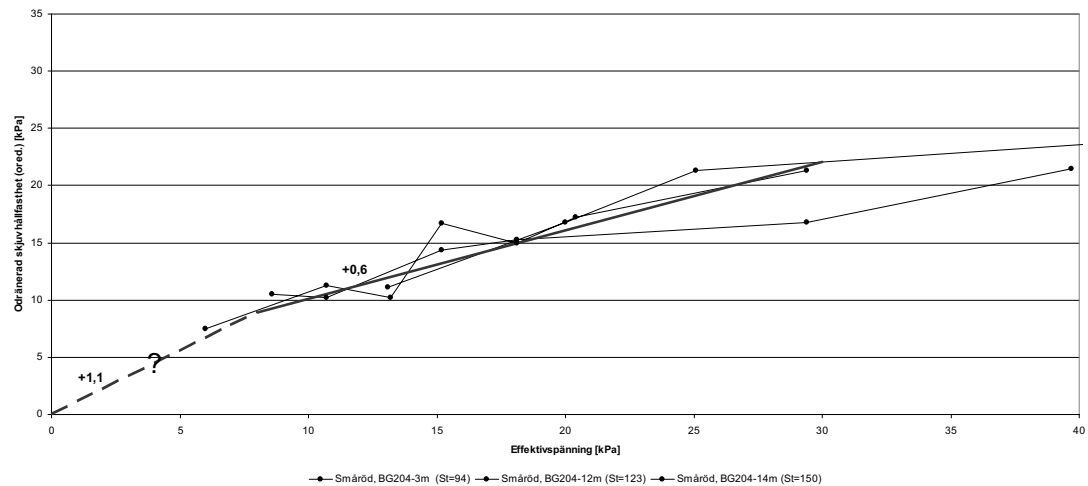
$$\tau \approx 2,3 + (0,5 \times \Delta\sigma') \quad 23 < S_t < 50; \text{ Inom spänningsintervallet } 8\text{-}30 \text{ kPa} \quad (6.1)$$

$$\tau \approx 4,1 + (0,6 \times \Delta\sigma') \quad 50 < S_t < 150; \text{ Inom spänningsintervallet } 8\text{-}30 \text{ kPa} \quad (6.2)$$

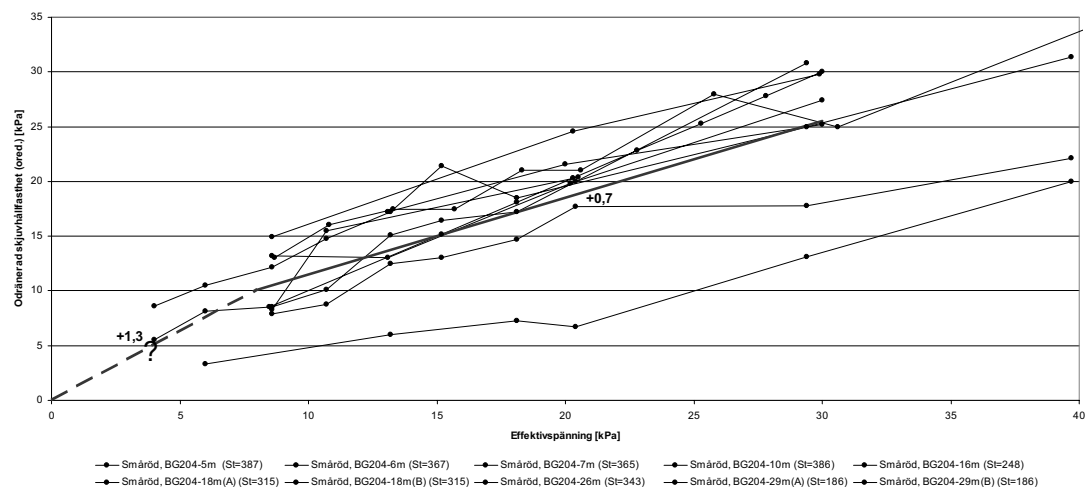
$$\tau \approx 4,5 + (0,7 \times \Delta\sigma') \quad 150 < S_t < 387; \text{ Inom spänningsintervallet } 8\text{-}30 \text{ kPa} \quad (6.3)$$



Figur 6.2: Tillväxtstrend vid $23 < S_t < 50$.

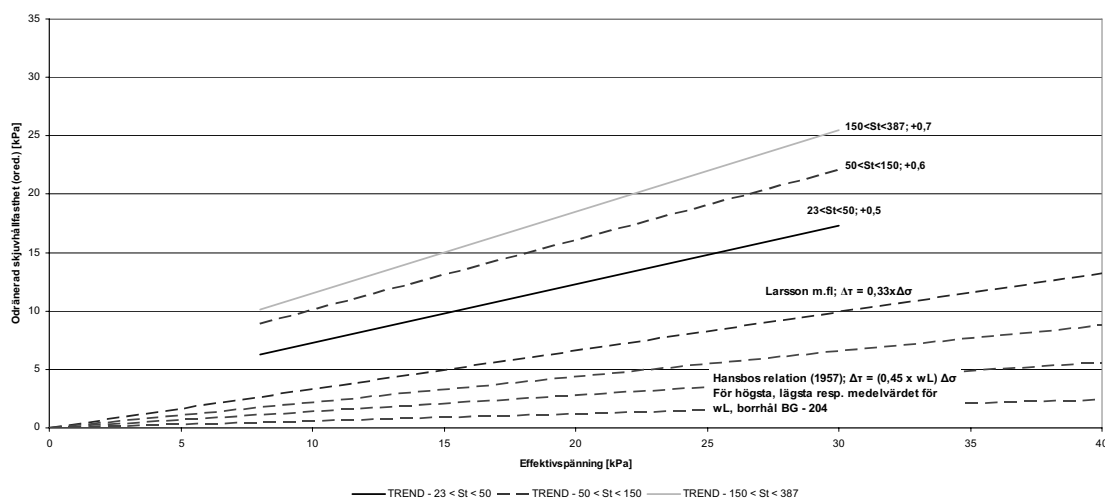


Figur 6.3: Tillväxtstrend vid $50 < S_t < 150$.



Figur 6.4: Tillväxtstrend vid $150 < S_t < 387$.

I Figur 6.5 redovisas tillväxttendenserna mer överskådligt för de olika grupperingarna i jämförelse med ekvationerna 2.9-2.11.



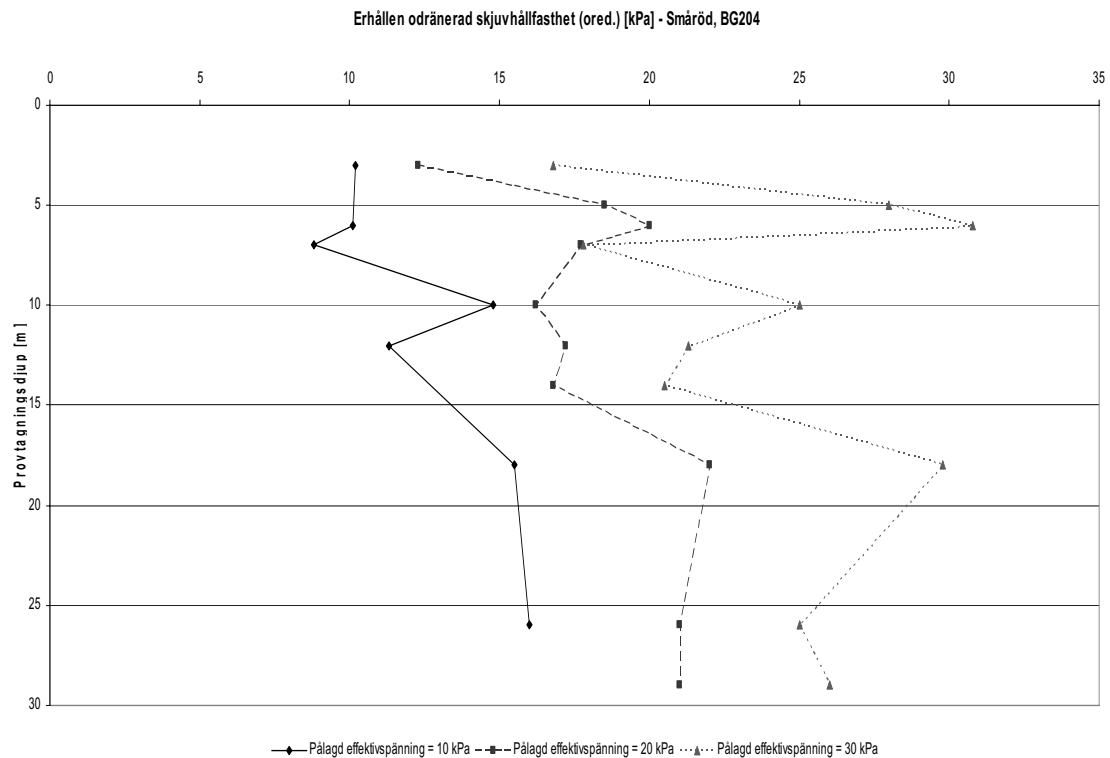
Figur 6.5: Skjuvhållfasthetstillväxttrender för rekonsoliderad lera och empiriska skjuvhållfasthetstillväxtsökningar för "jungfrulig" lera.

I denna analys kan tendenser till en avmattning av tillväxtförloppet skönjas kring effektivspänningar om 25-30 kPa. Under denna studie har dock bara en försöksserie lastats upp till spänningar över 40 kPa och där framgår tecken på att tillväxten avtar ytterligare.

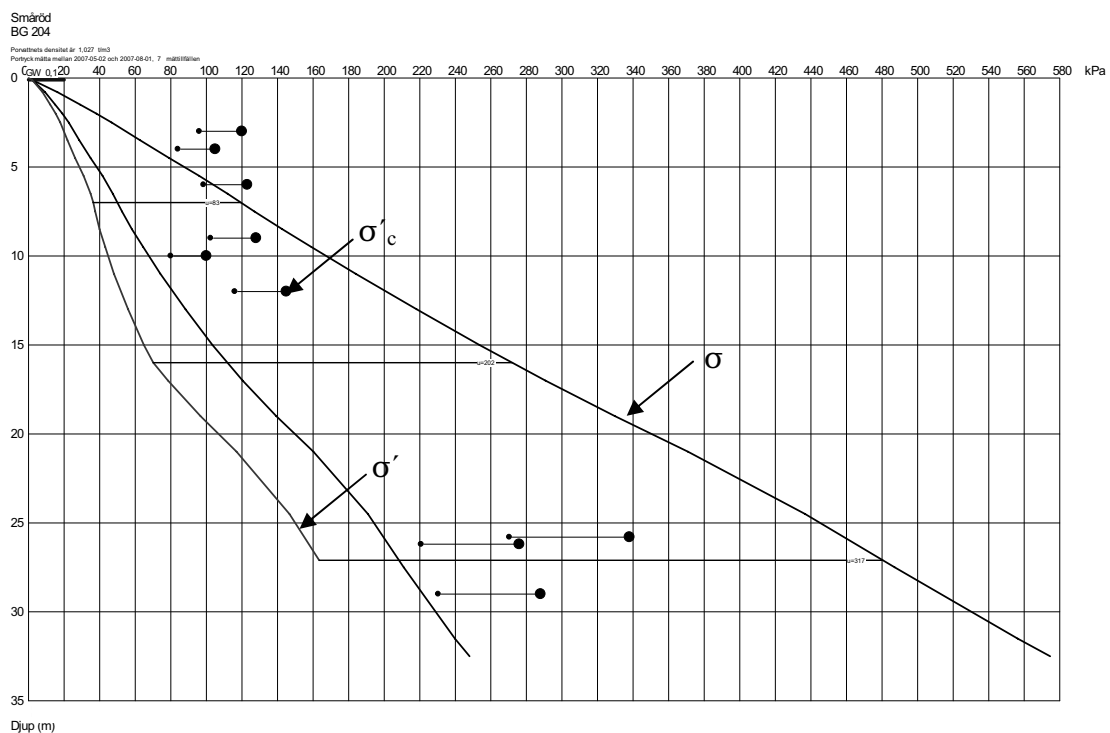
Försöket ifrån borrhål BG 204, 16 m (markant avvikande i Figur 6.4) faller väsentligt utanför trenden när det uppvisar en betydligt lägre skjuvhållfasthet än vad övriga försök tenderar till med motsvarande sensitivitet. Förklaringen till detta kan tänkas vara att provet utsatts för mindre deformationer som skulle kunna komma av friktion mellan ödometerring och den övre stämpeln med filtersten. Lerprovet innehöll en mängd siltskikt vilket kan ha lett till en större mängd silt i det omrörda provet än i studiens övriga försök, detta ökar svårigheterna betydligt vid försökshanteringen.

6.1.2 Provtagningsdjup / Förkonsolideringstryck

I Figur 6.6 redovisas erhållen skjuvhållfasthet efter rekonsolidering till 10, 20 respektive 30 kPa mot provtagningsdjup och även ett ökande förkonsolideringstryck, se konsolideringsdiagram i Figur 6.7. Analysen berör enbart lera ifrån Småröd, BG 204. Här framgår att tendenser finns till att ett ökat förkonsolideringstryck medför en viss ökad skjuvhållfasthetstillväxt.



Figur 6.6: Skjuvhållfasthetstillväxt i relation mot ökat provdjup samt förkonsolideringstryck i borrhål BG 204 för effektivspänningarna 10, 20 och 30 kPa.

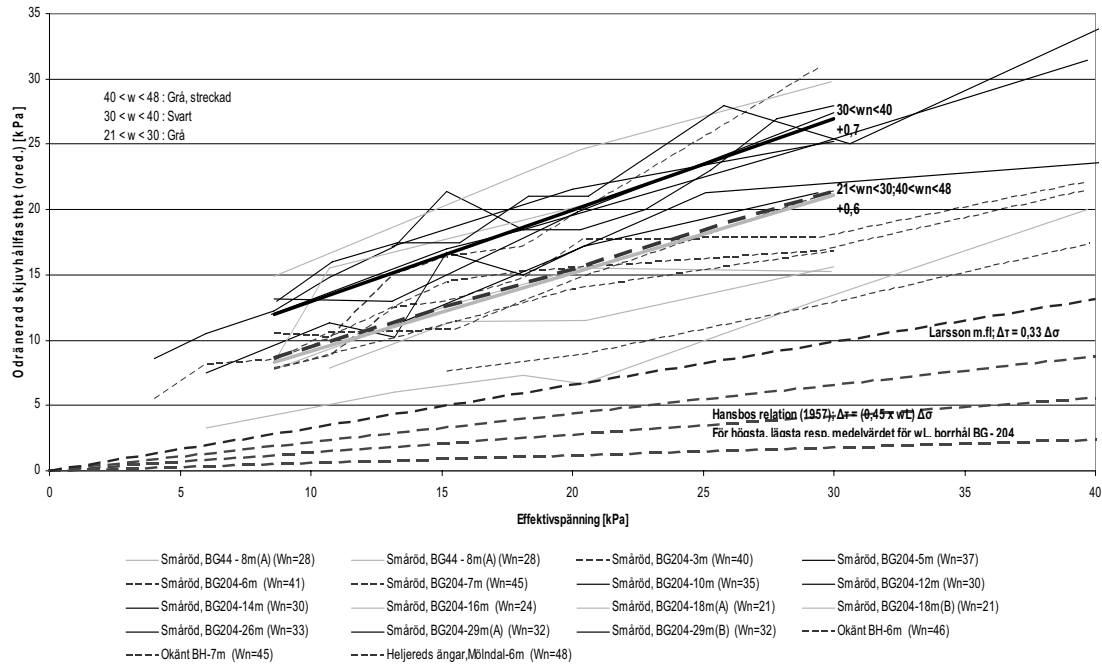


Figur 6.7: Konsolideringsdiagram ifrån Småröd, BG 204.

En tendens till högre värden än förväntat på skjuvhållfastheten efter rekonsolideringen har erhållits. Enligt utförda CRS-försök vid borrhål BG 204 pendlar överkonsolideringsgraden mellan 2 – 4, se Figur 6.7. De rekonsoliderade lerorna torde ha en överkonsolideringsgrad kring 1 när vi ser en skjuvhållfasthetstillväxt redan från låga spänningar, detta torde innebära att σ'_c är nära noll. Dessa iakttagelser kan jämföras med *Torstenssons (1973,1977)* närmare beskrivet i Kapitel 2, stycke 2.2.2.

6.1.3 Naturlig vattenkvot

Vid gruppering efter naturlig vattenkvot, w_n , vilket redovisas i Figur 6.8 samt bilaga 7.1 framgår inga tydliga tendenser till samband. Grupperingarna tenderar som synes till att vara spridda över ett brett spektrum.



Figur 6.8: Skjuvhållfasthetstillväxttrender för rekonsoliderad lera, grupperad efter naturlig vattenkvot, och empiriska skjuvhållfasthetstillväxtsökningar för "jungfrulig" lera.

Grupperingarna har dock lyfts ut var för sig för att möjliggöra en analys av tillväxttendenserna inom gruppen, för redovisning av dessa resultat se bilaga 7.

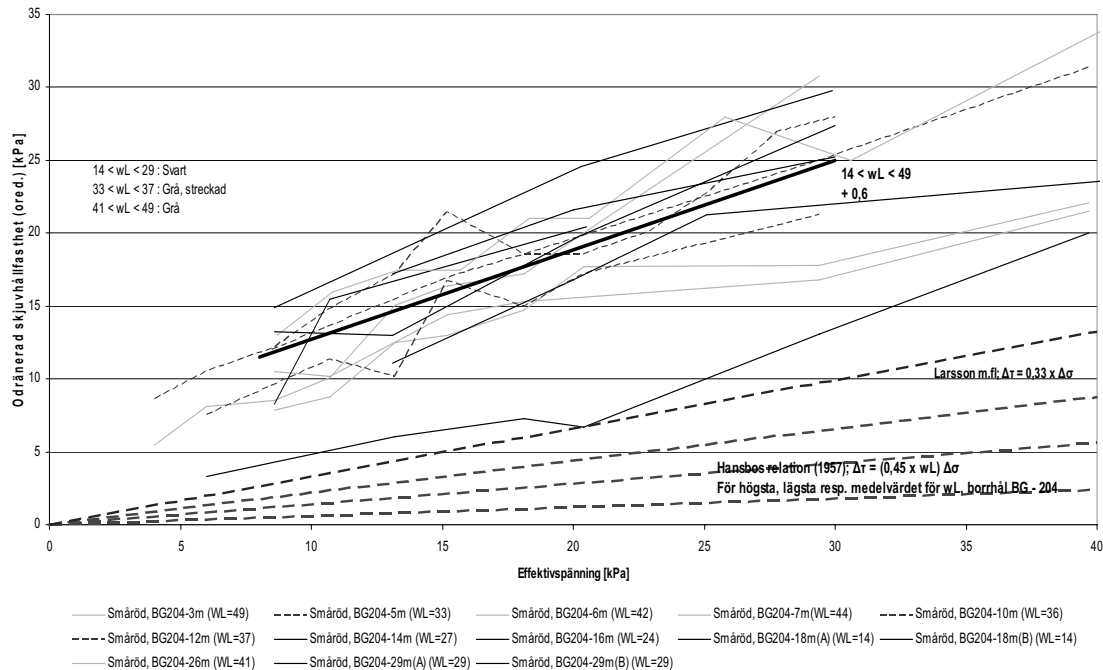
Skjuvhållfasthetstillväxten i detta hänseende tenderar till att inom spänningsintervallet 8 – 30 kPa vara:

$$\Delta\tau \approx 0,6 \times \Delta\sigma' \quad 21 < w_n < 30; 40 < w_n < 48$$

$$\Delta\tau \approx 0,7 \times \Delta\sigma' \quad 30 < w_n < 40$$

6.1.4 Konflytgräns

Vid gruppering efter konflytgräns, w_L , vilket redovisas i Figur 6.9 framgår inte heller några synbara tendenser till samband. Grupperingarna tenderar på samma sätt som ovan nämnda till att vara spridda över ett brett spektrum.



Figur 6.9: Skjuvhållfasthetstillväxttrender för rekonsoliderad lera, grupperad efter konflytgräns, och empiriska skjuvhållfasthetstillväxtsökningar för "jungfrulig" lera.

Grupperingarna har ändå lyfts ut var för sig för att möjliggöra en analys av tillväxttendenserna inom gruppen, för redovisning av dessa resultat se bilaga 8.

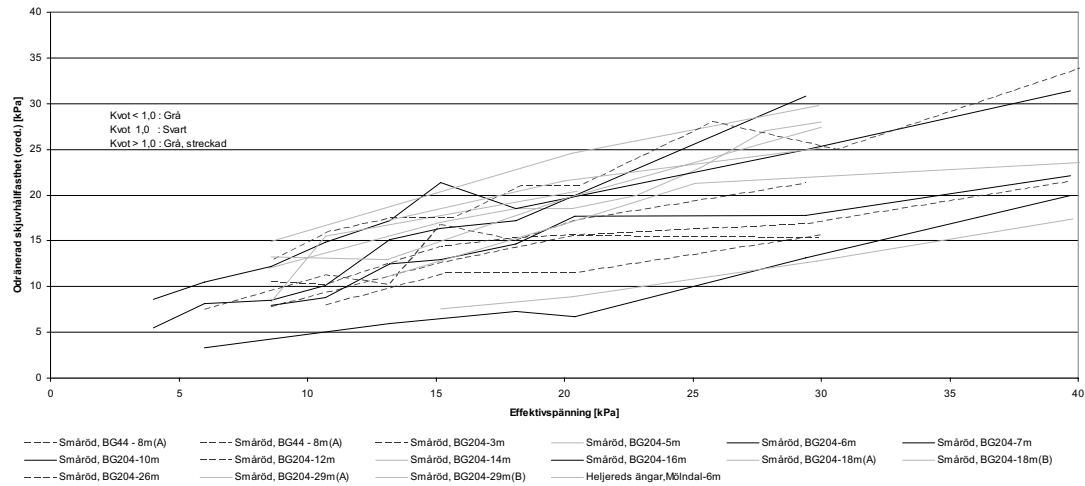
Skjuvhållfasthetstillväxten i detta hänseende tenderar till att inom spänningsintervallet 8 – 30 kPa vara:

$$\Delta\tau \approx 0,6 \times \Delta\sigma' \quad 14 < w_L < 49$$

Spridningen av värdena i denna grupp är tämligen stora men tillväxttendenen stämmer överens.

6.1.5 Förhållandet mellan vattenkvot och konflytgräns

Vid gruppering efter kvoten mellan den naturliga vattenkvoten och konflytgränsen, w_n/w_L (Quasi liquidity index, *Rankka et al*), vilket ger ett mått på skillnader i lerans uppbyggnad, framgår inte några tendenser till samband. Detta redovisas i Figur 6.10. Grupperingarna tenderar på samma sätt som ovan nämnda till att vara spridda över ett brett spektrum.



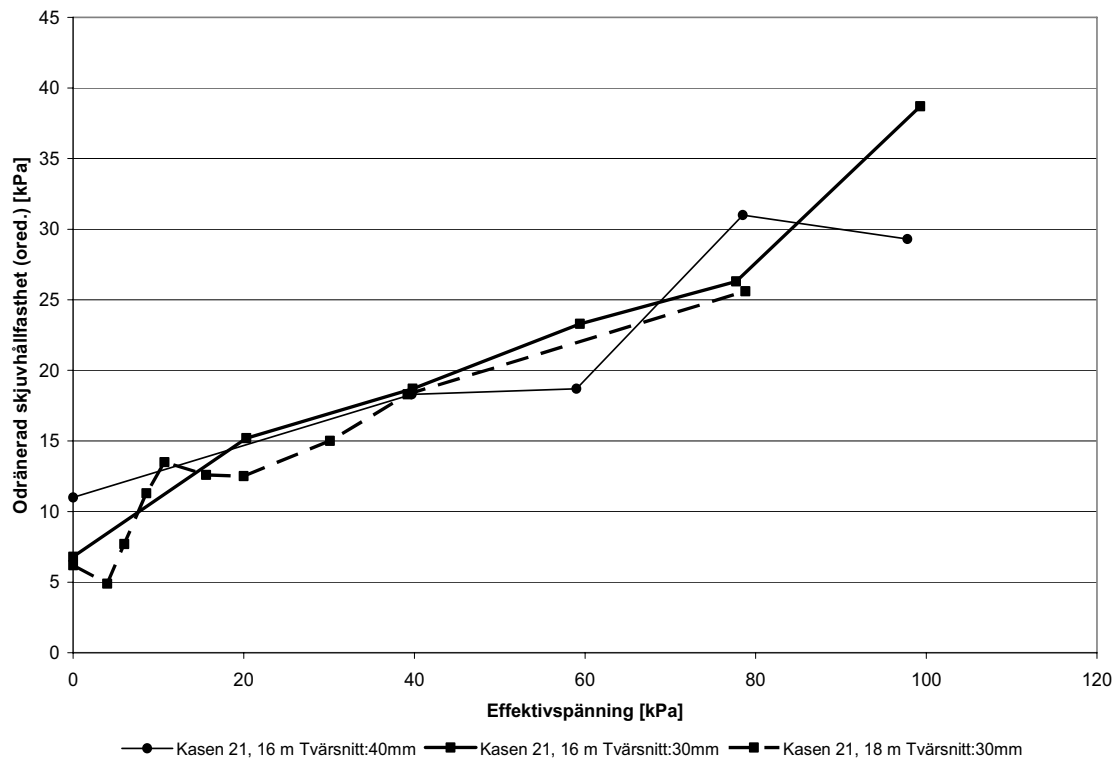
Figur 6.10: Skjuvhållfasthetstillväxt för rekonsoliderad lera grupperad efter kvoten, w_n / w_L .

Analyseras grupperna var för sig så erhålls ett liknande samband som för w_n tidigare. Grupperingen med kvoten 1,0 tenderar till att växa något kraftigare än de med en högre och lägre kvot, se bilaga 9.

6.2 Skjuvhållfasthetstillväxt, delvis störda leror

Det är bara två rekonsolideringsförsök (en provserie och en försöksserie om vardera 9 försök) genomförda med delvis störda leror och det underlaget är allt för litet för att några egentliga slutsatser skall kunna dras.

Försöken har ändå utvärderats var för sig och tendenserna kring skjuvhållfasthetstillväxten redovisas i Figur 6.11 samt bilaga 5. Tecken på att en ökad störningsgrad medför en ökad tillväxtstrend kan skönjas men ej vidimeras på grund av det ovan nämnda bristfälliga underlaget.



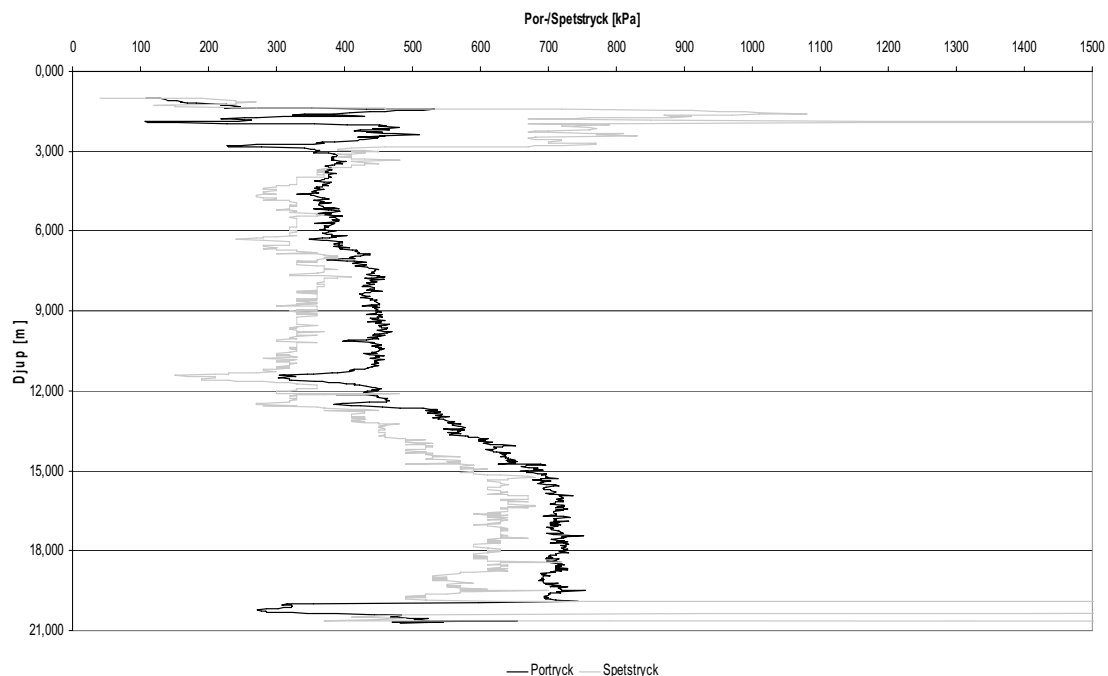
Figur 6.11: Skjuvhållfasthetstillväxt för delvis störda leror.

6.3 Effektivspänningsanalys

Olika beräkningsmodeller har använts för att om möjligt finna en teoretisk beräkningsmodell gällande ett konsolideringsförlopp som skall kunna fungera som ett prognosverktyg för den förväntade skjuvhållfasthetstillväxten i skredade zoner.

Utifrån beräkningsmodellen skall ett tidsförlopp med en förväntad portrycksutjämning kunna förutspås och i relation till hypoteserna kring skjuvhållfasthetstillväxten skall på så sätt en koppling mellan tillväxt och effektivspänning framgå.

Det område som analyserats är skredområdet i Småröd, och främst då borrhål BG 10 vilket är beläget i den direkta skjuvzonen. Utifrån genomförd CPT-sondering redovisad i Figur 6.12 bedöms glidzonen vid denna punkt ha en mäktighet om ungefär 1,4 m och befinnas på 11,2 till 12,6 meters djup. Leran över den störda zonen bedöms vara i stort sett ”ostörd”. Efter skredet har markytan vid BG 10 höjts ungefär 1 m, en följd av markförflyttningen under skredet. Detta bedöms generera ett porövertryck om cirka 10 kPa i det undre lerskiktet (under den skredade zonen).

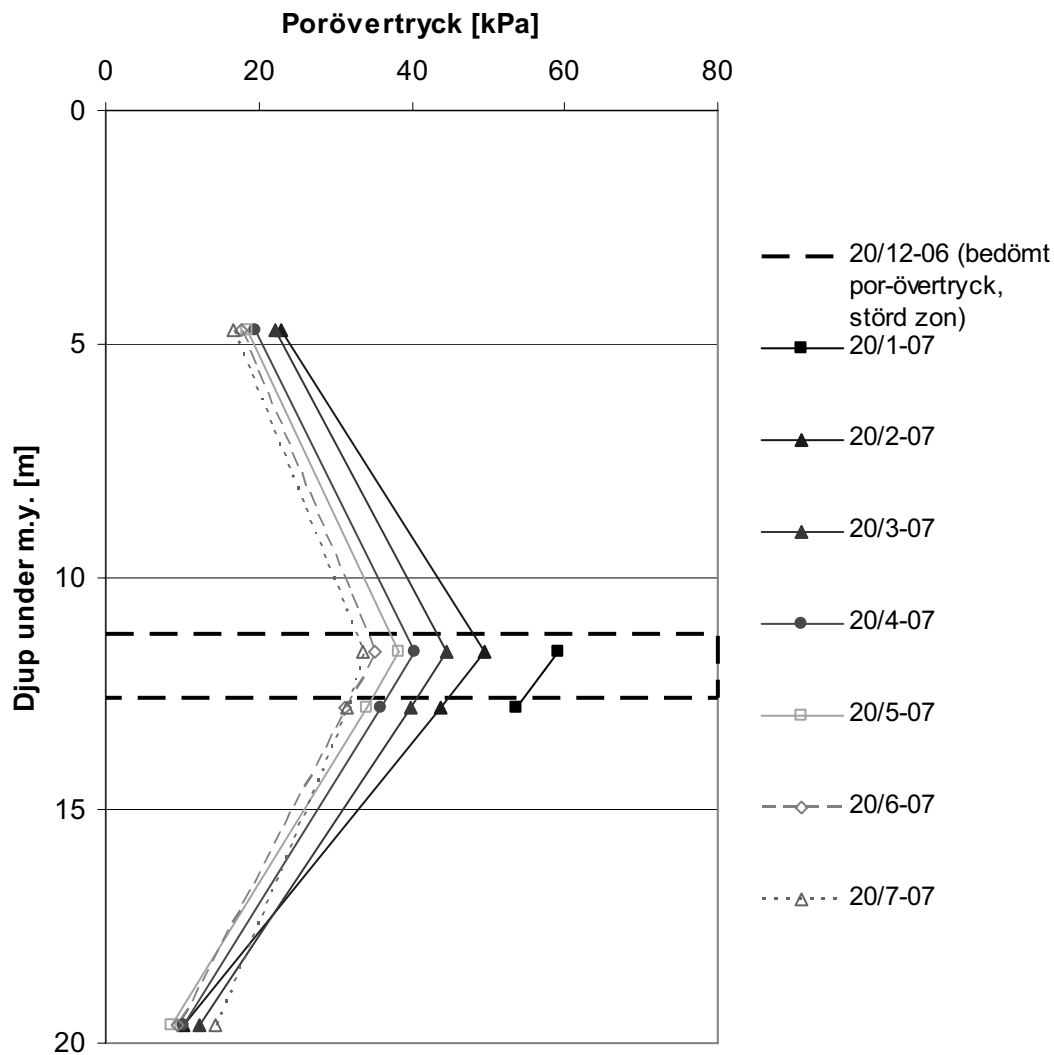


Figur 6.12: CPT-sondering utförd den 22 december 2006 (2 dagar efter skredet) i Småröd, BG 10.

6.3.1 Uppmätta portryck, BG 10

Efter skredet den 20 december 2006 placerades ett antal portrycksmätare ut i skredområdet med omnejd. Vid borrhåll BG 10 installerades fem stycken mätare. Fyra av Bohusgeo och en av SWECO. Bohusgeo placerade sina mätare på djupen: 4,7 - 11,6 - 12,8 - 19,6 m och SWECO en på 11,6 m.

De två mätarna vid 11,6 m överensstämmer mycket väl, vidare i rapporten används dessa värden som ett. Bohusgeos mätare på 11,6 m (bedöms sitta i skredzonen) och 12,8 m (bedöms sitta strax under skredzonen) installerades den 29 december 2006, nio dagar efter skredet. Mätarna visade vid årsskiftet på ett porövertäck om cirka 75 kPa vid 11,6 m djup. Precis efter skredet torde övertäckerna ha varit lika med, eller i närheten av den bedömt ursprungliga effektivspänningen, kring 80 kPa. En månad senare, 30 januari, installerades de två sista mätarna. Ur dem kan man utläsa att en utjämning har skett och att porövertäckerna som bildats avtar i hela jordlagerprofilen, se Figur 6.13.



Figur 6.13: Uppmätta poröverttryck över tiden i BG 10. Den störda zonen har bedömts med ledning av CPT-sonderingar genomförda den 22 december 2006.

Efter drygt 7 månader har poröverttrycken i eller omkring skredzonen således minskat med ungefär 45-50 kPa, se Bilaga 10 för porttrycksmätningar i Småröd, BG 10 efter skredet.

6.3.2 Analys av porttrycksutjämning

Försök att modellera porttrycksutjämningen i skredzonen samt de ovan- och underliggande lerlagren har inledningsvis gjorts med hjälp av Helenelundsmetoden. Metoden visade sig dock inte fungera på grund av de stora skillnaderna i främst moduler men även permeabiliteter som uppkommer i gränserna mellan "ostörd" och störd lera. Av samma anledning gick det inte heller att beräkna utjämningen med hjälp av finita differensmetoden.

Försök har även gjorts med att beräkna utjämningen med hjälp av reologiska modeller. Beräkningar har gjorts i två olika datorprogram hos Bohusgeo. Till analyserna har följande jordlagerparametrar utvärderats (från markytan):

- 11 m ”ostörd” lera i två skikt.
 - $k = 2 \times 10^{-9}$
 - 5 m lera, $M_L = 650$ kPa
 - 6 m lera, $M_L = 900$ kPa
- 1,5 m störd lera (glidzon).
 - Modulen ökande från 100 – 1000 kPa över aktuell portrycksutjämning
 - k mellan 5×10^{-8} och 5×10^{-9}
- 8 m ”ostörd” lera.
 - $k = 2 \times 10^{-9}$
 - $M_L = 1300$ kPa
 - $NC + 10$ kPa $\Rightarrow$ 10 kPa porövertryck

Den ”ostörda” leran är utvärderad utifrån CRS-försök genomförda i närområdet kring BG 10, den störda zonens modul är utvärderad utifrån de i studien genomförda rekonsolideringsförsöken.

Vid beräkningarna har ett endimensionellt konsolideringsförlopp med dubbelsidig dränering antagits.

För de ”ostörda” zonerna har under det initiella portrycksutjämningsskedet avlastningsmodulen ($40 - 80 \times M_L$) använts när portrycksökningen som sker i dessa zoner medför en minskad effektivspänning och därigenom en avlastning av leran. När portrycksökningen avstannar och utjämningen påbörjas så har beräkningarna fortsatt med modulen $3 - 10 \times M_L$.

I den störda zonen har initieellt modulen utvärderats till 100 kPa för att därefter succesivt öka mot 1000 kPa upp till effektivspänningsökningar/portryckssänkningar på cirka 40 kPa.

För att efterlikna den uppmätta portrycksutjämningen måste ”orimliga” värden på permeabiliteten användas och överensstämmelse över hela jordprofilen uppnås ändå inte. Detta visar att antagandet om att utjämningen kan beräknas som ett endimensionellt och dubbelsidigt dränerat problem är felaktigt.

Problemet med att beräkna portrycksutjämningen är mycket komplext och varje del av skredområdet är unikt. Strömningsförhållandena kan på vissa ställen vara 3-dimensionella och på andra 2-dimensionella. Att utvärdera dräneringsvägarna och dess placering i profilen samt att bedöma tjocklek och placering av den störda zonen är mycket svårt.

Under utjämningens gång kommer dessutom modulen förändras kraftigt i den störda zonen, även permeabiliteten kommer att förändras. Detta ökar naturligtvis komplexiteten i problemställningen vilket medför att beräkningar av detta slag är mycket svåra att få till att överensstämja med verkligheten.

Vår slutsats är att det sannolikt ej är meningsfullt att analytiskt försöka bestämma en förväntad portrycksutjämning i ett skredat område. Variationerna inom området är troligen mycket stora vilket leder till ett allt för komplext beräkningsförfarande med mycket stora felmarginaler. Genom portrycksmätning i ett flertal punkter inom området kan emellertid en uppfattning om portrycksutjämningen erhållas.

6.4 Förväntad skjuvhållfasthetstillväxt i fält

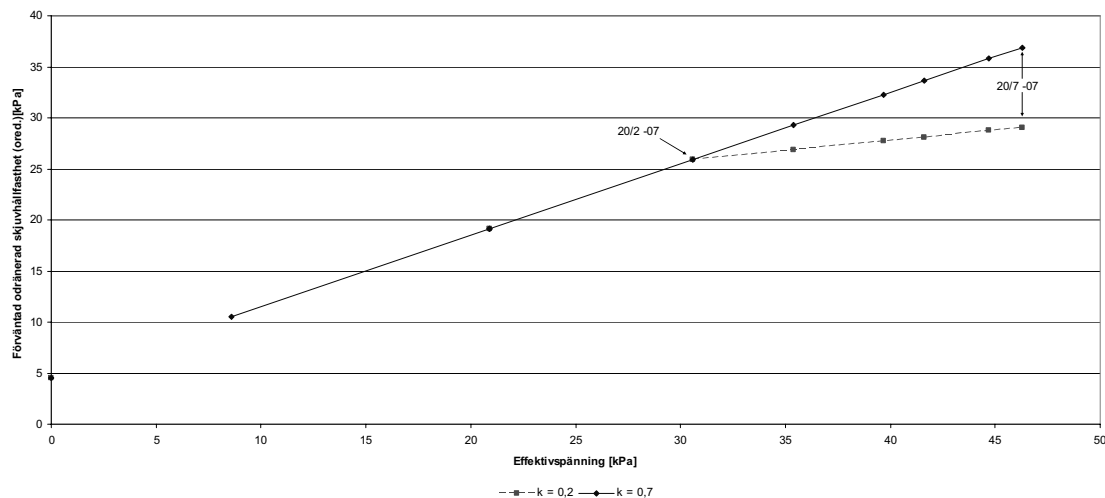
Den effektivspänningsökning som har uppmäts i BG 10 har gett upphov till en skjuvhållfasthetsökning i de skredade lermassorna. Skredzonen är belägen mellan cirka 11,2 och 12,6 meters djup i detta område. Sensitiviteten är enligt utförd rutinundersökning över 200 vilket enligt resultaten från denna studie skulle ge en skjuvhållfasthetsökning, enligt ekvation 6.3:

$$\tau = 4,5 + (0,7 \times \Delta\sigma') \quad \text{då } 8 < \Delta\sigma' < 30$$

Förhållandet ovan gäller inte för hela den effektivspänningsökning som har skett i BG 10. Redan den 20 februari 2007 var den erhållna effektivspänningsökningen, enligt uppmätta porttryck i skredzonen, 30,6 kPa och enligt förhållandet framtaget i denna studie torde den korrigerade skjuvhållfastheten då ha varit 25,9 kPa.

Om vi därefter antar att ökningsgradienten ligger mellan 0,2 (vedertagen tillväxtsgradient vid konsolidering) och 0,7 för effektivspänningsökningen över 30 kPa skulle den okorrigerade skjuvhållfastheten den 20 juli 2007 ha varit någonstans mellan 29,1 kPa (+0,2) och 36,9 kPa (+0,7). Den teoretiska skjuvhållfasthetsökningen med tiden mot den effektivspänningsökning som varit fram till den 20 juli redovisas i Figur 6.14.

Konflytgränsen är utifrån rutinundersökning från BG 10 bedömd till att vara kring 27 %. Detta leder till att den förväntade skjuvhållfastheten (korrigerad) torde ligga mellan 35,9 kPa (+0,2) och 45,5 kPa (+0,7).



Figur 6.14: Skjuvhållfasthetsökning över tiden efter uppmätt porttrycksutjämning och därigenom erhållen effektivspänningsökning i borrhål, BG 10, Småröd.

6.4.1 Validering i fält

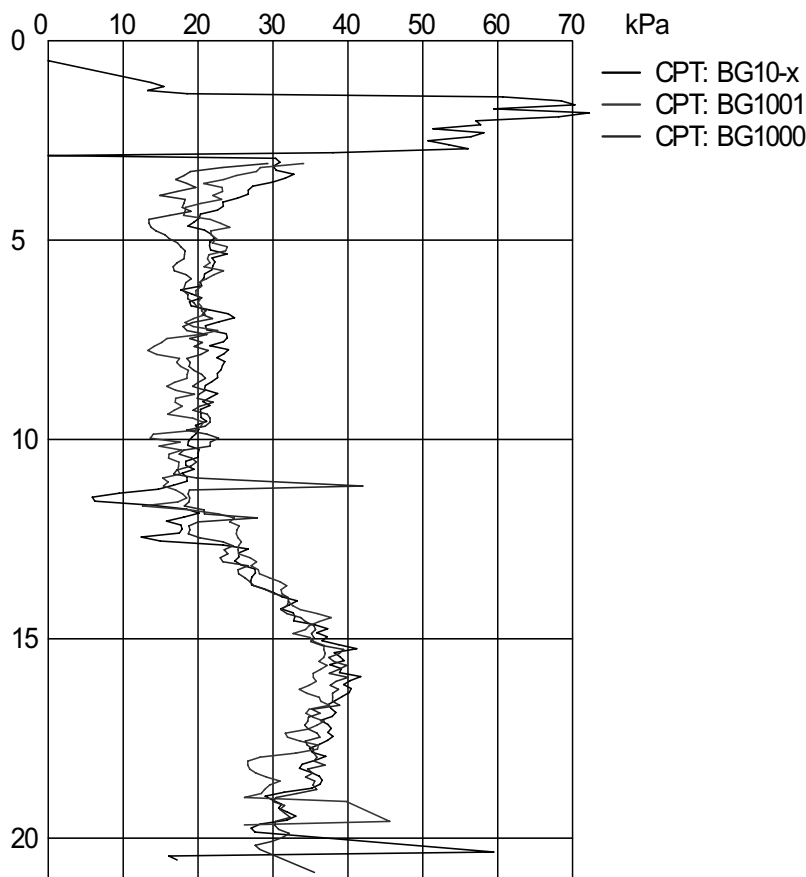
Under början av augusti har tre sonderingar genomförts i direkt närhet till borrhålet BG 10. Två CPT-sonderingar (BG 1000 samt BG 1001) samt en vingsonering (BG 1002) har gjorts i försök till att validera de i studien framtagna teorierna.

CPT-sondering, BG 1000:

Sonderingen visar på korrigerade skjuvhållfastheter genom den skredade zonen som ligger kring 22 kPa vilket är betydligt lägre än förväntat, se Figur 6.15. Detta är enbart drygt 60 % av den som lägst förväntade skjuvhållfastheten.

CPT-sondering, BG 1001:

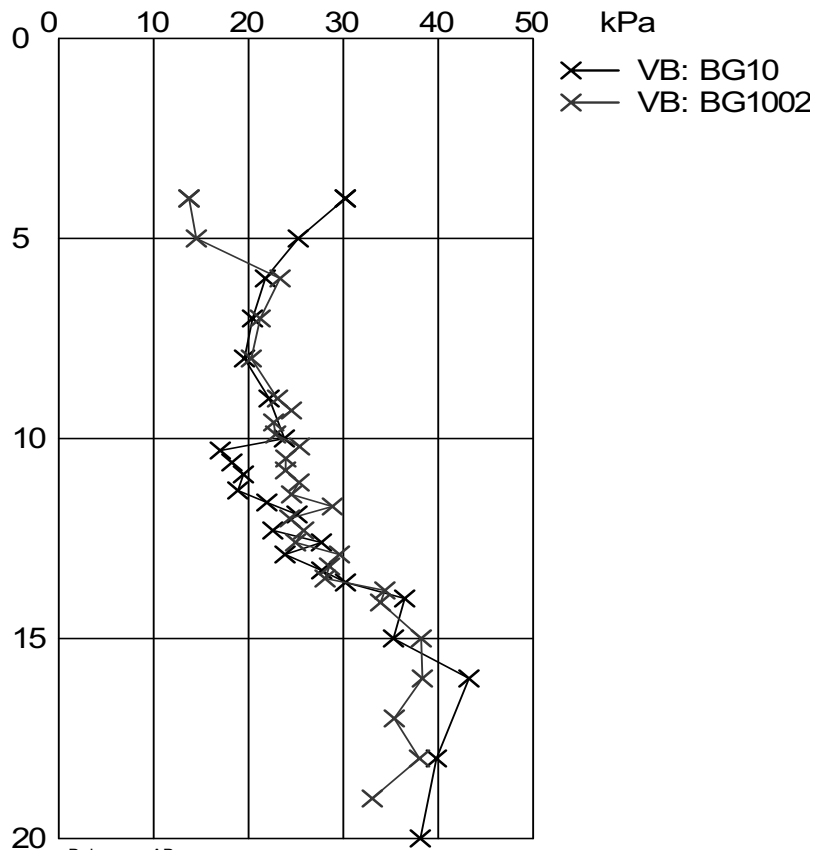
Denna sondering visar på så låga skjuvhållfastheter som 17 kPa genom den övre delen av den bedömda skredzonen och närmare 26 kPa genom den undre delen, se Figur 6.15. I medeltal är det således en god överensstämmelse mellan de två CPT-sonderingarna och de visar båda på betydligt lägre skjuvhållfastheter än vad man utifrån denna studie kan förvänta sig.



Figur 6.15: Utvärderade skjuvhållfasthetsvärden från CPT-sonderingar kring BG 10, utförda under augusti 2007.

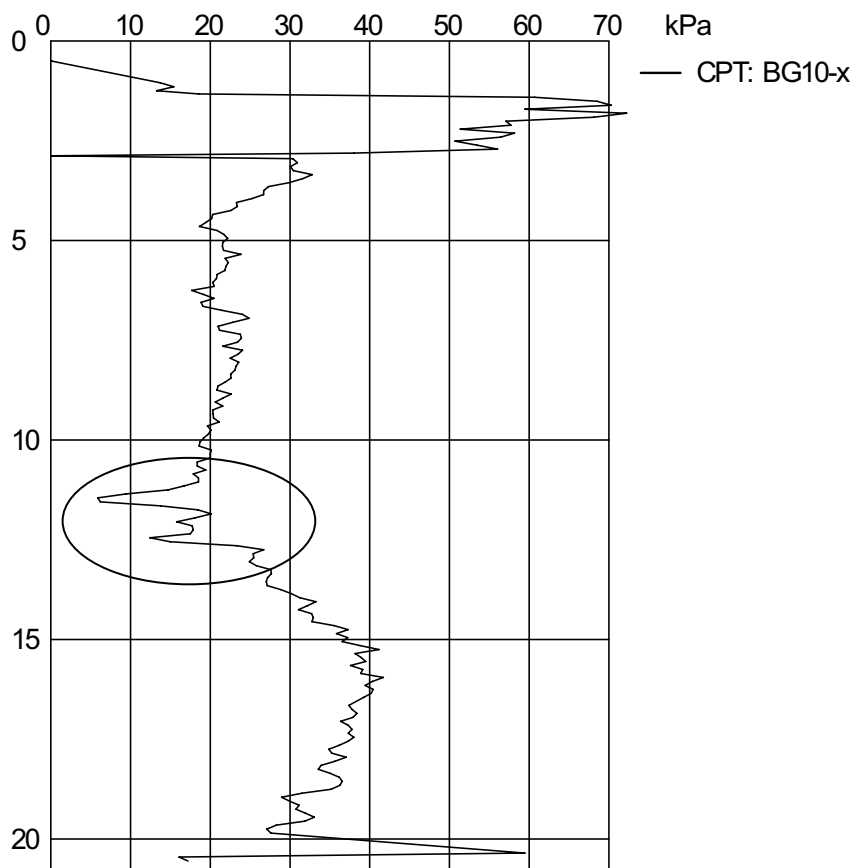
Vingsondering, BG 1002:

Vingsonderingen är kring skredzonen utförd var 20:e cm för att öka sannolikheten att träffa denna. Den visar på korrigerade skjuvhållfastheter kring 27 kPa vid djupen 11,2 till 12,6 meter, enstaka värden på närmare 30 kPa påträffas, se Figur 6.16. Den uppmätta skjuvhållfastheten är således i medel 75 % av den som lägst förväntade.



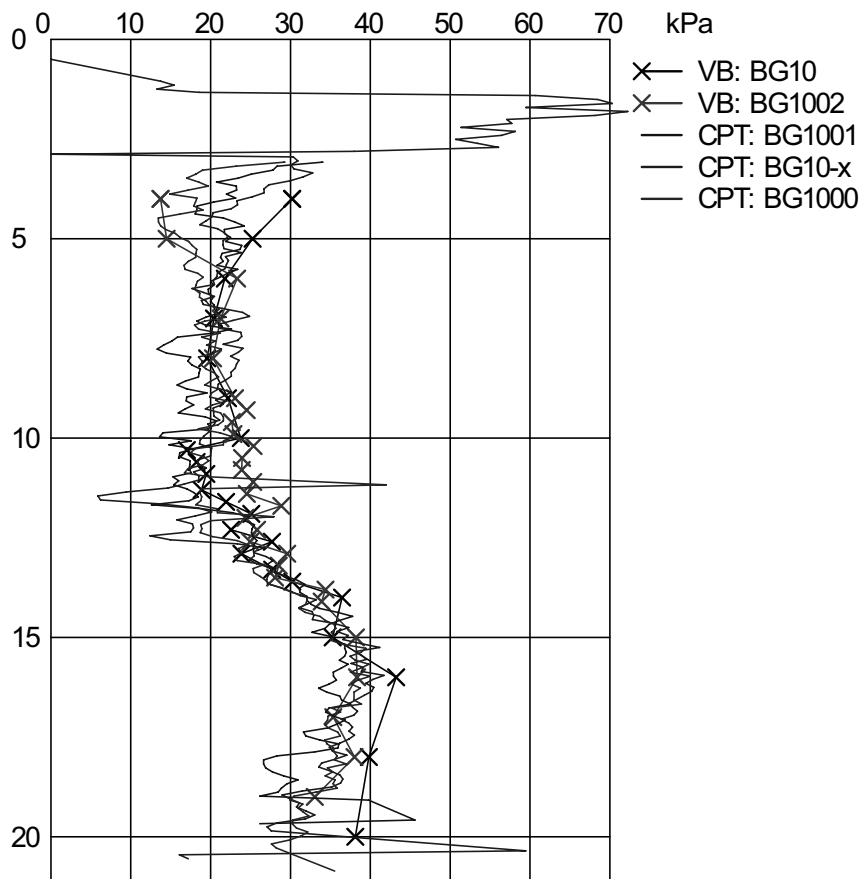
Figur 6.16: Utvärderade skjuvhållfasthetsvärden från vingsondering i anslutning till BG 10, utförda under augusti 2007.

Vid en närmare studie av den tidiga CPT-sonderingen i BG 10 tycks den skredade zonen bestå av mer eller mindre störda områden, den tycks vara mer störd i över- samt underkant är vad den är i mittenskiktet. I Figur 6.17 visar den "ursprungliga" CPT-sonderingen ifrån BG 10 på två skikt med sänkt skjuvhållfasthet samt ett mellanliggande skikt som inte är lika stört.



Figur 6.17: Utvärderade skjuvhållfasthetsvärden ifrån CPT-sondering i BG 10.

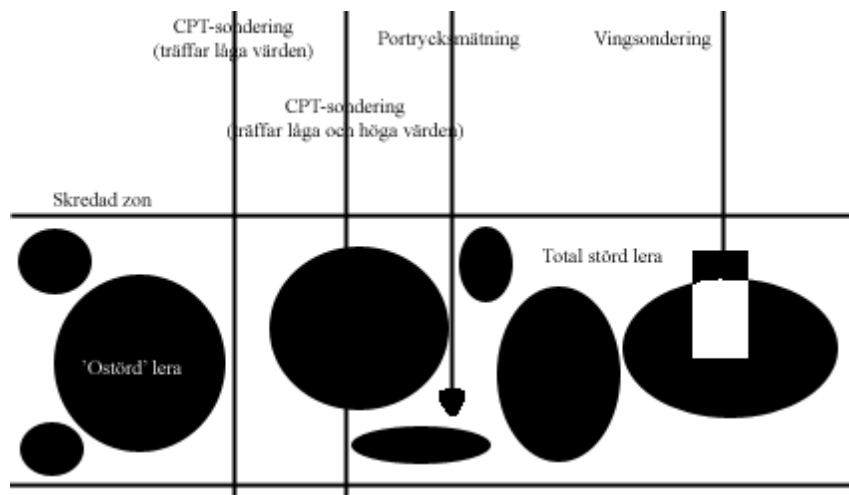
Som framgår tydligt av Figur 6.18 så visar vingsonderingen både i direkt anslutning till skredet och vid senare sondering på betydligt högre värden än CPT-sonderingarna, detta tyder på att sonderingen missar de mest störda zonerna. För kontroll av de störda zonernas skjuvhållfasthet kan således vingsonderingens värde ifrågasättas.



Figur 6.18: Utvärderade skjuvhållfasthetsvärden ifrån sonderingar i och i anslutning till BG 10. Sonderingarna benämnda BG 10 är utförda i anslutning till skredet och de övriga under augusti 2007.

Vid granskning av rådatan (spets- samt porttryck) från CPT-sonderingarna (varje 2,5 cm) uppmärksammas inga tecken på att enskilda mätvärden är högre än vad som påvisats här ovan. Det framgår dock tydligt i Figur 6.15 att det har erhållits en väsentligt ökad skjuvhållfasthet i de mer störda delarna av skredzonen, tillväxten är dock långt ifrån den enligt studien förväntade.

En tänkbar förklaring till skillnaderna i de uppmätta skjuvhållfastheterna och de från studien förväntade torde vara att antagandet om att skredzonen är helt störd är felaktigt. Det ter sig troligt att den skredade zonen är delvis störd. Den kan tänkas innehålla mer eller mindre "ostörda klumpar" som omsluts av totalt störda lermassor. I Figur 6.19 ges en schematisk bild över en tänkbar förklaring till varför CPT-sonderingarna och porttrycksmätarna ger en sådan tydlig indikation på en kraftigt störd lera i skredzonen medan vingsonderingen mer eller mindre helt missar detta.



Figur 6.19: Tänkbar förklaring till skillnader i laboratorie- och fältmätningar.

7 Rapiditetsförsök

Upplägget i detta kapitel skiljer sig från de tidigare. Försöksserierna är mindre omfattande och därför redovisas resultat och utvärdering i direkt anslutning till försöksbeskrivningarna.

Fem olika metoder har tagits fram och utvärderats. Metoderna har utvärderats med hänsyn till objektivitet och möjlighet till utvärdering av en leras rapiditet.

De olika metoder som idag finns för att kontrollera en leras rapiditet är inte tillfredställande vilket nämnts i Kapitel 2, stycke 2.4. I denna studie har olika metoder undersökts för att få fram en fungerande undersökningsmetod som skall vara lätt att utföra. Ett av huvudmålen i studien har varit att, om möjligt, undersökningen skall kunna utföras med vanlig standardutrustning i ett geotekniskt laboratorium och ingå i en framtida rutinundersökning.

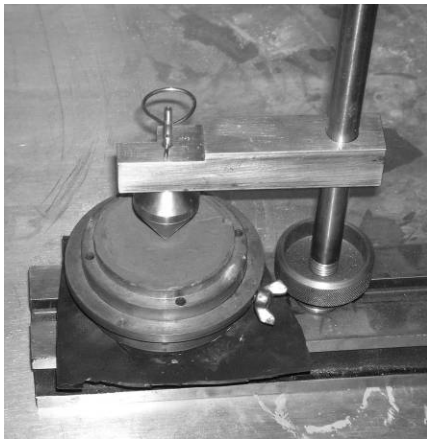
Inför varje försök görs en okulär bedömning av lerans rapiditet. På samma sätt som vid kontroll av den störda skjuvhållfastheten vid en rutinundersökning, tas ett mindre lerprov och rörs om. Under tiden görs en subjektiv bedömning kring hur rapid (lätt- / svårstörd) leran är.

7.1 Multipelt fallkonförsök

Detta försök syftar till att generera en störning utav leran genom en jämförbar och mätbar deformation av lerprovet.

7.1.1 Utrustning

Vid denna försöksmetod har en specialbyggd fallkonutrustning, se Figur 7.1, konstruerad av Aaro Pirhonen – CTH, använts. Den används på samma sätt som standardutrustningen, men har en sprint i ”konstången”. Detta ger möjlighet att släppa konen ett flertal gånger i samma punkt och från exakt samma höjd. Konen som använts är en 60 grams standardkon med vinkeln 60°.



Figur 7.1: Specialbyggd fallkonutrustning

7.1.2 Utförande

Leran monteras i en ödometerring.

1. Konen släpps 15 gånger i tät följd från samma höjd.
2. Mätning av den totala nedsjunkningen av konen.

Lerproverna som används är bland annat från Småröd. Sensitiviteten, S_t , varierar mellan 31 och 327.

7.1.3 Resultat

Några av försöken har utförts i Bohusgeos geotekniklaboratorium, och några vid Chalmers geotekniklaboratorium. Resultatet redovisas i Tabell 7.1.

För fullständiga protokoll se bilaga 11.

Tabell 7.1: Redovisning av undersökningsresultat.

Försök nr	Borrhål	Okulär bedömning	S_t	Nedsjunkning [mm]
1	BG 204, 29m	Ej rapid	186	3,4
2	BG 204, 29m	Ej rapid	186	3,8
3	S 703, 24m	Ej rapid	38	4,6
4	S 703, 24m	Ej rapid	38	5,2
5	S 703, 18m	Något rapid	283	7,4
6	Okänt, 6m	Något rapid	33	4,7
7	Okänt, 6m	Något rapid	33	6,8
8	Okänt, 6m	Något rapid	33	7,1
9	Okänt, 7m	Något rapid	31	5,8
10	Okänt, 7m	Något rapid	31	6,4
11	Okänt, 7m	Något rapid	31	6,5
12	S 703, 15m	Rapid	327	7,5

7.1.4 Utvärdering

Metoden ger ett resultat vars trend överensstämmer med den okulära bedömningen. Det tillförda arbetet är i varje försök jämförbart. Dock måste fler försök utföras för att få en uppfattning hur väl metoden fungerar. Försök med leror med samma sensitivitet, men skillnad i bedömd rapiditet bör utföras.

7.2 Siktning

Försöket syftar till att generera en störning utav leran genom att tillåta en jämförbar och mätbar deformation.

7.2.1 Utrustning

Vid denna försöksmetod har en standardsikt för jordsortering använts. I försöksserien har siktarna i Bohusgeos och Chalmers geotekniska laboratorium använts. Lerproverna har placerats i ödometerringar som stabiliserats i sikten med hjälp av gummimattor. En o-ring (gummipackning) användes för att stabilisera underkanten på ödometerringen och ändå tillåta deformation av leran, se Figur 7.2. Siktstorleken som använts var 4, 8 respektive 16 mm. Fett användes för att minska eventuell friktion mellan leran och ödometerringens kanter.



Figur 7.2: Lerprov placerat på 16 mm siktgaller.

7.2.2 Utförande

Försöket genomförs på följande sätt:

1. Montering av lerprov i ödometerring.
2. Placering av gummimattor över och o-ring under provet samt placering av provet på siktgallret.
3. Lerprovet kläms fast med hjälp av siktgallret och locket.
4. Sikta 2,5, 5 eller 10 min.
5. Kontrollera hur många mm lerprovet sjunkit genom gallret.

Lerproverna som använts har mestadels tagits ifrån Småröd. Sensitiviteten, S_t , varierade mellan 31 och 327.

7.2.3 Resultat

Ett mycket tunt lager av leran fastnar på kanten av ödometerringen medan den resterande delen sjunker relativt jämnt. Mätning sker en bit innanför kanten, för att undvika den lera som ej sjunkit ner. Ett medelvärde på deformationen har använts, se Tabell 7.2.

För fullständiga protokoll se bilaga 12.

Tabell 7.2: Redovisning av undersökningsresultat.

¹ Utfört på Bohusgeos geotekniklaboratorium

² Utfört på Chalmers geotekniklaboratorium

³ Utfört på Chalmers geotekniklaboratorium, slut på tuben, därför ej helt fylld ödometerring.

⁴ Lerprovet lossnade under försöket och stördes okontrollerat.

⁵ Utfört på Bohusgeos geotekniklaboratorium, lerprovernans ursprung hemligt.

Försök nr	Borrhål	Okulär bedömning	S _t	Siktstorlek [mm]	Initialhöjd [mm]	Tid [min]	Nedsjunkning [mm]
1 ¹	BG 204 29m	Ej rapid	186	4	40	5	0
2 ¹	BG 204 29m	Ej rapid	186	8	40	10	0
3 ²	S703 24m	Ej rapid	38	16	36,1	5	10,5
4 ²	S 703 15m	Något rapid	327	16	36,1	5	- ⁴
5 ²	S 703 15m	Något rapid	327	16	36,1	5	10,5
6 ⁵	Okänt 6m	Något rapid	33	16	20,2	5	2,0
7 ⁵	Okänt 6m	Något rapid	33	16	20,2	5	1,2
8 ⁵	Okänt 6m	Något rapid	33	16	20,2	5	1,2
9 ⁵	Okänt 7m	Något rapid	31	16	20,2	5	1,1
10 ⁵	Okänt 7m	Något rapid	31	16	20,2	5	0,6
11 ⁵	Okänt 7m	Något rapid	31	16	20,2	5	1,2
12 ²	S 703 15m	Rapid	327	16	52	5	36,9
13 ³	S 703 15m	Rapid	327	16	27,5	2,5	9,8

7.2.4 Utvärdering

Trots den lilla försöksserie som genomförts verkar detta vara en fungerande metod. Används 16 mm sikten blir det en viss nedsjunkning även på det mer stabila lerorna. Proverna tycks störas förhållandevis jämnt och detta försök utförs med vanligt förekommande utrustning i geotekniklaboratorium. Tillfört arbete torde vara likartad då kalibrerade standardsiktar används. Dock måste fler försök utföras för att få en uppfattning hur väl metoden fungerar. Försök med leror med samma sensitivitet, men skillnad i den okulära bedömningen av rapiditet bör utföras.

7.3 Påtvingad tvärsnittsförändring

Försöket syftar till att generera en delvis störning av leran för att därigenom kunna utvärdera skjuvhållfasthetsförlusten. På detta sätt är det sedan möjligt att jämföra förlusten med samma genererade störning.

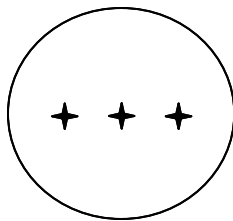
7.3.1 Utrustning

Se kapitel 4, stycke 4.2.3 för beskrivning av utrustningen.

7.3.2 Utförande

Två olika störningstrattar, med diameter 30 respektive 40 mm, användes för att utröna hur stora störningar som var nödvändiga för att särskilja leror med hänsyn till rapiditet. Vid lägre sensitiviteter var tanken att störningstratten med diameter 30 mm skulle användas medan 40 mm skulle användas för de högsensitiva lerorna. Detta för att inte generera alltför stora störningar på de känsligare lerorna.

När leran pressats igenom störningstratten och åter pressats ut till 50 mm i diameter kontrolleras skjuvhållfastheten med fallkonförsök. Fallkonen har släppts i samma mönster varje gång, se Figur 7.3, för att kontrollera om störningen sker jämnt över hela provkroppen, det vill säga om leran förlorat lika stor del av sin skjuvhållfasthet i centrum som i kanterna.



Figur 7.3: Placering av kon vid fallkonförsök på delvis störd lera.

Därefter har ett medelvärde på det störda provets skjuvhållfasthet tagits fram och störningskvoten beräknats enligt.

$$SK = \frac{\tau_{di}}{\tau_k} \times 100 \quad (7.1)$$

SK = störningskvot, kvarvarande skjuvhållfasthet i %

τ_{di} = medelvärde för den störda skjuvhållfastheten, fallkonförsök

τ_k = ostörda skjuvhållfastheten, fallkonförsök

Lerproverna som använts har tagits ifrån Småröd samt Kasens industriområde i Uddevalla. Sensitiviteten, S_t , varierade mellan 24 och 365. Vattenkvoten, w_n , varierade mellan 35 och 52 %.

7.3.3 Resultat

Den kvarvarande skjuvhållfastheten kontrollerades med tre fallkonförsök enligt Figur 7.3. Ett medelvärde av dessa tre användes till att beräkna störningskvoten, SK, ekvation 7.1. Resultaten redovisas nedan i Tabellerna 7.3-7.5.

Där resultat ej har angivits har försöksmaterialet ej gått att använda. Orsaken till bortfallet är störning vid fallkonintryck på grund av snäckor, grus och siltskikt.

För redovisning av fullständiga protokoll se bilaga 13.

Tabell 7.3: Redovisning av undersökningsresultat för Kasen 21. 30 mm störningstratt. Djup 18m, S_t 24, w_n 39%, τ_k 33 kPa, τ_r 1,38 kPa

Försök nr	$\tau_{di,medel}$ [kPa]	SK [%]
1	9,5	29
2	-	-
3	5,7	17
4	-	-
5	5,1	15
6	6,7	21
7	5,4	16
8	5,5	17
Medelvärde		19

Tabell 7.4: Redovisning av undersökningsresultat för Småröd 204. 40 mm störningstratt.

Djup 10m, S_t 386, w_n 35%, τ_k 25 kPa, τ_r 0,065 kPa

Försök nr	$\tau_{di,medel}$ [kPa]	SK [%]
1	12,2	48
2	13,4	54
3	9,4	38
4	10,8	43
5	9,5	38
Medelvärde		44

Tabell 7.5: Redovisning av undersökningsresultat för Småröd 204. 40 mm störningstratt.

Djup 7m, S_t 365, w_n 45%, τ_k 24 kPa, τ_r 0,066 kPa

Försök nr	$\tau_{di,medel}$ [kPa]	SK [%]
1	11,4	48
2	14,8	62
3	15,6	65
4	14,0	58
5	8,9	37
6	11,5	48
Medelvärde		53

7.3.4 Utvärdering

Det visade sig tidigt i försöksserien att lerproverna inte blev jämnt störda över tvärsnittet. Utmed cylinderväggen visade sig skjuvhållfastheten i flera fall vara avsevärt lägre, upp till 50 %, än i mitten av provet. Detta leder till att det blir avgörande för en leras störningskvot var någonstans i provets tvärsnitt fallkonförsöket sker. Även det tillförda arbetet är svårdefinierat och har i denna studie ej mätts. Därför anses försöksmetoden ej fungera tillfredställande och vidare försök har ej genomförts.

7.4 Siktning, tät botten

I detta försök tillförs arbete genom användning av en standardsikt för jordsortering. Fri deformation är förhindrad.

7.4.1 Utrustning

I försöksserien har siktarna i Bohusgeos och Chalmers geotekniska laboratorium använts. Lerproverna har placerats i en ödometerring som stabiliserats i sikten med hjälp av gummimattor.

7.4.2 Utförande

Försöket genomförs på följande sätt:

1. Fallkonförsök, för kontroll av den ostörda skjuvhållfastheten, τ_k .
2. Leran monteras i ödometerring.
3. Placering av gummimattor över och under provet, samt placeringen av ringen i ett uppsamlingskärl.
4. Kläm fast lerprovet med hjälp av botten och locket på sikten.

5. Siktning 5 respektive 10 min.
6. Fallkonförsök genomförs enligt Figur 7.3 över provets tvärsnitt och den störda skjuvhållfastheten tas fram τ_{di} , se Figur 7.1.
7. Beräkning av störningskvoten SK, enligt ekvation 7.1 ovan.

Lerproverna 1 och 2 är från Småröd och har sensitiviteten 283. Lerprov 3 och 4 har sensitiviteten 33.

7.4.3 Resultat

Försöksresultaten redovisas i Tabell 7.6.

För fullständiga protokoll se bilaga 14.

Tabell 7.6: Redovisning av undersökningsresultat.

¹ Utfört på Chalmers geotekniklaboratorium

² Utfört på Bohusgeos geotekniklaboratorium

Försök nr	Okulär bedömning	S_t	τ_k [kPa]	$\tau_{di,medel}$ [kPa]	Tid i sikt [min]	SK [%]
1 ¹	Något rapid	283	24,8	19,5	10	79
2 ¹	Något rapid	283	24,8	23,3	10	94
3 ²	Något rapid	33	21,0	17,8	5	85
4 ²	Något rapid	33	18,5	16,0	5	86

7.4.4 Utvärdering

Lerproverna uppvisar vid denna försöksmetod en tendens att bli mer störda i ytterkanterna. Uppemot 50 % lägre skjuvhållfasthet uppmättes vid lerprovernas ytterkanter. Den ojämna störningen kan bero på att de yttre delarna av lerprovet vibrerar emot ödometerringens betydligt styvare inneslutning i jämförelse med de centrala delarna som innesluts av leran runtomkring.

Försöken avbröts efter bara fyra genomförda försök när den ojämna störningen ansågs vara ett stort problem som leder till stora osäkerheter i värdet av utvärderingen.

7.5 Ultraljudsstörning

Försöket syftar till att generera en störning genom vibrationer från en ultraljudsapparat.

7.5.1 Utrustning

Vid detta försök användes en ultraljudsapparat av märket Branson 2200, se Figur 7.4.



Figur 7.4: Ultraljudsapparat av typen Branson 2200

7.5.2 Utförande

Ultraljudsapparaten fylldes med vatten och lerprovet sänktes ned. Efter fem minuter togs lerprovet upp och fallkonförsök utfördes. Därefter beräknades störningskvoten.

7.5.3 Resultat och utvärdering

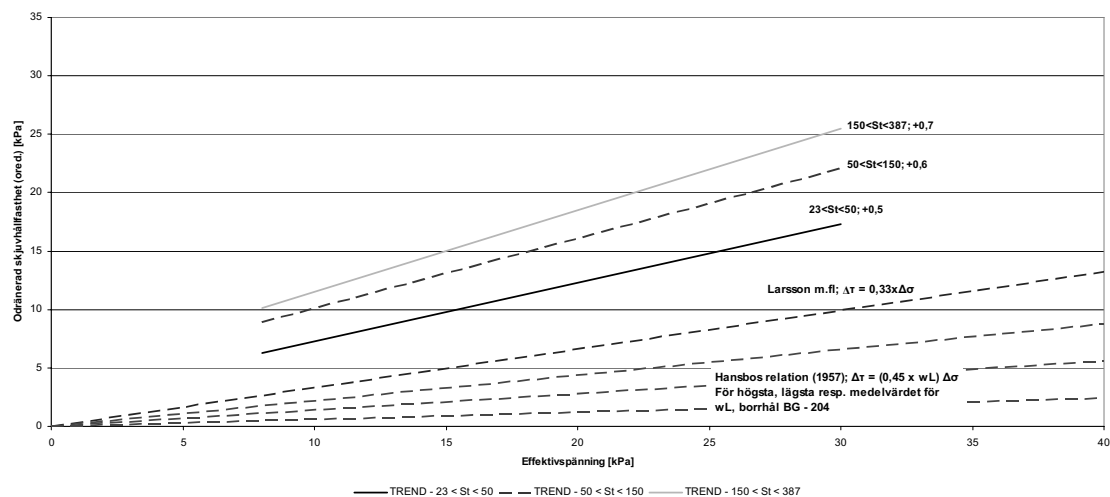
Endast ett försök utfördes med denna metod. Efter fem minuter i ultraljudsapparaten var provet ej påverkat. I ytterkanterna på lerprovet var det lite mjukare, men om detta berodde på vattenbadet eller vibrationerna från ultraljudet är svårt att bedöma. Bedömningen gjordes att längre tid i ultraljudsapparaten ej skulle förändra resultaten varför fler försök ej genomfördes.

8 Slutord

Efter skredet i Småröd, Munkedal har det vid ett flertal tillfällen diskuterats gällande vilken skjuvhållfasthet som kan tillgodoräknas för den skredade zonen. Beräkningar och bedömningar av skjuvhållfastheten i de skredade lermassorna har haft en avgörande betydelse för återställningsarbetet. Det har tidigare inte funnits några vedertagna teorier kring hur skjuvhållfastheten ökar vid rekonsolidering efter ett skred.

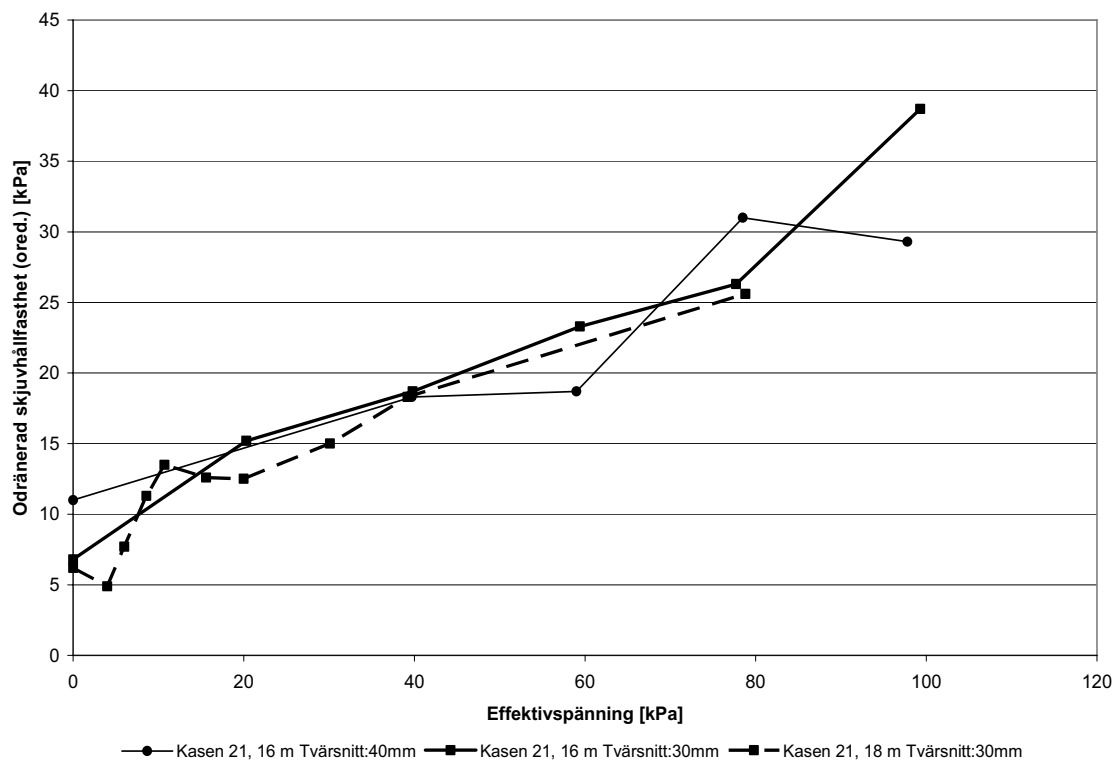
Denna studie påvisar att tillväxten av skjuvhållfasthet för totalstörda leror är relativt kraftig i sitt initialskede i jämförelse med tidigare framtagna samband gällande konsolidering. Denna studie är dock ensam i sitt slag när den behandlar just totalstörda leror och dess rekonsolidering. Viktigt att notera är att studien i huvudsak behandlar siltiga leror, därav kan inga slutsatser kring huruvida tillväxten är oberoende av lertyp eller ej dras.

Vid rekonsolidering av totalstörda leror visar resultaten ifrån denna studie att sensitiviteten är den, vanligen utvärderade parameter, som har störst inverkan på tillväxten av skjuvhållfasthet, se Figur 8.1.



Figur 8.1: Trender för skjuvhållfasthetstillväxt av rekonsoliderad lera i jämförelse med empiriska samband för "jungfrulig" lera.

Studien påvisar även att en ökande störningsgrad av leran medför en kraftigare tillväxtsgradient. Detta kan skönjas vid granskning av de i studien genomförda rekonsolideringsförsöken på delvis störda leror samt kopplingen till den totalstörda leran, se Figureerna 8.1 samt 8.2. Den delvis störda leran tillväxer med en gradient kring 0,2 vid en mindre störning (påtvungad tvärsnittsförändring till 40mm) och 0,3 (påtvungad tvärsnittsförändring till 30mm) vid en något större störning, beskriven i Kapitel 4, stycke 4.2, medan den vid totalstörning är ännu högre.



Figur 8.2: Skjuvhållfasthetstillväxt vid rekonsolidering av delvis störda leror.

Efter genomförda fältundersökningar i augusti månad 2007 kan det påvisas att den enligt studien förväntade skjuvhållfastheten är betydligt högre än den uppmätta. Detta kan förklaras genom att den skredade zonen med största sannolikhet inte är homogent störd på det sätt som förutsätts i denna studie, detta beskrivs mer ingående i Kapitel 6, stycke 6.4.

Detta leder oss till slutsatsen att resultaten i denna studie kraftigt överskattar erhållen skjuvhållfasthet, samtidigt som de empiriska sambanden som tidigare varit de enda tillgängliga kraftigt underskattar den erhållna skjuvhållfastheten. Sanningen ligger någonstans däremellan, men med vilken takt skjuvhållfastheten faktiskt ökar och hur denna ökning sker kan ej besvaras genom denna studie.

Studien har även behandlat rapiditetsbegreppet och undersökningsmetoder för att objektivt kunna klassificera leror utifrån detta. Två metoder, multipellt fallkonförsök samt siktning, med potential att kunna användas i en rutinundersökning har framarbetats. Ett större underlag måste dock tas fram för att kunna påvisa metodernas lämplighet.

Vi hoppas med denna studie att geotekniken har tagit ett steg, om än inte så stort, i rätt riktning för att skapa en ökad förståelse kring återhämtningen vid en totalstörning av lermassor samt framtida klassificeringsmöjligheter för mer eller mindre rapida leror.

9 Referenser

- Berggren, B. (1996): *Geoteknisk fälthandbok, allmänna råd och metodbeskrivningar*. Svenska geotekniska föreningen, Rapport 1:96, Linköping, Sverige, 1996, 9.3 pp.
- Falk, J., Hellgren, S. (1999): *Skjuvhållfasthetstillväxt och sekundär konsolidering i lösa jordar, Laboratoriestudier på lerig gytta och varvig lera*. Avd för jord- och bergmekanik, KTH. Stockholm, Sverige 1999, 19-20 pp.
- Gregersen, O., Løken, T. (1983): *Mapping of quick clay landslide hazard in Norway. Criteria and experiences*. Statens geotekniska institut, Rapport 17, Linköping, Sverige, 1983, 161-164 pp.
- Holm, G., Bengtsson, P-E., Carlsten, P., Johansson, L., Larsson, R. (2002): *Befintliga bankar vid ökad tåglast och högre tåghastighet*. Statens geotekniska institut, Varia 520, Linköping, Sverige, 2002, Bilaga 2.
- Larsson, R., Bergdahl, U., Eriksson, L. (1984): *Utvärdering av skjuvhållfasthet i kohesionsjord*. Statens geotekniska institut, information 3, Linköping Sverige, 1984, 7-8 pp.
- Massarsch, R. (1976): *Pålkommisionen*. Ingenjörsvetenskapsakademien, Rapport 51, Stockholm, Sverige, 1976, 69-73 pp.
- Rankka, K. (2003): *Kvicklera – bildning och egenskaper - Litteraturstudie*. Statens geotekniska institut, Varia 526, Linköping, Sverige, 2003, 10 pp.
- Rankka, K., Andersson-Sköld, Y., Hultén, C., Larsson, R., Leroux, V., Dahlin, T. (2004): *Quick clay in Sweden*. Statens geotekniska institute, Rapport 65, Linköping, Sverige, 2004.
- Sällfors, G. (2001): *3:e upplagan, Geoteknik, Jordmateriallära – Jordmekanik*. Göteborg, Sverige, 2003, 5.1–5.14 pp.
- Tavenas, F., Flon, P., Leroueil, S., Lebuis, J. (1983): *Remoulding energy and risk of slide retrogression in sensitive clays*. Statens geotekniska institut, Rapport 17, Linköping, Sverige, 1983, 423-444 pp.
- Torstensson, B-A. (1973): *Kohesionsspålar i lös lera, en fältstudie*. Byggforskningen Rapport, R38:1973. Stockholm, Sverige, 1977, 28,31,48 pp.
- Torstensson, B-A. (1977): *Tuveskredet, analys och sammanställning av geotekniska undersökningar i skredområdet*. AB Jacobsson & Widmark, Bilaga 35, Göteborg, Sverige, 1977, 8-11 pp.
- Wiesel, C-E., Hansbo, S., Broms, B. (1985): *Skjuvhållfasthet, geotekniska laboratorieanvisningar del 9*. Byggforskningsrådet, SGF laboratoriekommitté. Stockholm, Sverige, 1985, 12-22 pp.
- Wolski, W., Szymanski, A., Mirecki, J., Lechowicz, Z., Larsson, Rolf., Hartlén, J., Garbulewski, K., Bergdahl, U. (1988) *Two stage-constructed embankments on*

organic soils. Statens geotekniska institute, Rapport 32, Linköping, Sverige, 1988, 138 pp

Skredkommissionen. (1995): *Anvisningar för släntstabilitetsutredningar*. Ingenjörsvetenskapsakademien, Rapport 3:95, Linköping, Sverige, 1995, 5.14 pp.

Diskussion

Hedborg, P. (2007) Forskningsingenjör vid avdelningen för geologi och geoteknik, CTH: *Samtal angående rapiditet och problem kring begreppet*. Våren 2007

Sällfors G. (2007) Professor vid avdelningen för geologi och geoteknik, CTH: *Handledning*. Våren 2007

Elektroniska källor

[1] Vägverket, 2007-06-05,

http://www.vv.se/templates/Pressrelease___19560.aspx

[2] Banverket, 2007-06-05,

<http://www.banverket.se/sv/Amnen/Pressrum/Nyhetsarkiv/2007/Asa-Torstensson-inviger-Bohusbanan.aspx>

[3] Kompetenscentrum infrastruktur, 2007-06-26,

<http://www.kcentrum-infra.chalmers.se>

[4] SGF – Svenska Geotekniska Föreningen, 2007-08-23,

<http://www.sgf.net/home/page.asp?sid=862&mid=2&PageID=15394>

Förklaring; rekonsolideringsförsöksprotokoll

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr:

Punkt:

Djup:

Datum:

Falkkonens nedsjunkning efter försök.
Redovisning av 1-6 nedsläpp.

Prov	Provhöjd	Före / Efter		Konprov, efter			Utv: m/+/-	Anmärkning	Filhamn
		Vätvikt	Torrsvikt	Kon	1	2			
Före försök		54,6	33,5	100	8,7	9,8	11,3/13,5/9,6		
		63,6	40,3		9,7	8,5			
Efter försök		63,6	40,2	100	7,7	8,8	13,5/16,5/12		
					9,0	8,0			
Ö3									
Ö4									
Ö5									
Ö6									
Ö8									
Ö9									
Ö10									

Utvärderat medel-, max- och minimivärde på skjuvhållfastheten [kPa] efter försök.

Använd fallkon vid kontroll av ostörd resp. omörd skjuvhållfasthet.

Skjuvhållfasthet	
Ostörd	Omrörd
Kon	

Falkkonens nedsjunkning före försök. Kolumnerna redovisar var sin provtub (ostört) samt omörd.

Provets initiala höjd.

Beskrivning av vilken ödometercell som är använd.

$T_k =$
 $T_r =$
 $S_t =$

Det använda provets medelvärde för ostörd (T_k), omörd skjuvhållfasthet (T_r) samt sensitivitet (S_t).

Förklaring; rekonsolideringsförsöksprotokoll

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

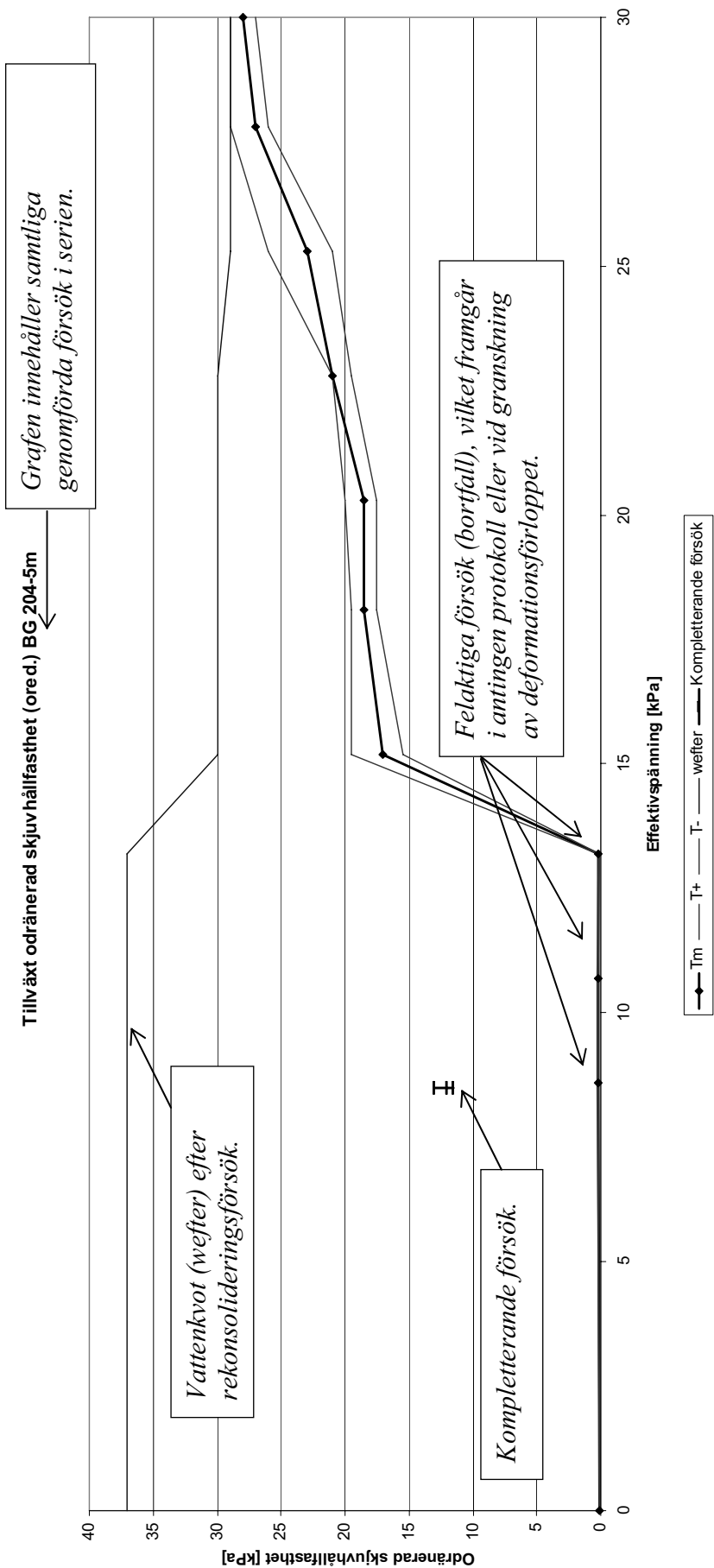
Arbetsnr.:

Punkt:

Djup:

[illegible]

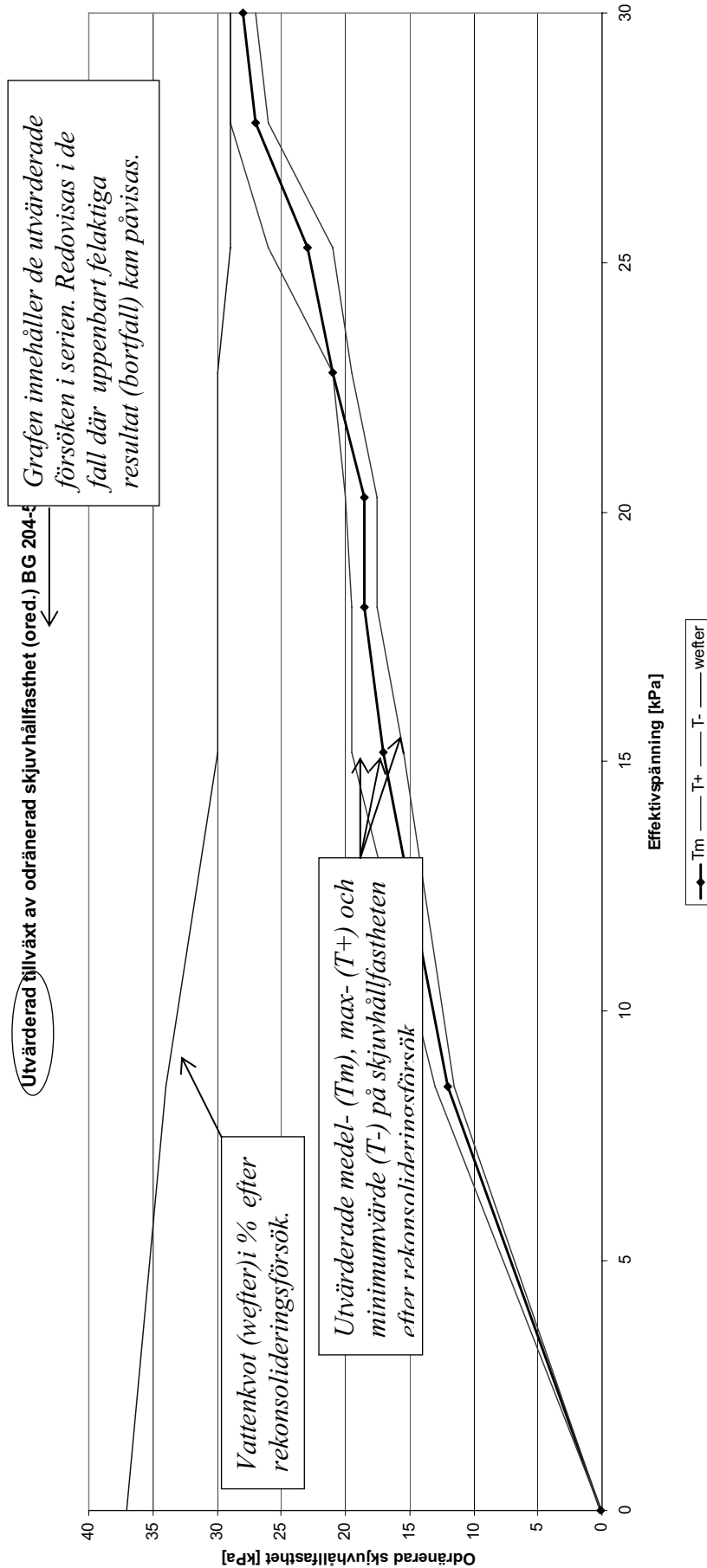
Förklaring; Skjuvhållfasthetstillväxt - Grafer



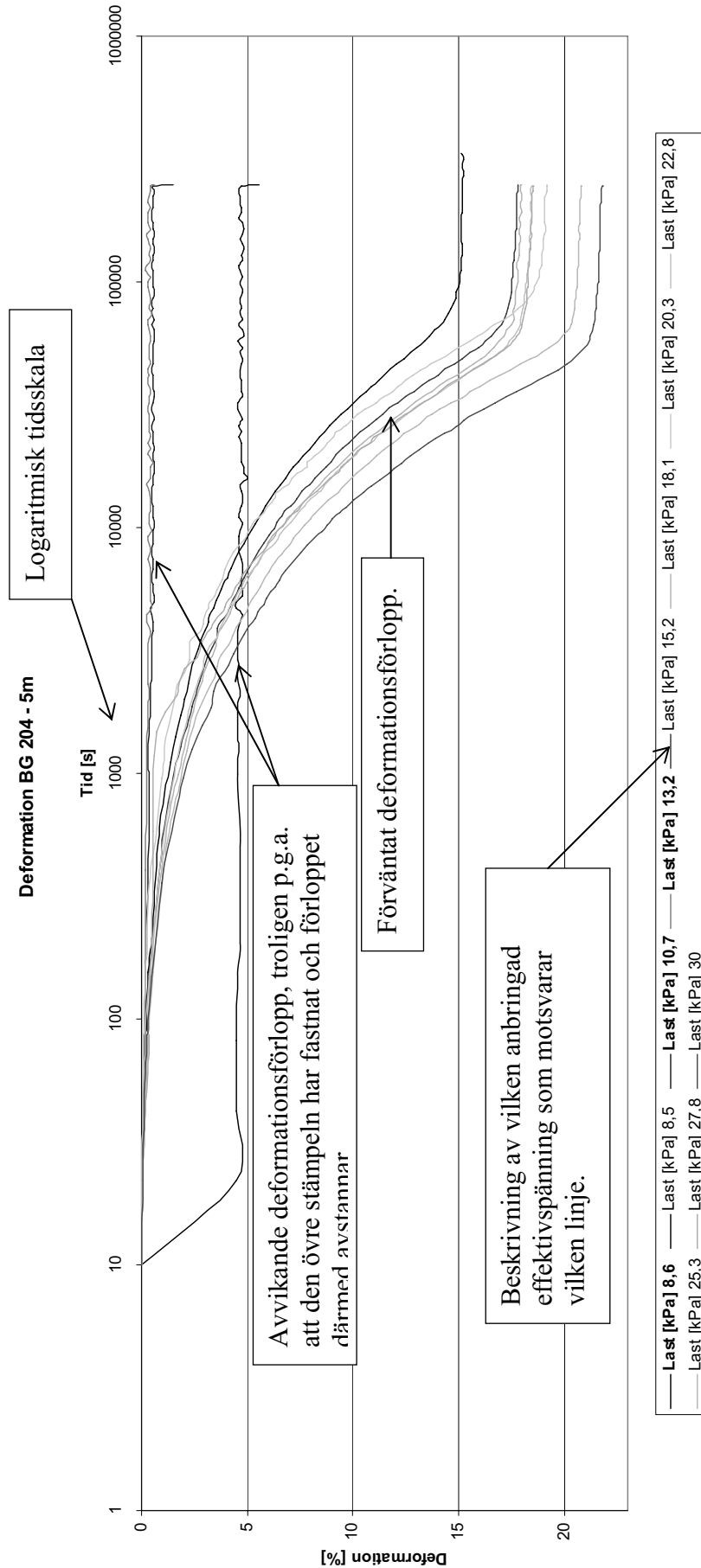
T_m: Utvärderad skjuvhållfasthet

T₊ och T₋: Visar den spridning som erhållits vid fallkonförsöken (max- respektive minvärdet av de 5 konförsök som utförts på varje rekonsoliderat prov).

Förklaring; Skjuvhållfasthetstillväxt - Grafer



Förklaring; Deformationsförlopp - Graf



Provserie 1; Borrhål BG 61, 4/5/13m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-1A/B Punkt: BG 61 Djup: Ö1-3: 4m, Ö4: 13m, Ö5-6: 5m Startdatum: 20070102

Prov	Provhöjd	Före / Efter		Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn	
		Vårvikt	Torrvikt	w(%)	Kon	1	2				3
Ö1	-	-	-	119/74/70	-	-	-		För litet prov	X707-1	
Ö2	-	23,6	12,2	48	60	8,5	8	8	2,2/2,3/2,0	Slagit mot balk, avstannat	X707-2
		33,5	18,2	46							
Ö3	-	33,5	18,2	46	60	6	7	7	3,3/4,1/3,0		X707-3
Ö4	-	42	29,3	30	60	5,5	6	6	4,4/4,9/4,1		X707-4
Ö5	-	45,2	30,6	32	100	6	5,5	5,5	29/32/27		X707-5
						6	6	5,5			
Ö6	-	46,1	30,1	35	100	7	8	7	18,5/20/15,5		X707-6
						7	8	7			
Ö7											X707-7
Ö8											X707-8
Ö9											X707-9
Ö10											X707-10

Skjuvhållfasthet		
Ostörd		Omrörd
Kon	-	-
	-	-
	-	-
	-	-
	-	-
	-	-
	-	-

T_k = Ö1-3:22
 Ö4:22
 Ö5-6:21

T_r =
S_t = Ö1-3:72
 Ö4:128
 Ö5-6:70

Ursprunglig skjuvhållfasthet, sensitivitet samt vattenkvot från tidigare utförd rutinundersökning.

Bilaga 2.2
Provserie 1; Borrhål BG 61, 4/5/13m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-1A/B Punkt: BG 61 Djup: Ö1-3: 4m, Ö4: 13m, Ö5-6: 5m Startdatum: 20070102

Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6			
		Last	20	Last	40	Last	79	Last	77	Datum	Tid	Last	78	Last	
1/2	0									8/2	0	0	0	0	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1	75	85	56	34
	2	90	60	118	110	151	140	172	175		6	177	156	169	183
	4	100	68	150	153	211	224	232	184		21	181	160	175	185
	65	103	71	153	157	216	229	236	188		48	228	197	230	216
	70	123	86	180	188	249	262	265	209		192	289	256	366	340
	74	125	87	183	191	254	266	268	212						
	94	130	92	188	199	262	275	276	218						
	99	Mot	balk	255	285	353	364	338	276						
	138			258	285			411	343						
	166 h efter pålastning														
				Mot	balk										

Försöket är genomfört med två laststeg, först upplastad till 10 kPa och därefter ytterligare lastpåförsel samt nollställning av mätklockor.

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
 Arbetsnr: X7-02A Punkt: BG 44 Djup: 4 m Startdatum: 20070216

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter			Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Vågvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3		
Ö1	17,4	-	-	40	100	7	7	7,5	19/20/17,5	X4444
		65,2	49,9	23						
Ö2	15,8	57,8	43,8	24	100	6	6,5	7	23//27/20	X4445
Ö3	16,2	58,2	44,0	24	100	6	7	6	25/27/20	X4446
Ö4	16,2	58,1	42,7	27	100	7	7	7	Troligen störd vid uttag	X4447
Ö5	15,1	54,3	40,2	26	100	5	5,5	5,5	35/39/32	X4448
Ö6										X707-6
Ö7										X707-7
Ö8										X707-8
Ö9										X707-9
Ö10										X707-10

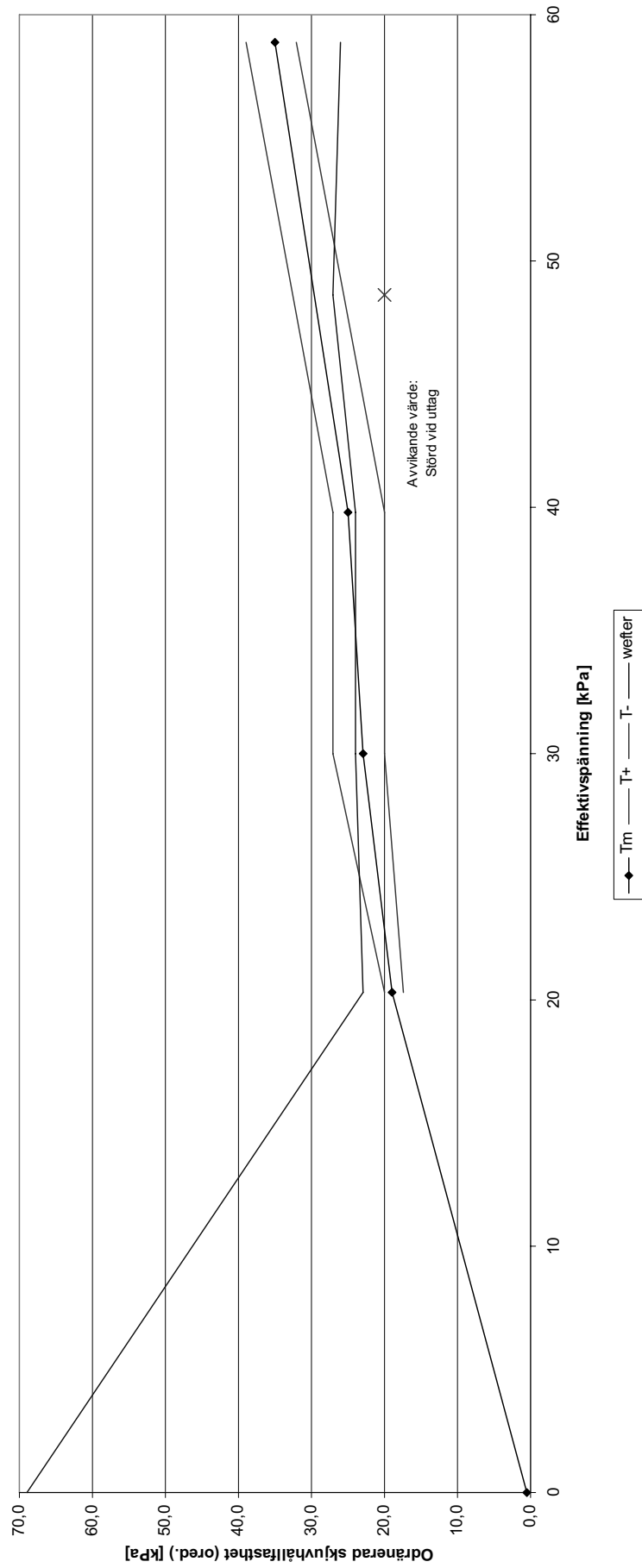
Skjuvhållfasthet		Omrörd
Ostörd		
Kon	-	-
	-	-
	-	-
	-	-
	-	-
	-	-
	-	-

T_k = 40
 T_r =
 S_t = 79

Ursprunglig skjuvhållfasthet, sensitivitet samt vattenkvot från tidigare utförd rutinundersökning.

Provserie 2, Borrhål BG 44, 4m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet BG 44-4m



Bilaga 2.6
Provserie 3, Borrhål BG 44, 6m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-02B Punkt: BG 44 Djup: 6 m Startdatum: 20070216

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter			Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
	Vågvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3		
Ö1	14,5	-	60	100	8	8	8	Stört prov	X4469
	48,9	34,1	30						
Ö2	14,5	49,4	30	100	7	7	7		X44610
Ö3	16,4	55,5	30	100	6,5	6,5	6,5		X44611
		38,8							
Ö4	17,7	60,1	31	100	6	6	6		X44612
		41,3							
Ö5	16,8	58,2	30	100	6	5,5	5,5		X44613
		40,9							
Ö6									X707-6
Ö7									X707-7
Ö8									X707-8
Ö9									X707-9
Ö10									X707-10

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd			
Kon			

T_k = 36
T_r =
S_t = 71

Ursprunglig skjuv hållfasthet, sensitivitet samt vattenkvot från tidigare utförd rutinundersökning.

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-02B Punkt: BG 44 Startdatum: 20070216
Djup: 6 m

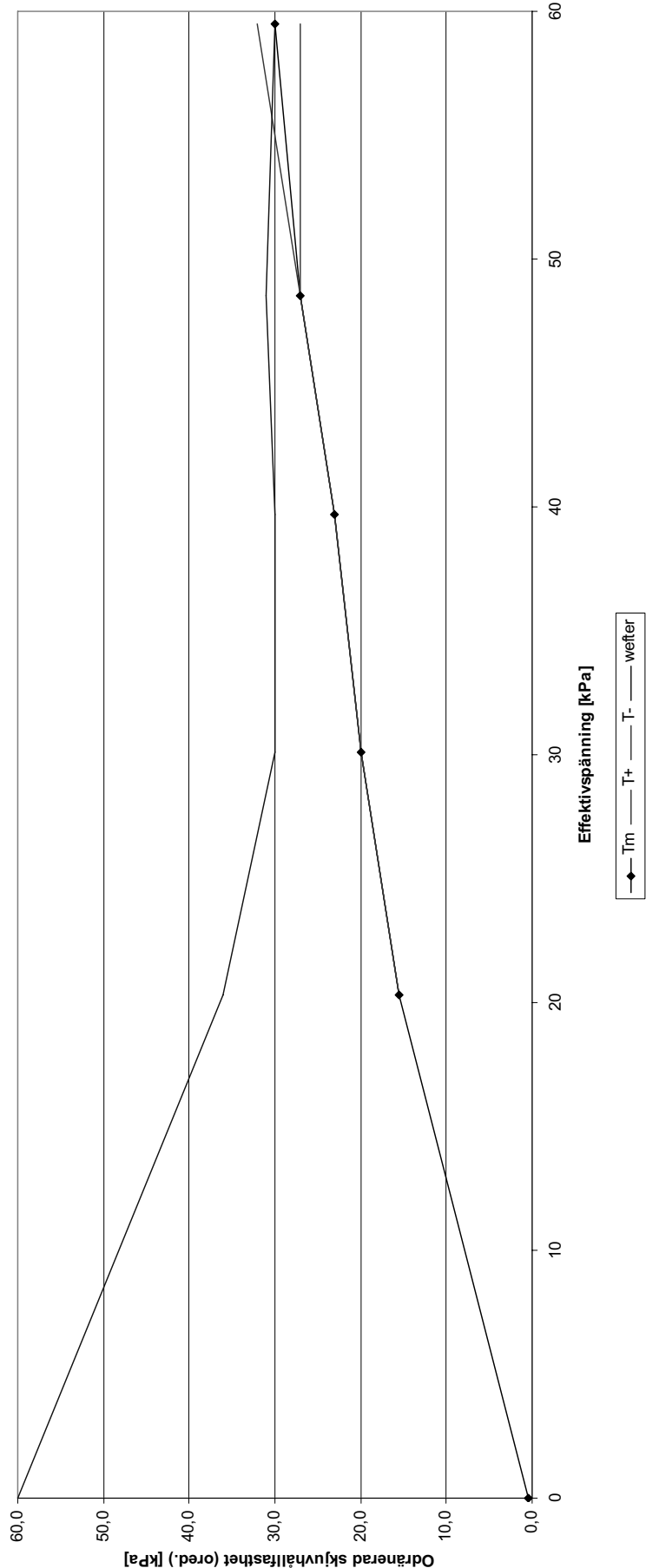
() Deformatin hindrad.

Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	Last	10	Last	Last	Last	Last	
16/2	13:35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	14:10	59	58	65	64	64	55	(34)	(25)	77	60										
	19/2	08:30	121	95	119	115	129	116	115	86	144	113									
		Last	20	Last	30	Last	40	Last	50	Last	60										
19/2	10:15	125	98	127	123	146	131	144	111	172	141										
20/2	08:15	149	116	175	168	224	209	282	240	278	249										
	11:15	149	116	174	168	224	209	282	242	278	249										
23/2	08:25	150	118	176	169	226	210	284	243	281	252										

Försöket är genomfört med två laststeg, först upplastad till 10 kPa och därefter ytterligare lastpåförsel.

Bilaga 2.8
Provserie 3, Borrhål BG 44, 6m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet BG 44-6m



Provserie 4, Borrhål BG 204, 4m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
 Arbetsnr: X7-05 Punkt: BG 204 Djup: 4 m Startdatum: 20070308

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter							Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Våvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3						
Ö1	23,4	-	-	69	100	7	6,5	7	21/23/20	Läckage	X705-1			
		62,6	41,6	6,5		7								
Ö2	25,2	64,2	43,1	33	100	5	5	5	39/39/39		X705-2			
						5								
Ö3	22,7	65,8	44,6	32	100	5	4,5	5	39/39/39		X705-3			
						5	4,5							
Ö4	22,4	69,1	53,2	23	400	9	9,5	9,5	44/48/43	Mkt siltig	X705-4			
						9,5								
Ö5	24,6	68,5	49,5	27	400	9	8,5	9	51/54/48	Läckage	X705-5			
						8,5								
Ö6	24,3	69,6	51,8	26	400	8	8,5	8	57	Lufficka	X705-6			
						8,5								
Ö7	23,2	69,0	52,3	24	400	8	9,5	9,5	47/61/43	Läckage	X705-7			
						9,5								
Ö8	24,0	78,3	62,5	20	400	9	10	(8)	43/48/39	Sten	X705-8			
						10	9,5							
Ö9	23,3	82,7	68,8	17	400	11	11	10	34/39/32	Sten	X705-9			
						(8)	(13)							
Ö10	14,6	53,4	43,7	18	100	7	7	6,5	21/23/20	Gått i balk!	X705-10			
						7								

Skjuvhållfasthet		
Ostörd		Omrörd
Kon		

T_k = 14,4
 T_r =
 S_t = 169

Ursprunglig skjuvhållfasthet, sensitivitet samt vattenkvot från tidigare utförd rutinundersökning.

Bilaga 2.10
Provserie 4, Borrhål BG 204, 4m

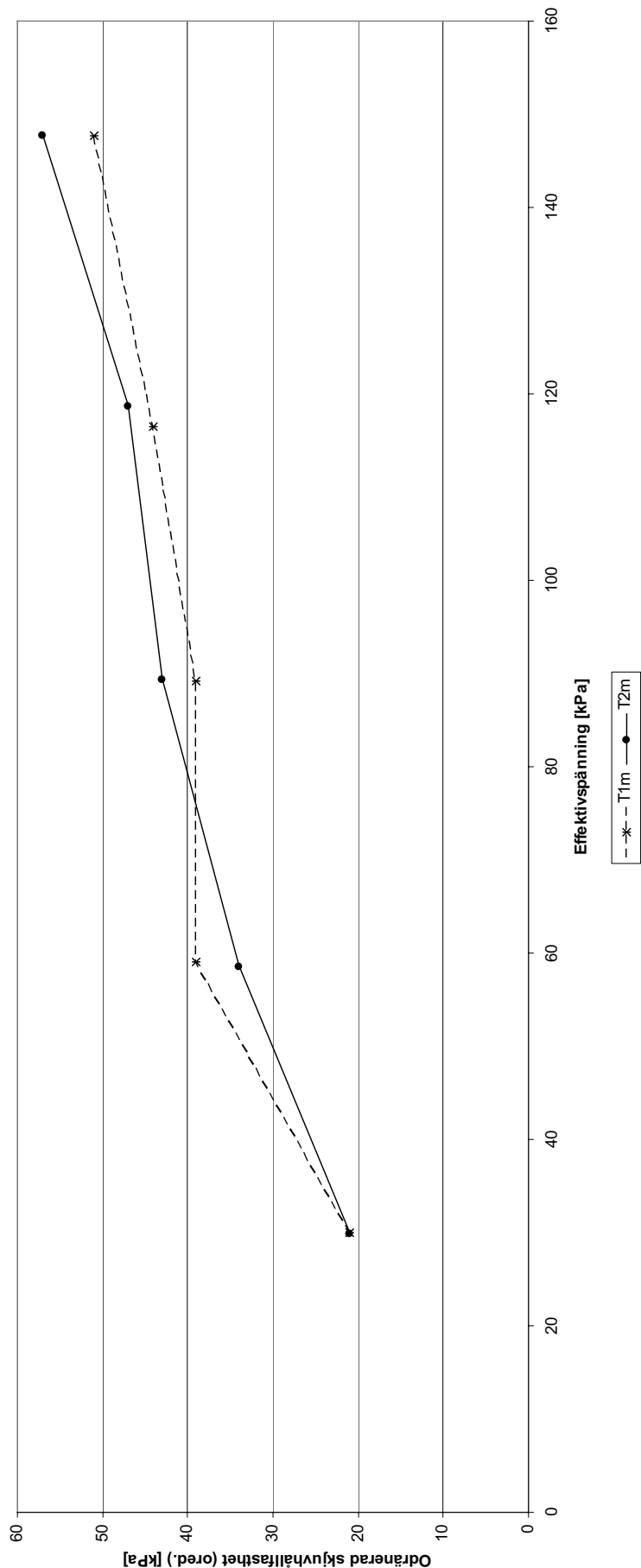
Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-05 Djup: 4 m Startdatum: 20070308
Punkt: BG 204

Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,7	Last	8,7	Last	8,7	Last	8,7	Last	8,7	Last	8,7	Last	8,7	Last	8,7	Last	8,7	Last	8,7
8/3	11.00	2	7	0	5	5	2	6	9	7	6	5	1	3	4	5	7	11	0	7	5
8/3	13.00	7	28	0	42	43	36	29	39	49	20	29	25	8	8	17	14	24	0	7	17
8/3	13.40	10	51	2	66	59	60	54	51	89	26	49	47	19	18	33	43	39	5	22	59
		Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10
8/3	13.40	10	51	2	66	59	60	54	51	89	26	49	47	19	18	33	43	39	5	22	59
8/3	15.00	52	120	69	130	123	142	133	126	202	78	116	142	86	45	101	96	54	12	81	116
8/3	16.40	91	176	116	174	174	197	180	183	267	126	169	201	156	76	138	130	126	22	90	138
9/3	08.30	234	282	279	339	326	351	251	271	349	220	257	314	248	214	254	241	292	110	92	152
9/3	14.30	236	284	282	341	329	353	251	272	350	221	258	315	248	214	255	242	296	113	92	152
		Last	30	Last	60	Last	90	Last	120	Last	150	Last	150	Last	120	Last	90	Last	60	Last	30
9/3	15.40	242	288	310	368	366	395	312	327	403	295	334	268	283	272	290	280	320	140	92	172
13/3	08.00	327	362	454	503	544	573	452	480	580	505	532	547	466	435	415	403	394	220	105	214

Tre laststeg, först två mindre pålastningar och därefter en större för att utröna huruvida proven klarar den stora lastpåförsehn utan att haverera. Pålastningen har skett parvis (2 celler med samma last) för att därigenom få jämförbara ”slutprodukter”.

Provserie 4, Borrhål BG 204, 4m

Jämförelse hos tillväxten, odränerad skjuvhållfasthet BG 204-4m



Bilaga 2.12
Provserie 5, Borrhål BG 204, 8m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-06 Punkt: BG 204 Djup: 8 m Startdatum: 20070313

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Vågvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	-	38,8	22,8	41	100	8,5	8,2	8,4	14		X706-1
		59,58	38,3	36		8,7					
Ö2	22,0	59,0	37,4	37	100	8,9	9,1	8,8	13		X706-2
						8,3	9,0	7,9			
Ö3	20,8	66,3	43,1	35	100	7,4	7,5	7,6	17		X706-3
						7,7	7,7	7,6			
Ö4	23,5	60,6	40,5	33	100	6,9	7,1	6,8	21		X706-4
						7,2	6,3	7,2			
Ö5	25,3	66,6	44,9	33	100	6,8	6,6	6,6	22		X706-5
						6,7	6,9	6,6			
Ö6	22,9	59,6	40,3	32	100	6,1	6,2	6,3	26		X706-6
						6,1	6,2	6,2			
Ö7	21,1	58,5	38,4	34	100	6,4	6,2	6,3	23		X706-7
						6,9	6,1	6,1			
Ö8	22,4	59,3	39,7	33	100	5,6	5,6	5,6	30		X706-8
						5,6	5,9	5,9			
Ö9	22,9	60,6	40,9	33	100	5,2	5,7	5,7	31		X706-9
						5,6	5,8	5,6			
Ö10	-	65,4	44,8	31	400	10,8	11,1	11,2	32		X706-10
						11	11,4				

Skjuv hållfasthet		
Ostörd	Omrörd	
Kon		

T_k = 36
T_r =
S_t = 228

Ursprunglig skjuv hållfasthet, sensitivitet samt vattenkvot från tidigare utförd rutinundersökning.

Provserie 5, Borrhål BG 204, 8m

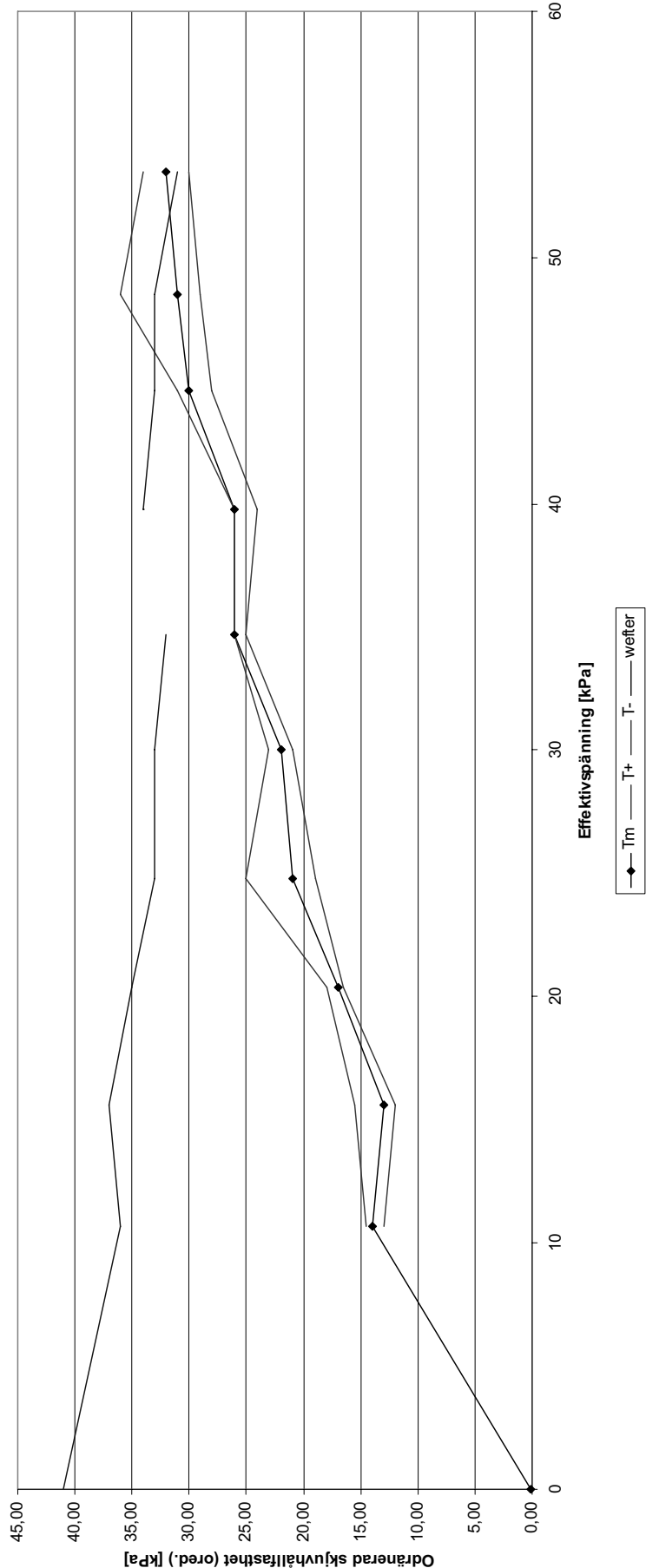
Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-06 Punkt: BG 204 Startdatum: 20070313
Djup: 8 m

Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	10	Last	15	Last	20	Last	25	Last	30	Last	35	Last	40	Last	45	Last	50	Last	55
13/3	11:25	8	8																		
13/3	11:38	46	8	4	4																
13/3	11:44	54	12	6	54	7	2														
13/3	11:54	63	19	13	77	64	10	11	6												
13/3	12:00	68	26	24	97	119	15	89	21	5	7										
13/3	12:50	104	41	43	192	152	98	186	87	40	26	3	7								
13/3	13:00											59	79	2	5						
13/3	13:08											77	97	4	104	2	4				
13/3	13:17											100	119	30	133	50	76	6	3		
13/3	13:24	141	59	78	232	175	170	243	136	204	190	120	135	42	169	82	101	61	76	12	4
15/3	18:00	542	681	596	495	460	467	457	582	388	476	507	522	516	511	522	531	554	584	613	608
16/3	08:00	444	381	397	495	562	567	558	484	589	577	507	522	516	511	523	533	554	584	613	609
		?	?	?	?	?	?	?	?	?	?										

I detta försök har all lastpåförsel skett i ett steg för att kontrollera huruvida proven havererar eller ej.

Bilaga 2.14
Provserie 5, Borrhål BG 204, 8m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet BG 204-8m



Delvis störning – 30 resp. 40 mm störningsträtt, Borrhål Kasen 21, 16m

T_k = 18
T_{di} = 11/6,8
S_t = 112

För framtagning av T_{di} har bara ett konsläpp, per använd provtub, gjorts i centrum av provkroppen

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter					Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
	Vårvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3				
Ö1	76,3	43,8	43	100	7,5	7,5	7	18,3/20/17,5	T.S. 40mm	X707-1	
	57,5	32,9	43								
Ö2	56,8	33,6	41	100	7,2	7,6	7	18,7/20/17	T.S. 40mm	X707-2	
Ö3	57,0	34,5	40	100	5,5	5,6	5,7	31/32/30	T.S. 40mm	X707-3	
Ö4	56,4	34,3	39	16	5,8	5,7	5,8	29,3/30/29	T.S. 40mm	X707-4	
Ö5										X707-5	
Ö6	57,4	33,4	42	100	8,2	7,9	8	15,2/15,5/14,5	T.S. 30mm	X707-6	
Ö7	56,3	33,2	41	100	7,5	7,1	7,2	18,7/19,5/17,5	T.S. 30mm	X707-7	
Ö8	54,1	31,9	41	100	6,5	6,7	6,3	23,3/25/22	T.S. 30mm	X707-8	
Ö9	51,1	31,4	39	100	6,5	5,7	6,1	26,3/30/23	T.S. 30mm	X707-9	
Ö10	56,8	34,9	39	100	5	5,1	5	38,7/39/38	T.S. 30mm	X707-10	

Störningsträttens radie (tvärsnitt).

Bilaga 3.2
Delvis störning – 30 resp. 40 mm störningstratt, Borrhål Kasen 21, 16m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-04

Punkt: Kasen 21
Djup: 16 m

Startdatum: 20070302

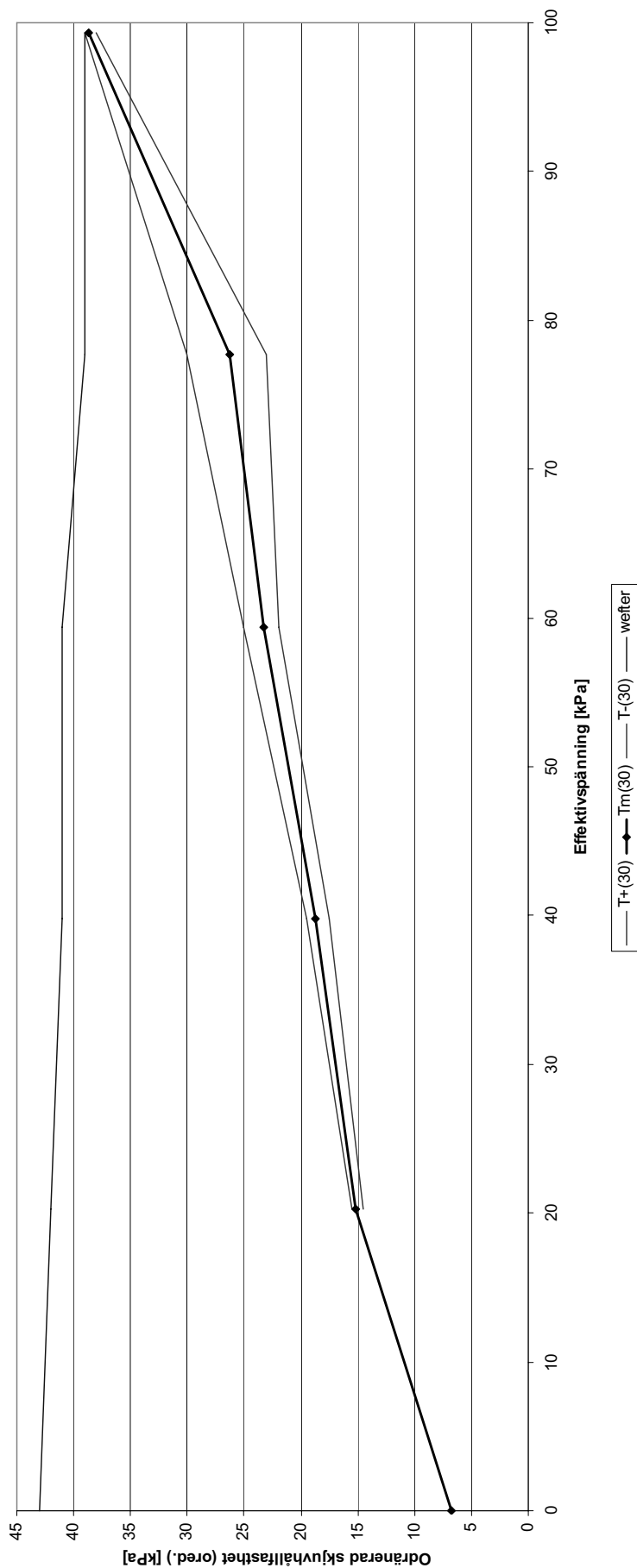
Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10	Last	10
2/3 -07	13.30	0	0	0	0	5	0	2	1												10
2/3 -07	14.00											4	0	2	1	0	0	0	0	11	11
2/3 -07	16.00	36	33	16	9	49	64	15	15			15	13	20	12	14	11	100	15	12	11
		Last	39,7	Last	59	Last	78,5	Last	97,8	Last	20,3	Last	20,3	Last	39,8	Last	59,4	Last	77,7	Last	99,3
2/3 -07	16.00	36	33	16	9	49	64	15	15		15	15	13	20	12	14	11	100	15	12	11
5/3 -07	13.35	48	48	16	13	95	420	15	15		16	13	16	20	12	16	11	153	15	12	11

Majoriteten av mätlockorna var felaktigt monterade vilket medförde att den manuella avläsningen ej visar aktuell deformation. Den digitala avläsningen stämmer dock!

Två laststeg, först 10 kPa och därefter en ”kraftig” pålastning.

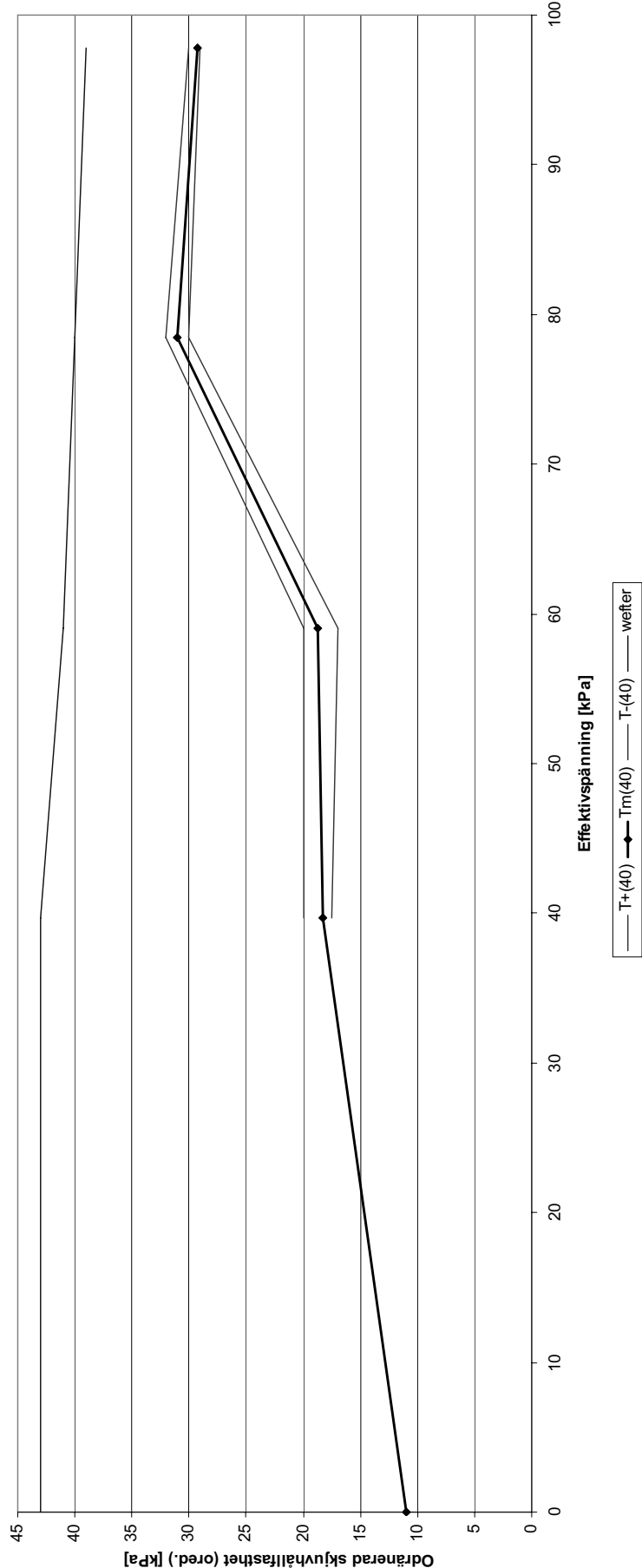
Delvis störning – 30 resp. 40 mm störningsträtt, Borrhål Kasen 21, 16m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet Kasen 21 - 16m (Tvärsnitt 30mm)



Bilaga 3.4
Delvis störning – 30 resp. 40 mm störningstratt, Borrhål Kasen
21, 16m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet Kasen 21 - 16m (Tvärsnitt 40mm)



Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-10 Punkt: Kasen 21 Djup: 18 m Störning: Tvärsnitt 30mm Startdatum: 20070402

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
	Våvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	54,6	33,5	39	100	8,7	9,8	10,1	11,3/13,5/9,6		X707-1
	63,6	40,3	37		9,7	8,5				
Ö2	63,6	40,2	37	100	7,7	8,8	8,3	13,5/16,5/12		X707-2
					9	8				
Ö3	59,0	37,3	37	100	9	9,1	9	12,6/15/12		X707-3
					8,1	9				
Ö4	59,6	36,9	38	100	8,9	9,1	8,3	12,5/14/12		X707-4
					9	9,1				
Ö5	60,2	36,0	40	100	13,9	14,4	14	4,9/5,1/4,7	Konad utan ödometerring	X707-5
					60g	5,5				
Ö6	59,4	35,4	40	100	11	12,3	10,3	7,7/9,2/6,5		X707-6
					11,9	11,1				
Ö7	56,5	35,7	37	100	8,5	8,5	7,8	15/17/13,5		X707-7
					7,6					
Ö8	53,7	35,7	34	100	6,6	5,9	6	25,6/28/23		X707-8
					6,2	6,4				
Ö9	48,1	32,0	33	100	6,9	8	7,2	18,3/21/15,5	Störd vid uttag	X707-9
					7	7,8				
Ö10										X707-10

T_k = 33

T_{di} = 6,3

S_t = 24

Ursprunglig skjuvhållfasthet och sensitivitet från tidigare genomförd rutinundersökning.

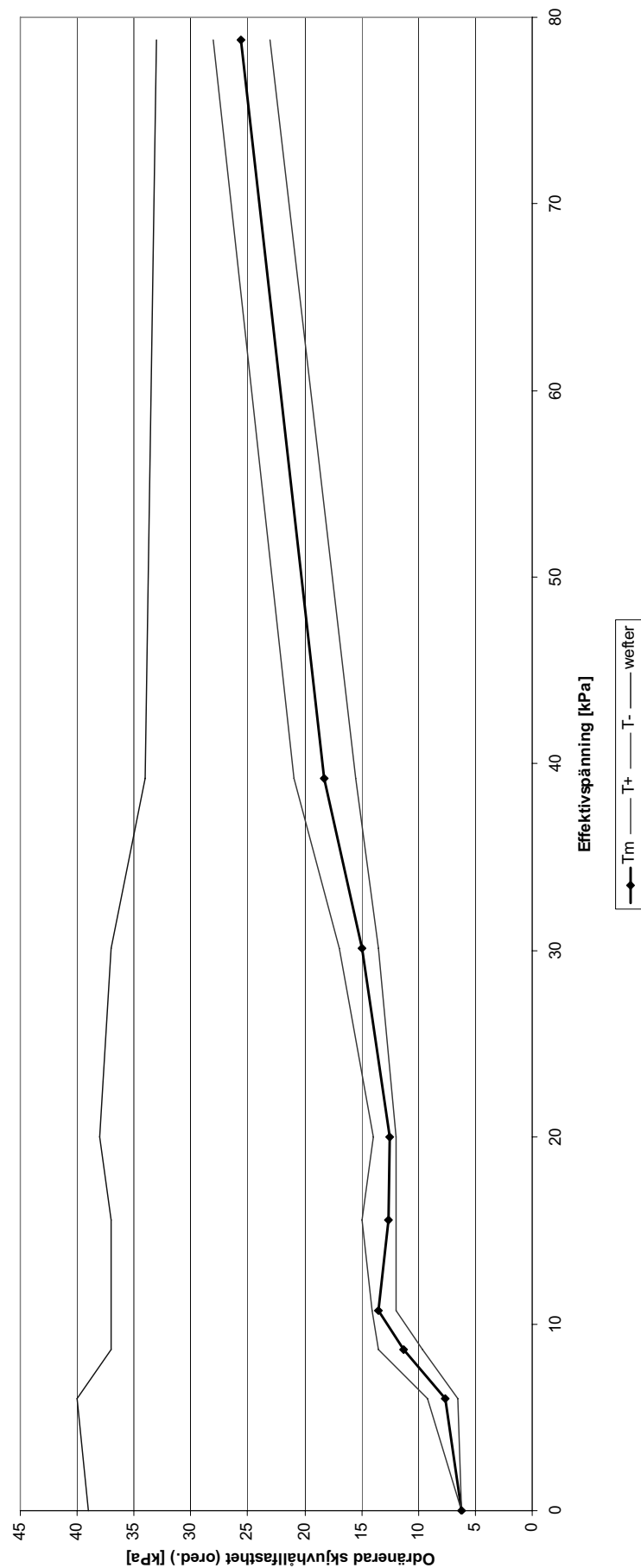
Delvis störning – 30 mm störningstratt, Borrhål Kasen 21, 18m

Arbetsnr: X7-10 Punkt: Kasen 21 Djup: 18 m Störning: T.S. 30mm Startdatum: 20070402

[illegible]

Delvis störning – 30 mm störningstratt, Borrhål Kasen 21, 18m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet Kasen 21-18m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 3m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070507
Arbetsnr: X7-18 Punkt: BG 204 Djup: 3 m

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter						Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
	Provhöjd	Vågvikt		Torrsvikt	Kon			1	2	3		
Ö1	24,5	85,0	40	50,9	100			10	10	9,5		X718-1
		71,5	36					9,5	9,5			
Ö2	23,2	68,0	36	43,4	100			10	10,2	10		X718-2
Ö3	23,3	-	-	-	-						Haveri	X718-3
Ö4	24,2	68,7	35	44,7	100			7,9	8,1	7,9	14,4/15,5/12,5	X718-4
								8,8	8,5			
Ö5	22,3	69,8	40	42,2	60			9,5	9,5	9,1	1,7/1,8/1,7	X718-5
								9				
Ö6	24,6	75,4	40	45,5	60			8,1	9,2	8,9	1,9/2,2/1,8	X718-6
								9	8,9			
Ö7	23,3	67,3	35	43,5	100			8,1	8,2	8	15,3/15,5/14,5	X718-7
								8	8,1			
Ö8	23,2	68,8	35	45,0	100			8,5	8,8	9,2	12,3/13,5/10,5	X718-8
								9,6	8,5			
Ö9	24,5	68,9	34	45,6	100			7,5	7,9	7,3	16,8/18,5/15,5	X718-9
								8	7,6			
Ö10	22,8	64,8	33	43,2	100			6,5	6,9	6,3	21,5/23/19	X718-10
								7,2	7,1			

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	100	6,3	
Kon		6,3	10
5,9		6,3	9,8
5,9		7,7	
6,2		7,2	
5,9		6,7	
6,1			

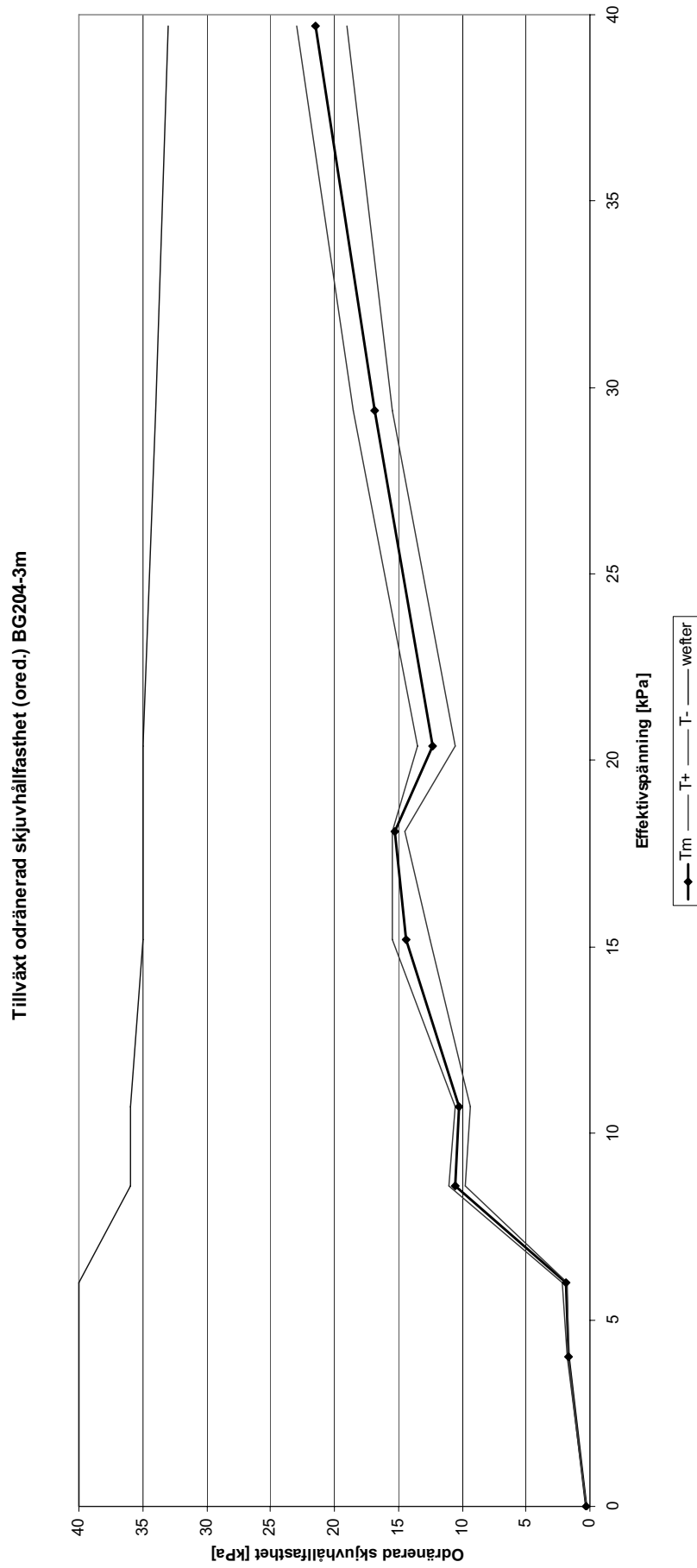
T_k = 24,3
T_r = 0,26
S_t = 94

Bilaga 4.2
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 3m

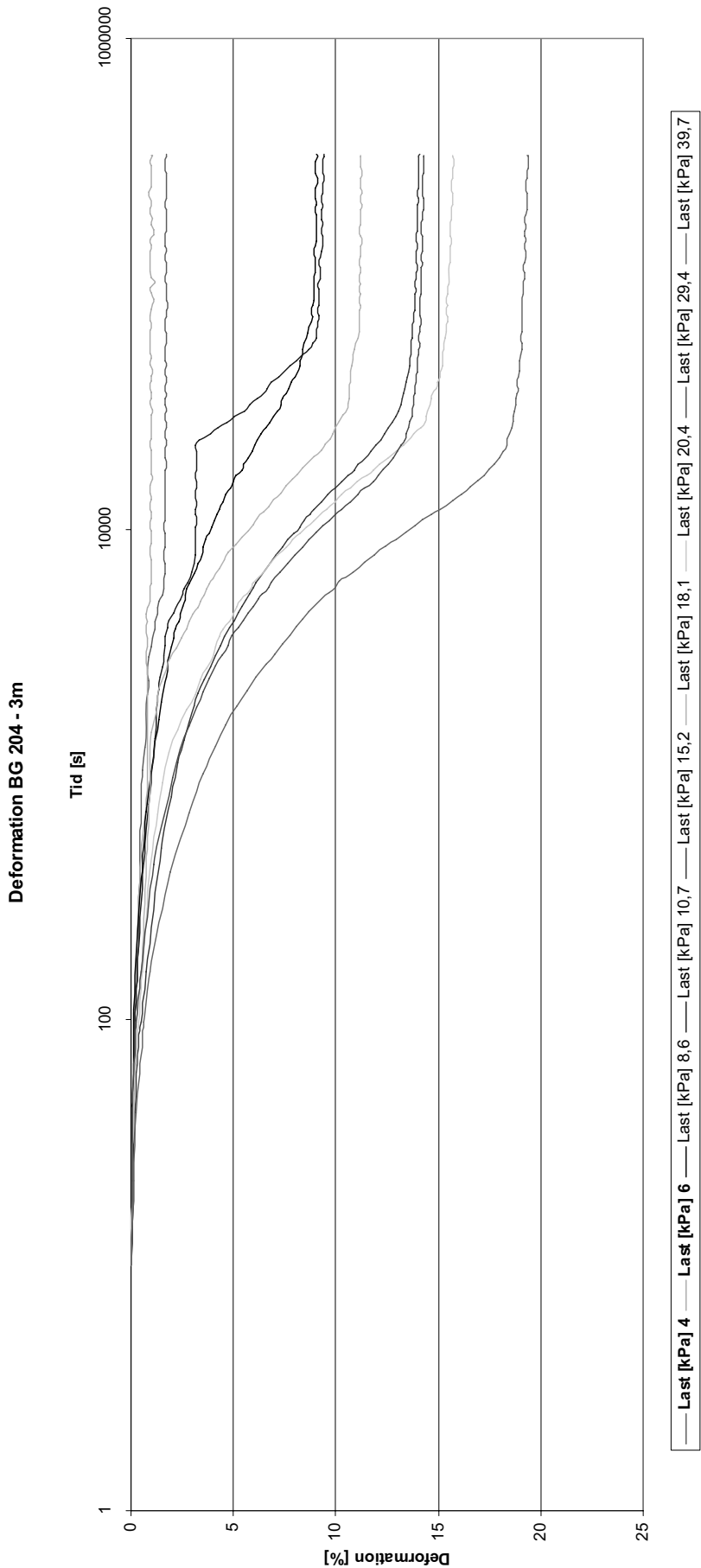
Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
 Arbetsnr: X7-18 Startdatum: 20070507
 Djup: 3 m

Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	4	Last	6	Last	18,1	Last	20,4	Last	29,4	Last	39,7
7/5	11:08	7	11																		
7/5	11:13	19	38	0	4																
7/5	11:17	22	49	9	30	4	5														
7/5	11:23	26	57	14	38	34	16	10	5												
7/5	11:28	30	70	20	45	44	22	48	37	9	9										
7/5	11:33											1	4								
7/5	11:38											11	14	6	8						
7/5	11:43											14	22	31	39	9	8				
7/5	11:47											16	24	32	44	33	36	6	2		
7/5	11:51											16	26	32	49	37	48	24	50	7	5
7/5	12:53	74	133	62	107	64	25	149	130	13	73	19	31	69	120	111	142	127	186	181	176
11/5	08:29	244	295	223	256	79	35	331	316	17	76	20	32	275	319	349	361	375	413	424	417

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 3m

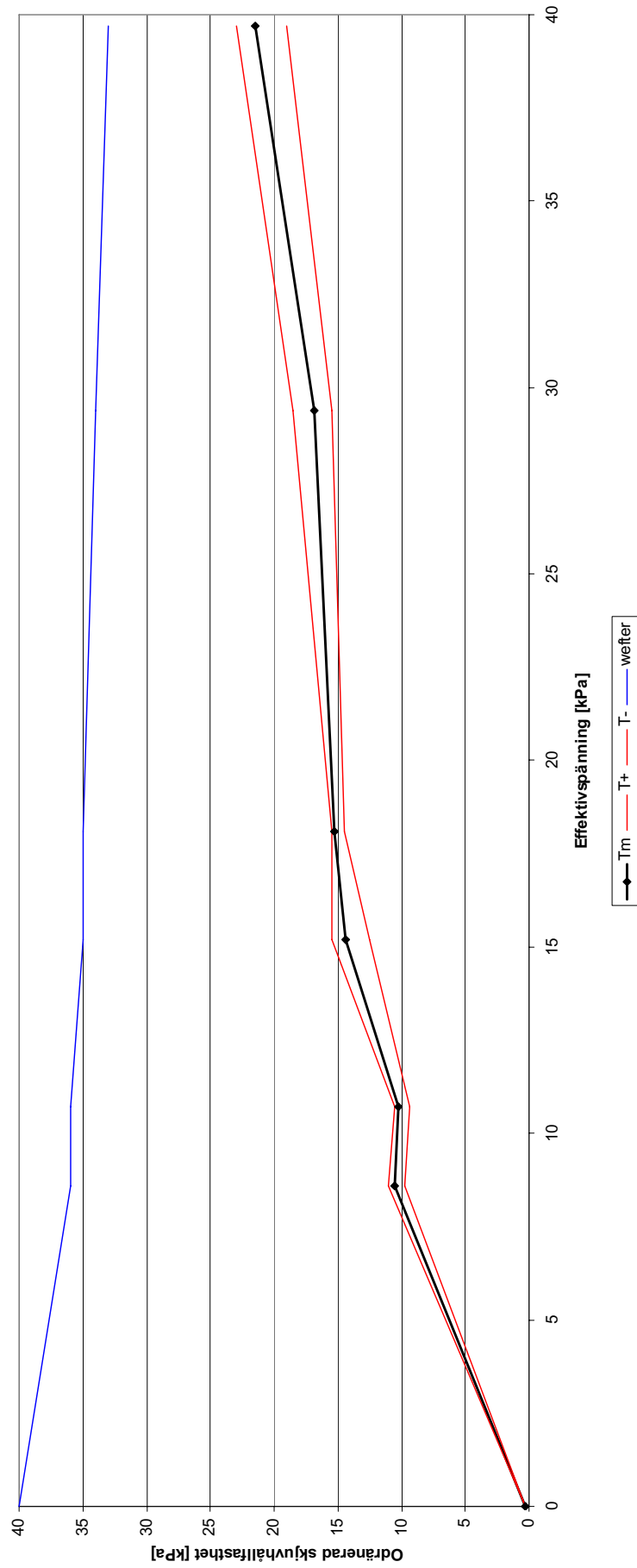


Bilaga 4.4
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 3m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 3m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-3m



Bilaga 4.6
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 5m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070316
Arbetsnr: X7-07 Djup: 5m Punkt: BG 204

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Våtvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	24,2	56,5	35,6	37	10	10,5	10		0,23/0,25/0,22	Fastnat	X707-1
		76,3	47,9	37							
Ö2	24,2	-	-	-	10	10,5	10,5		0,22	Fastnat	X707-2
		72,6	45,7	37							
Ö3	24,1	-	-	-	10	11	13		0,17/0,2/0,145	Fastnat	X707-3
		70,8	44,5	37							
Ö4	25,9	-	-	-	100	7	8	7,8	17/20/15,5		X707-4
		72,5	50,5	30		7,8	7,4				
Ö5	24,2	-	-	-	100	7,1	7,5	7,2	18,5/19,5/17,5		X707-5
		70,7	49,5	30		7,5	7,3	7,2			
Ö6	29,0	-	-	-	100	7	7,4	7	18,5/20/17,5		X707-6
		85,6	59,9	30		7,3	7,5	7,4			
Ö7	25,3	-	-	-	100	7	6,8	7	20/21/19,5		X707-7
		73,7	51,5	30		6,8	7,1	6,8			
Ö8	26,5	-	-	-	100	6,2	6,5	6,8	23/26/21		X707-8
		76,6	54,1	29		6,8	6,5	6,8			
Ö9	27,3	-	-	-	100	5,8	6,1	6,1	27/29/26		X707-9
		79,0	56,1	29		6	6	6,1			
Ö10	25,5	-	-	-	100	5,8	6	6	28/29/27		X707-10
		76,5	54,4	29		6	5,8	6			

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	100	10	
Kon		6,1	19+
6,5		6,4	
6,8		6	
6,5			

T_k = 24
T_r = <0,062
S_t = >387

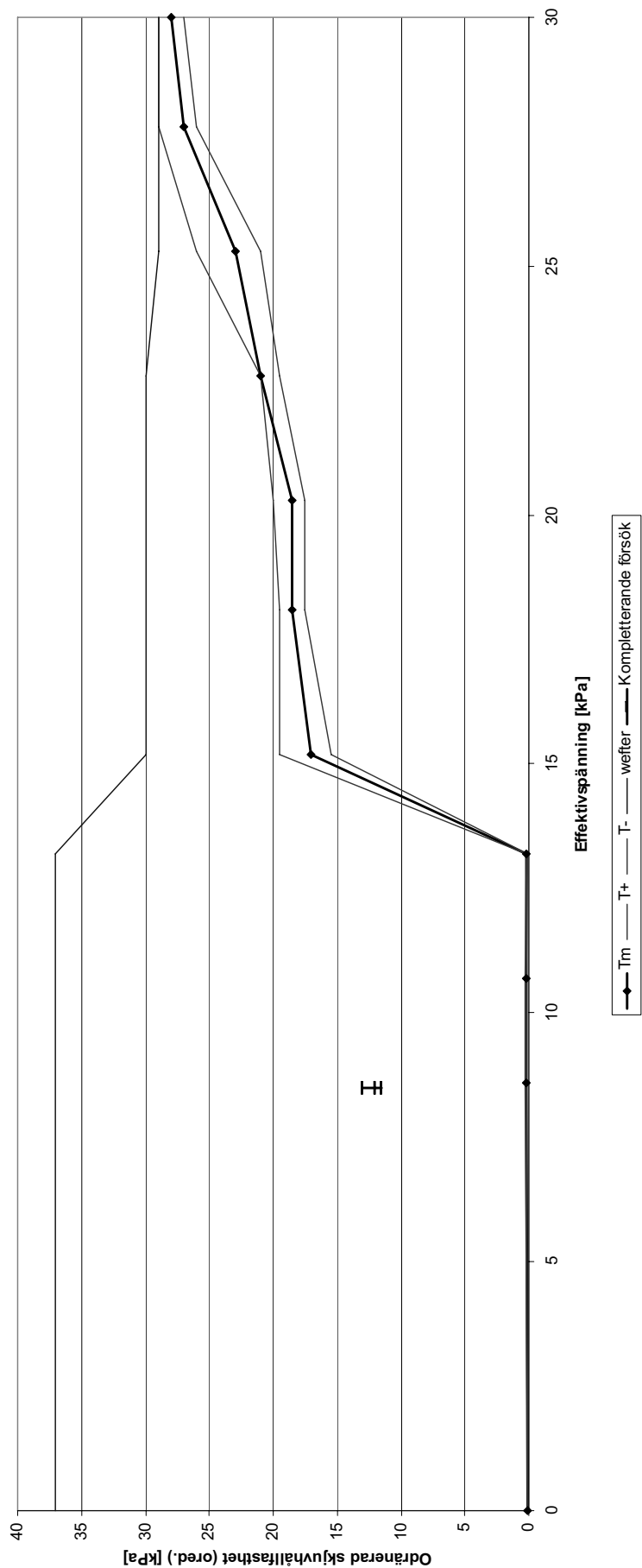
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 5m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070316
Arbetsnr: X7-07 Djup: 5m

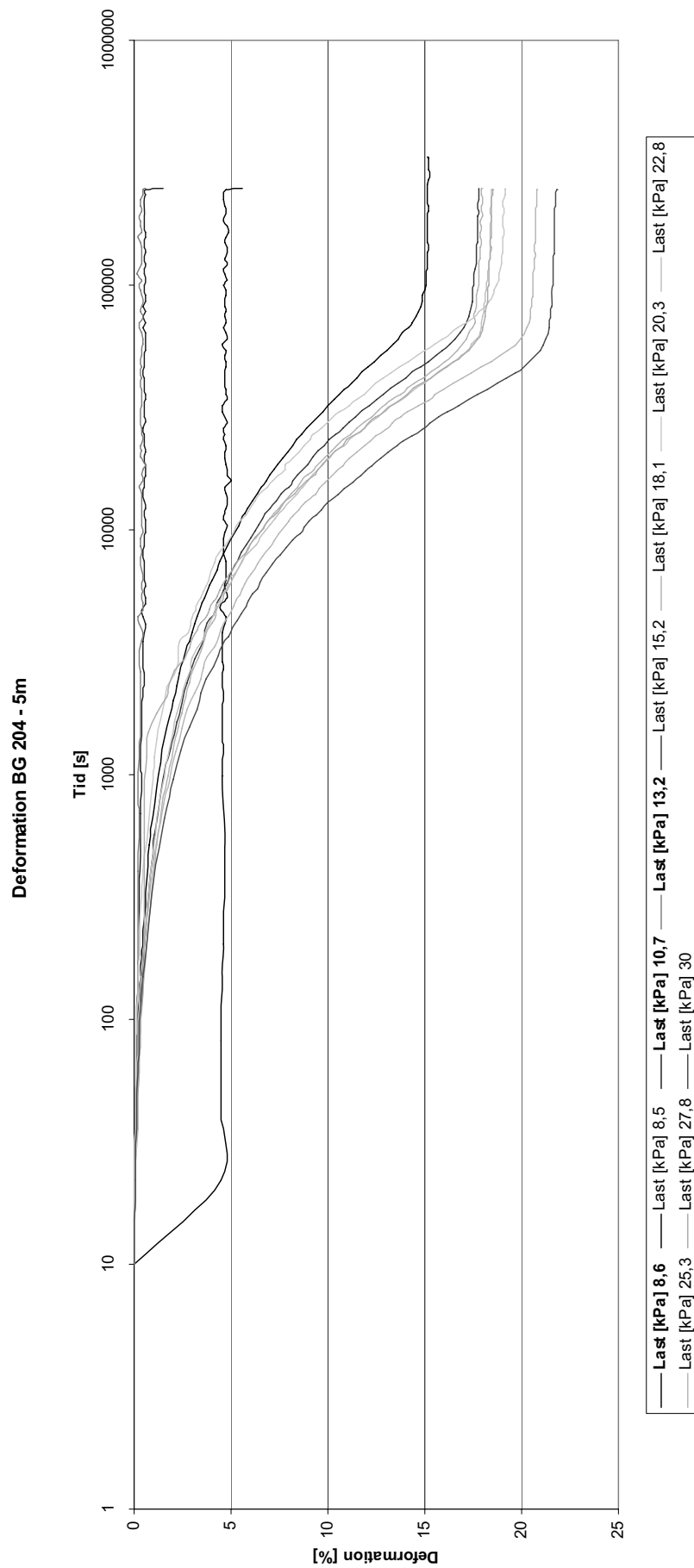
Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	18,1	Last	20,3	Last	22,8	Last	25,3	Last	27,8	Last	30
16/3	11.26	12	12																		
16/3	11.30	17	14	2	2																
16/3	11.35	18	14	17	7	3	5														
16/3	11.39	18	15	21	10	14	8	14	4												
16/3	11.42	18	15	23	11	16	9	35	15	12	4										
16/3	11.50											3	7								
16/3	11.53											13	20	6	7						
16/3	11.57											21	25	15	35	5	9				
16/3	12.03											28	34	23	54	22	46	13	17		
16/3	12.07	18	16	30	11	18	9	77	57	63	67	28	42	33	60	31	55	19	60	17	5
16/3	12.53	19	17	31	10	19	9	117	97	107	109	66	18	89	119	91	139	80	122	94	155
19/3	08.05	37	44	66	28	35	73	435	439	446	447	558	508	452	530	492	550	551	572	502	574

Bilaga 4.8
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 5m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet BG 204-5m

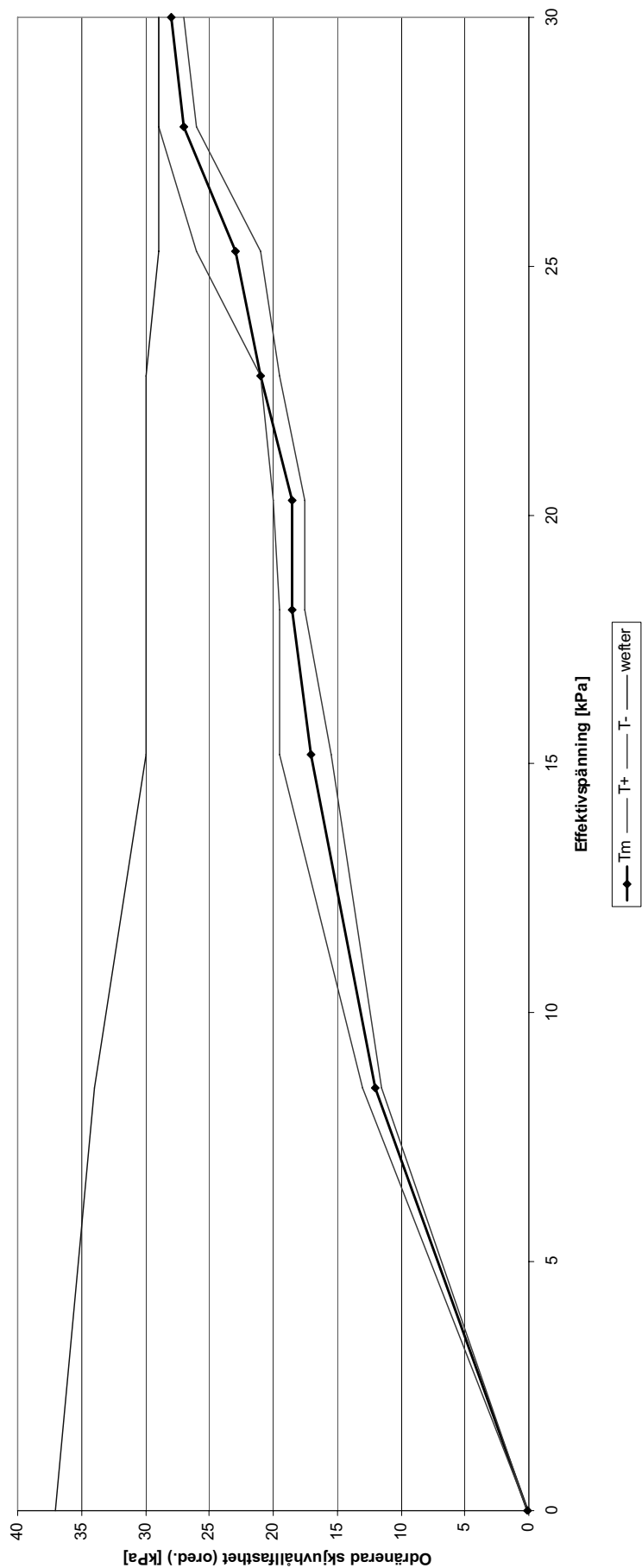


Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 5m



Bilaga 4.10
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 5m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet BG 204-5m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 6m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070410
Arbetsnr: X7-12 Punkt: BG 204 Djup: 6m

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
	Provhöjd	Våvikt	Torrsvikt	Kon	1	2	3			
Ö1	20,6	94,2	55,2	100	10,5	10,8	11	8,5/8,9/8,1		X712-1
		59,3	38,8		10,8	10,5				
Ö2	28,4	81,0	53,2	100	10	10	9,8	10,1/11/9,8		X712-2
					9,5	10				
Ö3	24,7	68,4	45,8	100	8	8,5	7,5	15,1/17,5/13,5		X712-3
					8,5	8				
Ö4	22,2	61,5	41,1	100	7,5	8	8	16,4/17,5/15,5		X712-4
					7,8	7,5				
Ö5	21,0	58,7	38,1	100	13,5	13,5	13,8	5,5/5,8/5,2		X712-5
					13	13				
Ö6	25,8	74,6	48,7	100	10,5	11	11,5	8,1/8,9/7,4		X712-6
					11	11				
Ö7	24,8	69,8	46,8	100	7,2	7,9	7,2	17,2/19/16		X712-7
					7,7	7,8				
Ö8	22,4	61,7	41,6	100	6,8	7	7,1	20/21/19,5		X712-8
					7,1	7				
Ö9	25,9	70,2	47,7	100	5,5	6	5,8	30,8/39/27		X712-9
					5	6				
Ö10										

Skjuvhållfasthet			
Ostörd	Omrörd		
Kon	100	10	19+
7,5	6,4	19+	
6,8	6,4		
6,5	6,9		
6,8	6,8		
6	7		

T_k = 22
T_r = 0,06
S_t = 367

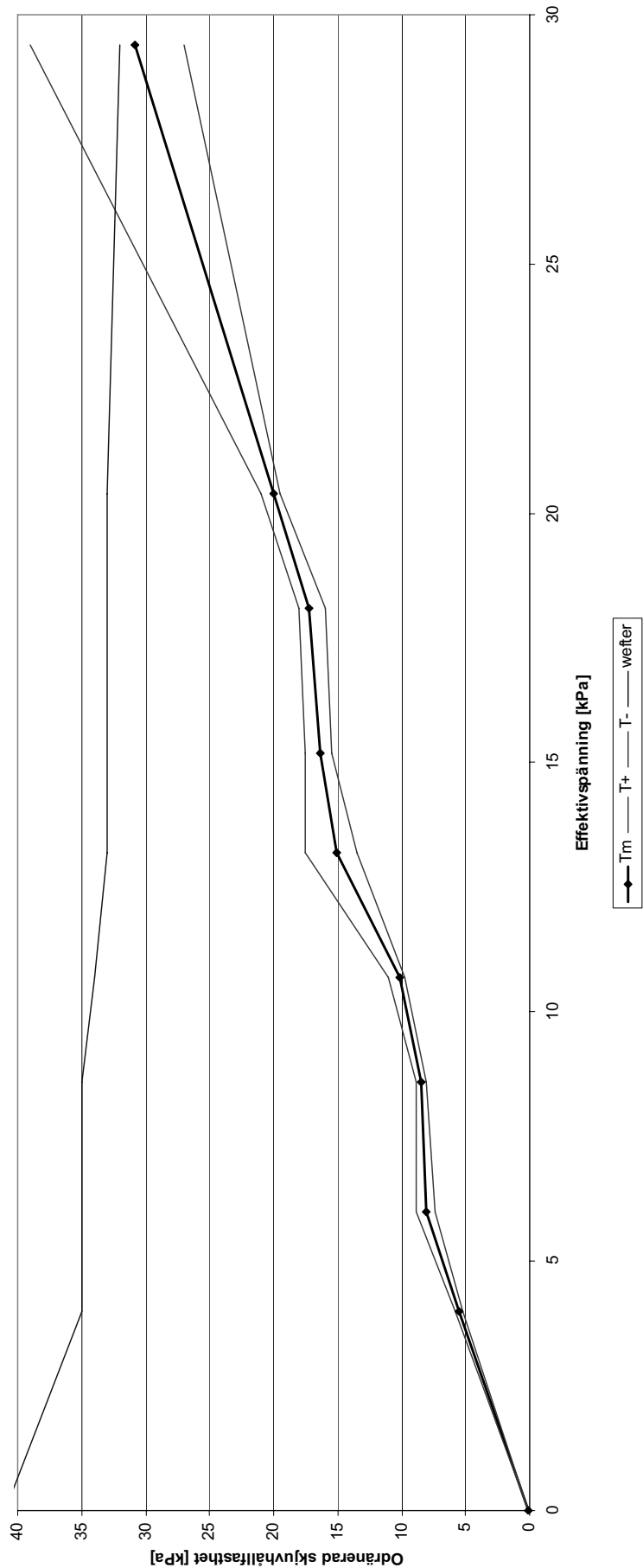
Bilaga 4.12
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 6m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometeter (Examensarbete)
 Arbetsnr: X7-12 Startdatum: 20070410
 Djup: 6m Punkt: BG 204

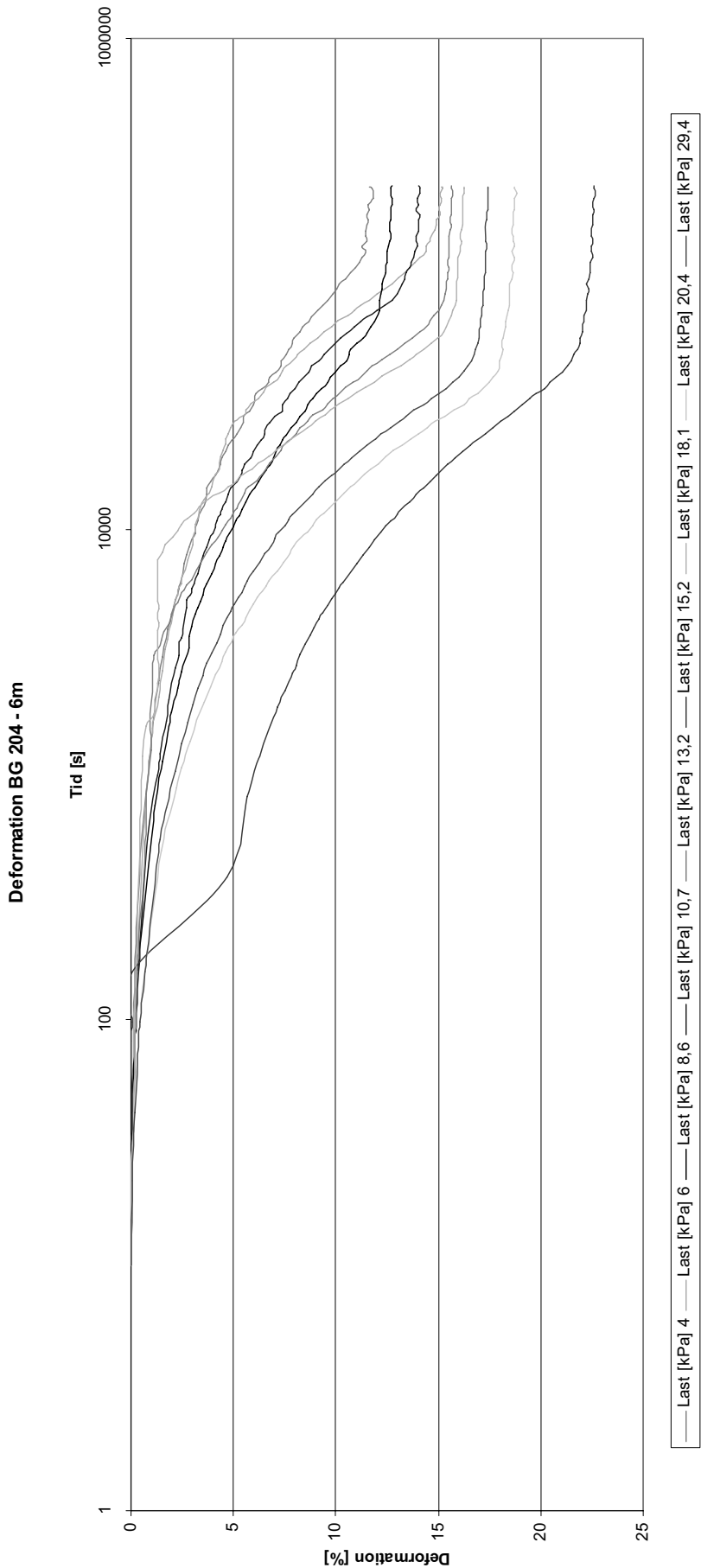
Datum		Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	4	Last	6	Last	18,1	Last	20,4	Last	29,4	Last	
10/4	10.50	2	10																		
10/4	11.00	25	41	5	7																
10/4	11.08	30	53	36	16	4	5														
10/4	11.15	37	64	45	36	6	45	11	5												
10/4	11.25	39	82	59	45	6	47	75	70	5	10										
10/4	11.30											6	11	7	9						
10/4	11.43											24	28	26	26	3	10				
10/4	11.49											29	32	26	27	72	118	9	2		
10/4	11.55	46	117	82	71	45	40	232	113	14	55	39	38	35	45	90	135	68	41		
13/4	08.15	300	320	342	526	396	489	520	410	232	300	419	314	296	584	466	498	591	442		

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 6m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-6m



Bilaga 4.14
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 6m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 7m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070420
Arbetsnr: X7-14 Punkt: BG 204 Djup: 7m

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Våtvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	23,4	99,0	54,8	45	100	10,8	11,3	11	7,9/8,4/7,4		X714-1
		64,8	40,1	38		11,5	11				
Ö2	26,2	70,5	43,9	38	100	10,3	10,7	10,5	8,8/9,2/8,4		X714-2
Ö3	23,9	63,9	40,4	37	100	10,8	10,6		12,5/13,5/12		X714-3
						9	8,5	8,8			
Ö4	23,5	62,6	39,7	37	100	9	8,9		13/13,5/12,5		X714-4
						8,8	8,7	8,7			
Ö5	25	-	-	-	-	8,5	400g	(18,8)		Haveri	X714-5
Ö6										Haveri	X714-6
Ö7	26	69,6	44,3	36	100				14,7/15,5/13		X714-7
						8	8	8,1			
Ö8	23,6	63,1	40,4	36	100	8,2	8,7		17,7/20/16		X714-8
						7,2	7,5	7,8			
Ö9	25,2	67,0	43,5	35	400	7,8	7,0		17,8/18,5/17		X714-9
						14,5	14,8	15			
Ö10	25,0	64,6	42,2	35	400	14,8	15,2		22,1/23/21		X714-10
						13,6	13,1	13,2			
						13,8	13,6				

Skjuvhållfasthet			
Ostörd	Omrörd		
Kon	100	10	19+
6,2	7,5	19+	
5,9	6,4		
6	7,1		
6,1	6,9		
6	6,8		

T_k = 23,7
T_r = 0,065
S_t = 365

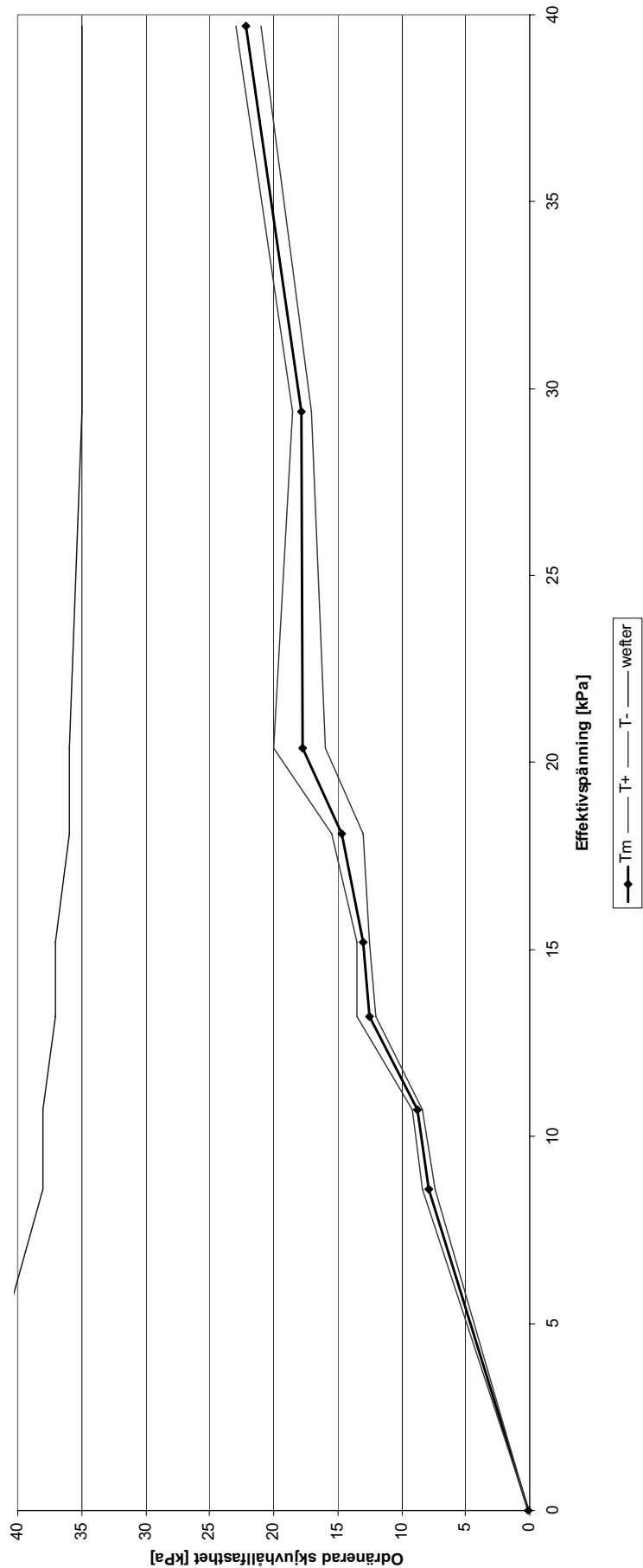
Bilaga 4.16
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 7m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
 Arbetsnr: X7-14 Startdatum: 20070420
 Djup: 7m Punkt: BG 204

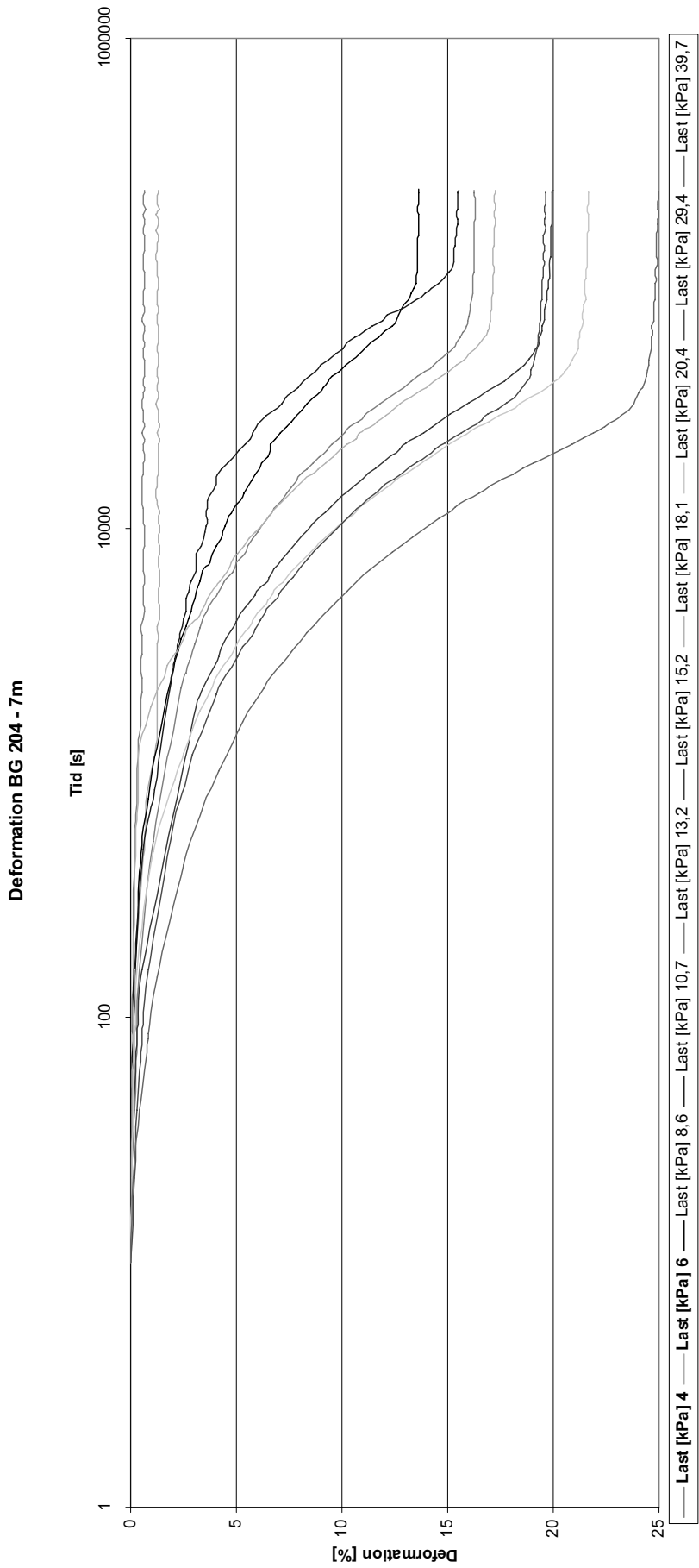
Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	4	Last	6	Last	18,1	Last	20,4	Last	29,4	Last	39,7
20/4	13:27	6	10																		
20/4	13:33	22	26	5	8																
20/4	13:38	32	35	20	25	5	6														
20/4	13:45	41	44	39	51	26	50	7	13												
20/4	14:14	78	62	50	87	25	120	30	126	5	7	4	4	7	6						
20/4	14:19											14	3	27	19	7					
20/4	14:23											16	3	27	26	44	19	5	2		
20/4	14:31											9	13	26	34	70	49	178	79	5	5
23/4	08:14	413	333	395	447	340	542	392	388	20	22	12	16	440	561	487	592	568	550	640	545

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 7m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-7m



Bilaga 4.18
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 7m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 10m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070413
Arbetsnr: X7-13 Djup: 10 m Punkt: BG204

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter			Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
	Provhöjd	Vågvikt		Kon	1	2	3		
Ö1	22,9	41,0	35	100	8,8	9,1	9,0	12,2/12,5/12	X713-1
		71,3	31		9,1	8,8			
Ö2	26,4	85,3	31	100	8	8,9	9	14,8/17,5/12	X713-2
					7,6	7,5			
Ö3	24,8	76,3	30	100	7,3	7,5	7,6	17,2/18,5/16	X713-3
					7,8	7,6			
Ö4	25,4	75,8	30	100	6,4	6,4	7,1	21,4/24/19,5	X713-4
					7,1	7			
Ö5	23,4	71,5	31	100	10	11	10,9	8,6/9,8/8,1	X713-5
					10,6	10,9			
Ö6	21,3	65,1	31	100	9,1	9,8	9,9	10,5/12/10	X713-6
					9,9	9,7			
Ö7	22,4	69,9	29	400	14,3	14,6	14,8	18,5/19/18	X713-7
					100g	(6)			
Ö8	19,5	60,6	30	100	7,3	7,7	8,1	16,2/18,5/15	X713-8
					7,9	8			
Ö9	24,6	74,0	28	400	12,2	12,3	12,6	25/26/24	X713-9
					12,7	12,8			
Ö10	25,8	74,6	28	400	10,9	11,3	11,3	31,4/33/30	X713-10
					11,1	11,5			

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	100	10	
Kon		5,5	19+
6,9		5,8	
6,5		6,1	
7		5,8	
7,2		6,1	
7			

T_k = 25,1
T_r = 0,065
S_t = 386

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 10m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-13

Startdatum: 20070413

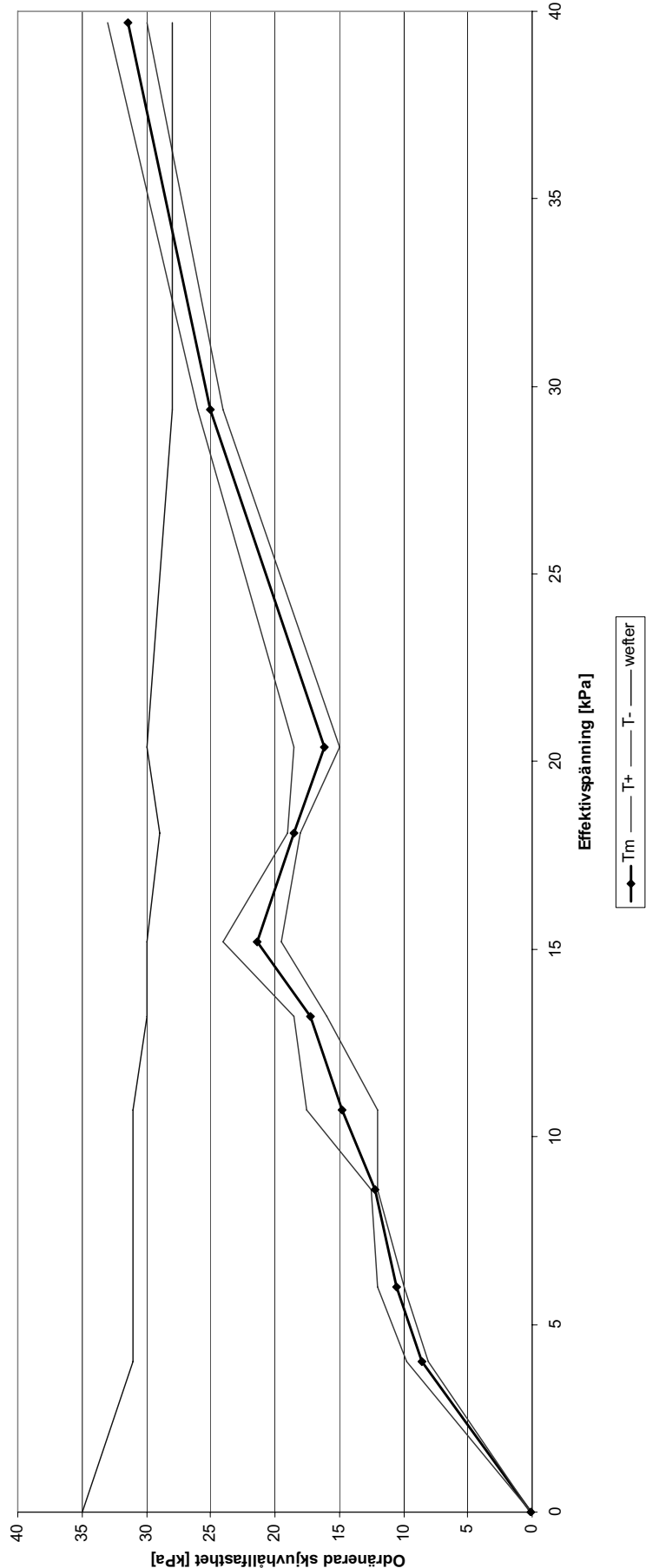
Djup: 10 m

Punkt: BG 204

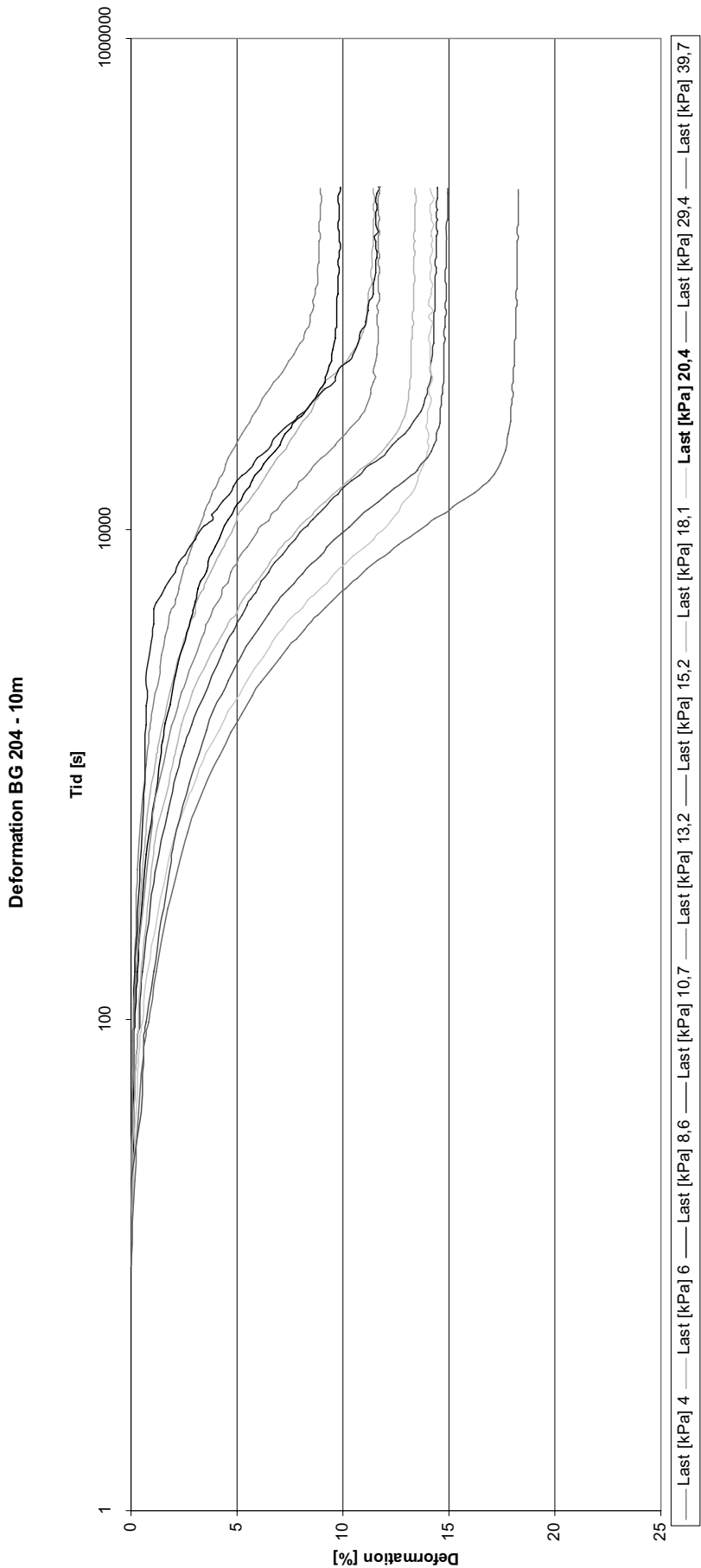
Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	4	Last	6	Last	18,1	Last	20,4	Last	29,4	Last	39,7
13/4	11:35	10	13																		
13/4	11:40	28	34	4	4																
13/4	11:46	31	48	0	31	9	8														
13/4	11:55	41	64	7	43	59	21	10	9												
13/4	12:45	72	105	20	45	124	86	115	105	6	38	5	25	12	12						
13/4	12:55											23	37	45	42	5	11				
13/4	13:02											34	40	65	50	11	86	8	4		
13/4	13:08											44	41	82	54	30	95	10	116	9	6
13/4	13:50	104	144	56	108	177	139	172	165	37	91	98	47	155	92	175	188	120	179	180	170
13/4	16:00	154	194	87	241	253	214	248	246	75	137	165	75	301	254	223	249	255	332	351	341
16/4	08:40	267	303	259	416	360	322	343	358	205	278	284	199	415	281	302	234	378	445	456	441

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 10m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-10m

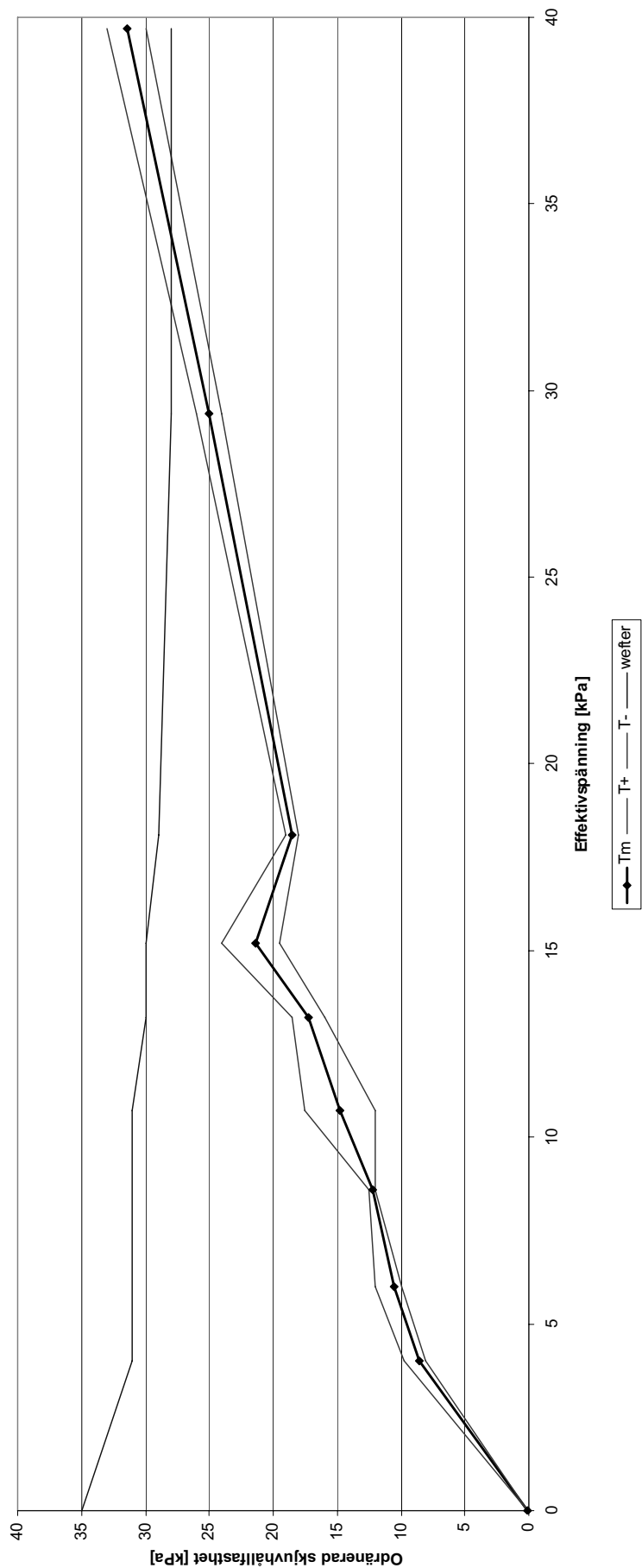


Bilaga 4.22
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 10m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 10m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-10m



Bilaga 4.24
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 12m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-17 Punkt: BG 204 Djup: 12 m Startdatum: 20070502

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter			Utv: m(+/-	Anmärkning	Filnamn
	Provhöjd	Våvikt		Kon	1	2	3		
Ö1	25,2	99,3	30	60	7,5	8	8,2	Haveri	X717-1
		85,9	30		8,4				
Ö2	25,7	82,9	27	100	8,9	9,4	9,5	11,3/12,5/10,5	X717-2
					9,3	9,6			
Ö3	25,3	77,3	27	100	9,2	9,5	10,1	10,2/11,5/9,1	X717-3
					10	10,4			
Ö4	23,8	78,8	26	100	8	8,2	6,9	16,7/21/17,5	X717-4
					8,8	7,0			
Ö5	23,3	79,9	30	60	8,9	10	9,8	1,5/1,85/1,35	X717-5
					10,5	10,1			
Ö6	22,1	72,5	28	100	10,6	11	12	7,5/8,7/6,8	X717-6
					11,9	12			
Ö7	22,3	72,3	26	100	8,1	8	8,2	15/15,5/14,5	X717-7
					8,1	8,1			
Ö8	21,8	70,0	26	100	7,1	8,2	7,8	17,2/21/14,5	X717-8
					8,1	6,8			
Ö9	25,1	81,8	24	100	6,6	(5,6)	6,9	21,3/23/20	X717-9
					7,0	6,8			
Ö10									

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	400	10	
Kon			
13	14,9	11,5	
13,8	17,5		
100g			
5,5			

T_k = 22,7
T_r = 0,185
S_t = 123
Mycket skal

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 12m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-17

Startdatum: 20070502

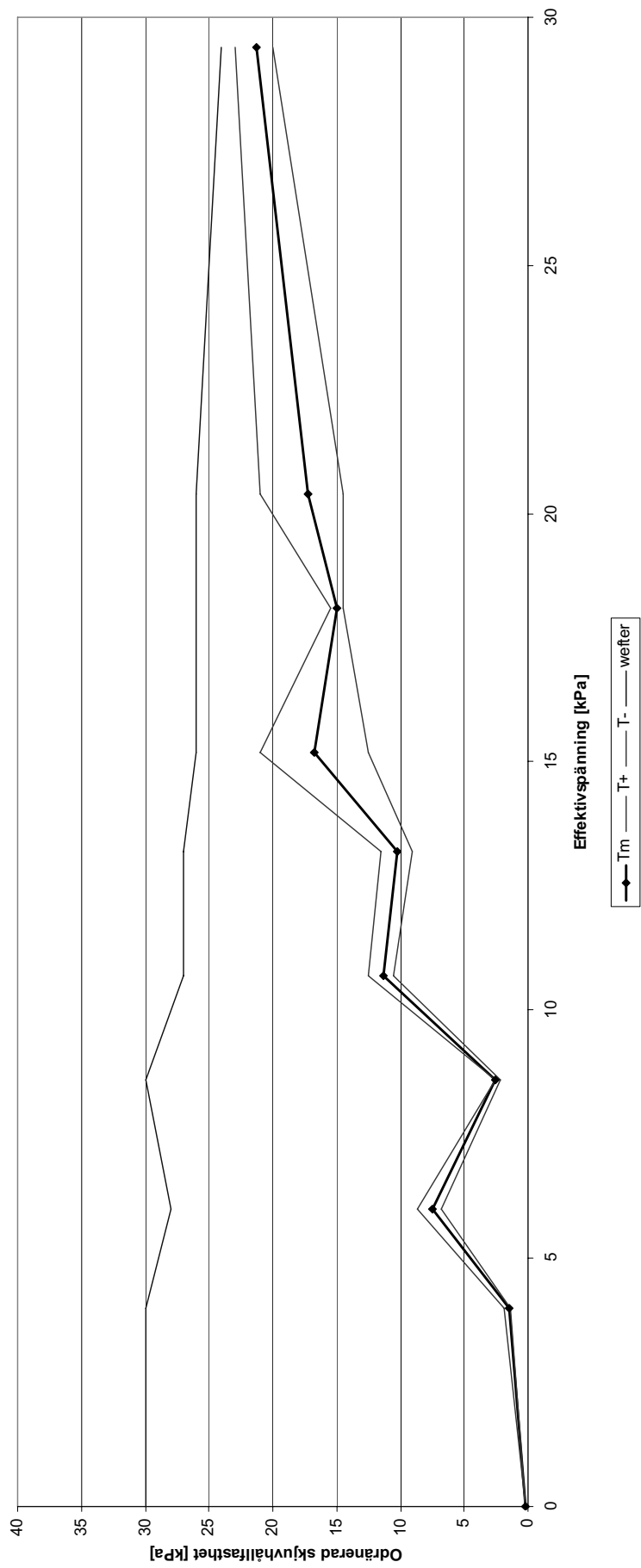
Djup: 12 m

Punkt: BG 204

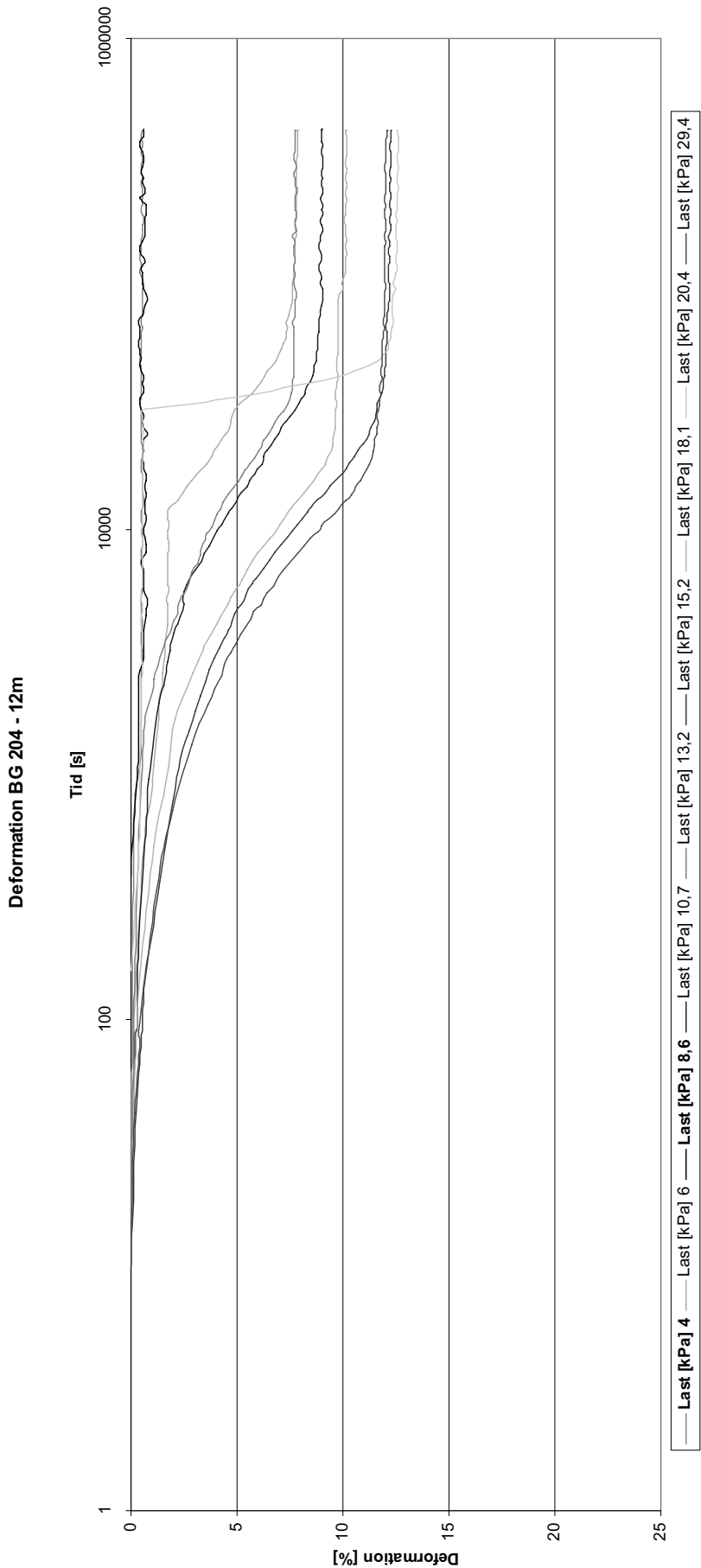
Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	4	Last	6	Last	18,1	Last	20,4	Last	29,4	Last	
2/5	10:24	6	1																		
2/5	10:30	6	15	3	6																
2/5	10:37	4	25	46	7	9	4														
2/5	10:44	4	29	48	12	26	14	12	8												
2/5	10:55	7	30	55	34	24	32	65	48	11	8										
2/5	10:57											8	3	9	8						
2/5	11:07											39	2	73	4	5	6				
2/5	11:12	37	25	76	45	29	55	92	69	25	13	44	6	98	10	19	16	5	8		
7/5	08:25	45	30	264	283	141	307	285	281	33	15	176	250	329	299	217	307	250	362		

Bilaga 4.26
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 12m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-12m

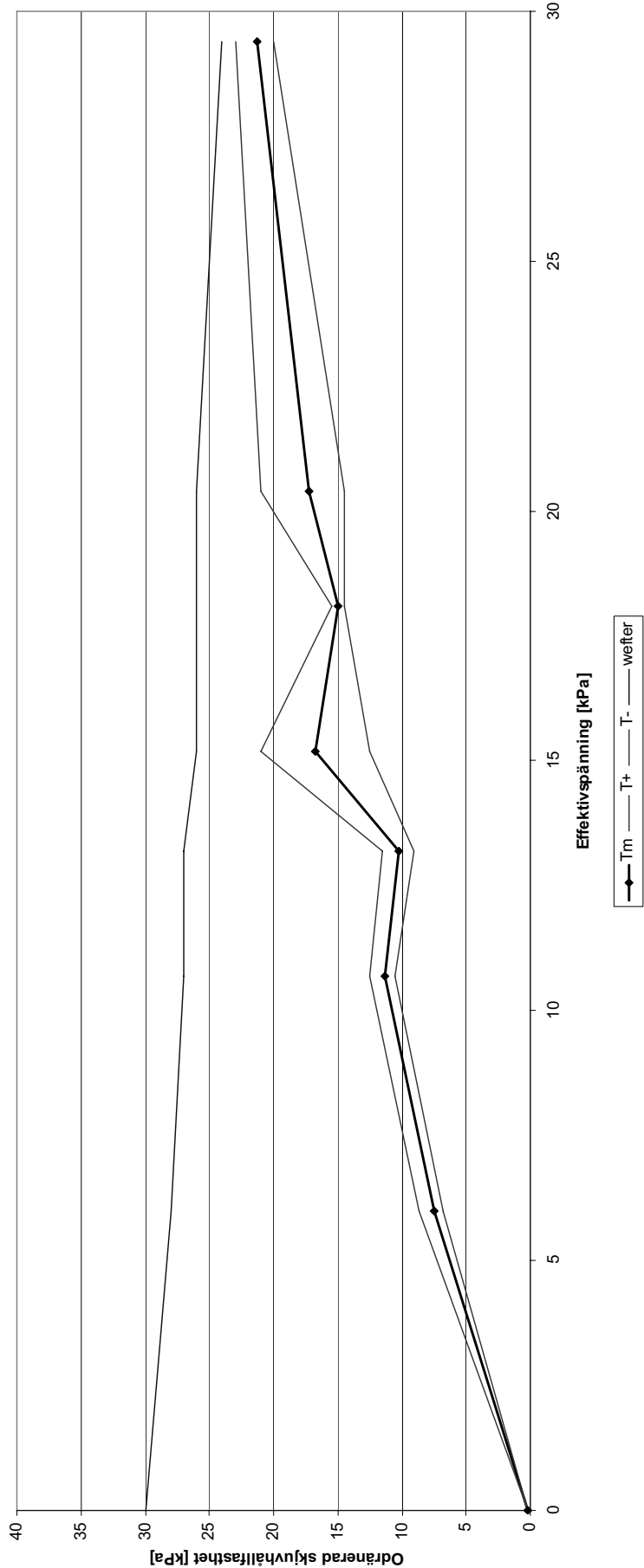


Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 12m



Bilaga 4.28
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 12m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-12m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 14m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-19

Punkt: BG 204

Djup: 14 m

Startdatum: 20070511

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter					Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
	Provhöjd	Våvikt		Torrsvikt	Kon	1	2	3			
Ö1	21,3	153,2	30	107,2	60	9	12	12		Haveri	X719-1
		74,8	30	52,6		13					
Ö2	25,8	86,2	26	63,4	100	9	9,8	9,2	11,1/12/10	Tilt	X719-2
Ö3	24,2					9,8	9,1			Haveri	X719-3
Ö4	25,5	80,8	25	60,6	100	7,5	7,8	7,8	16,8/19/15,5		X719-4
Ö5	23,4	81,4	29	57,6	60	7,9	7,2		1,6/1,8/1,4	Fastnat	X719-5
						9,2	9,5	10			
Ö6	24,1	78,6	25	59,2	100	9,8	9,5		21,3/23/19,5		X719-6
						6,5	7,1	7			
Ö7	21,9	71,5	25	53,7	100	6,5	6,9		20,5/23/19,5	Tilt	X719-7
						7,5	7,0	7,2			
Ö8	22,9	74,8	24	56,8	400	15	15,8	15,2	16,8/17,8/15,5	Tilt	X719-8
						15,2	100g	5			
Ö9	23,7	77,0	23	59,1	400	12	11,9	12,2	26,4/28/25		X719-9
						12,4	12,6				
Ö10	23,8	75,9	23	58,7	400	11	11,2	12,2	30,6/32/26		X719-10
						11	11				

Skjuvhållfasthet			
Ostörd	Omrörd		
Kon	100	10	
8	8,1	14	
7,8	7,2	14	
8	7,1	14	
6,9	6,1		
6,7	7,6		

T_k = 18,7
T_r = 0,125
S_t = 150

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 14m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-19

Punkt: BG 204

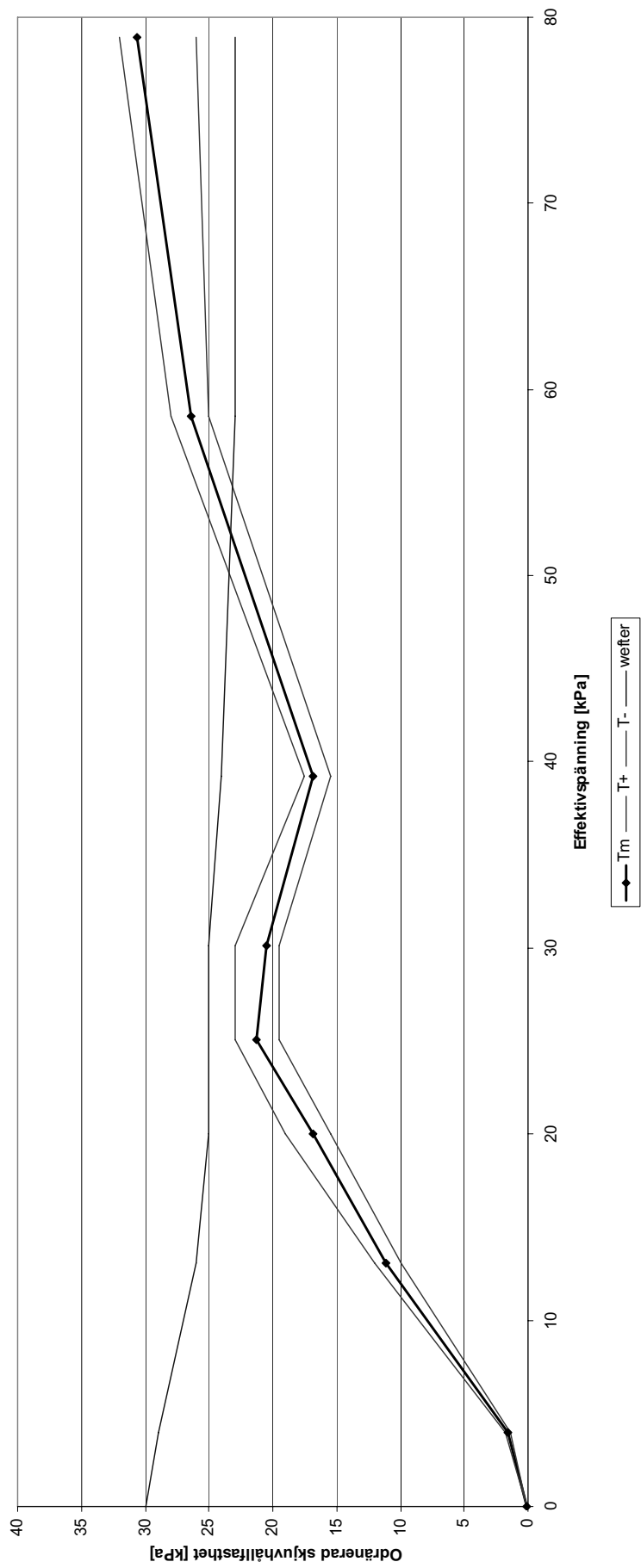
Djup: 14 m

Startdatum: 20070511

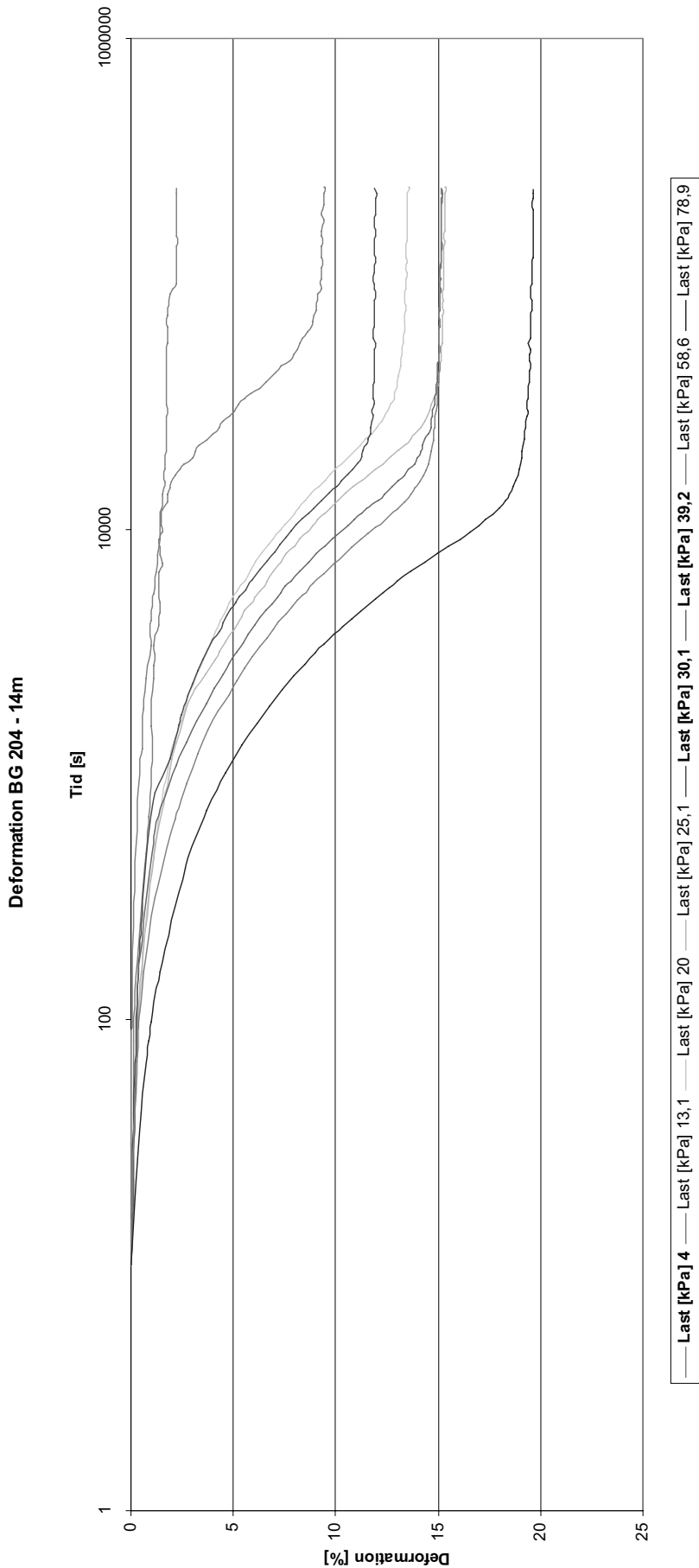
Datum		Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	10,7	Last	13,1	Last	15,6	Last	20	Last	4	Last	25,1	Last	30,1	Last	39,7	Last	58,6	Last	78,9
11/5	11:47	6	10																		
11/5	11:53	7	23	6	6																
11/5	11:59	21	21	43	44	7	5														
11/5	12:07	21	26	46	21	36	12	9	5												
11/5	12:13											5	5								
11/5	12:51											85	81	6	4						
11/5	12:58	28	35	69	23	40	23	43	73	9	7										
11/5	13:08											109	108	65	43	5	10				
11/5	13:15											119	117	76	54	35	38	6	4		
11/5	13:22											123	127	88	57	36	74	38	74	11	5
14/5	08:38	29	59	431	110	41	26	360	309	22	104	333	362	370	222	257	426	397	423	454	471

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 14m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-14m

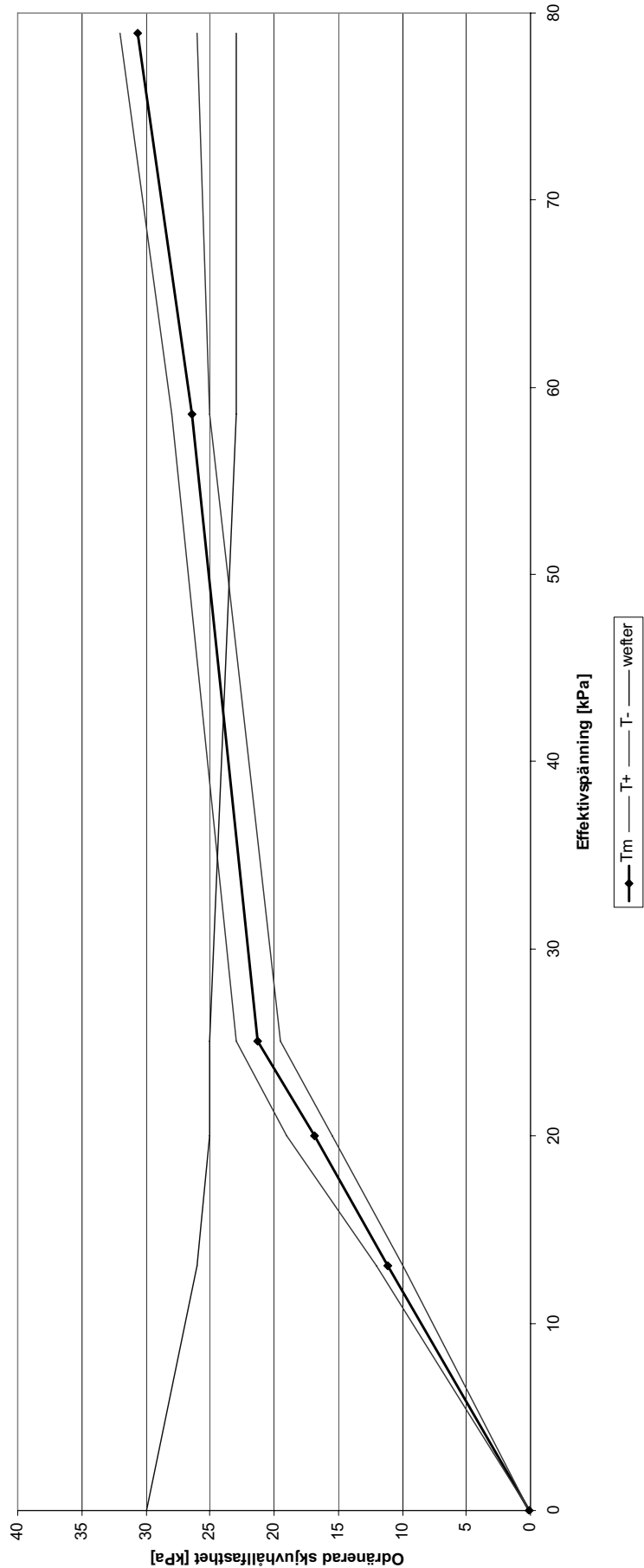


Bilaga 4.32
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 14m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 14m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-14m



Bilaga 4.34
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 16m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070404
Arbetsnr: X7-11 Djup: 16m Punkt: BG 204

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filhamn
		Våvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	21,3	65,3	49,7	24	60	13	14	13	0,83/0,87/0,75	Fastnat	X711-1
		77,9	59,1	24							
Ö2	25,1	91,7	70,0	24	60	10,5	10,5	11	1,3/1,35/1,15	Fastnat	X711-2
						11,3					
Ö3	24,7	86,3	68,8	20	100	12,5	13	12,5	6/6,8/4,7	Tilt	X711-3
						12	14,5				
Ö4	24,9	86,0	69,1	20	100	10	10,5	9,8	9,6/10/8,9	Siltig	X711-4
						9,8	10,2				
Ö5	22,1	79,4	60,5	24	10	6,5	6,5	7	0,55/0,58/0,5	Fastnat	X711-5
Ö6	21,8	76,7	60,4	21	100	17	17	17,5	3,3/3,4/3	Tilt/Stabil	X711-6
						18					
Ö7	21,6	76,8	61,4	20	100	12,5	11,5	11	7,3/8,1/6,3	Tilt	X711-7
						(14)	(13,8)				
Ö8	26,4	95,8	76,6	20	100	11,5	11,5	12	6,7/7,4/5,8	Tilt	X711-8
						12,5	13				
Ö9	20,1	70,8	57,7	19	100	8,5	8,5	9	13,1/13,5/12		X711-9
						8,5	8,7				
Ö10	22,2	78,4	64,3	18	100	7	6,8	7	20/21/19		X711-10
						7,2	7				

Skjuvhållfasthet			
Ostörd	Omrörd		
Kon	400	10	
15	16,9	19+	
15	10*		
16,8	17		
17	7*		
	12		

*Silt

T_k = 14,9

T_r = 0,06

S_t = 248

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 16m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-11

Startdatum: 20070404

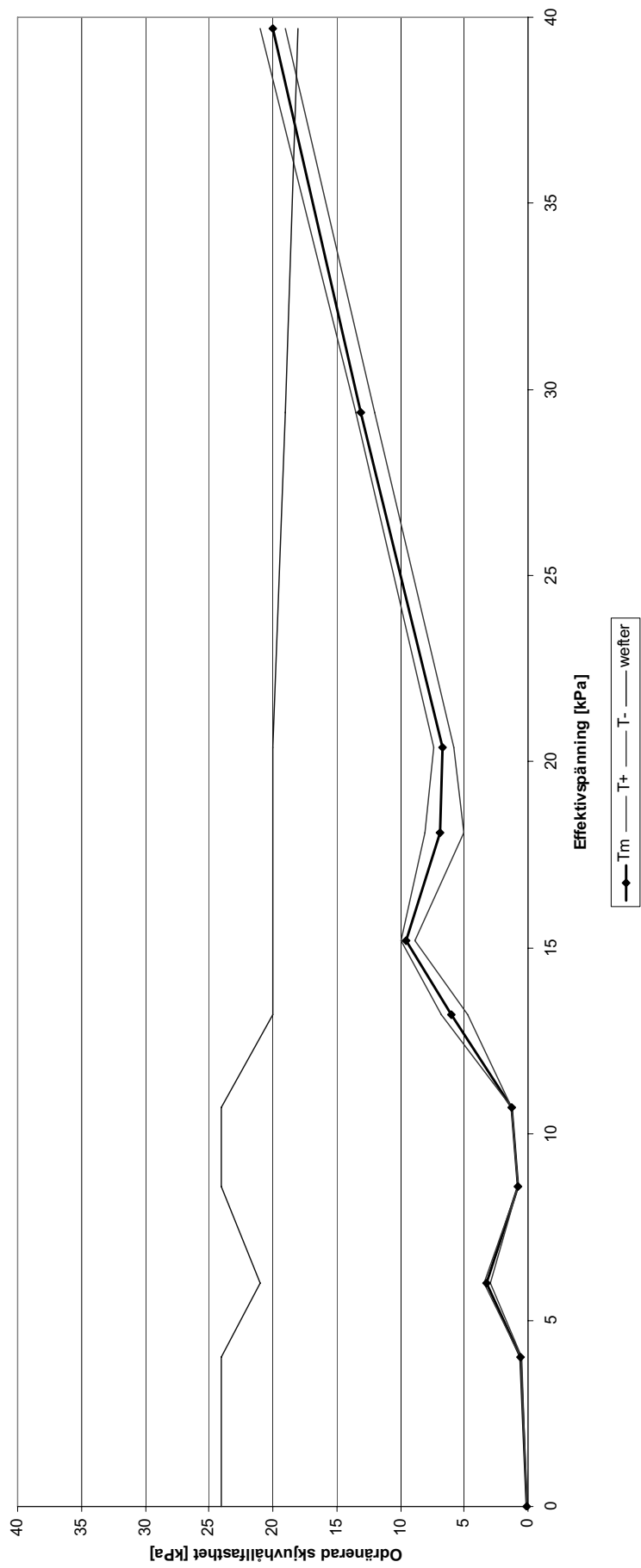
Djup: 16m

Punkt: BG 204

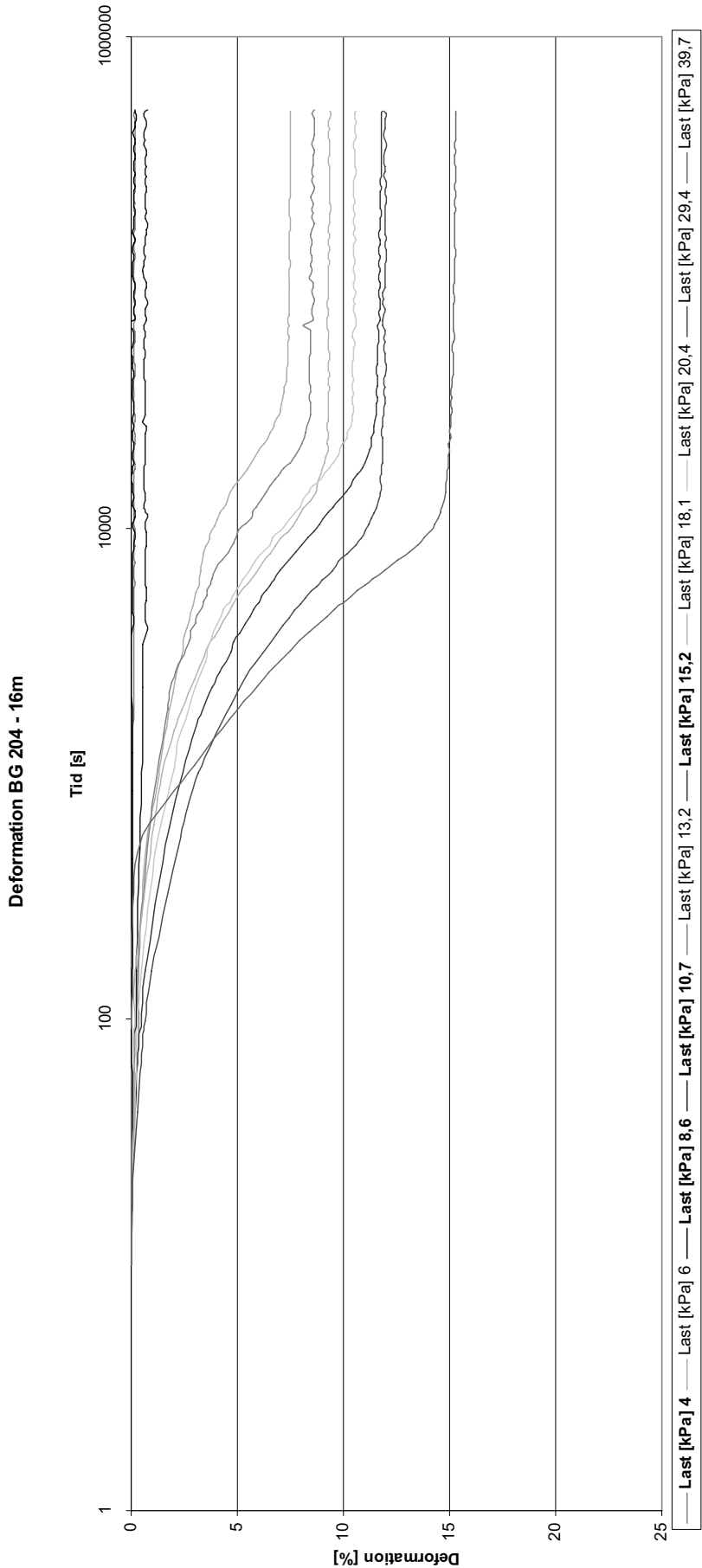
Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	4	Last	6	Last	18,1	Last	20,4	Last	29,4	Last	39,7
4/4	12.50	7	7																		
4/4	12.55	9	6	9	5																
4/4	13.02	9	5	7	34	8	8														
4/4	13.06	9	4	7	34	34	26	10	4												
4/4	13.14	9	4	9	34	54	29	52	48	6	3										
4/4	13.24											5	6								
4/4	13.34											5	37	4	7						
4/4	13.42											17	45	-7	52	5	9				
4/4	13.48											20	54	-2	61	48	38	12	4		
4/4	13.55	12	15	15	33	145	12	118	110	10	4	24	62	-2	79	82	39	80	40	18	6
10/4	08.10	12	15	19	33	377	101	280	284	11	4	92	254	65	362	352	198	300	257	340	316

Bilaga 4.36
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 16m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-16m

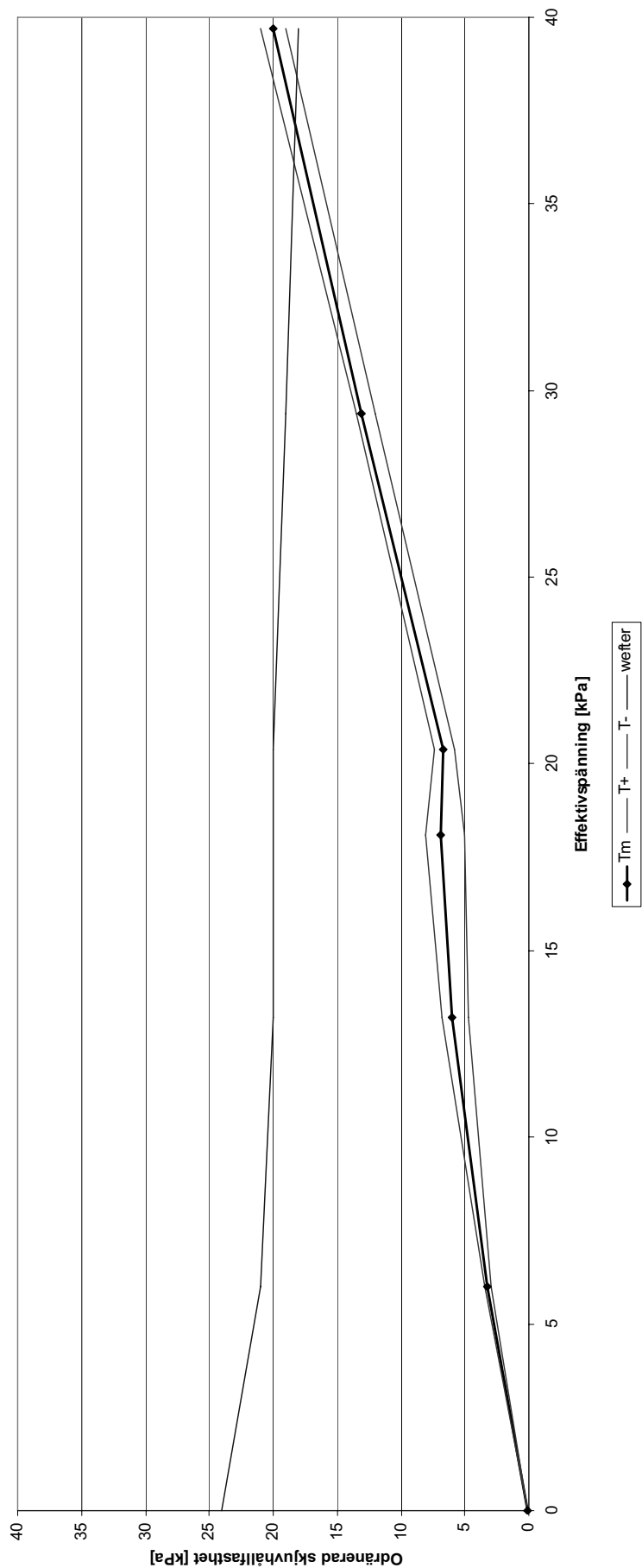


Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 16m



Bilaga 4.38
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 16m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-16m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 18m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070426
Arbetsnr: X7-16 Djup: 18 m Punkt: BG 204

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter			Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Våvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3		
Ö1	20,0	110,1 74,4	87,3 60,1	21 19	100	7,5 8,5	8 8,5	8,2	14,9/17,5/13,7	X716-1
Ö2	23,0	-	-	-	-	-	-	-	Haveri	X716-3
Ö3	22,9	84,7	67,9	20	100	12 16	13 6,7	14 6,4	5,4/6,8/3,8	X716-4
Ö4	22,0	80,1	65,6	18	100	6,5 6	6,7 6	6,4	24,6/27/22	X716-6
Ö5	22,8	83,1	68,6	17	100	5,8 5,5	5,8 6	5,5	29,8/32/27	X716-8
Ö6	23,0	84,2	67,7	20	100	10 (14)	12 12	10	8,3/9,8/6,8	X716-2
Ö7	19,7	70,1	57,0	19	100	7,5 8	8 8	8,5	15,5/17,5/13,5	X716-5
Ö8	21,9	82,2	66,7	19	100	10 9	10,8 9,5	11,5	9,7/12/7,4	X716-9
Ö9	23,2	85,2	69,8	18	100	6,7 6,5	7 7,1	7,5	20,4/22/17,5	X716-7
Ö10										

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	Kon	100	
7,6		6,7	17,5
5,5		8,3	18
5,6		7,9	18
5,8		7,2	17,5
5,3		5,6	

T_k = 24,6
T_r = 0,078
S_t = 315

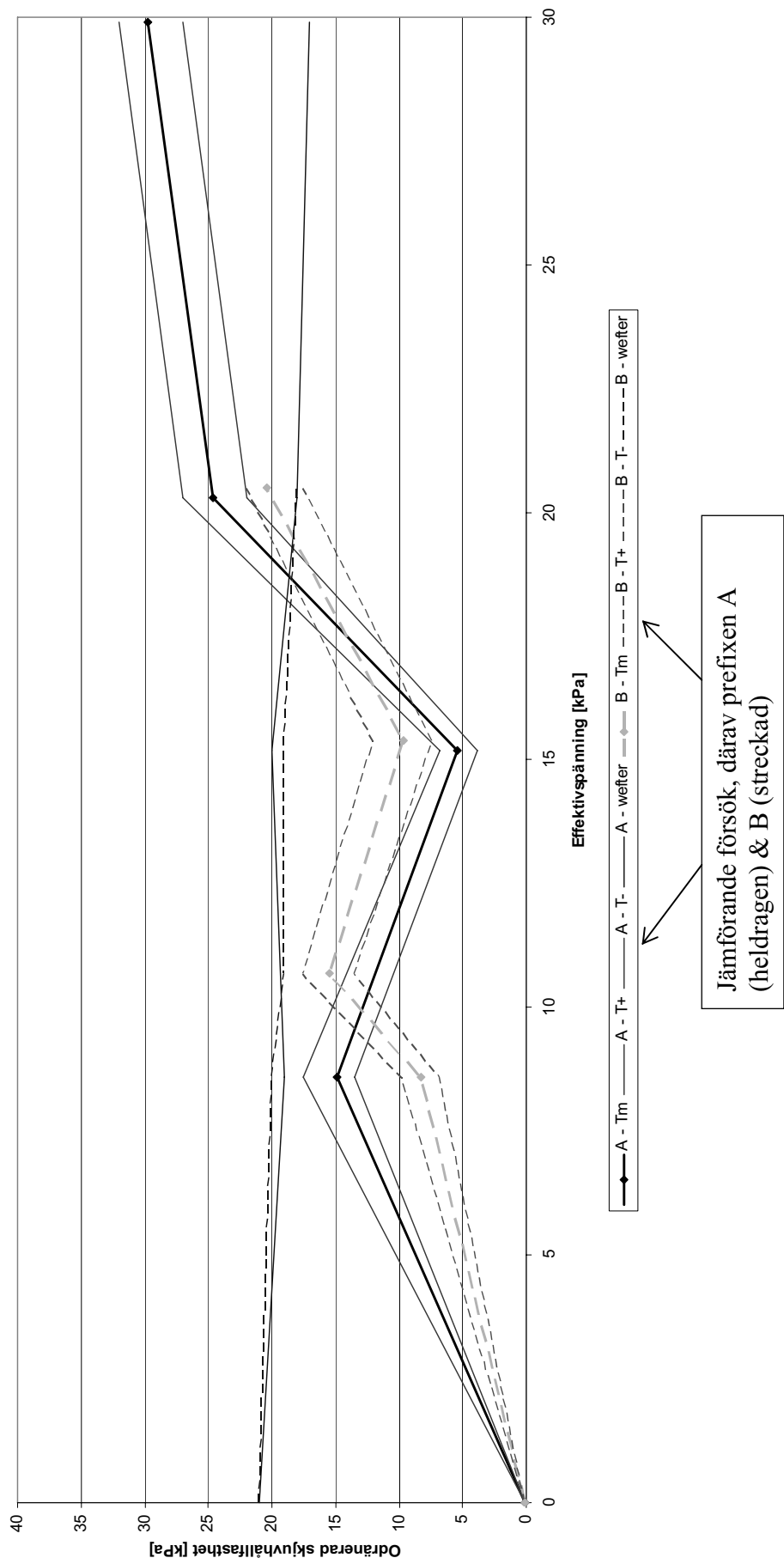
Bilaga 4.40
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 18m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070426
Arbetsnr: X7-16 Djup: 18 m Punkt: BG 204

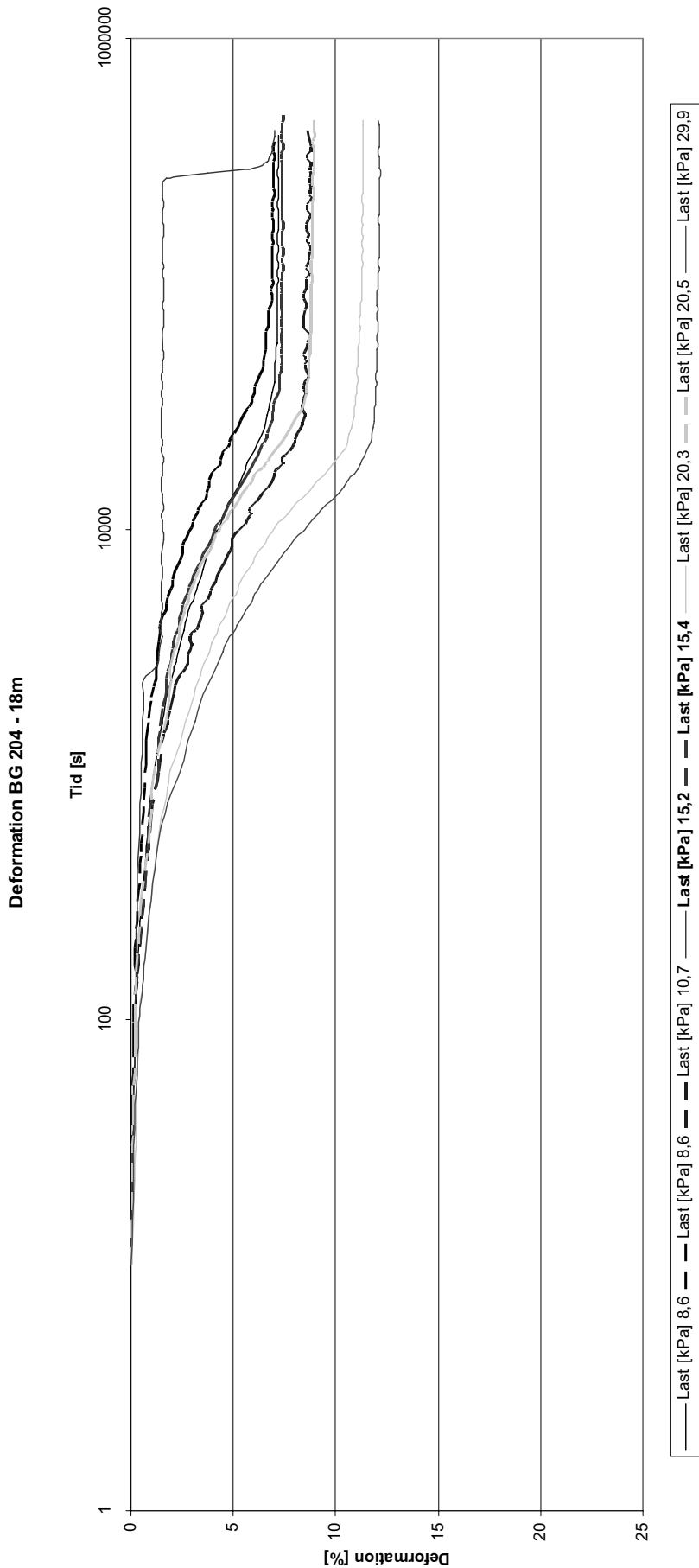
		Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	15,2	Last	20,3	Last	29,9	Last	8,6	Last	10,7	Last	15,4	Last	20,5	Last	
Datum	Tid																				
26/4	12:31	6	9																		
26/4	12:37	21	32									5	1								
26/4	12:43	29	40	8	4							21	2								
26/4	12:54	42	48	32	5	12	7					35	16	5	7						
26/4	13:03							6	8												
26/4	13:09							45	22							8	5				
26/4	13:15							61	25							38	17	4	6		
26/4	13:23							49	58	5	12					50	29	49	16		
26/4	13:38	67	74	61	100	32	33	73	68	30	100	57	37	44	84	63	34	77	25		
8/5	0800	198	163	68	0	98	229	251	223	202	344	232	151	165	218	285	88	343	136		

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 18m

Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-18m

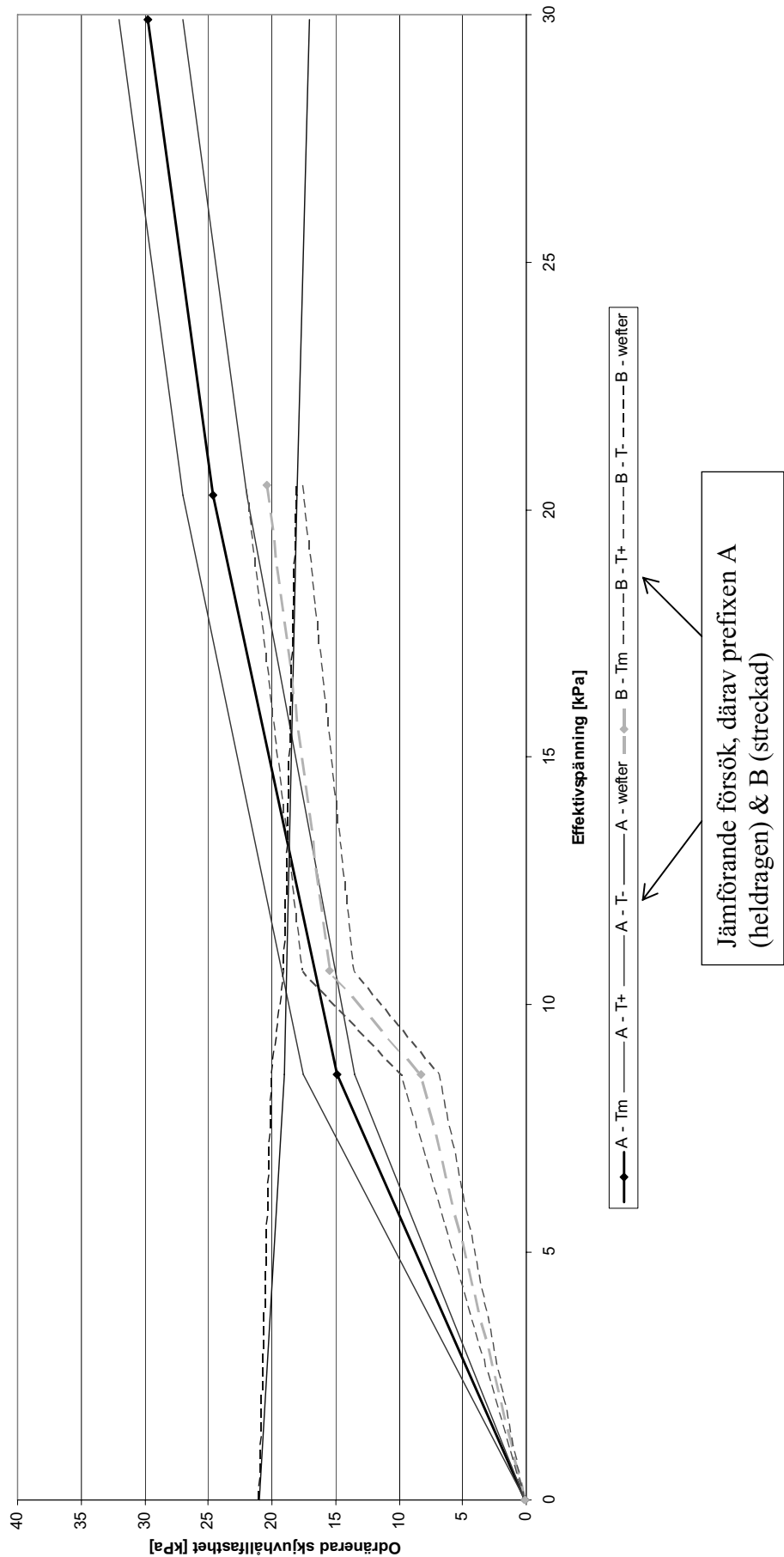


Bilaga 4.42
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 18m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 18m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-18m



Bilaga 4.44
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 26m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070319
Arbetsnr: X7-08 Djup: 26m Punkt: BG 204

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Våvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	28,3	29,2	19,7	33	100	8,9	8,6	8,9	13/13,5/12,5		X708-1
		88,2	61,4	30		8,6	8,7				
Ö2	25,2	77,8	54,5	30	100	8	7,8	7,9	16/17,5/15,5		X708-2
						7,5	7,7				
Ö3	23,5	71	52,2	26	100	7,7	7,2	7,8	17,5/19,5/16		X708-3
						7,7	7,3				
Ö4	24,2	75	53,6	29	100	7,7	7,8	7,2	17,5/21/16		X708-4
						7,8	6,9				
Ö5	22,2	70	49,8	29	100	6,9	6,4	6,7	21/24/19		X708-5
						7,2	6,9				
Ö6	24,9	77	54,9	29	100	6,6	7	6,9	21/23/20		X708-6
						6,9	6,9				
Ö7	25,0	76	54,7	28	100	6,1	5,8	5,8	28/30/26		X708-7
						6	5,7				
Ö8	24,8	76	54,8	28	400	12,8	12,6	12,2	25/26/24		X708-8
						12,3	12,6				
Ö9	24,5	77	55,8	28	400	11,2	11,5	11,1	34/38/31		X708-9
						10,9	10,1				
Ö10	23,5	66	43,5	34	100	8,7	9	9	12/13/11,5	Kompl. X707	X708-10
						9,2	9,7				

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	400	10	
Kon	9	14,3	
9,8	9	14,5	
11	9,5	14	
10,6			

T_k = 41,2
T_r = 0,12
S_t = 343

P.g.a. trasig våg användes brevvåg med noggrannhet ± 1 g fr.o.m. Ö3

Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 26m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-08

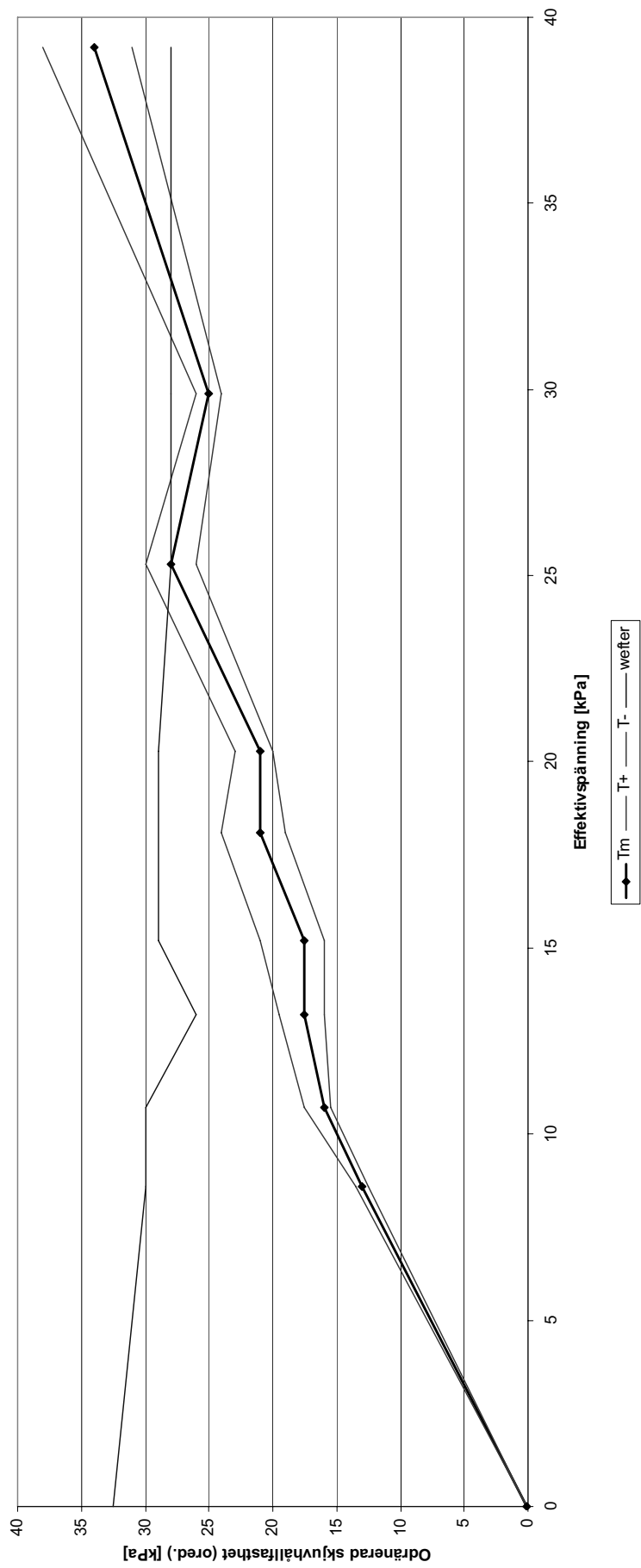
Startdatum: 20070319

Djup: 26m

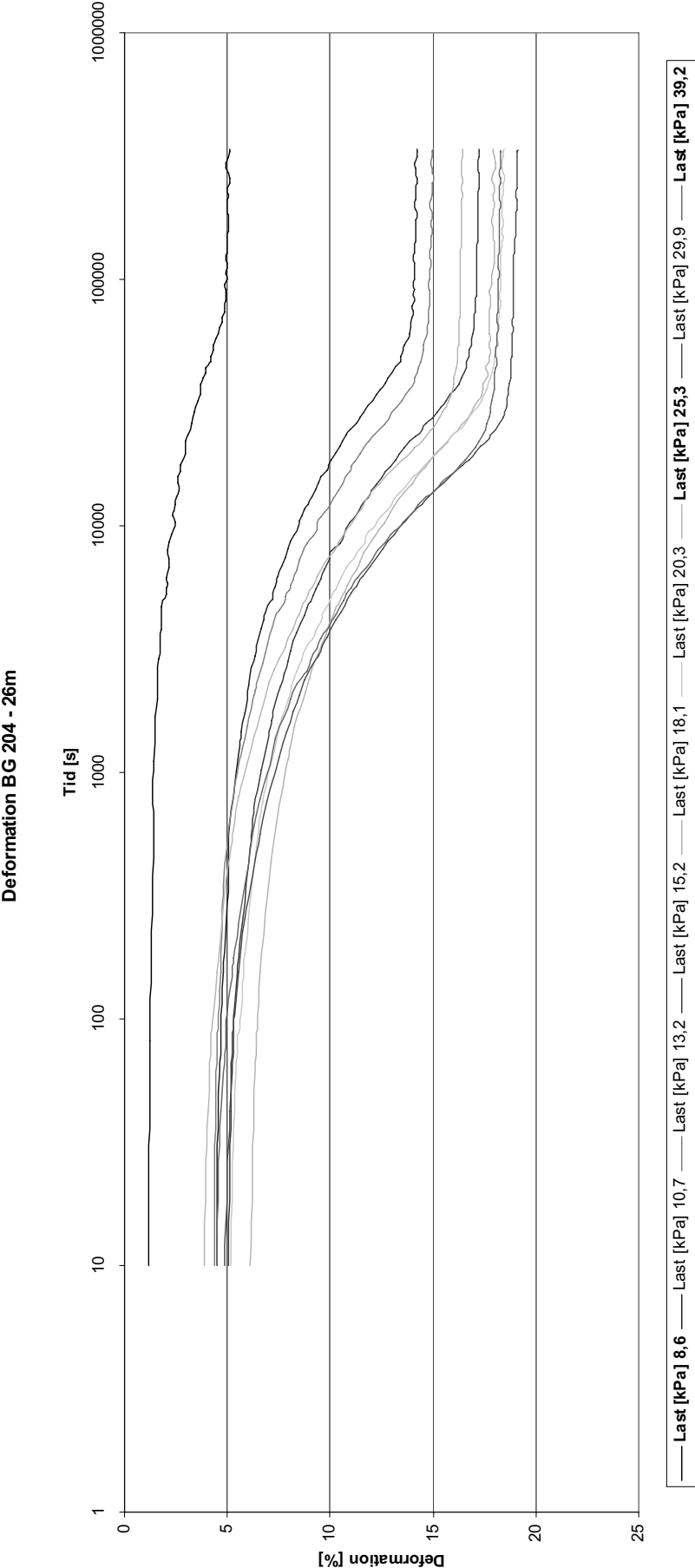
Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	18,1	Last	20,3	Last	25,3	Last	29,9	Last	39,2	Last	8,5
19/3	13.30	4	9																		
19/3	13.35	12	20	5	9																
19/3	13.40	17	26	15	25	4	5														
19/3	13.50	28	35	17	44	53	19	7	9												
19/3	14.05	40	35	16	63	62	28	25	46	6	5	4	3								
19/3	14.08											28	19	5	9						
19/3	14.12											44	26	10	60	3	12				
19/3	14.20											63	32	11	97	43	46	7	3		
19/3	14.33											82	51	13	123	79	80	104	44	15	3
19/3	14.50	69	59	41	106	127	64	72	116	88	78	129	74	51	161	110	111	164	86	86	13
19/3	16.25	121	67	78	152	172	127	119	171	143	137	172	139	88	275	197	199	247	190	173	161
23/3	16.12	297	226	232	297	293	272	261	311	266	270	327	288	246	425	343	348	397	341	433	315

Bilaga 4.46
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 26m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet BG 204-26m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 26m



Bilaga 4.48
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 29m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070514
Arbetsnr: X7-20 Punkt: BG 204 Djup: 29 m

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Vågvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	22,7	103,8	70,9	32	100	12,5	14,3	13	5,7/6,3/4,8	Fastnat	X720-1
		78,1	53,8	31		13,1	60g	5			
Ö2	23,6	80,3	54,8	32	100	14,2	14,3	13,4	4,8/5,5/4,0	Fastnat	X720-2
						14,2	15,7				
Ö3	23,3	75,8	54,1	29	100	7,8	7,3	8,1	17,2/20/15		X720-3
						7	7,7				
Ö4	22,4	68,8	49,7	28	100	6,6	6,7	7	21,6/23/20		X720-4
						6,5	7				
Ö5	22,0	70,1	51,1	27	100	6,6	5,8	6,5	25,2/29/23		X720-5
						6,6	5,9				
Ö6	23,0	76,6	54,2	29	100	8,2	8,9	9,4	13,2/16,5/11		X720-6
						7,7	9,2				
Ö7	23,1	76,5	52,1	32	100	11,1	12,8	12	6,7/8/5,7	Fastnat	X720-7
						13,1	12				
Ö8	21,9	71,4	50,7	29	100	8,7	8,9	8,9	13/13,5/12,5		X720-8
						8,5	8,5				
Ö9	23,1	75,5	54,7	28	100	7,1	7	7,1	19,8/21/19		X720-9
						7,2	6,8				
Ö10	21,8	68,6	49,9	27	100	5,8	5,9	6	27,4/29/26		X720-10
						6,2	6				

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	400	10	
Kon	400	10	
8,5	9,9	10,4	
9,9	9,9		
8,9	9,5		
	9,7		
	10,8		

T_k = 42,9
T_r = 0,23
S_t = 186

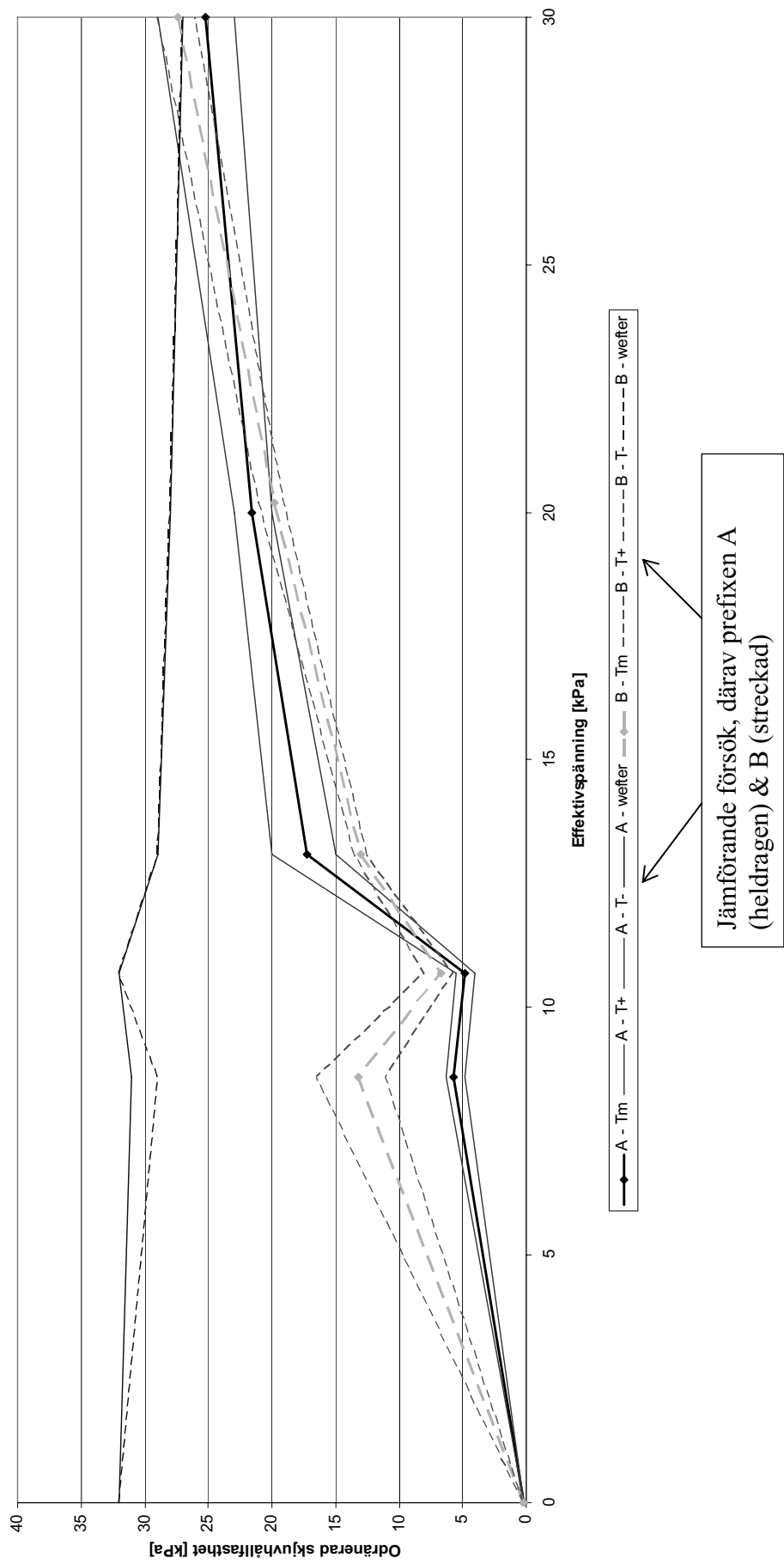
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 29m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070514
Arbetsnr: X7-20 Djup:29 m Punkt:BG 204

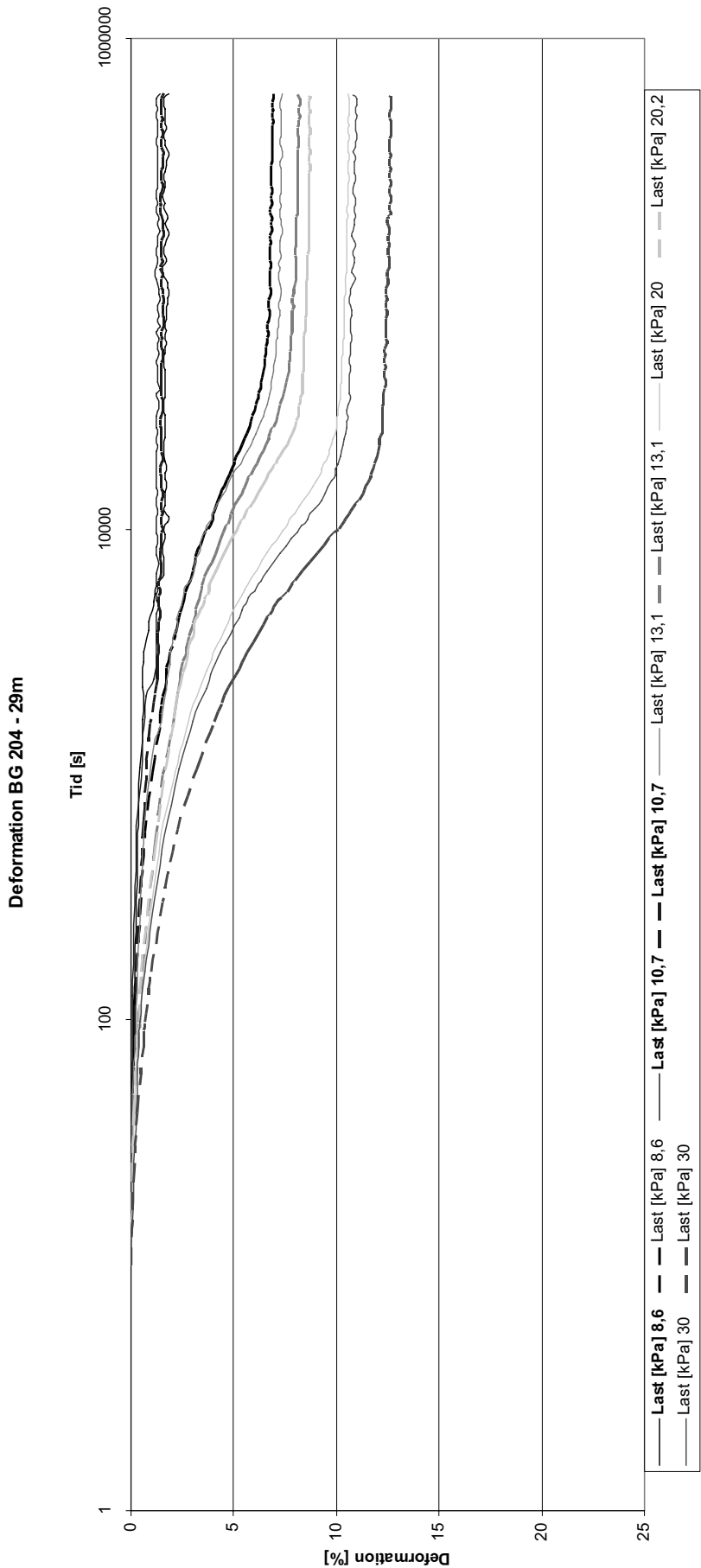
Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,1	Last	20	Last	30	Last	8,6	Last	10,7	Last	13,1	Last	20,2	Last	30
14/5	11:39	7	14																		
14/5	11:44											6	6								
14/5	12:41	23	46	4	5																
14/5	12:47											57	63	5	8						
14/5	12:54	29	52	0	52	7	6														
14/5	13:02											63	69	22	36	3	5				
14/5	13:08	29	58	1	58	41	27	10	6												
14/5	13:15											66	74	27	46	40	40	7	3		
14/5	13:20	37	67	8	58	71	22	56	60	10	7										
14/5	13:25											70	77	35	48	54	43	42	55	12	3
21/5	09:17	64	70	10	74	255	150	232	260	259	285	161	155	45	48	212	142	200	262	290	272

Bilaga 4.50
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 29m

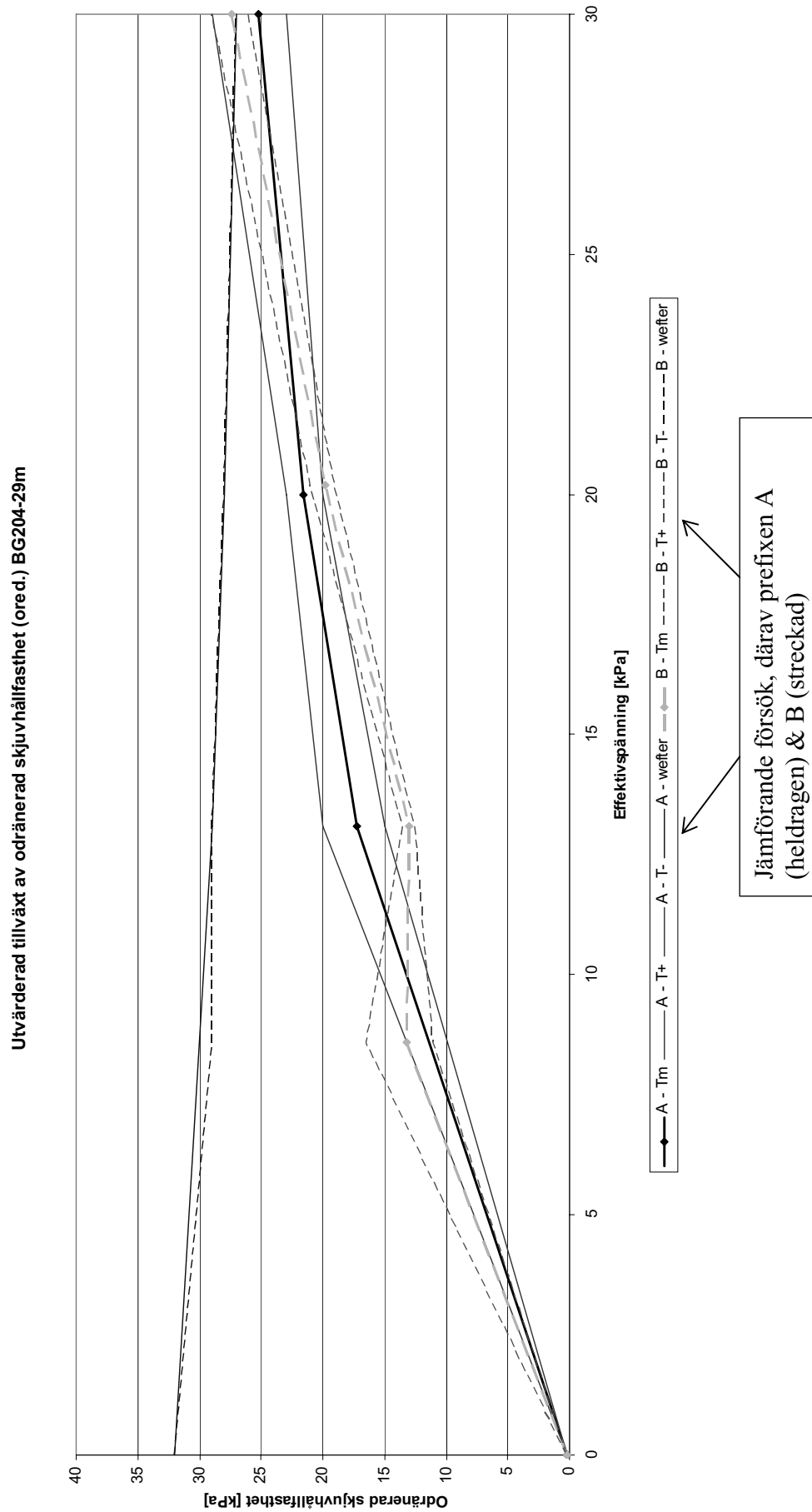
Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet (ored.) BG204-29m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 29m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 204, 29m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 44, 8m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-15 Startdatum: 20070423
Punkt: BG 44 Djup: 8 m

Prov	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter			Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
	Provhöjd	Våvikt		Kon	1	2			
Ö1	23,3	48,8	28	100	10,7	11,2	7,8/8,6/7,4		X715-1
		80,8	24		11,5	11,5			
Ö2	21,6	76,5	27	60	7,3	7,4	2,8/3,0/2,6	Fastnat	X715-3
					7,0				
Ö3	25,3	84,5	23	100	8,3	9,2	12,6/14/11,5		X715-4
					8,7	9,1			
Ö4	25,4	85,6	23	100	8	(9,5)	15,5/16/15		X715-6
					8,1	8			
Ö5	24,3	81,5	23	100	7,7	8,7	15,3/20/12,5		X715-8
					8,2	8,9			
Ö6	23,1	81,6	26	60	7	8	2,9/3,3/2,3	Fastnat	X715-2
					100g	17,2			
Ö7	23,6	80,6	24	100	10,5	11,2	7,9/8,9/6,5		X715-5
					11,5	12,3			
Ö8	25,1	85,8	23	100	9	9,2	11,4/12,5/10,5		X715-9
					8,9	9,7			
Ö9	25,4	85,5	23	100	9,3	8,5	11,5/13,5/9,8	Tilt	X715-7
					9,2	10			
Ö10	24,2	81,9	22	100	7,4	8,1	15,6/18/14		X715-10
					7,9	8,4			

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	400	60	
Kon	100 g	11,9	15,4
14	13,2		
14	14		
13,8	12		
13,9	14,8		

T_k = 23,6
T_r = 0,62
S_t = 38

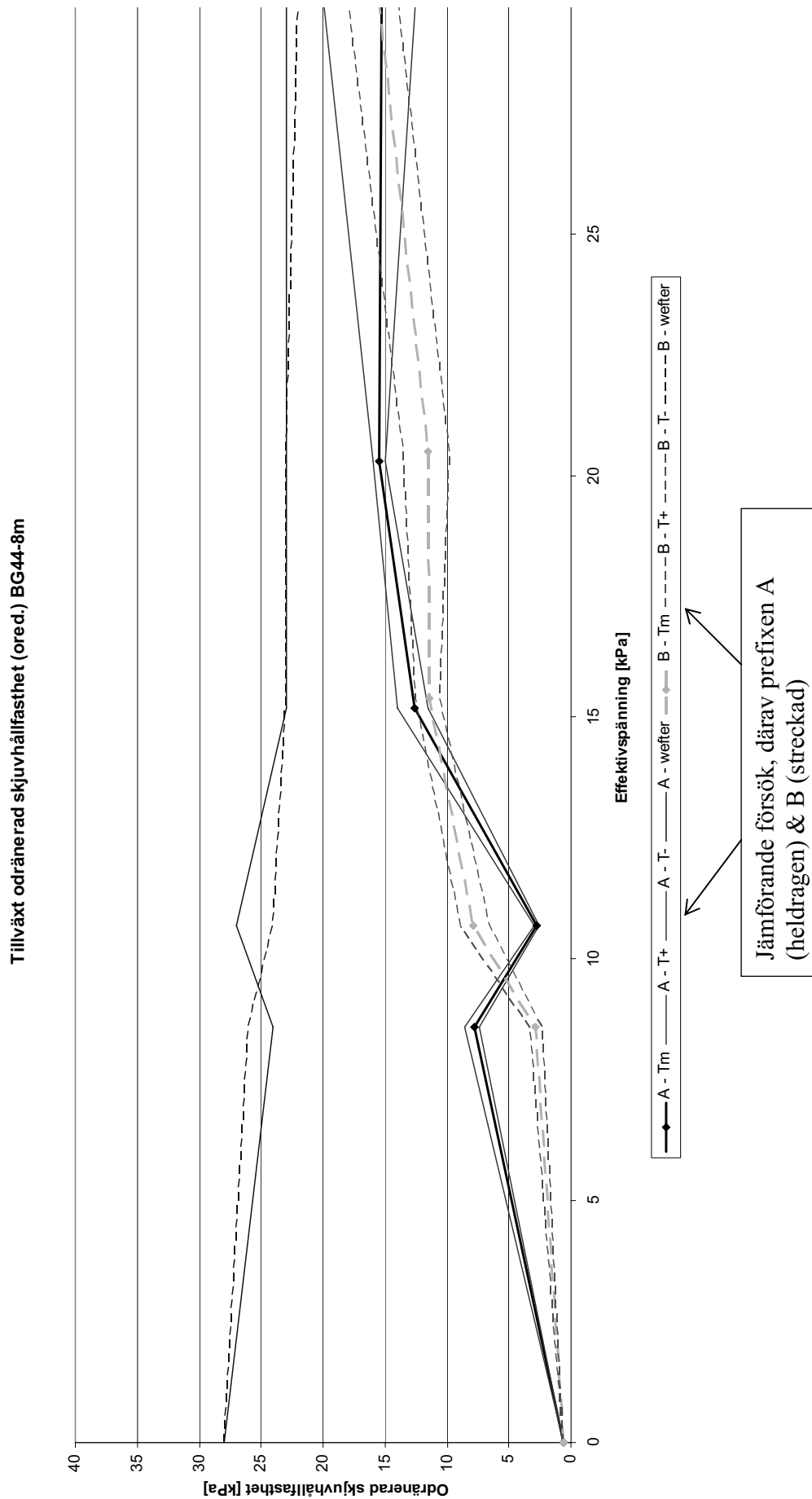
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 44, 8m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-15 Punkt: BG 44 Djup: 8 m

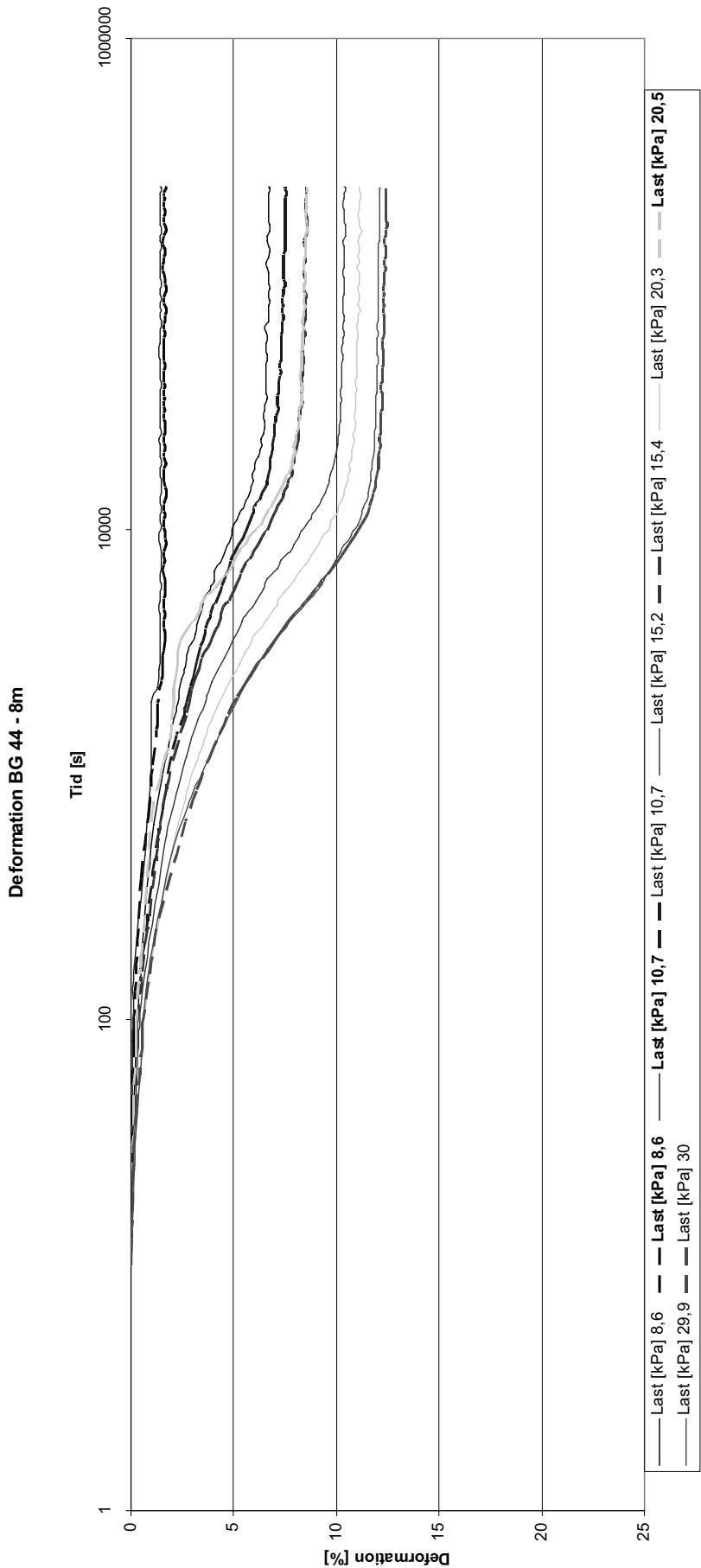
Startdatum: 20070423

Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	15,2	Last	20,3	Last	29,9	Last	8,6	Last	10,7	Last	15,4	Last	20,5	Last	30
23/4	11:30	5	12																		
23/4	11:34	14	45									6	4								
23/4	11:37	24	57	3	11							17	17								
23/4	11:43	33	67	29	22	9	5					23	31								
23/4	11:48	40	79	33	33	61	37					26	41	5	5						
23/4	11:54							5	6												
23/4	11:58							47	49									4	10		
23/4	12:02							61	64	6	8							25	43		
23/4	12:07							72	78	64	55					9	6	39	42		
23/4	12:12							84	90	83	84					47	47	68	36	11	4
23/4	12:18	61	107	33	36	110	83	95	101	102	100	32	59	55	93	63	58	86	37	26	108
26/4	08:13	186	203	42	50	262	247	277	271	332	273	33	69	167	234	255	255	376	133	260	334

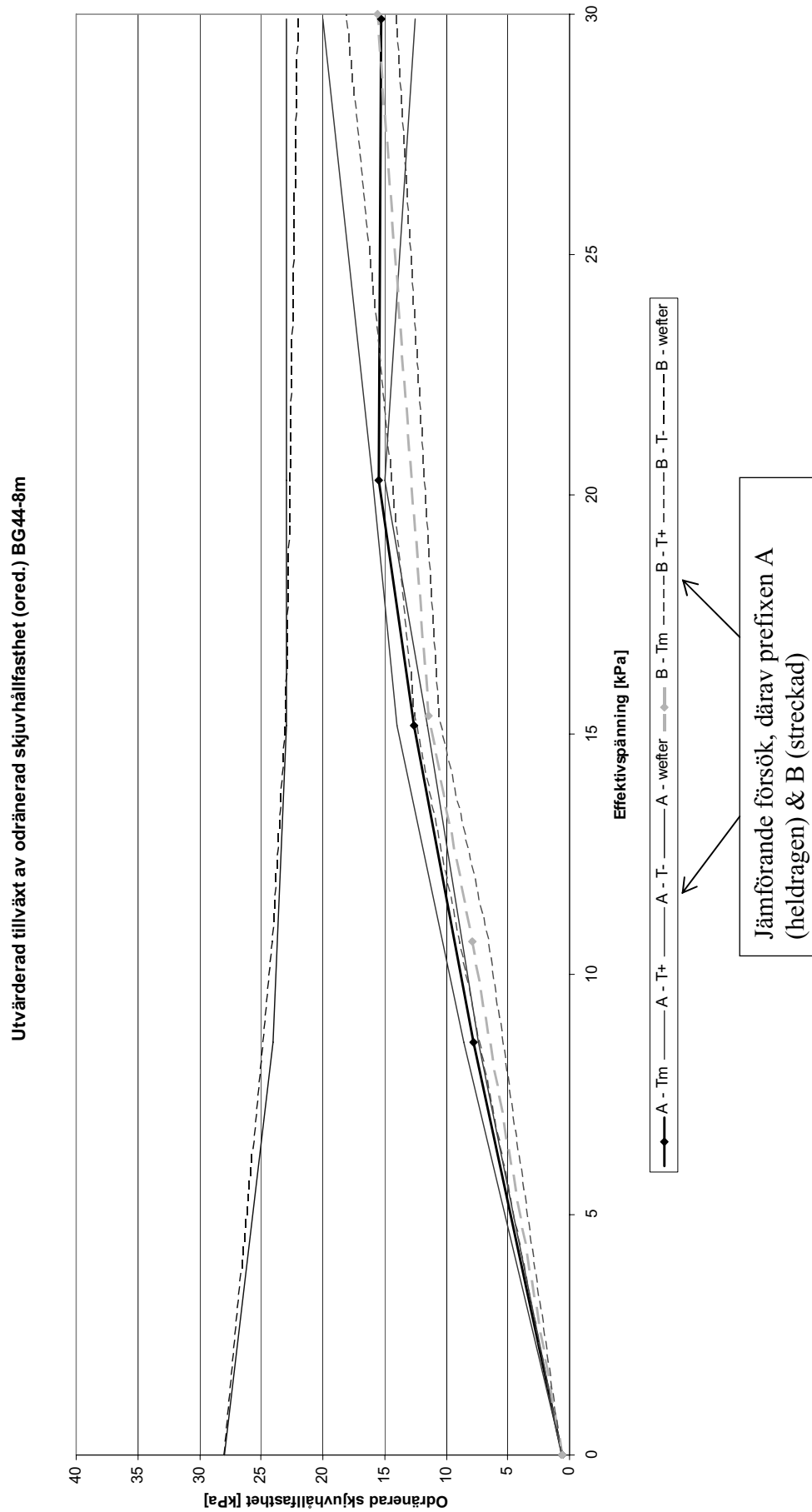
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 44, 8m



Bilaga 4.56
Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 44, 8m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål BG 44, 8m



Bilaga 4.58
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Kasen 21, 10m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)
Arbetsnr: X7-09A Punkt: Kasen 21 Djup: 10m Startdatum: 20070330

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Vårvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	24,2	71,2	51,0	28	60	7,4	8,2	8	2,4/2,7/2,2	Fel med w före	X709-5
		69,6	41,8	40		7,9	8,1				
Ö2	23,4	69,2	42,2	39	60	7	7,3	73	2,9/3/2,8		X709-6
						7,1	7,2				
Ö3	22,2	60,7	37,5	38	100	13	13,1	(14)	6/6,3/5,7		X709-4
						12,5	12,5				
Ö4	24,8	65,0	40,7	37	100	8,7	9,3	9,6	11,9/13/10,5		X709-3
						8,8	9				
Ö5	25,3	70,0	43,8	37	100	8	9,2	9,2	12,8/15,5/11,5		X709-2
						8,8					
Ö6											
Ö7											
Ö8											
Ö9											
Ö10											

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	100	60	
Kon			60
8			16
7,8			15,8
6			16
6,5			
7,2			

T_k = 20,1
T_r = 0,58 S_t = 35

Torra tuber => initiala w något låg

Rekonsolideringsförsök, Borrhål Kasen 21, 10m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-09A

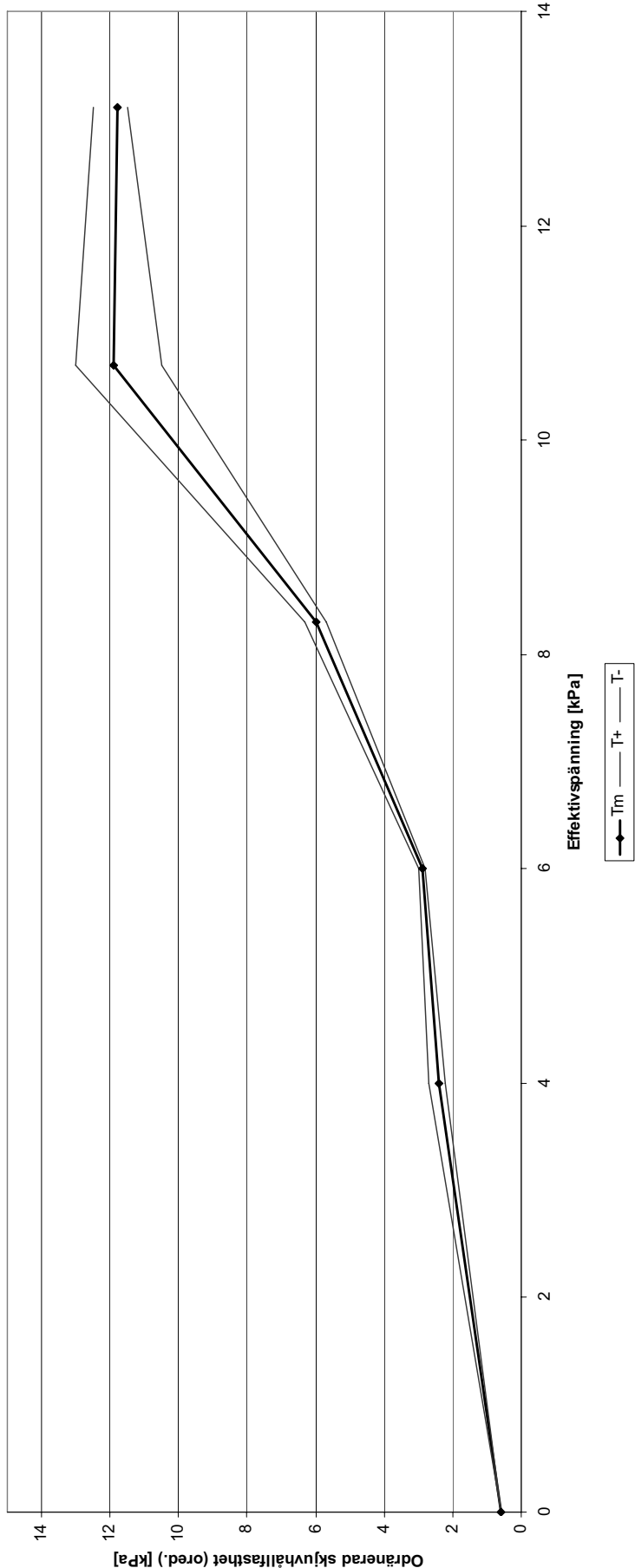
Djup: 10m

Startdatum: 20070330

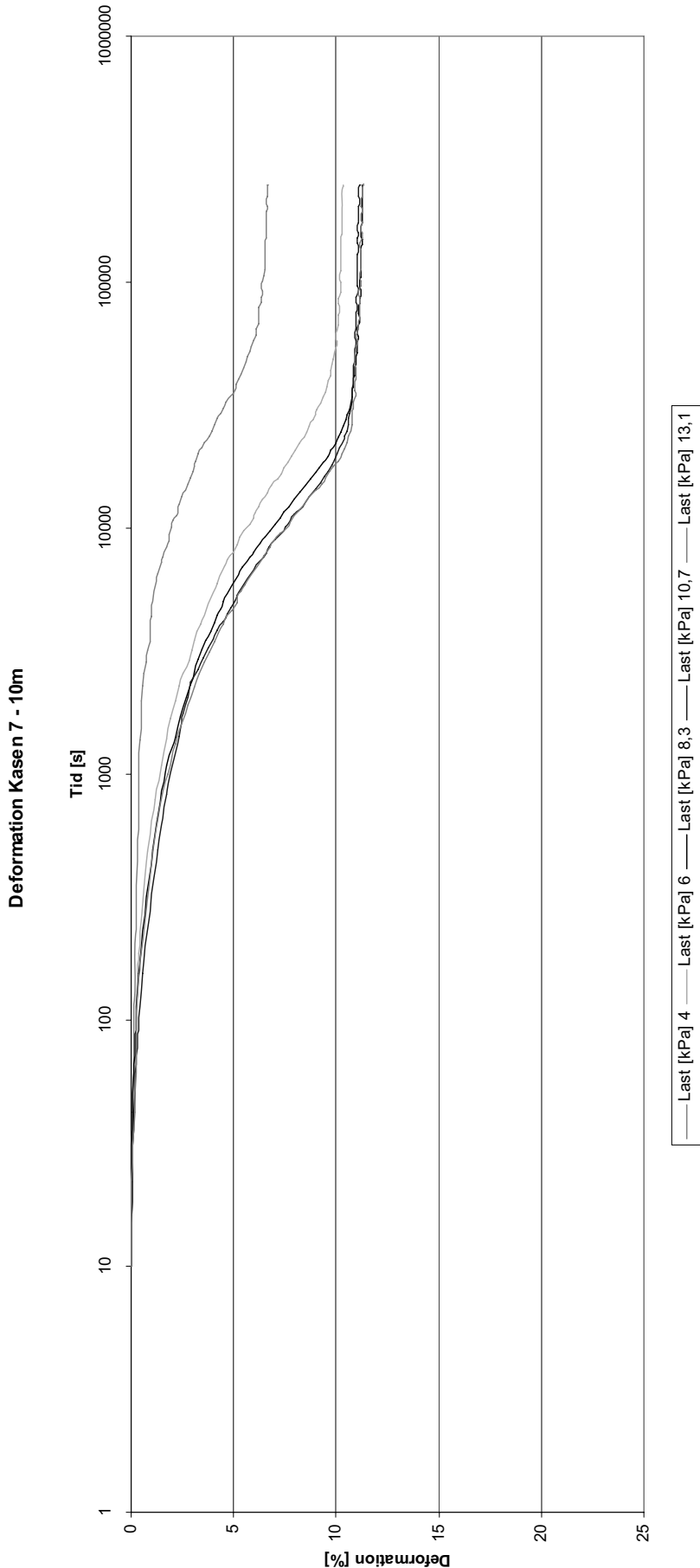
Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5			Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
Datum	Tid	Last	4	Last	6	Last	8, 4	Last	10, 7	Last	13, 1	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last
30/3	11.13										5									
30/3	11.17								4	3	19	63								
30/3	11.22					11	6	42	35	23	78									
30/3	11.33	7	10			36	23	48	55	35	91									
30/3	11.42			4	4															
30/3	13.20	28	54			159	84	161	178	140	211									
30/3	13.30			109	91															
30/3	13.37			113	94															
30/3	13.43			116	97															
30/3	13.47			118	100															
30/3	13.57	37	65	121	103	181	100	184	203	143	235									
2/4	08.20	120	220	250	208	295	199	289	308	270	334									

Bilaga 4.60
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Kasen 21, 10m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet Kasen7-10m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål Kasen 21, 10m



Bilaga 4.62
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Kasen 21, 12m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070330
Arbetsnr: X7-09B Punkt: Kasen 21 Djup: 12m

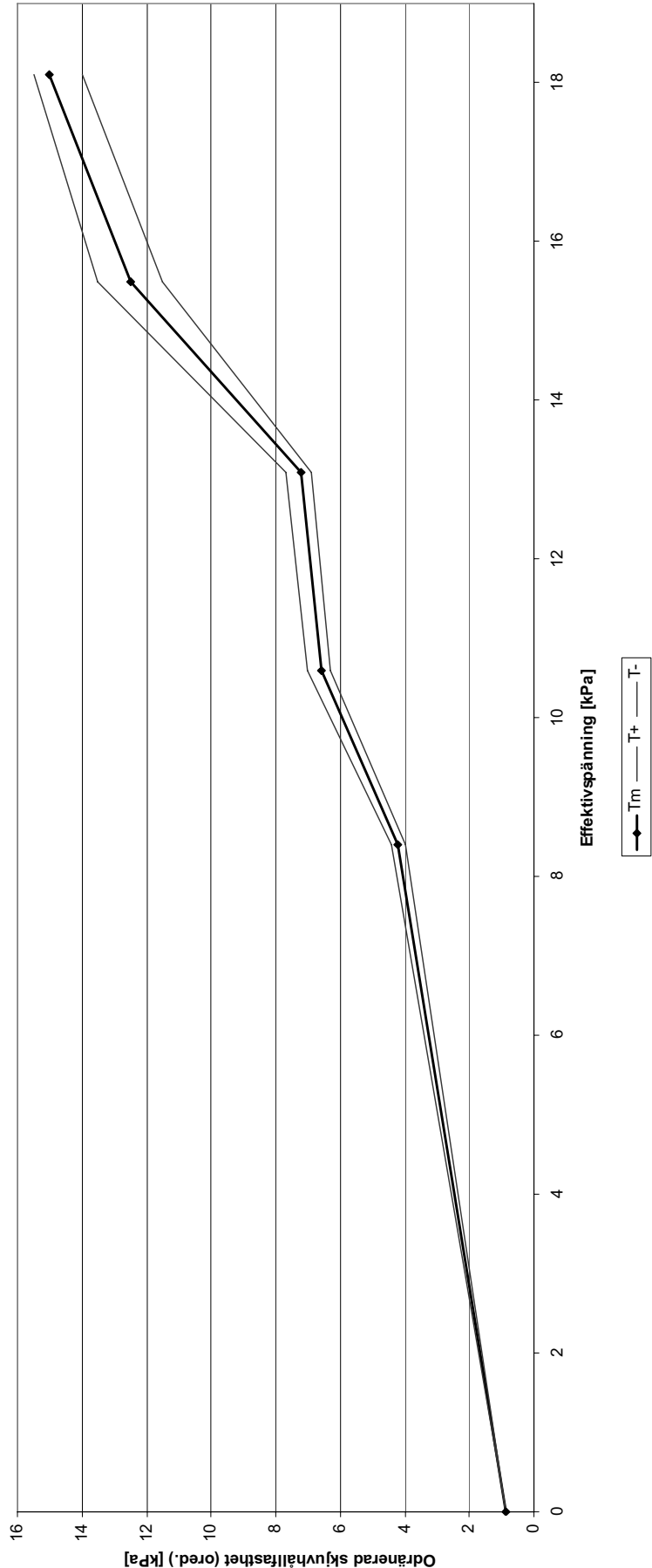
Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter			Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Våvikt	Torrsvikt		Kon	1	2			
Ö1	25,6	79,9	41,3	48	60	5,9	6,1	4,2/4,4/4	Ngt fel med w före	X709-9
		84,3	55,3	34		6	6			
Ö2	22,9	74,3	49,6	33	100	12,5	11,8	6,6/7/6,3		X709-10
						12,3	12,2			
Ö3	23,9	69,7	47,2	32	100	11,7	11,3	7,2/7,7/6,9		X709-8
						11,9				
Ö4	22,2	67,2	45,9	32	100	8,5	8,7	12,5/13,5/11,5		X709-1
						9,2	9			
Ö5	23,8	72,4	49,7	31	100	7,9	7,9	15/15,5/14		X709-7
						8	8,3			
Ö6										
Ö7										
Ö8										
Ö9										
Ö10										

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd			
Kon	100		60
7,5			13
7,3			13
7			13
6,1			
7			

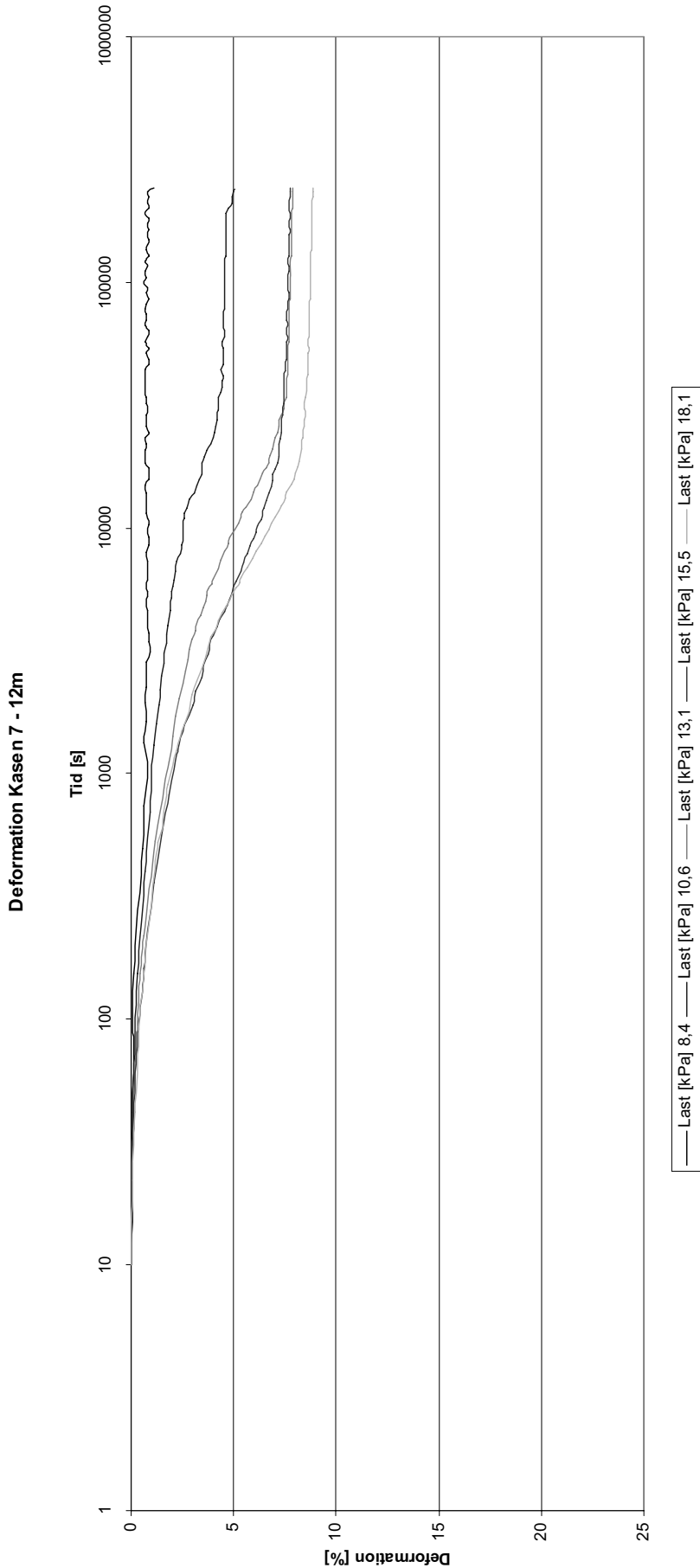
T_k = 20,4
T_r = 0,87 St=23

Bilaga 4.64
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Kasen 21, 12m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet Kasen7-12m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål Kasen 21, 12m



Bilaga 4.66
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Okänt 1, 6m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070607
Arbetsnr: X7-21A Djup: 6 m Punkt: Okänt 1

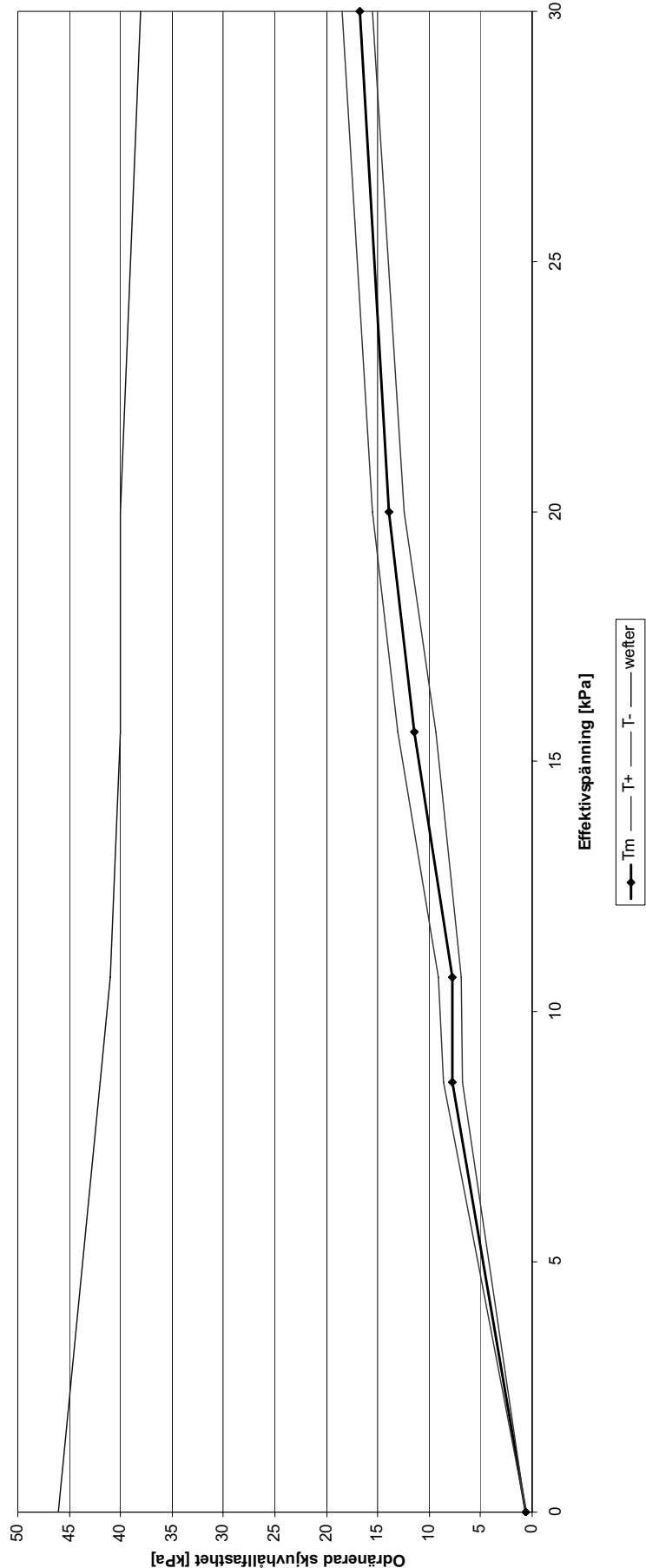
Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter			Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Vågvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3		
Ö1	23,4	79,1	42,7	46	100	10,7	11	11,9	7,8/8,6/6,8	X721-1
		64,5	37,5	42		12	10,7			
Ö2	22,9	61,0	35,8	41	100	10,4	11,2	11,9	7,8/9,1/6,9	X721-2
						11,5	11,1			
Ö3	22,2	58,2	34,7	40	100	9,1	9	8,7	11,4/13/9,4	X721-3
						9,6	10,2			
Ö4	25,9	67,4	40,7	40	100	8,2	8,5	8,5	13,9/15,5/12,5	X721-4
						8,9	7,9			
Ö5	22,9	58,5	36,0	38	100	6,6	8	7,3	16,8/18,5/15,5	X721-5
						7,8	7,6			
Ö6										
Ö7										
Ö8										
Ö9										
Ö10										

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd	100	60	
Kon			15,6
7			
6,9			
7,3			

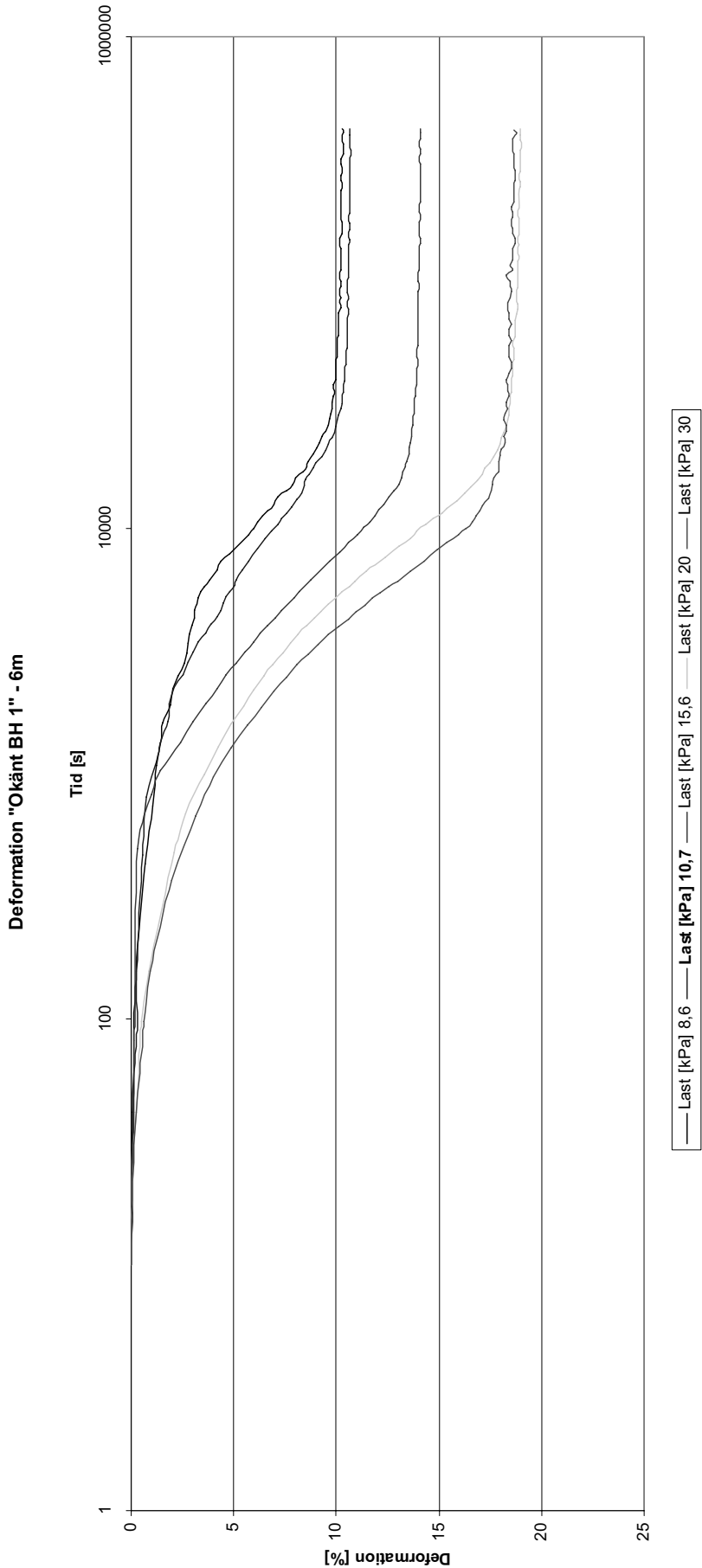
T_k = 19,8
T_r = 0,6
S_t = 33

Bilaga 4.68
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Okänt 1, 6m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) "Okänt BH 1" - 6m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål Okänt 1, 6m



Bilaga 4.70
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Okänt 2, 7m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070607
Arbetsnr: X7-21B Punkt: Okänt 2 Djup: 7 m

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Våvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö6	21,5	70,5	38,6	45	100	10,2	11,2	11,6	8,4/9,4/7,3		X721-6
		58,8	34,9	41		10,4	10,8				
Ö7	24,6	64,9	38,9	40	100	9	9,8	10	10,6/12/9,8		X721-7
						9,6					
Ö8	22,0	58,8	35,6	39	100	9	9,6	10,3	10,8/12/9,2		X721-8
						9,3	9,4				
Ö9	23,4	62,6	38,3	39	100	7,8	8,3	7,9	14,7/16/13,5		X721-9
						8,2	8,6				
Ö10	23,3	61,9	38,6	38	100	6,6	6,8	6,9	21,4/23/21		X721-10
						6,9	6,9				

Skjuvhållfasthet			
Ostörd	Omrörd		
Kon	100	60	17
7,9			
7,8			
8			

T_k = 15,7
T_r = 0,51
S_t = 31

Rekonsolideringsförsök, Borrhål Okänt 2, 7m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-21B

Startdatum: 20070607

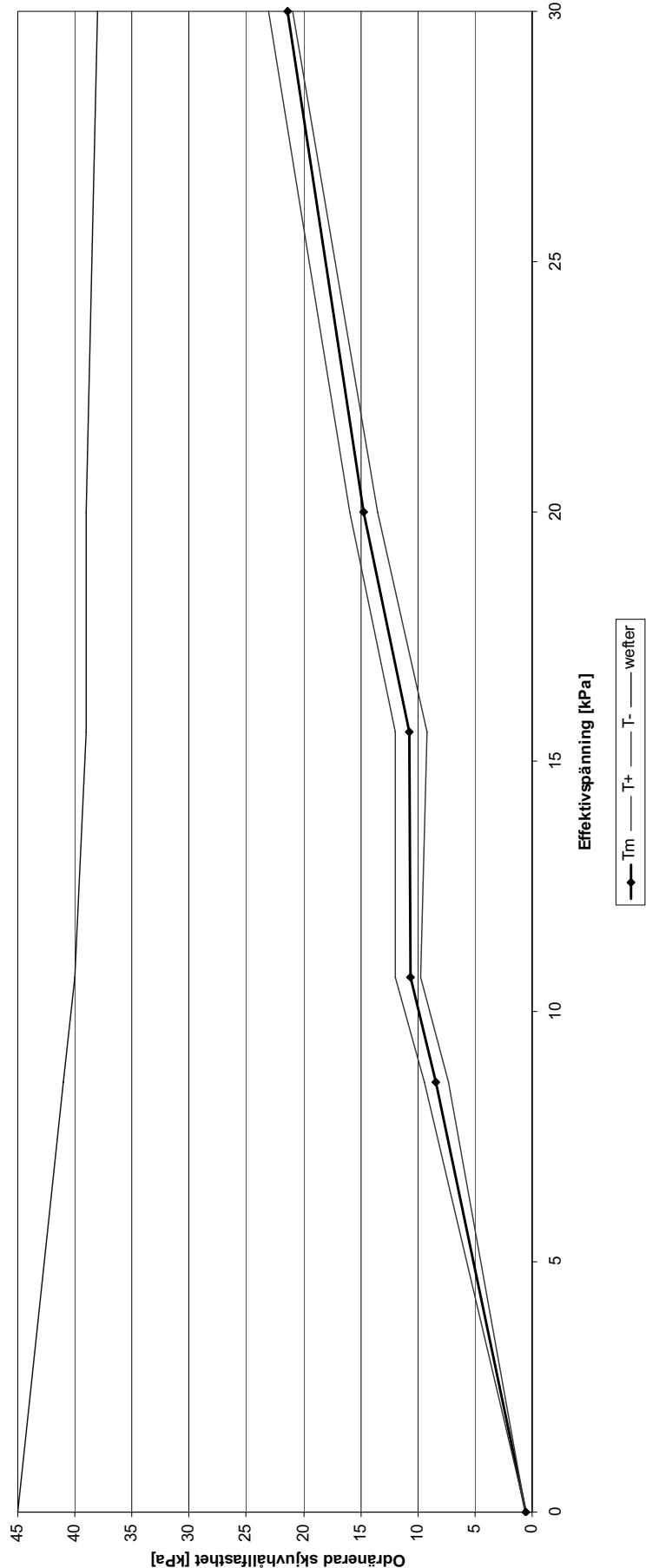
Punkt: Okänt 2

Djup: 7 m

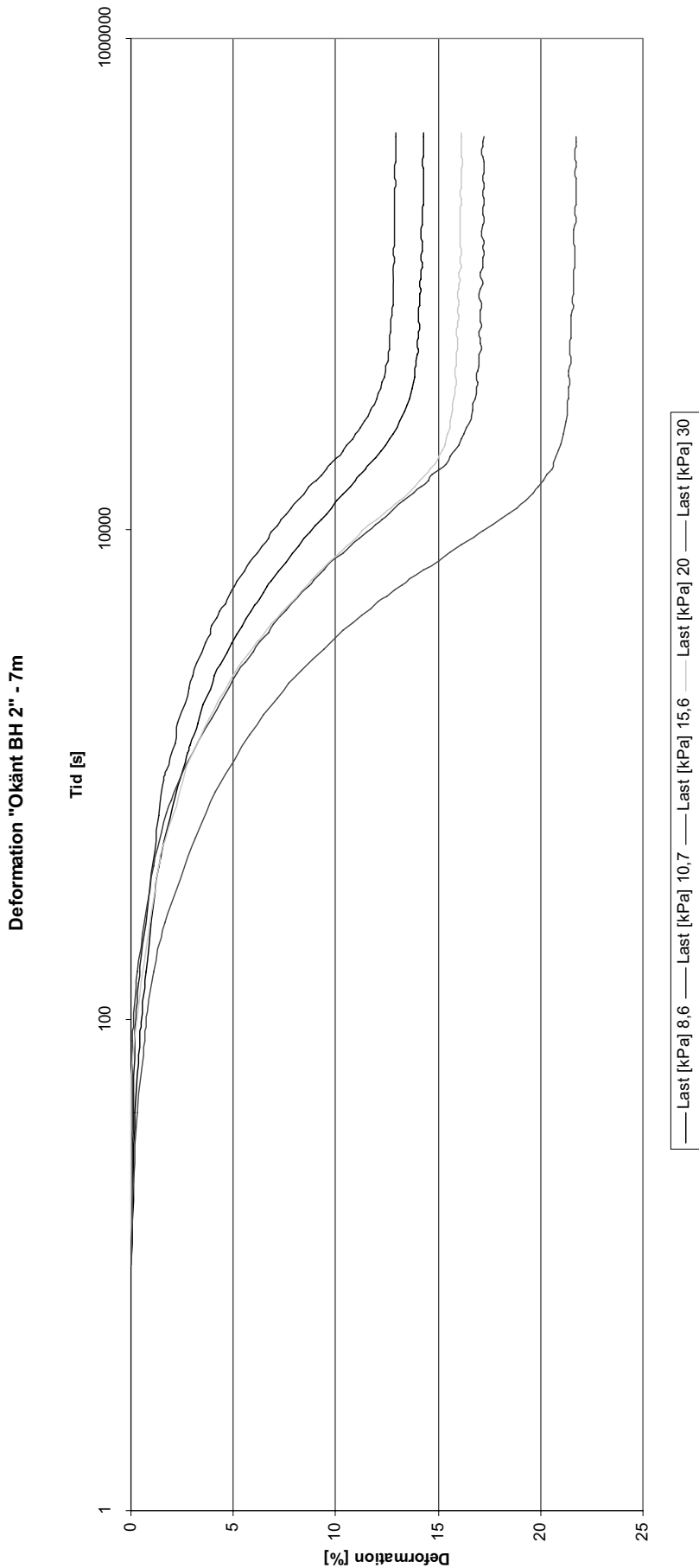
		Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10			
		Last		Last		Last		Last		Last		Last	8,6	Last		Last	10,7	Last	15,5	Last	20,2	Last	30
Datum	Tid																						
7/6	14:12											5	4										
7/6	14:17											34	25	4	5								
7/6	14:22											48	33	19	31	2	10						
7/6	14:26											57	43	22	53	105	41	7	3				
7/6	14:30											66	51	31	61	108	68	57	22	14	6		
12/6	08:28											298	285	319	385	419	395	445	420	505	477		

Bilaga 4.72
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Okänt 2, 7m

Utvärderad tillväxt av odränerad skjuvhållfasthet (ored.) "Okänt BH 2" - 7m



Rekonsolideringsförsök, Borrhål Okänt 2, 7m



Bilaga 4.74
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Heljereds ängar, 6m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete) Startdatum: 20070612
Arbetsnr: X7-22 Punkt: Heljereds ängar, Mölndal Djup: 6 m

Prov	Provhöjd	Före / Efter		w(%)	Konprov, efter				Utv: m/+/-	Anmärkning	Filnamn
		Våtvikt	Torrsvikt		Kon	1	2	3			
Ö1	22,4	92,0	48,2	48	-	-	-	-	-	Haveri	X707-1
		-	-	-	-	-	-	-	-		
Ö2	25,0	-	-	-	-	-	-	-	-	Haveri	X707-2
		-	-	-	-	-	-	-	-		
Ö3	22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	Haveri	X707-3
		-	-	-	-	-	-	-	-		
Ö4	22,2	57,7	33,6	42	100	11,5	11,4	11,2	7,6/7,8/7,4		X707-4
		-	-	-	-	11,2	11,5	-			
Ö5	23,8	62,1	36,4	41	100	9,9	10,7	10,2	8,9/10/8,3	Skalrik	X707-5
		-	-	-	-	10,8	10,9	-			
Ö6	23,0	58,8	35,2	40	100	9	8,5	8,9	12,8/13,5/12	Tilt	X707-6
		-	-	-	-	8,5	8,9	-			
Ö7	23,2	56,7	34,4	39	100	7,9	7,4	7,8	17,4/20/15,5		X707-7
		-	-	-	-	7	7,5	-			
Ö8											X707-8
Ö9											X707-9
Ö10											X707-10

Skjuvhållfasthet			Omrörd
Ostörd			
Kon	100	60	
9,9	10	16,5	
10	8,5	16,5	
10,7	8,5	16,5	
(8,5)	7,2	10g 6	
7,2			

T_k = 12,9
T_r = 0,54
S_t = 24

Rekonsolideringsförsök, Borrhål Heljereds ängar, 6m

Rekonsolideringsförsök – Standardödometer (Examensarbete)

Arbetsnr: X7-22

Punkt: Heljereds ängar, Mölndal

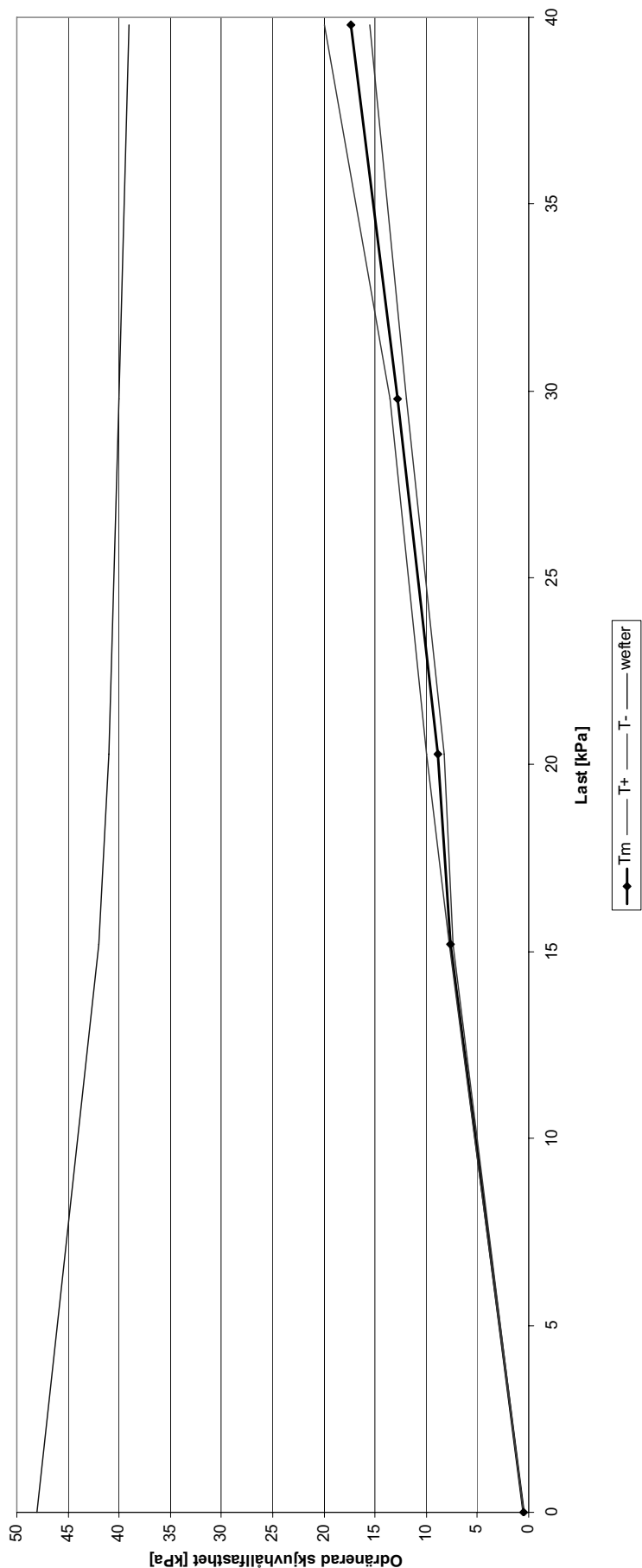
Djup: 6 m

Startdatum: 20070612

Datum	Tid	Ö1		Ö2		Ö3		Ö4		Ö5		Ö6		Ö7		Ö8		Ö9		Ö10	
		Last	8,6	Last	10,7	Last	13,2	Last	15,2	Last	20,3	Last	29,8	Last	39,8	Last	49,8	Last	59,8	Last	
12/6-07	10.51	6	13																		
12/6-07	10.56	14	19	5	3																
12/6-07	11.01	16	22	22	18	6	6														
12/6-07	11.06	19	24	21	23	17	5	11	13												
12/6-07	11.13	22	25	22	26	21	5	41	41	6	3										
12/6-07	11.18											0	7								
12/6-07	11.25											34	-12	6	9						
15/6-07	10.08	23	26	22	27	22	5	359	370	392	453	573	375	561	498						

Bilaga 4.76
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Heljereds ängar, 6m

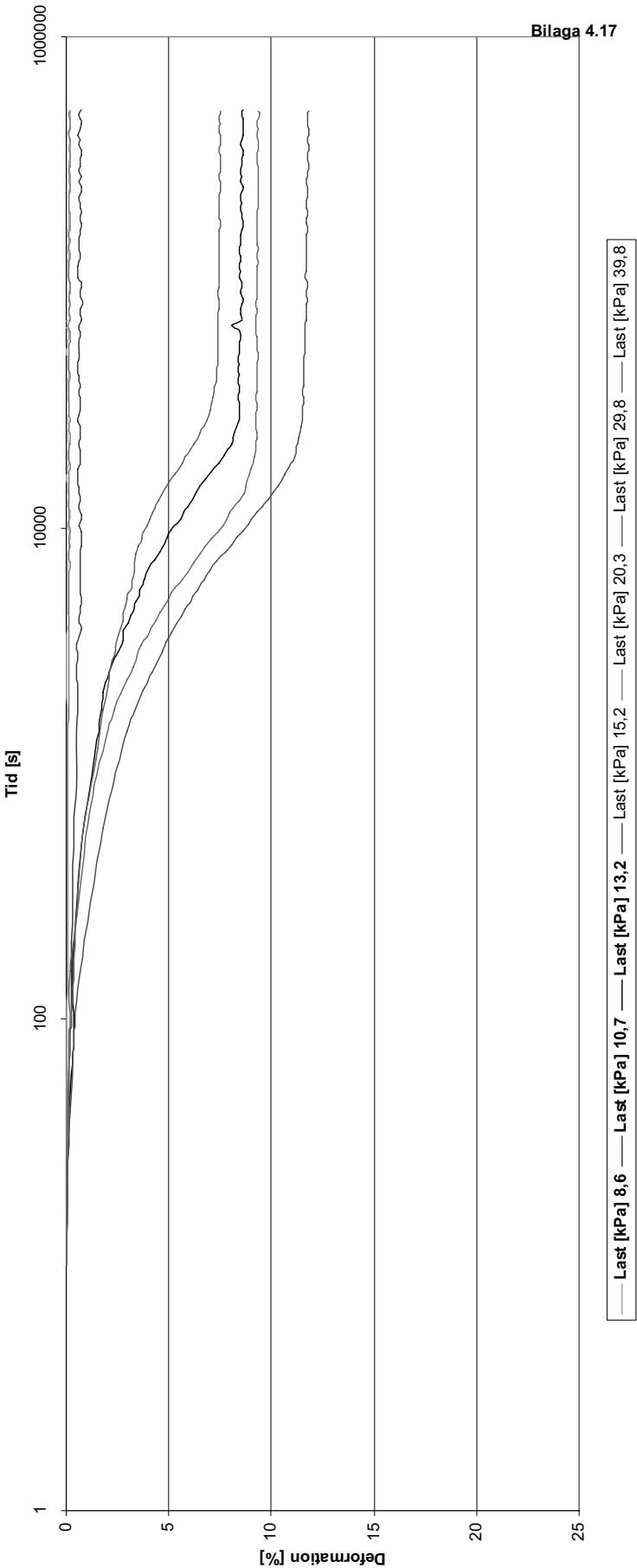
Tillväxt odränerad skjuvhållfasthet Heljereds ängar, Mölndal-6m



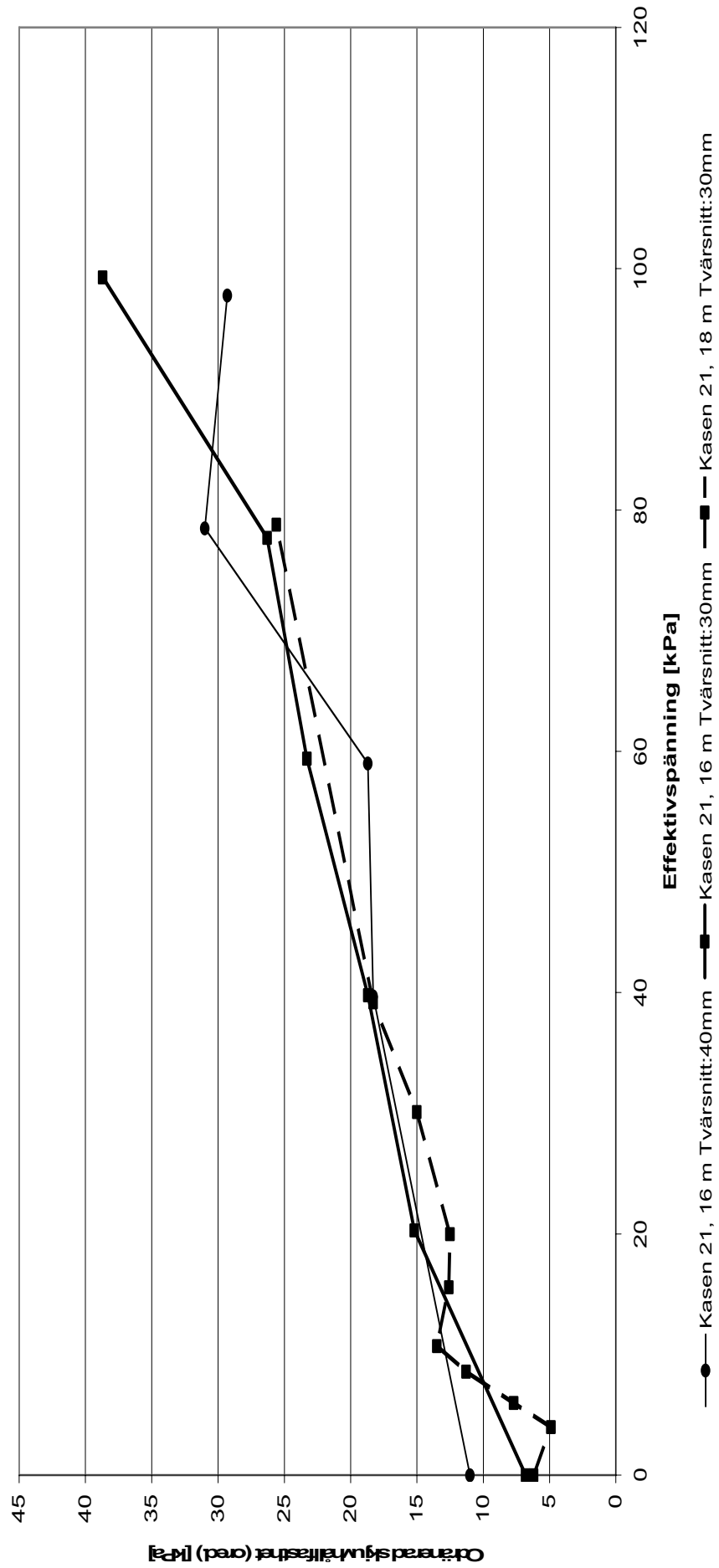
Rekonsolideringsförsök, Borrhål Heljereds ängar, 6m

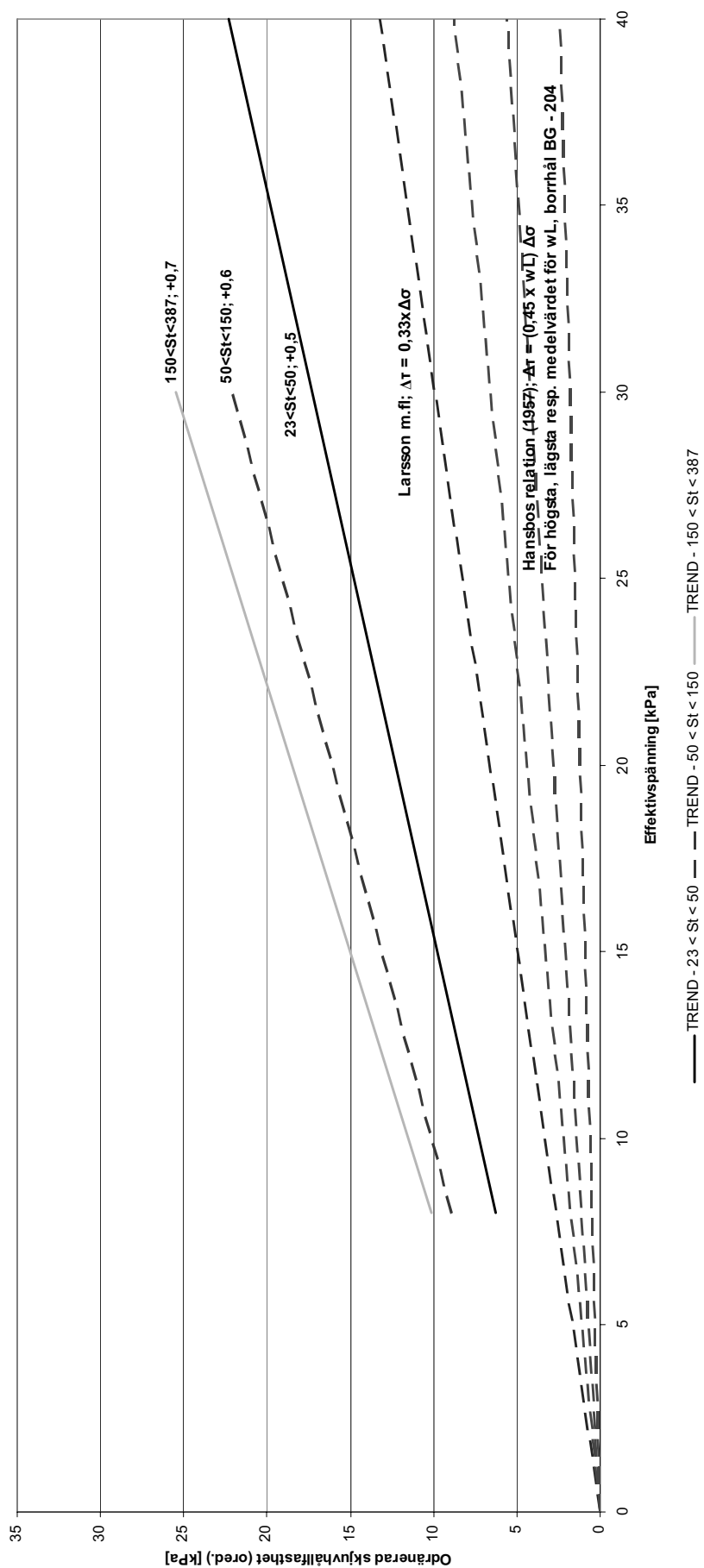
SID 4/4

Deformation Heljereds ängar, Mölndal - 6m



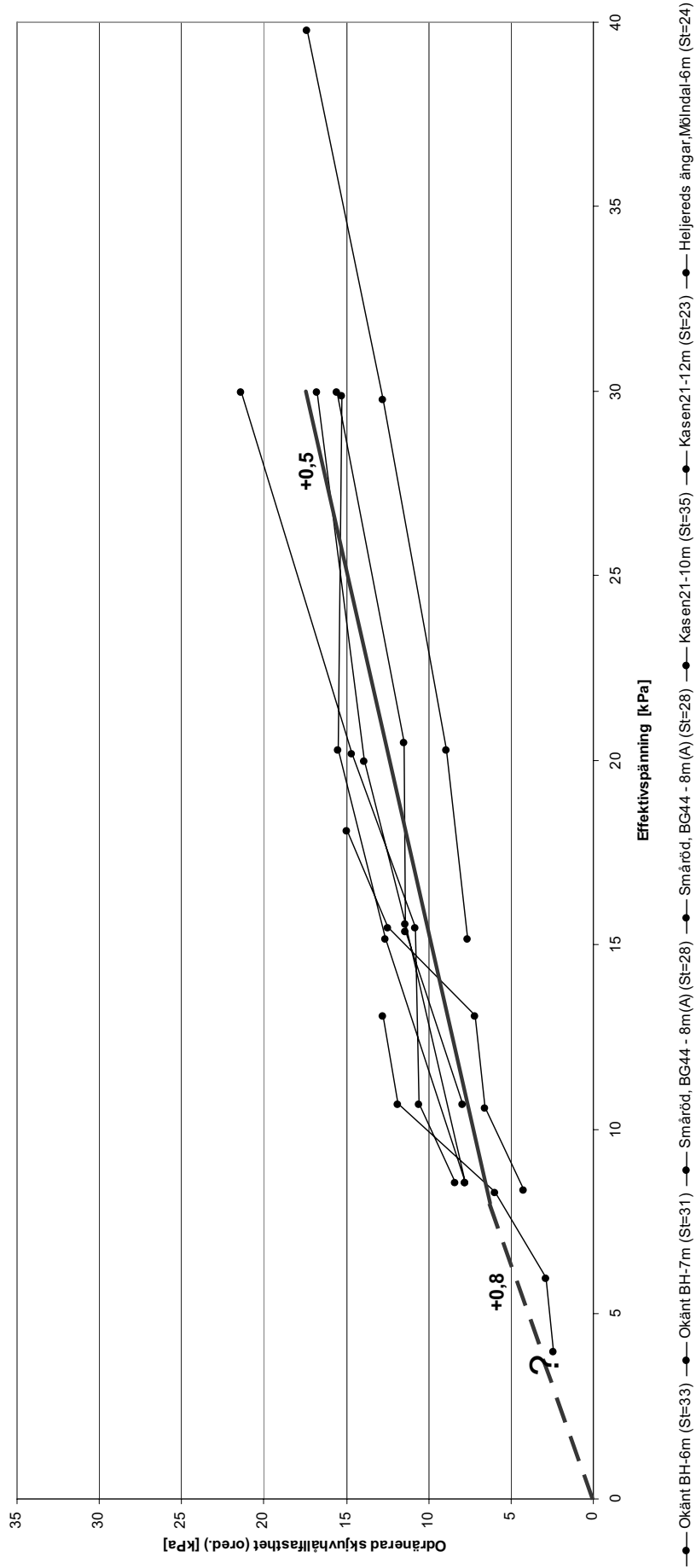
Sammanställning av delvisa störningar

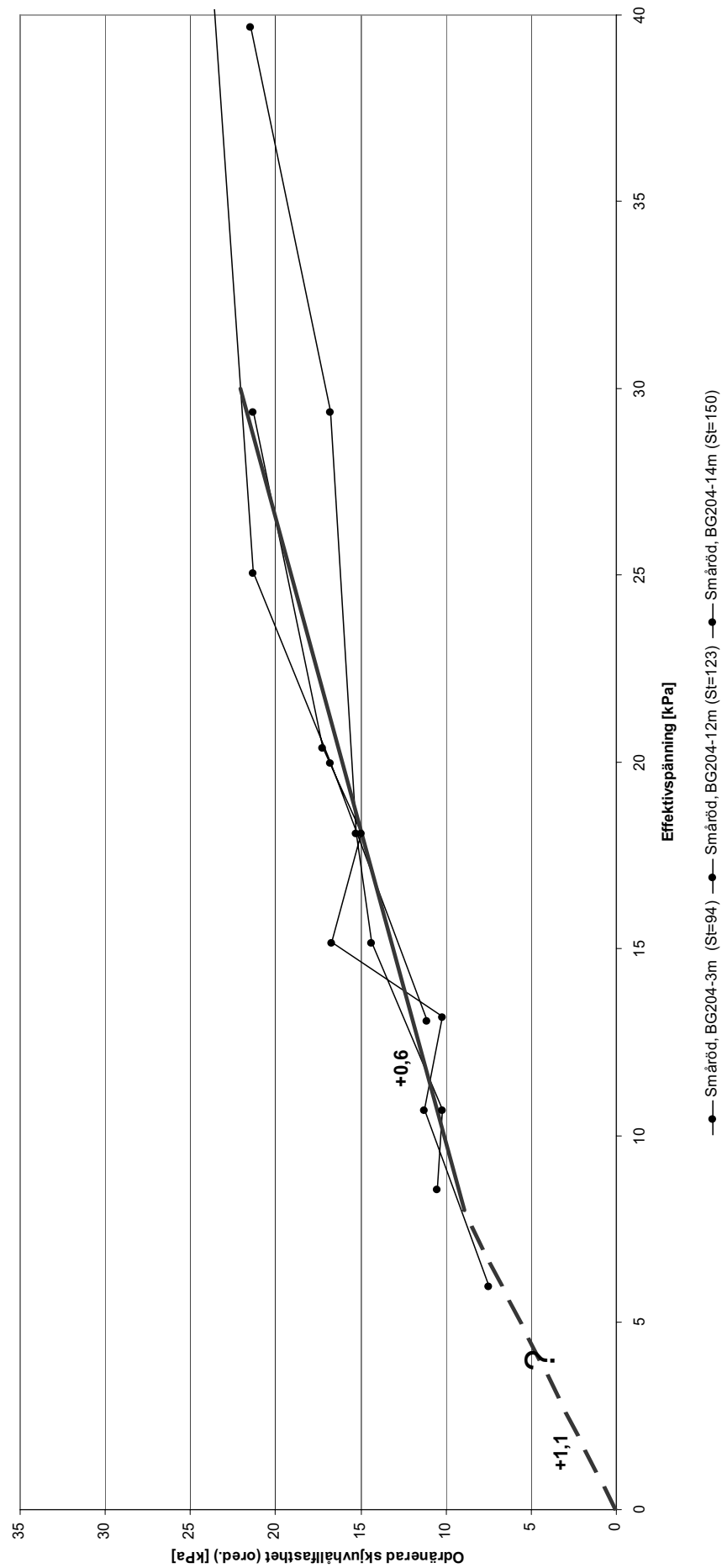


Sammanställning, tillväxtstrender - S_t 

Bilaga 6.2

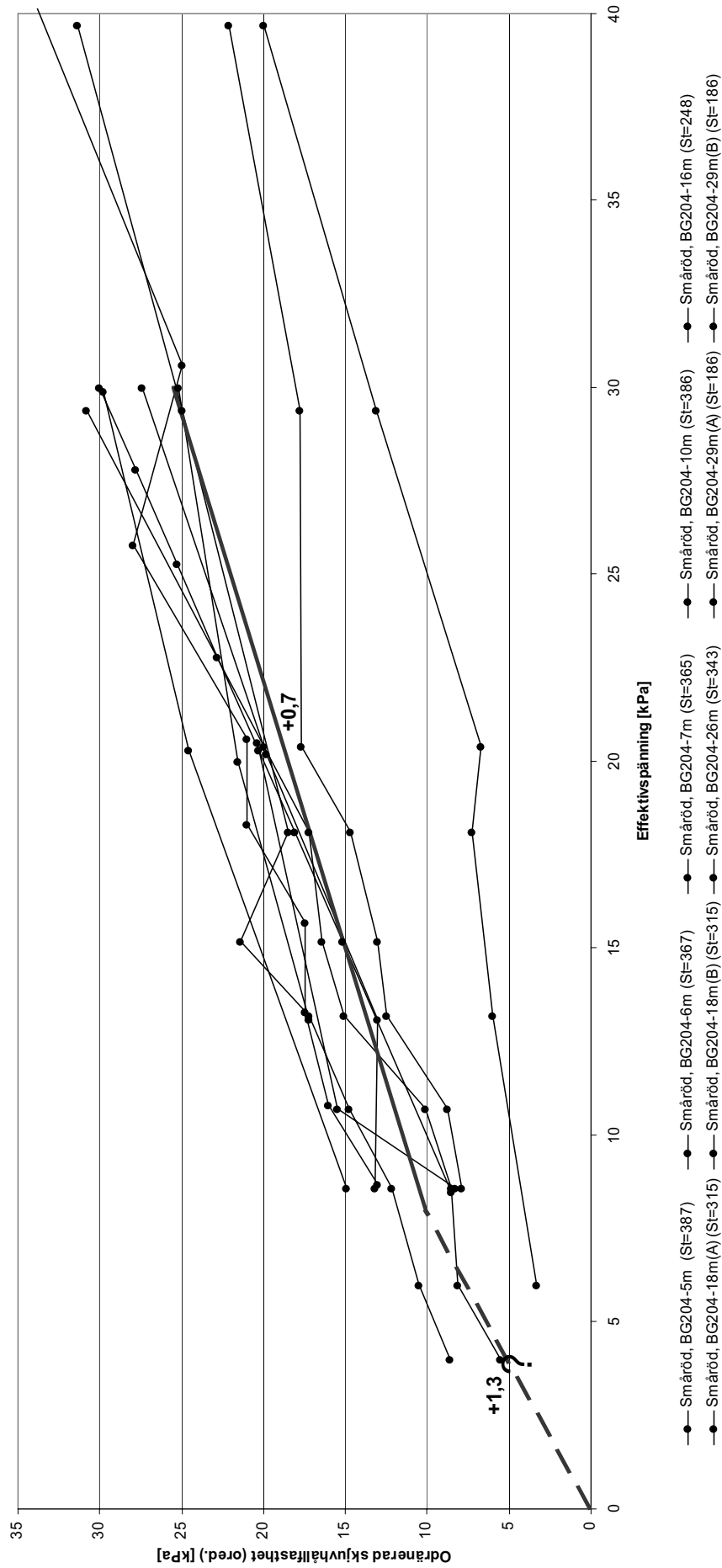
Tillväxtstrend: $23 < S_t < 50$

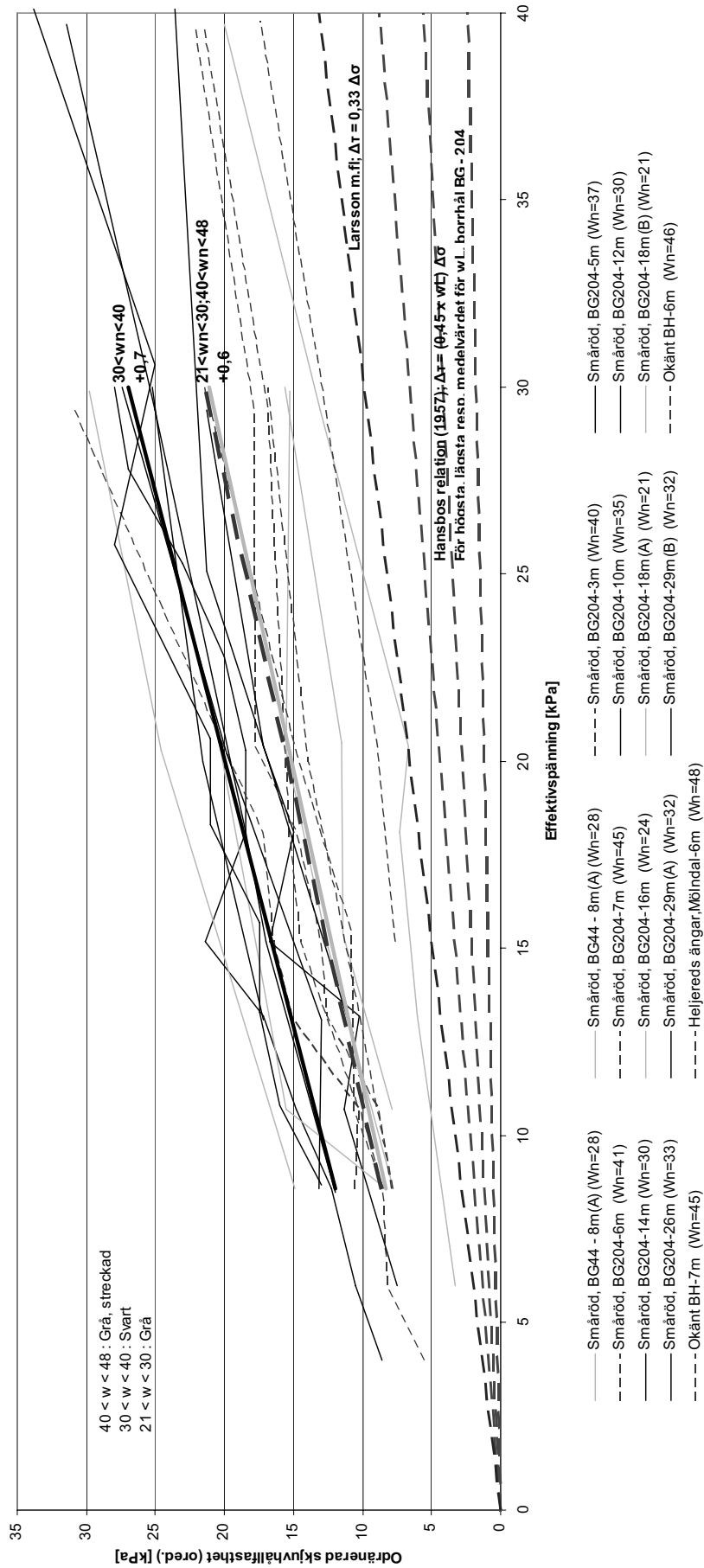


Tillväxtstrend: $50 < S_t < 150$ 

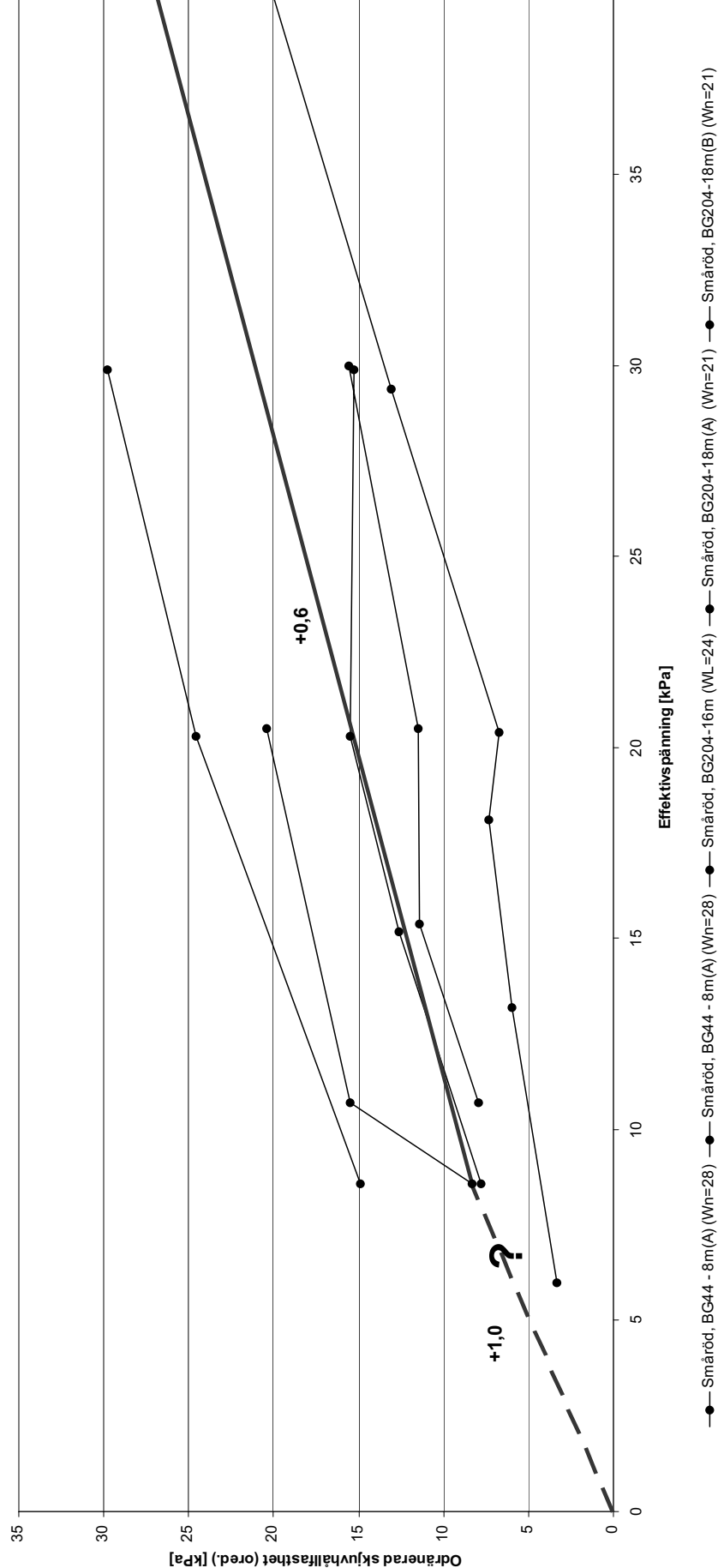
Bilaga 6.4

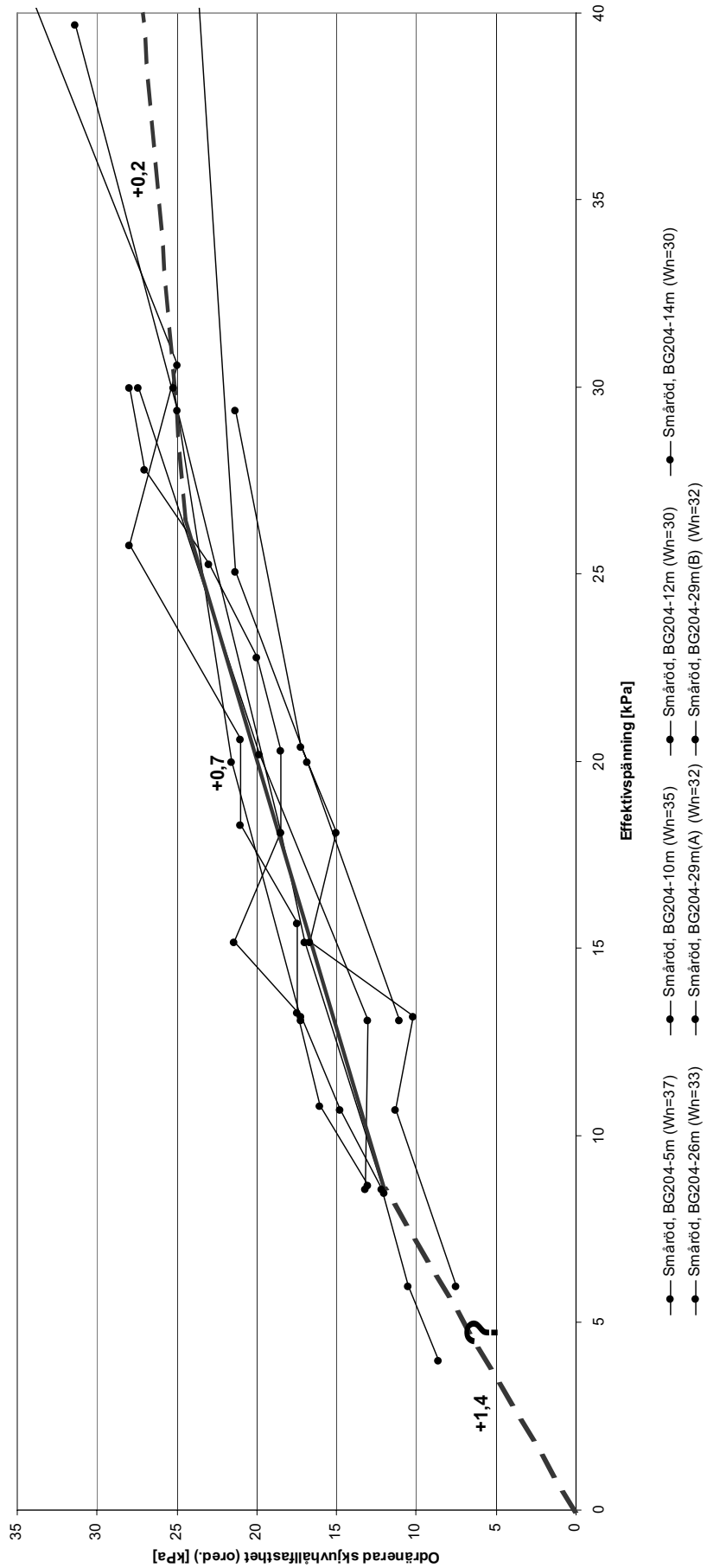
Tillväxtstrend: $150 < S_t < 387$



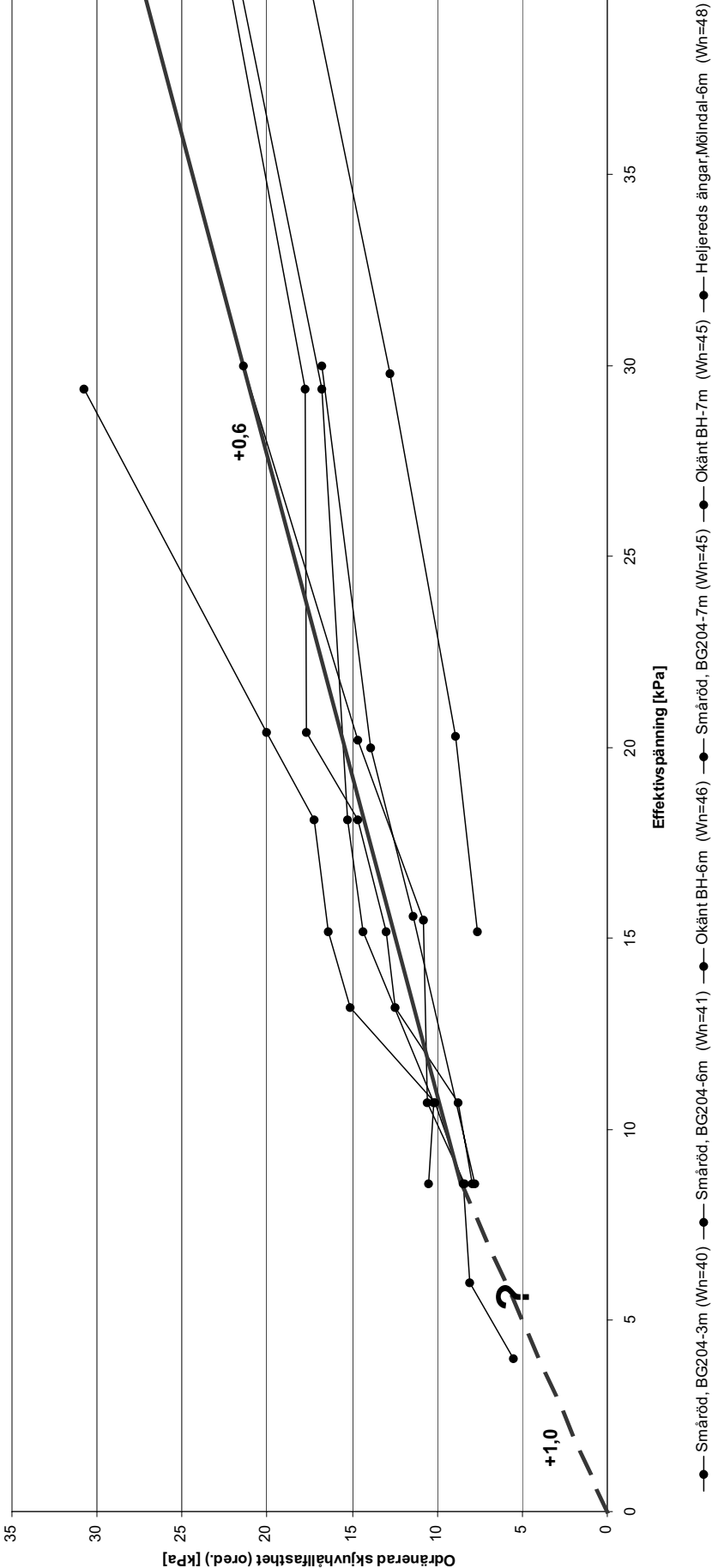
Sammanställning, tillväxtstrender - w_n 

Bilaga 7.2
Tillväxtstrend: $21 < w_n < 30$

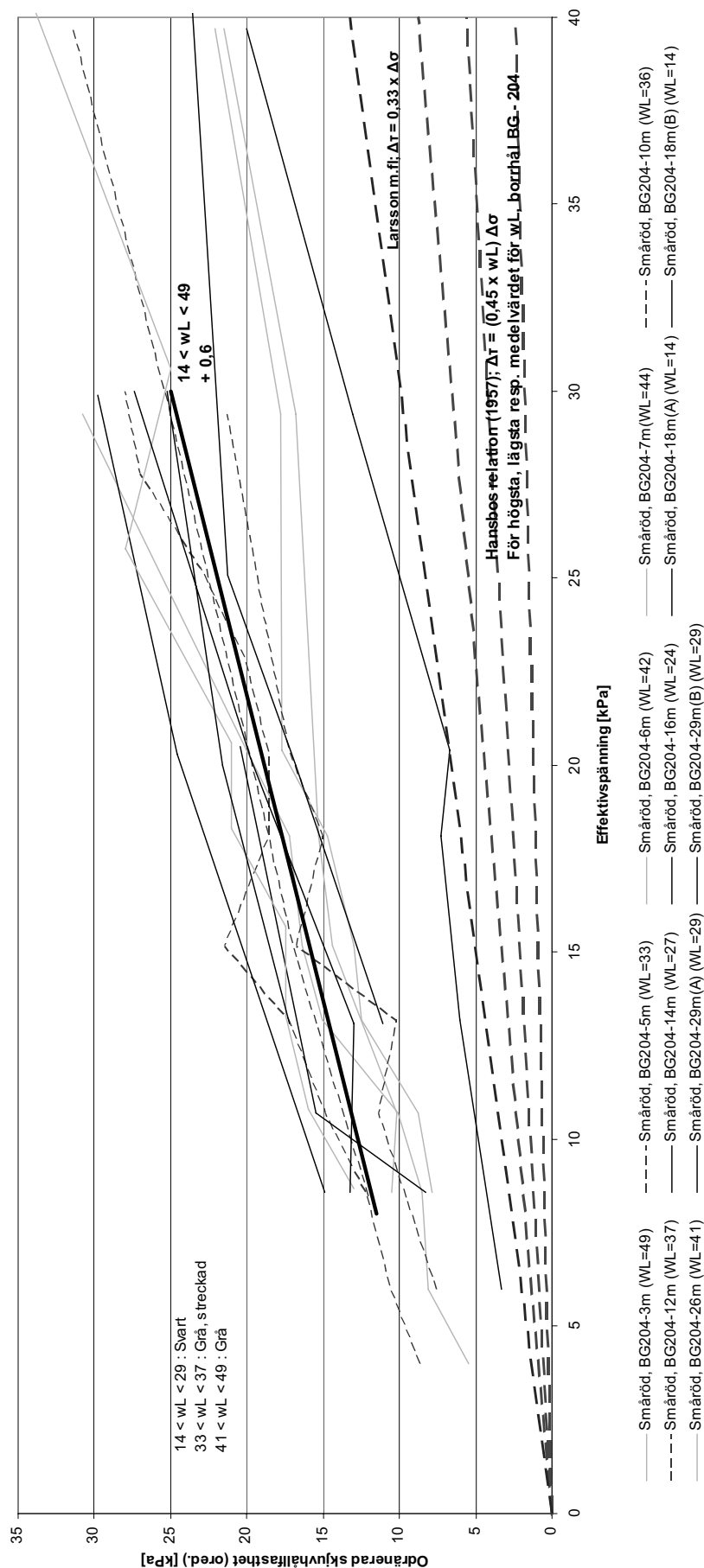


Tillväxtstrend: $30 < w_n < 40$ 

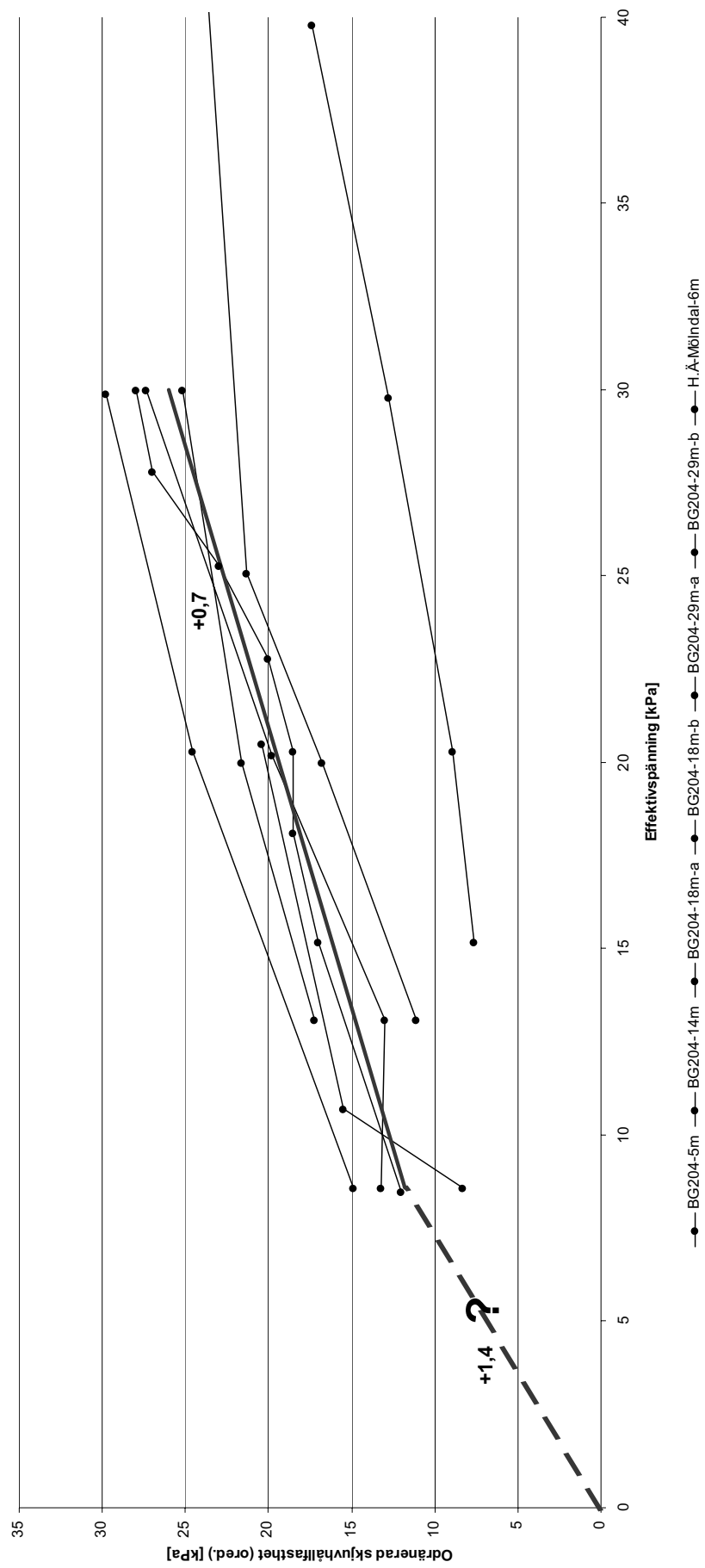
Bilaga 7.4
Tillväxtstrend: $40 < w_n < 48$



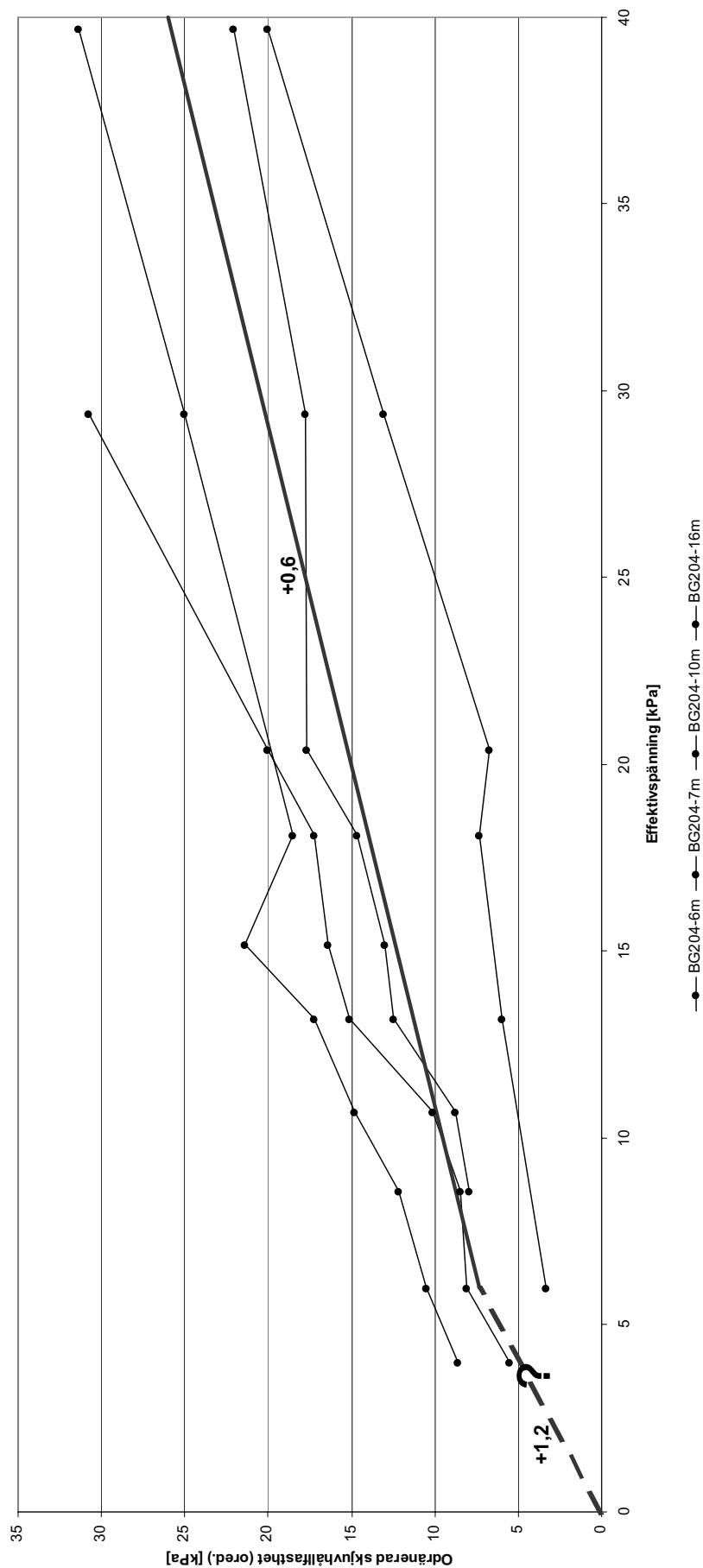
Tillväxtstrend: $14 < w_L < 49$

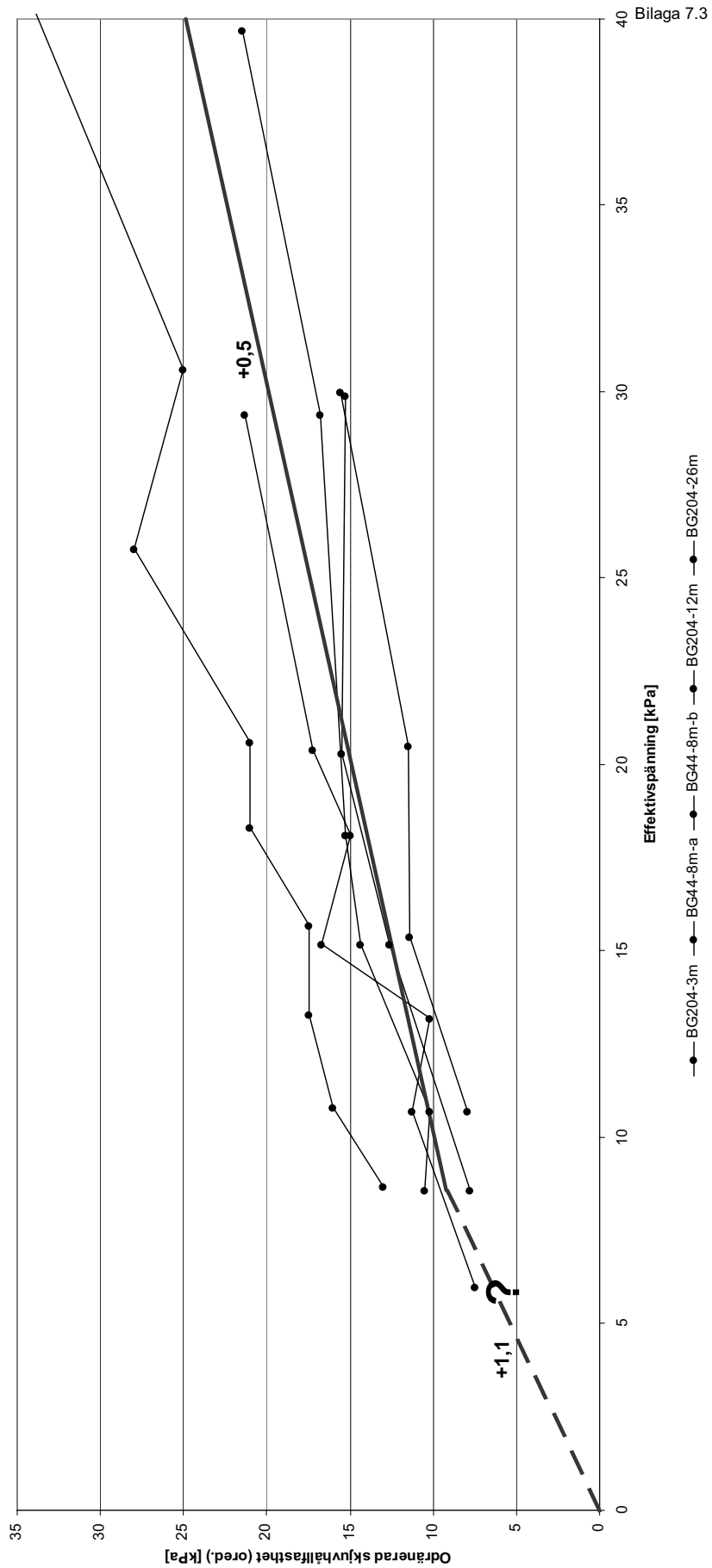


Tillväxtstrend: $w_n/w_L < 1$

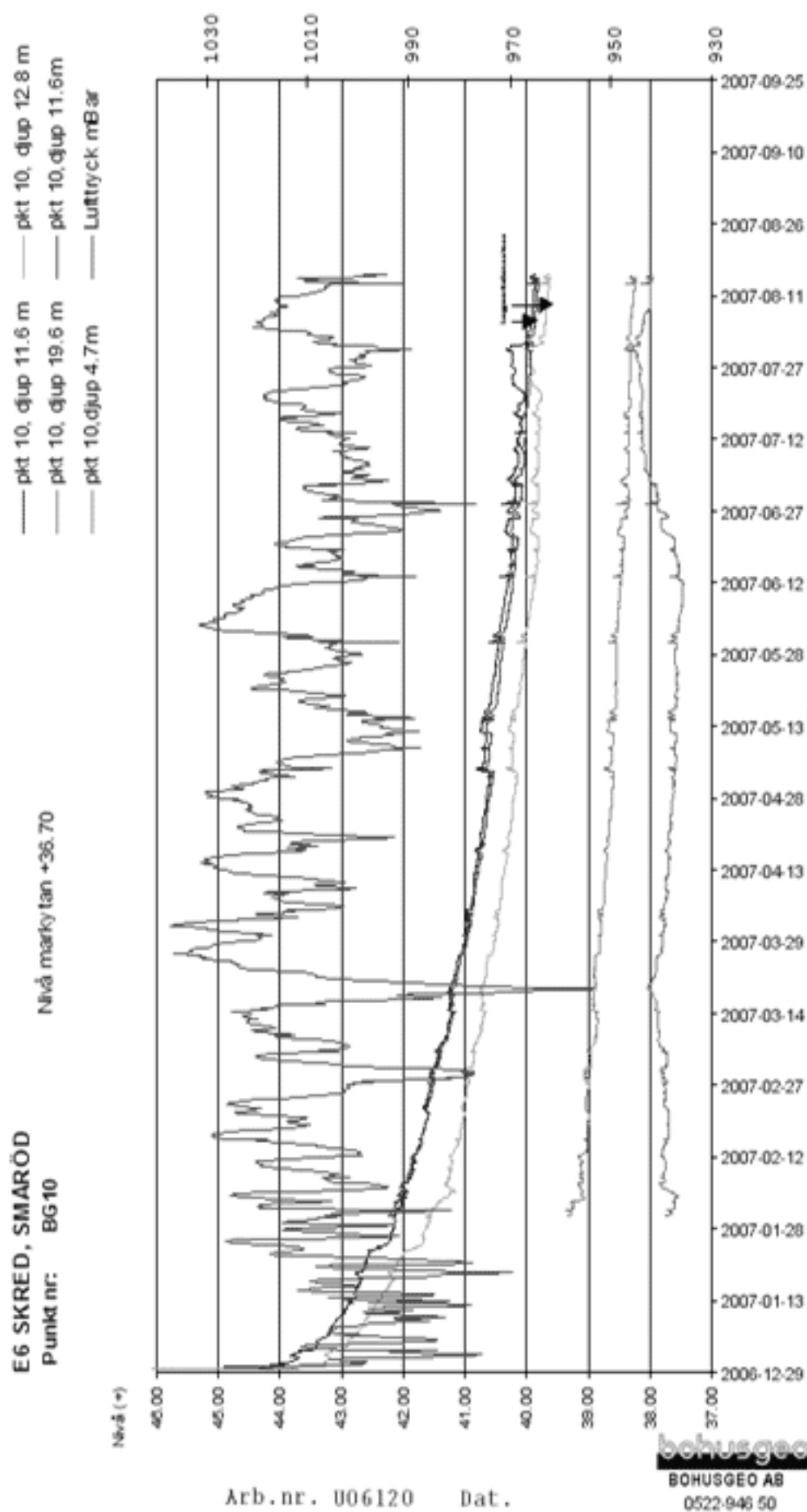


Bilaga 9.2
Tillväxtstrend: $w_n/w_L = 1$



Tillväxtstrend: $w_n/w_L > 1$ 

Portrycksmätning, Borrhål BG 10 - Småröd



Protokoll, multipelt fallkonförsök

	Område	Bh:	Djup [m]	St	Antal släpp	Okulär bedömning	H _f [mm]	H _e [mm]	Nedsjunkning [mm]
Försök 1	Småröd	S703	24	38	15	Ej rapid	17,4	12,8	4,6
Försök 2	Småröd	S703	24	38	15	Ej rapid	17,6	12,4	5,2
Försök 3	Småröd	S703	18	283	15	Något rapid	17,6	10,2	7,4
Försök 4	Småröd	BG204	29	186	15	Ej rapid	17,8	14,4	3,4
Försök 5	Småröd	BG204	29	186	15	Ej rapid	17,8	14,0	3,8
Försök 6	okänt	-	6	>190	15	Något rapid	17,9	13,2	4,7
Försök 7	okänt	-	6	>190	15	Något rapid	17,9	11,1	6,8

Protokoll, siktning

¹ Endast medelnedsjunkning antecknad.

Försök nr	Borrhål	Okulär bedömning av rapiditet	S _t	Siktstorlek [mm]	Initialhöjd [mm]	Tid i sikt [min]	Nedsjunkning Höger [mm]	Nedsjunkning vänster [mm]	Medelnedsjunkning [mm]
1	BG 204 29m	Ej rapid	186	4	40	5	0	0	0
2	BG 204 29m	Ej rapid	186	8	40	10	0	0	0
3	S708 24m	Ej rapid	38	16	36,1	5	11,4		10,5
4	S 703 15m	Något rapid	327	16	36,1	5		9,6	Lossnat
5	S 703 15m	Något rapid	327	16	36,1	5	11,4	9,6	10,5
7	Okänt 6m	Något rapid	33	16	20,2	5		1	1,2
8	Okänt 6m	Något rapid	33	16	20,2	5		1	1,2
9	Okänt 7m	Något rapid	31	16	20,2	5		1	1,1
10	Okänt 7m	Något rapid	31	16	20,2	5		1	0,6
11	Okänt 7m	Något rapid	31	16	20,2	5		1	1,2
12	S 703 15m	Rapid	327	10	52	5	39,4	34,4	36,9
13	S 703 24m	Rapid	38	16	27,5	2,5	10	9,6	9,8

Påtvingad tvärsnittsförändring: Borrhål Kasen 21, 18m

Släpper tvärs över tvärsnittet

Område: Kasen												
Bh: 21												
Djup: 18												
		τ_k [kPa]	Diameter [mm]	Kon [g]	i_1 [mm]	i_2 [mm]	i_3 [mm]	$\tau_{di\ 1}$ [kPa]	$\tau_{di\ 2}$ [kPa]	$\tau_{di\ 3}$ [kPa]	$\tau_{di\ m}$ [kPa]	SK [%]
Försök 1		33	30	100	10,1	9,8	10,5	9,6	10	8,9	9,5	29
Försök 2		33	30	100	-	-	-	-	-	-	-	-
Försök 3		33	30	100	13,1	13,5	12,8	5,8	5,4	6,0	5,7	17
Försök 4		33	30	100	-	-	-	-	-	-	-	-
Försök 5		33	30	100	15,5	14,3	12,5	4,1	4,8	6,3	5,1	15
Försök 6		33	30	100	(60g) 5,1	11,2	12,1	5,7	7,8	6,7	6,7	21
Försök 7		33	30	100	14	13	13,5	5	5,8	5,4	5,4	16
Försök 8		33	30	100	14,2	13,5	12,7	4,9	5,4	6,1	5,5	17

Bilaga 13.2

Påtvingad tvärsnittsförändring: Borrhål BG 204, 7m

Släpper tvärs över tvärsnittet

Område: Småröd											
Bh: 204											
Djup: 7											
	τ_k [kPa]	Diameter [mm]	Kon	i_1 [mm]	i_2 [mm]	i_3 [mm]	$\tau_{di\ 1}$ [kPa]	$\tau_{di\ 2}$ [kPa]	$\tau_{di\ 3}$ [kPa]	$\tau_{di\ m}$ [kPa]	SK [%]
Försök 1	23,7	40	100	10,8	7,7	10,2	8,4	16,5	9,4	11,4	48
Försök 2	23,7	40	100	8	7,6	9,1	15,5	17	12	14,8	62
Försök 3	23,7	40	100	9,1	6,5	9,6	12	23	10,5	15,6	65
Försök 4	23,7	40	100	9	7,2	9,5	12	19	11	14	58
Försök 5	23,7	40	100	12	8,8	11,5	6,8	12,5	7,4	8,9	37
Försök 6	23,7	40	100	9,6	8,7	11,1	10,5	13	8	11,5	48

Påtvingad tvärsnittsförändring: Borrhål BG 204, 10m

Släpper tvärs över tvärsnittet

Område: Småröd												
Bh: 204												
Djup: 10												
	τ_k [kPa]	Diameter [mm]	Kon [g]	i_1 [mm]	i_2 [mm]	i_3 [mm]	$\tau_{di\ 1}$ [kPa]	$\tau_{di\ 2}$ [kPa]	$\tau_{di\ 3}$ [kPa]	$\tau_{di\ m}$ [kPa]	SK [%]	
Försök 1	25,1	40	10	10,5	8	-	8,9	15,5	-	12,2	48	
Försök 2	25,1	40	10	11	7	9	8,1	20	12	13,4	54	
Försök 3	25,1	40	10	11	9	11	8,1	12	8,1	9,4	38	
Försök 4	25,1	40	10	12	9,8	8	6,8	15,5	10	10,8	43	
Försök 5	25,1	40	10	10,8	9	11	8,4	12	8,1	9,5	38	

Protokoll, siktning tät botten

Konen släppt tvärs över tvärsnittet.

FRU: Värde från rutinundersökning.

Försök nr	Område	BH:	Djup [m]	Okulär bedömning	S _t	Kon [g]	Neds [mm]	τ _k [kPa]	Kon [g]	τ _k	i ₁ [mm]	i ₂ [mm]	i ₃ [mm]	τ _{di,1}	τ _{di,2}	τ _{di,medel} [kPa]	Tid i sikt [min]	SK [%]
1	Småröd	S703	18	Något rapid	283	-	-	(FRU) 24,8	100	18,5	7,3	6,2	8,4	26	14	19,5	10	79
2	Småröd	S703	18	Något rapid	283	-	-	(FRU) 24,8	100	20	7,0	5,8	6,8	29	21	23,3	10	94
3	Okänd	-	6	Något rapid	33	100	6,9	21,0	100	17	7,6	6,8	7,9	21	15,5	17,8	5	85
4	Okänd	-	6	Något rapid	33	100	7,3	18,5	100	15,5	8	7,7	7,8	16,5	16	16,0	5	86