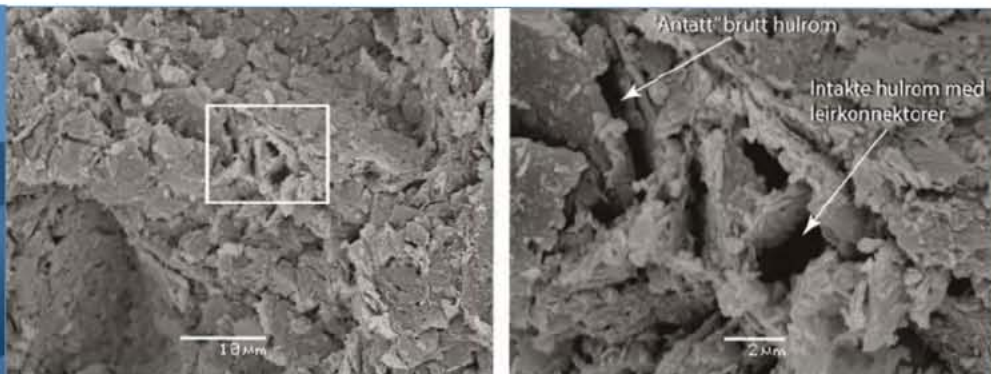




Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire etter skred

43
2013



R
A
P
P
O
R
T

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire etter skred

Rapport nr. 43/2013

Styrkeøkning av rekonsolidert Kvikkleire etter skred

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket

Utarbeidet av: Norges geotekniske institutt (NGI)

Forfatter: Ragnar Moholdt

Dato: 20.12.2012

Opplag: P.O.D.

ISBN: 978-82-410-0912-9

Sammendrag: Etatene Statens vegvesen (SVV), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Jernbaneverket (JBV) har, gjennom etatsatsningsprosjektet Naturfare - Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS) et delprosjekt (DP6) som omhandler kvikkleire. Fra NGI er det bestilt en rapport med hensikt å studere styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire etter skred. Et skred ved Lundestad i 2011 er studert. Denne rapporten presenterer labundersøkelser som er gjennomført i rekonsolidert kvikkleire.

Emneord: kvikkleireskred, labundersøkelser

Forord

NIFS-prosjektet er et felles satsningsområde mellom Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen. Prosjektperioden er definert som 2012 – 2015. Planlagt budsjett på 42 millioner i perioden. Stort fokus på intern kompetanse og faglig utvikling bidrar i tillegg med anslagsvis 30 årsverk fra etatene i samme periode. Prosjektet er allerede i leveransefasen, 7 delprosjekter er etablert, og opp i mot 100 medarbeidere i de tre etatene er involvert i større eller mindre grad.

Til: NIFS, prosjekt N-6.7.2
v/: Statens vegvesen v/Vikas Thakur
Kopi til: NVE v/Einar Lyche
Dato: 28. november 2012
Rev. nr./ Rev. dato: 1, 4. januar 2013
Dokumentnr.: 20120853-01-TN
Prosjekt: Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire etter skred
Utarbeidet av: Ragnar Moholdt
Prosjektleder: Ragnar Moholdt
Kontrollert av: Jean-Sebastien L'Heureux

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Sluppen
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Laboratorierapport

FoU-prosjektet ”Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire etter skred” har som mål å skape økt forståelse for hvordan styrkeegenskapene til omrørt kvikkleire utvikles gjennom rekonsolidering. Økt kunnskap på dette området vil gi et bedre grunnlag for akuttvurdering og planlegging av sikringstiltak ifm. skredhendelser i framtida. Videre vil økt kunnskap på dette området ha relevans ifm. planlegging av anleggsarbeider som medfører omrøring av kvikkleire, f.eks. grunnforsterkning, peling osv.

Studieområdet for FoU-prosjektet er skredet ved Lundestad, like øst for Mosjøen, som gikk den 19. juni 2011. Det er utført grunnundersøkelser i og rundt skredgropa i tre omganger; like etter skredet, før oppstart av sikringsarbeid og nå sist, ca. ett år etter at sikringstiltakene ble utført. Repetisjon av boringer, prøvetaking og laboratorieundersøkelser gir grunnlag for å kvantifisere endringen av styrkeparametrene i løpet av tiden som har gått.

FoU-prosjektet er samfinansiert med bidrag fra tre prosjekter:

- NVEs prosjekt for sikring av skredgropa har finansiert alle feltundersøkelsene, samt laboratorieundersøkelsene fra 2011 (NGI prosjektnr. 20110544)
- FoU-prosjektet ”SP1. Skred i sensitiv leire” finansierer medgått tid til FoU (NGI prosjektnr. 20120166)
- NIFS finansierer laboratorieundersøkelsene utført i 2012 (dette prosjektet – NGI prosjektnr. 20120853)

Under oppstartsmøtet den 3. oktober 2012 ble det avtalt at leveransen til NIFS i dette prosjektet skulle være en ren laboratorierapport (jf. møtereferrat). Alle laboratorieundersøkelsene er nå utført og resultatene presenteres i denne laboratorierapporten. Denne revisjonen (rev. 1) inkluderer mikroskopanalyse (SEM) av kornstruktur. Disse analysene var ikke med i forrige utgave (rev. 0).



Innhold

Vedlegg 1: Rutineundersøkelser	3
1.1 Borprofil, borpunkt 7	4
1.2 Borprofil, borpunkt 10A	5
Vedlegg 2: Kornfordelingsanalyse	6
2.1 Kornfordelingskurver, borpunkt 7	7
2.2 Kornfordelingskurver, borpunkt 10A	8
Vedlegg 3: Ledningsevne / saltinnhold	9
3.1 Ledningsevne / saltinnhold, borpunkt 7 og 10A	10
Vedlegg 4: Treksialforsøk	11
4.1-4.2 Borpunkt 7-CAUA-dybde 8,50m (7-3-C-1)	12
4.3-4.4 Borpunkt 7-CAUA-dybde 8,50m (7-3-C-1)	13
4.5-4.6 Borpunkt 7-CAUA-dybde 9,55m (7-4-C-1)	14
4.7-4.8 Borpunkt 7-CAUA-dybde 9,55m (7-4-C-1)	15
4.5-4.6 Borpunkt 10A-CAUA-dybde 6,50m (10-4-A-1)	16
4.5-4.6 Borpunkt 10A-CAUA-dybde 6,50m (10-4-A-1)	17
4.7-4.8 Borpunkt 10A-CAUA-dybde 8,50m (10-6-A-1)	18
4.7-4.8 Borpunkt 10A-CAUA-dybde 8,50m (10-6-A-1)	19
Vedlegg 5: Ødometerforsøk	20
5.1-5.3 Borpunkt 7-CRS-dybde 9,42m (7-4-B-1)	21
5.1-5.3 Borpunkt 7-CRS-dybde 9,42m (7-4-B-1)	22
5.1-5.3 Borpunkt 7-CRS-dybde 9,42m (7-4-B-1)	23
5.4-5.6 Borpunkt 7-CRS-dybde 11,62m (7-5-C-1)	24
5.4-5.6 Borpunkt 7-CRS-dybde 11,62m (7-5-C-1)	25
5.4-5.6 Borpunkt 7-CRS-dybde 11,62m (7-5-C-1)	26
5.7-5.9 Borpunkt 10A-CRS-dybde 6,63m (10A-4-E-1)	27
5.7-5.9 Borpunkt 10A-CRS-dybde 6,63m (10A-4-E-1)	28
5.7-5.9 Borpunkt 10A-CRS-dybde 6,63m (10A-4-E-1)	29
5.10-5.12 Borpunkt 10A-CRS-dybde 8,77m (10A-6-F-1)	30
5.10-5.12 Borpunkt 10A-CRS-dybde 8,77m (10A-6-F-1)	31
5.10-5.12 Borpunkt 10A-CRS-dybde 8,77m (10A-6-F-1)	32
Vedlegg 6: Mikroskopanalyse (SEM)	33

Kontroll- og referanseside



Dokumentnr.: 20120853-01-TN
Dato: 2012-11-28
Rev. nr.: 1, datert 2013-01-04
Side: 3

Vedlegg 1: Rutineundersøkelser

1.1 Borprofil, borpunkt 7

1.2 Borprofil, borpunkt 10A

Dybde (m)	Beskrivelse	Prøve Forsøk	Vanninnhold (%)							Tyngdetetthet (kN/m³)					Porøsitet (%)	Humus (%)	Skjærfasthet (kN/m²)										S _t Konus			
			10	20	30	40	50	60	70	16	17	18	19	20			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100				
5																														
10	LEIRE	1																												4
																														4
	LEIRE	2																												4
	LEIRE	3																												8
15	LEIRE	4																												4
	LEIRE	5																												2
	LEIRE	6																												2
20	LEIRE	7																												13
																														11
	LEIRE	8																												12

TEGNFORKLARING:

- | Plastisitetsgrense/Vanninnhold/Flytegrense Ø = Ødometer forsøk
- 15—○—5 | Enaks. trykkforsøk/def. ved brudd ● Treksial forsøk, aktiv P = Permeabilitetsforsøk
- 10 | ● Treksial forsøk, passiv K = Korngraderingsanalyse
- ▽ | Konus forsøk, uforstyrret ⊞ Direkte skjærforsøk T = Treksial forsøk
- ▼ | Konus forsøk, omrørt S_t Sensitivitet K/S = Kalk-/Sement stabilisering
- + | Vingeboring

NIFS-N-6.7.2-Styrkekning av rekonsolidert kvikkleire		Dato/Rev. 2012-09-25/03	
Borprofil		Dokumentnr. 20120853-1	
Borpunkt nr.: 7		Dato 2012-11-13	
		Figurnr. 1	
Prøvetype: 75 mm Terrengkote: m Grunnvannst. dybde: m Dato boret: 2012-10-02		Tegner FI	

Dybde (m)	Beskrivelse	Prøve Forsøk	Vanninnhold (%)							Tyngdetetthet (kN/m³)					Porøsitet (%)	Humus (%)	Skjærfasthet (kN/m²)										S _t Konus					
			10	20	30	40	50	60	70	16	17	18	19	20			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100						
5	LEIRE GRUS/SAND på toppen siltig, fast til middels fast, m/gruskom og sagflis, org.rester/flekkef, spredte sandkom	1																														
		2	○	○	○												x															4
10	LEIRE siltig, middels fast, tynne finsandlag, blocky	3			○	○	○									x															5	
	LEIRE siltig, bløt til middels fast, enkelte silt/finsandlag	4	K		○	○	○									x															6	
	LEIRE siltig, middels fast, dillettant, tynne finsandlag	5	T, Ø		○	○	○									x																8
	LEIRE siltig, veldig bløt til middels fast, enkelte silt/finsandlag	6	K		○	○	○									x																11
	LEIRE siltig, middels fast, tynne siltlag, noen få finsandlag	7	T, Ø		○	○	○									x																53
	LEIRE siltig, bløt til middels fast, enkelte finsandlag, noen få gruskom	8	K			○	○									x																3
	LEIRE/SILT middels fast, sandlag	9	K			○	○									x																9
15																																
20																																

TEGNFORKLARING:

- | | | | |
|--|--|--|----------------------------------|
| | Plastisitetsgrense/Vanninnhold/Flytegrense | | Ø = Ødometer forsøk |
| | Enaks. trykkforsøk/def.ved brudd | | Treaksial forsøk, aktiv |
| | Konus forsøk, uforstyrret | | Treaksial forsøk, passiv |
| | Konus forsøk, omrørt | | Direkte skjærforsøk |
| | Vingeboring | | K/S = Kalk-/Sement stabilisering |
| | | | S _t Sensitivitet |
| | | | P = Permeabilitetsforsøk |
| | | | K = Korngraderingsanalyse |
| | | | T = Treaksial forsøk |

NIFS-N-6.7.2-Styrkekning av rekonsolidert kvikkleire

Borprofil
Borpunkt nr.: 10A

Prøvetype: 75 mm
Terrengkote: m
Grunnvannst. dybde: m
Dato boret: 2012-10-03

Dato/Rev. 2012-09-25/03

Dokumentnr.
20120853-1

Dato
2012-11-13

Figurnr.
1
Tegner
FI





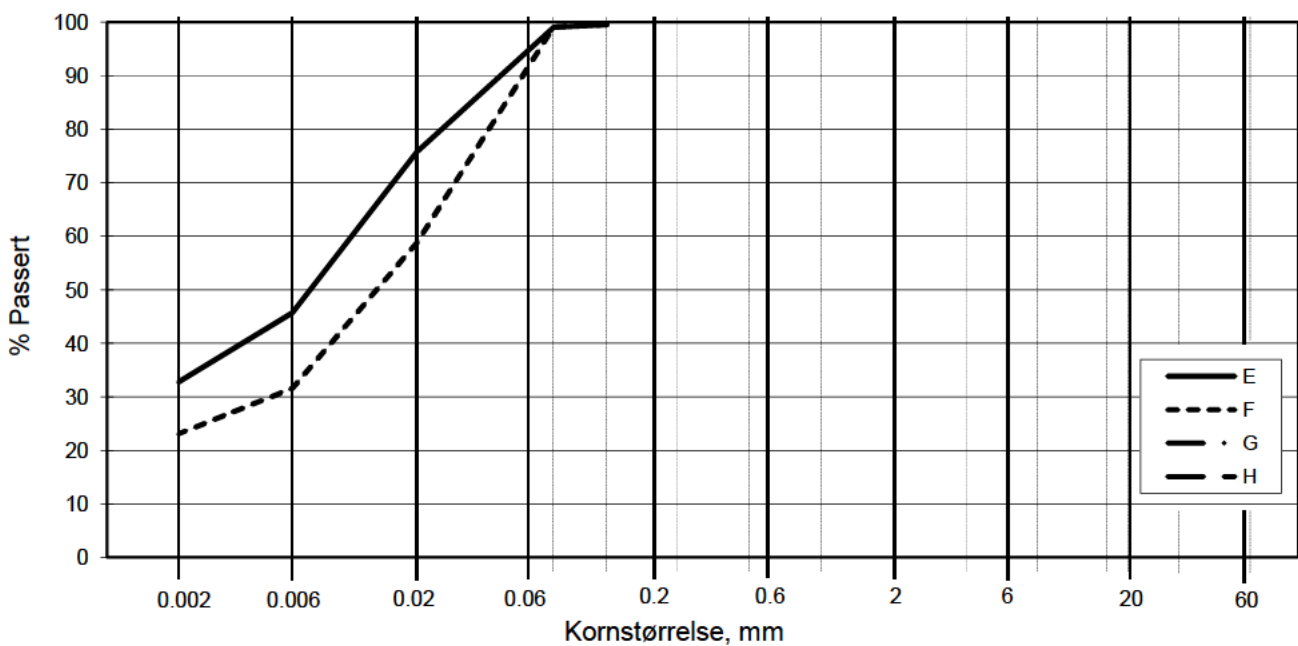
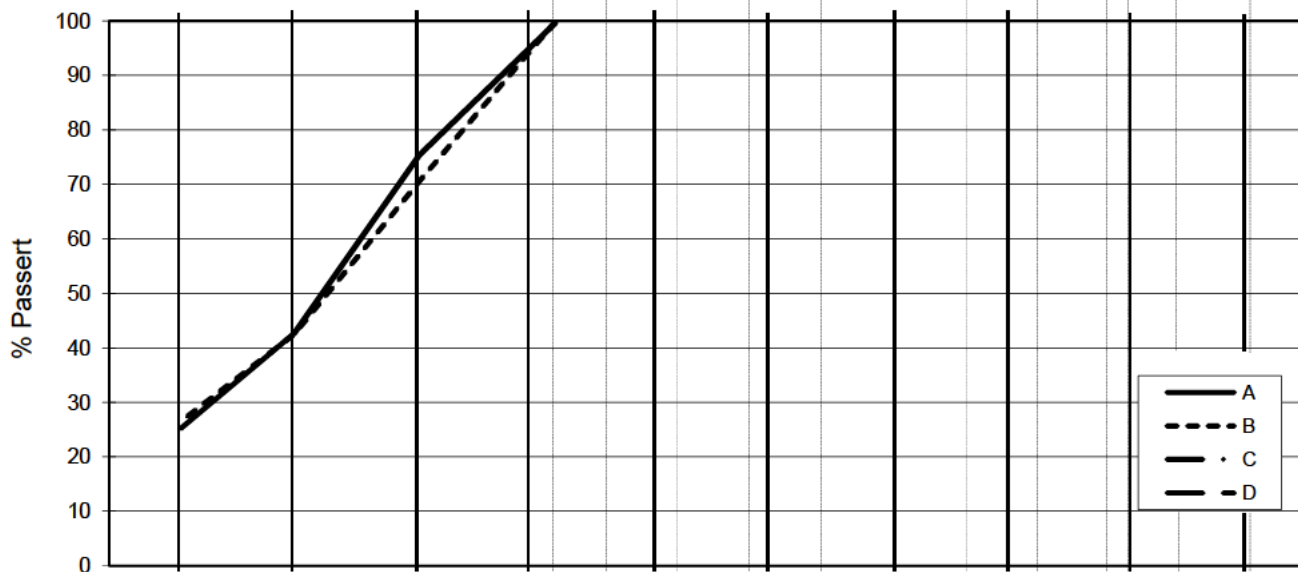
Dokumentnr.: 20120853-01-TN
Dato: 2012-11-28
Rev. nr.: 1, datert 2013-01-04
Side: 6

Vedlegg 2: Kornfordelingsanalyse

2.1 Kornfordelingskurver, borpunkt 7

2.2 Kornfordelingskurver, borpunkt 10A

L E I R	SILT			SAND			GRUS								
	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov						
US Standard Sikt				200	100	50	30	16	8	4	3/8"	3/4"	1.5"	3"	
ISO Standard Sikt				075	.125	.25	.5	1	2	4	8	16	19	31.5	63



Kurve	Hull nr.	Prøve nr.	Dybde m	C_u (d_{60} / d_{10})	Tele gr.	Leir innh. %	Jordartsbetegnelse	Metode tørr/våt sikt
A	7	2	7.55		T4	25.2	LEIRE, siltig	Fall
B	7	4	9.22		T4	26.5	LEIRE, siltig	Fall
C								
D								
E	7	6	12.65		T4	32.8	LEIRE	Fall
F	7	8	15.6		T4	23.1	LEIRE, siltig	Fall
G								
H								

Rev: N1-127 Dato 2010-11-22 / Sign. SK/EB

H:\LABDATA\2012\20120853\Fulne\Kornfordelingskurver-8H7.xls\Plot

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire

Kornfordelingskurver

Dokumentnr.

20120853

Dato

2012-11-12

Figurnr.

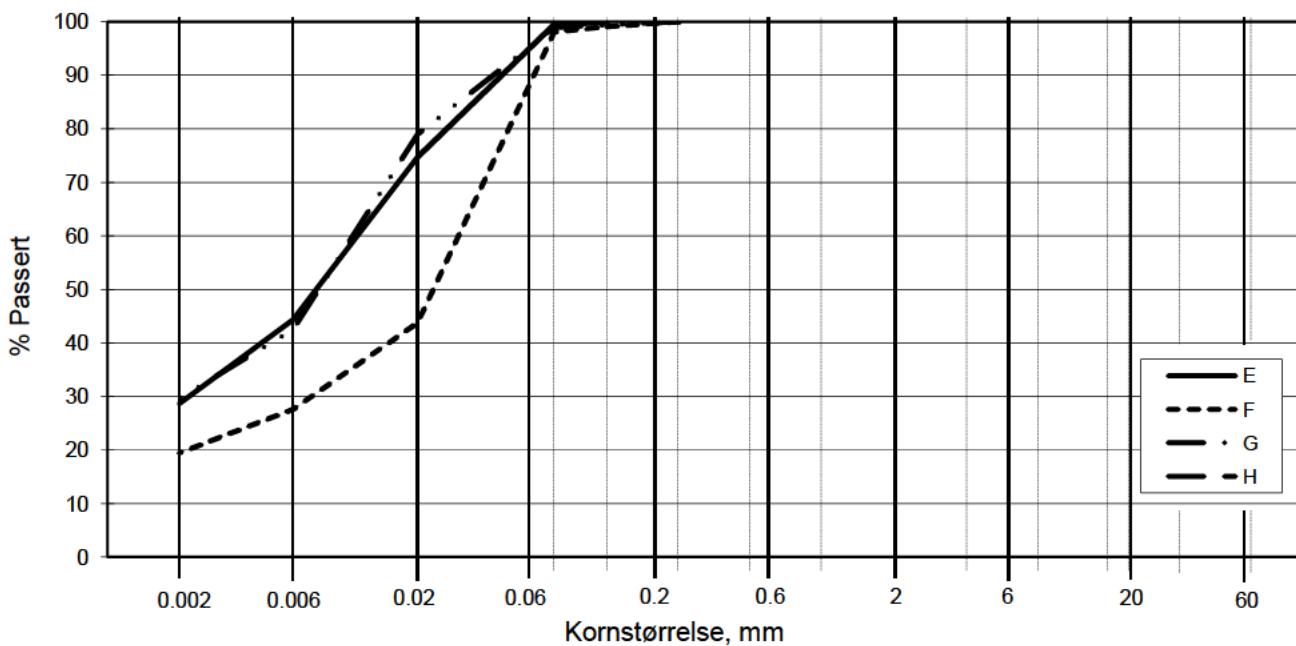
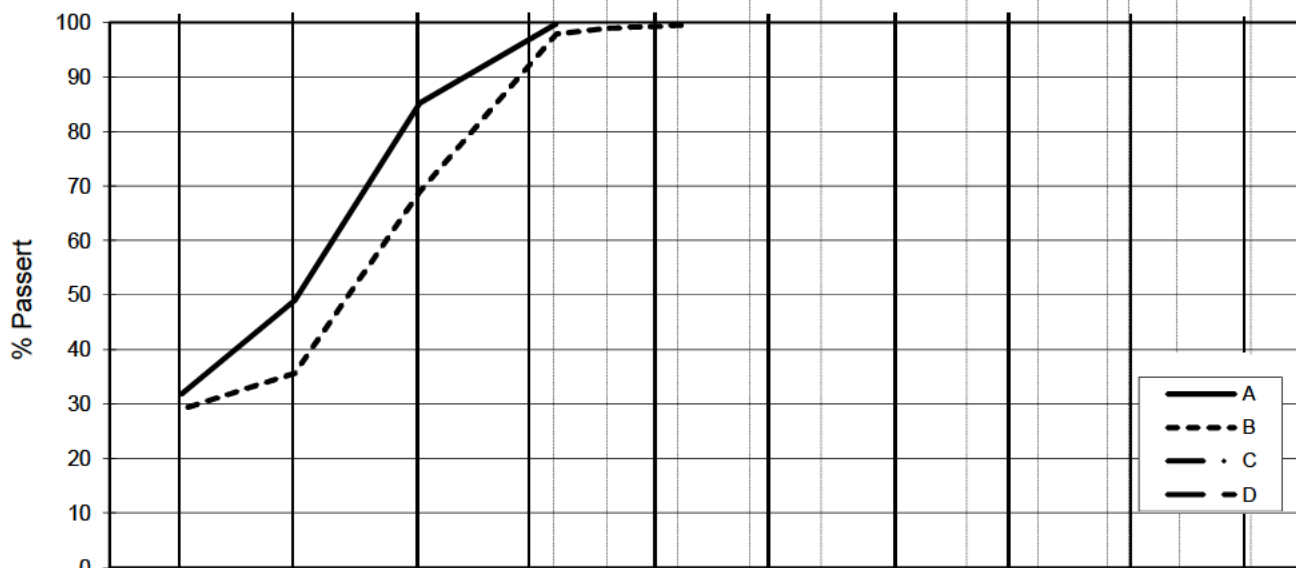
XX.XX

Tegnet av

FP/




L E I R	SILT			SAND			GRUS								
	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov						
US Standard Sikt				200	100	50	30	16	8	4	3/8"	3/4"	1.5"	3"	
ISO Standard Sikt				.075	.125	.25	.5	1	2	4	8	16	19	31.5	63



Kurve	Hull nr.	Prøve nr.	Dybde m	C_u (d_{60} / d_{10})	Tele gr.	Leir innh. %	Jordartsbetegnelse	Metode tørr/våt sikt
A	10A	4	6.37		T4	31.7	LEIRE	Fall
B	10A	6	8.45		T4	29.0	LEIRE, siltig	Fall
C								
D								
E	10A	8	11.6		T4	28.7	LEIRE, siltig	Fall
F	10A	9	13.44		T4	19.5	LEIRE, siltig	Fall
G	10A	9	13.85		T4	29.6	LEIRE, siltig	Fall
H								

Rev. NT-12 / Dato 2010-11-22 / Sign. SK/EB

H:\LABDATA\2012\20120853\Rutine\Kornfordelingskurver-BH10A.xlsx\Plot

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire Kornfordelingskurver	Dokumentnr. 20120853
	Dato 2.12.1. -22
Figurnr. XX.XX	
Tegnet av FP/	



Dokumentnr.: 20120853-01-TN
Dato: 2012-11-28
Rev. nr.: 1, datert 2013-01-04
Side: 9

Vedlegg 3: Ledningsevne / saltinnhold

3.1 Ledningsevne / saltinnhold, borpunkt 7 og 10A

Miljølaboratoriet - Ledningsevne / saltinnhold i jord (MLP 035)

Prosjektnr.: **20120853** Prosjekttittel: **NVE, saltinnhold leire.**
 Type analyse: **Ledningsevne i jord** Dato/sign.: **02.11.2012 GeA/EJW**
 Ekstraksjon med Dato/kontr.:
 ionebyttet vann

Prøvenavn	Ledningsevne ($\mu\text{S/cm}$)	Ledningsevne som NaCl-ekvivalenter	
		(g NaCl/l porevann)	(g NaCl/kg ts prøve)

Prøvenavn	Ledningsevne ($\mu\text{S/cm}$)	Ledningsevne som NaCl-ekvivalenter	
		(g NaCl/l porevann)	(g NaCl/kg ts)
7-1-A-1	146,9	1,5	0,4
7-2-A-1	157,5	1,7	0,4
7-3-B-1	137,3	1,7	0,4
10A-4-C-1	98,7	0,9	0,3
7-4-D-1	131,5	1,6	0,3
7-5-B-1	116,1	1,2	0,3
10A-6-C	99,2	0,8	0,3
10A-3	97,5	1,0	0,3
10A-5	100	0,9	0,3
10A-7	79,5	0,8	0,2

Kommentarer

Ledningsevнемålingen er blitt utført i et prøve:vann-forhold lik 1:5.



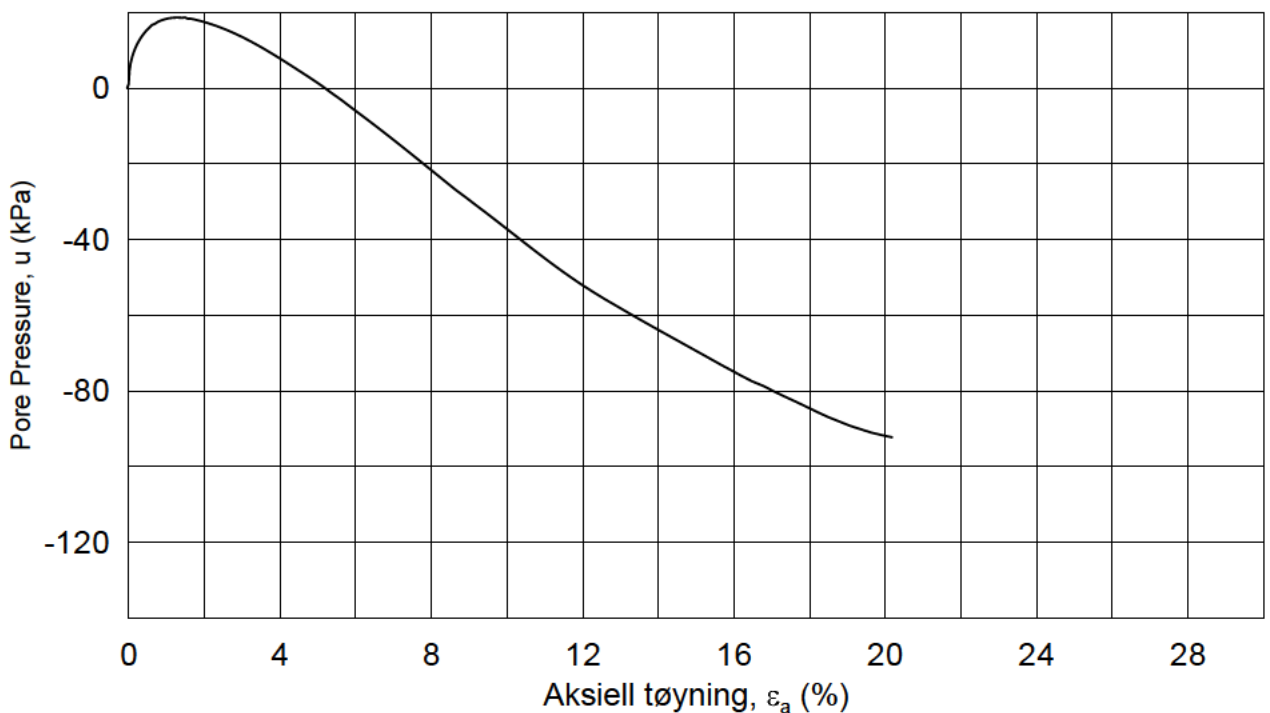
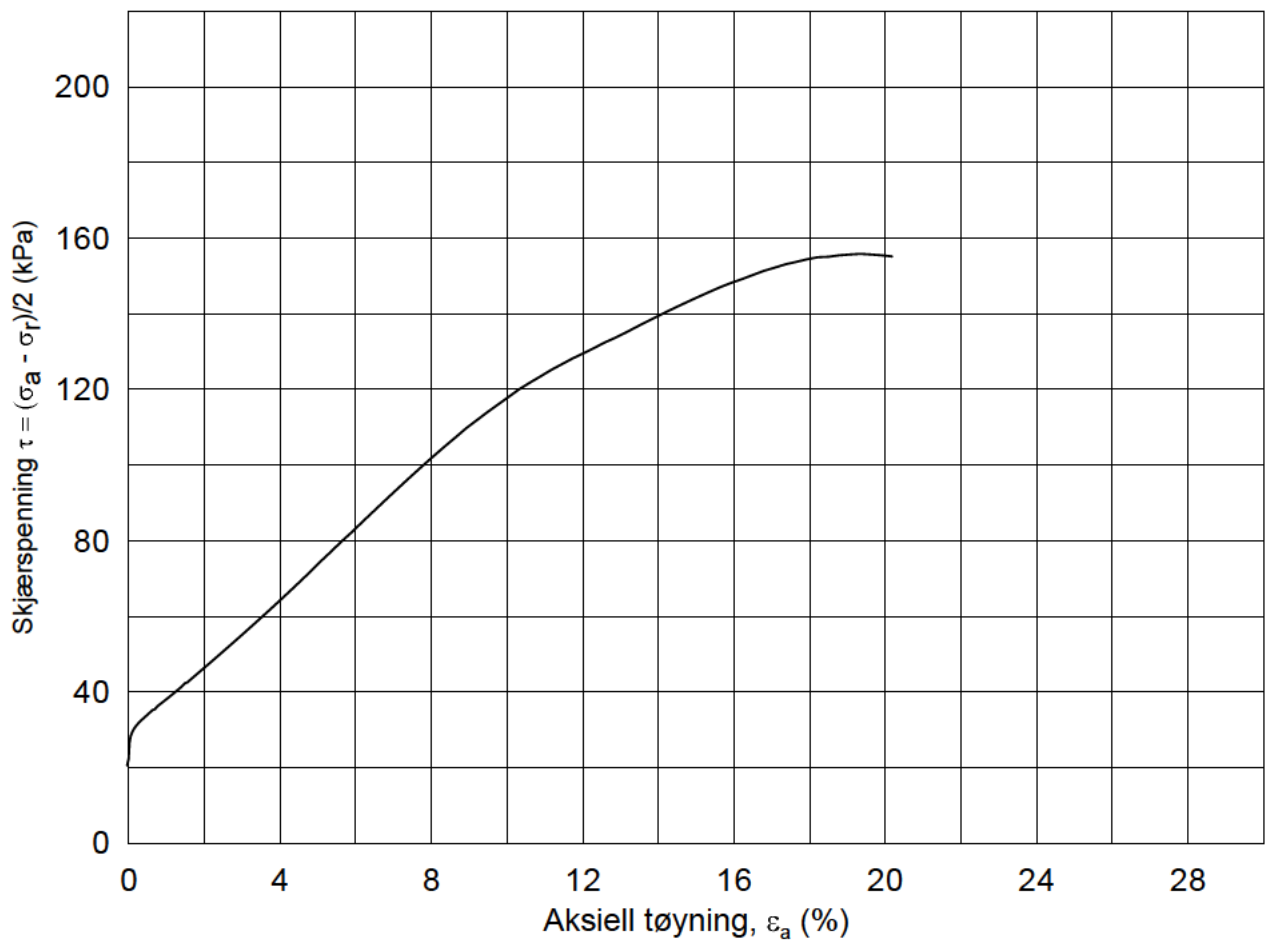
Vedlegg 4: Treaksialforsøk

4.1-4.2 Borpunkt 7-CAUA-dybde 8,50m (7-3-C-1)

4.3-4.4 Borpunkt 7-CAUA-dybde 9,55m (7-4-C-1)

4.5-4.6 Borpunkt 10A-CAUA-dybde 6,50m (10-4-A-1)

4.7-4.8 Borpunkt 10A-CAUA-dybde 8,50m (10-6-A-1)



Date/Rev. 2009-11-03/01

NIFS-N-6.7.2-Styrkekøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokument nr.
20120853-1

Treaksial forsøk: **CAUA**

Dato
2012-10-30

Boring: 7

Dybde = 8.50 m

Konsolidering-spenninger

Sylinder: 3

$p_{o'}$ = 91.5 kPa

(kPa) maks. min. endelig

Figur nr.

1

Del: C

w_i = 21.8 %

σ_{ac}' = - - 91.5

Tegnet av

MAS

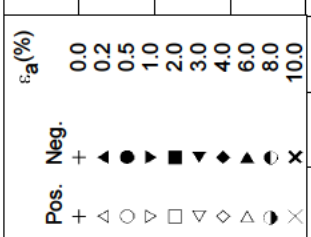
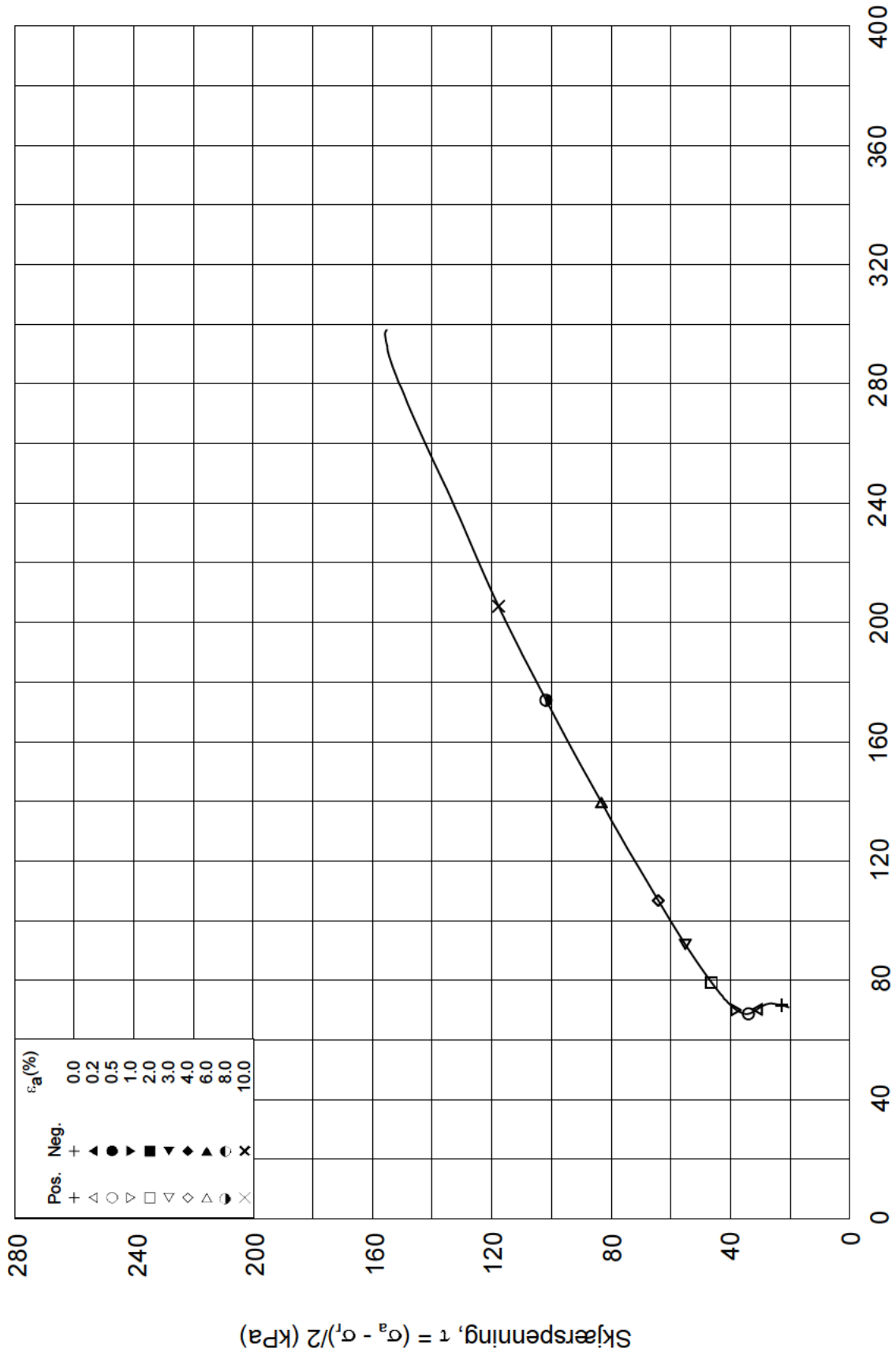
Test: 1

w_c = 19.9 %

σ_{rc}' = - - 50.4



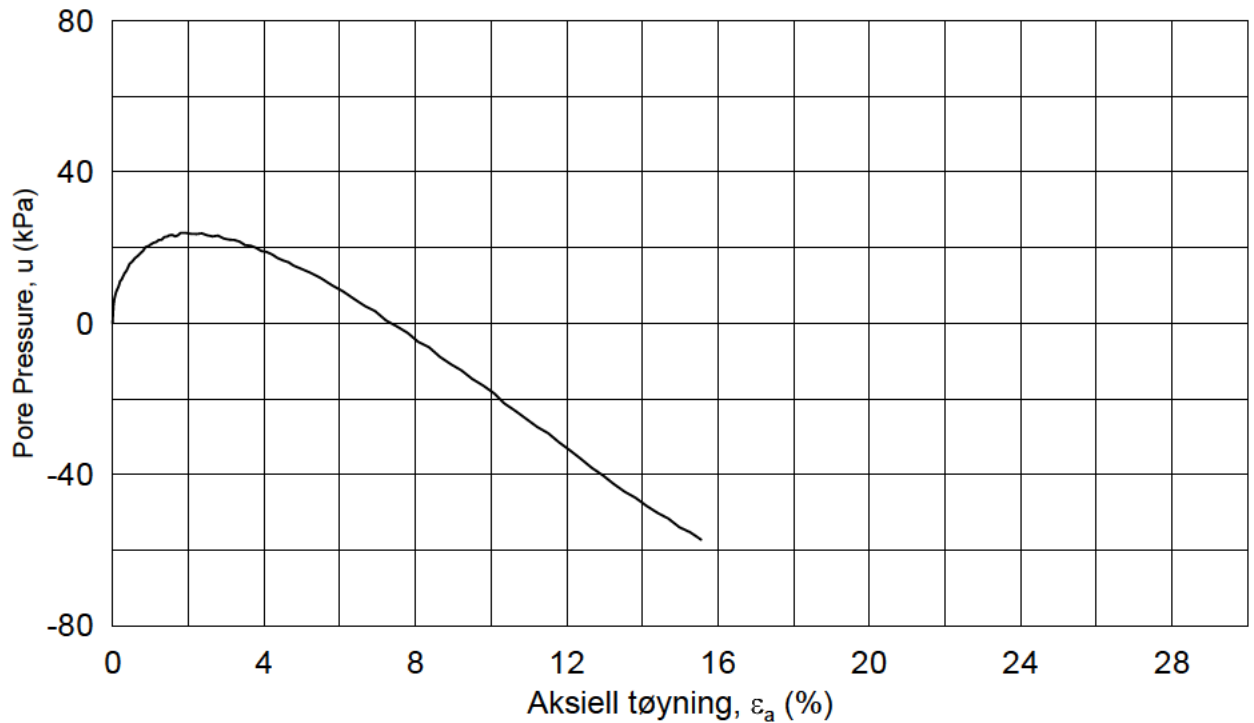
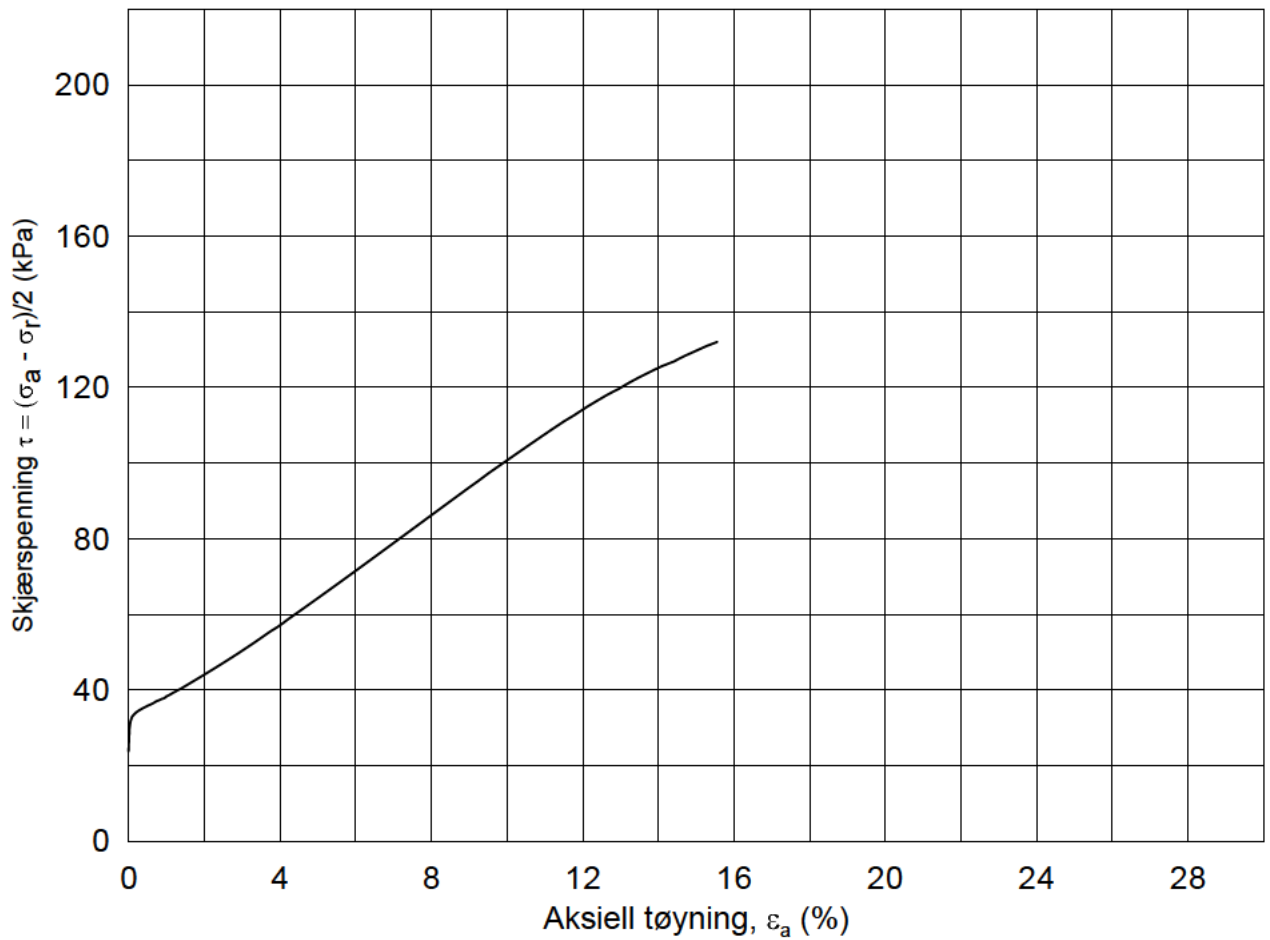
Effektiv gjennomsnittsspenning, $p' = (\sigma'_a + \sigma'_r)/2$ (kPa)



Date/Rev. 2009-11-03/01

NIFS-N-6.7.2-Styrkekøkning av rekonsolidert kvikkleire				Dokument nr. 20120853-1
Treaksial forsøk: CAUA				Dato 2012-10-30
Boring: 7	Dybde = 8.50 m	Konsolidering-spenninger		
Sylinder: 3	$p_{o'}$ = 91.5 kPa	(kPa)	maks.	min.
Del: C	w_i = 21.8 %	σ_{ac}' =	-	-
Test: 1	w_c = 19.9 %	σ_{rc}' =	-	-
				endelig 91.5
				50.4
				Figur nr. 2
				Tegnet av MAS

7-3-C-1.Plot2.grf



Date/Rev. 2009-11-03/01

NIFS-N-6.7.2-Styrkekøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokument nr.
20120853-1

Treaksial forsøk: **CAUA**

Dato
2012-10-30

Boring: 7

Dybde = 9.55 m

Konsolidering-spenninger

Sylinder: 4

$p_{o'}$ = 105.5 kPa

(kPa)	maks.	min.	endelig
σ_{ac}' =	-	-	105.5
σ_{rc}' =	-	-	58.1

Del: C

w_i = 21.0 %

Test: 1

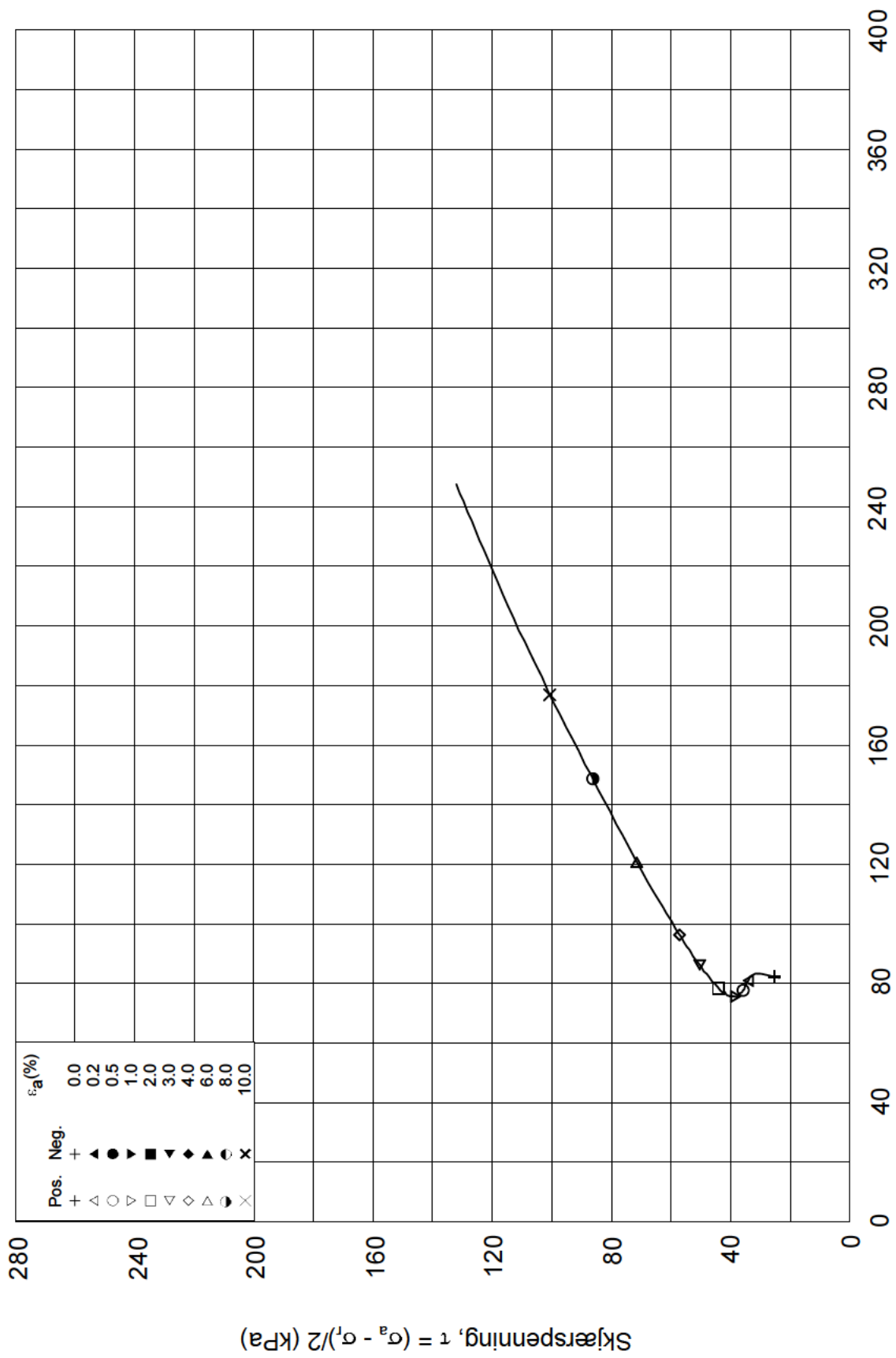
w_c = 19.5 %

Figur nr.

1

Tegnet av
MAS



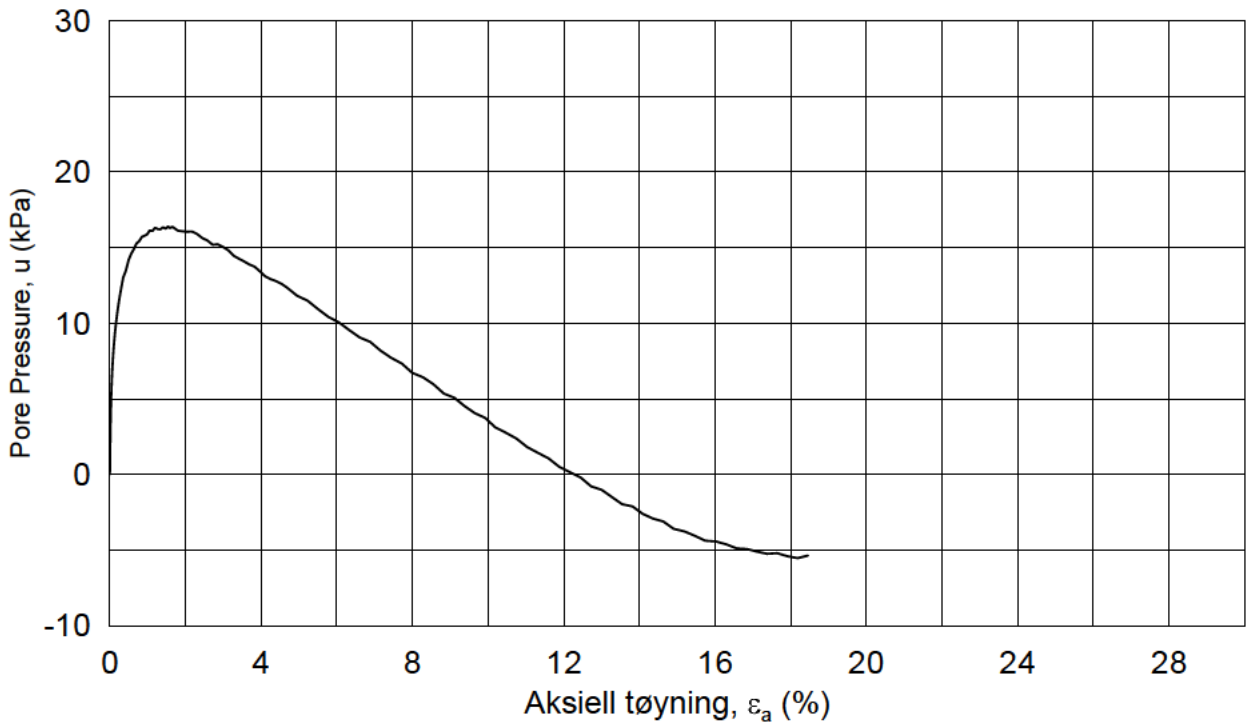
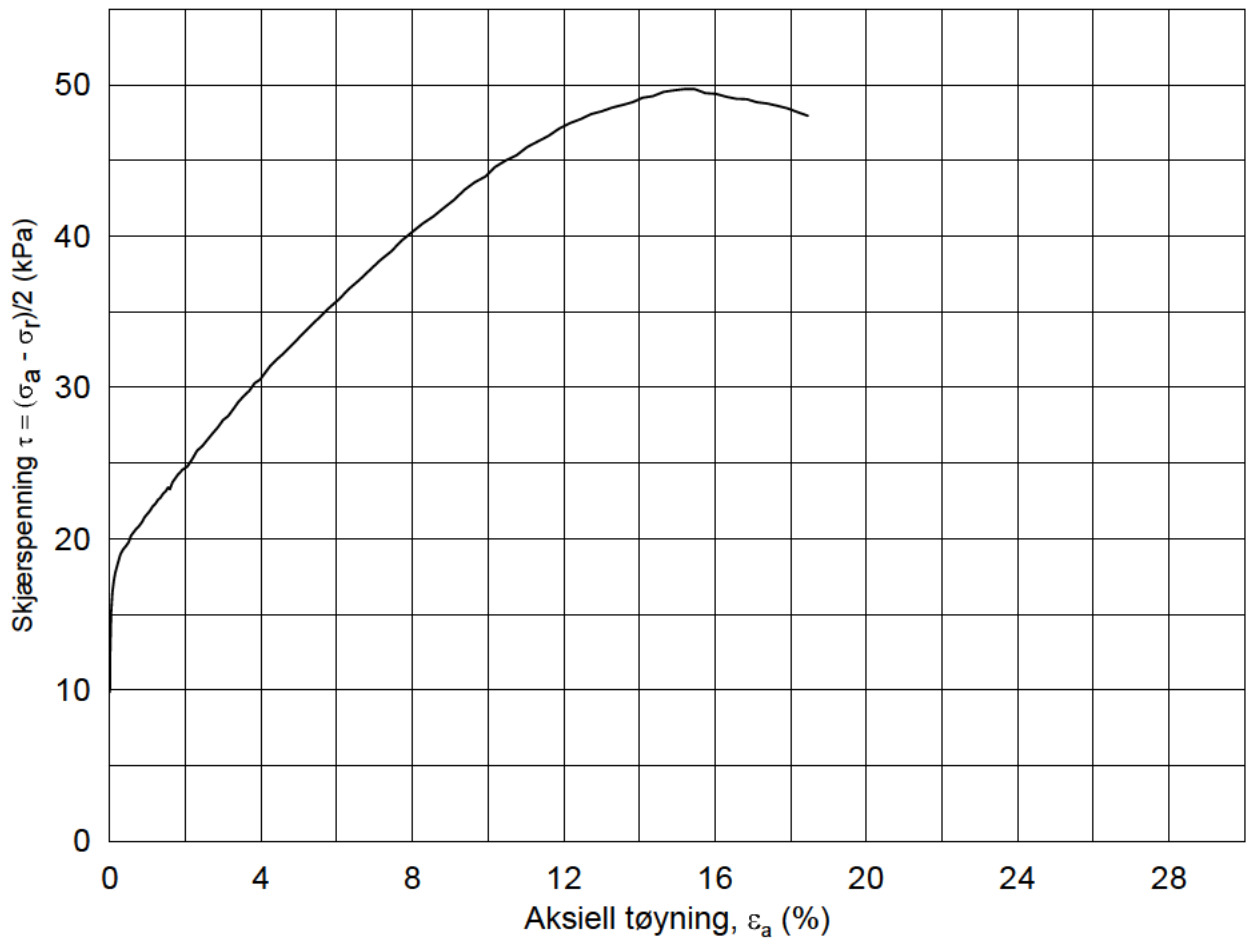


Date/Rev. 2009-11-03/01

NIFS-N-6.7.2-Styrkekøkning av rekonsolidert kvikkleire			Dokument nr. 20120853-1
Treaksial forsøk: CAUA			Dato 2012-10-30
Boring: 7	Dybde = 9.55 m	Konsolidering-spenninger	
Sylinder: 4	$p_{o'}$ = 105.5 kPa	(kPa)	maks. min. endelig
Del: C	w_i = 21.0 %	$\sigma_{ac}' =$ - - 105.5	Figur nr. 2
Test: 1	w_c = 19.5 %	$\sigma_{rc}' =$ - - 58.1	Tegnet av MAS



7-4-C-1.Plot2.grf



Date/Rev. 2009-11-03/01

NIFS-N-6.7.2-Styrkekøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokument nr.
20120853-1

Treaksial forsøk: **CAUA**

Dato
2012-10-30

Boring: 10

Dybde = 6.50 m

Konsolidering-spenninger

Sylinder: 4

$p_{o'}$ = 53.5 kPa

(kPa) maks. min. endelig

Figur nr.

1

Del: A

w_i = 28.3 %

σ_{ac}' = - - 53.5

Tegnet av

MAS

Test: 1

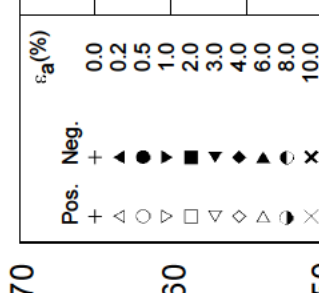
w_c = 26.4 %

σ_{rc}' = - - 33.7





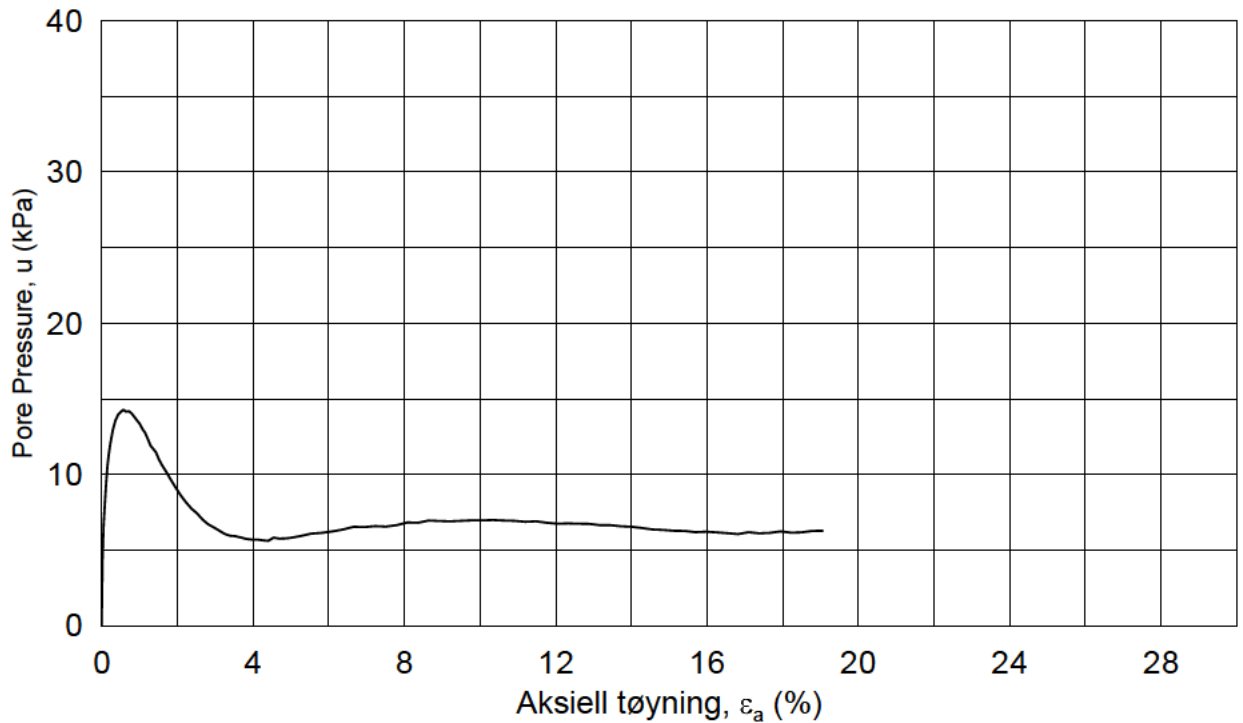
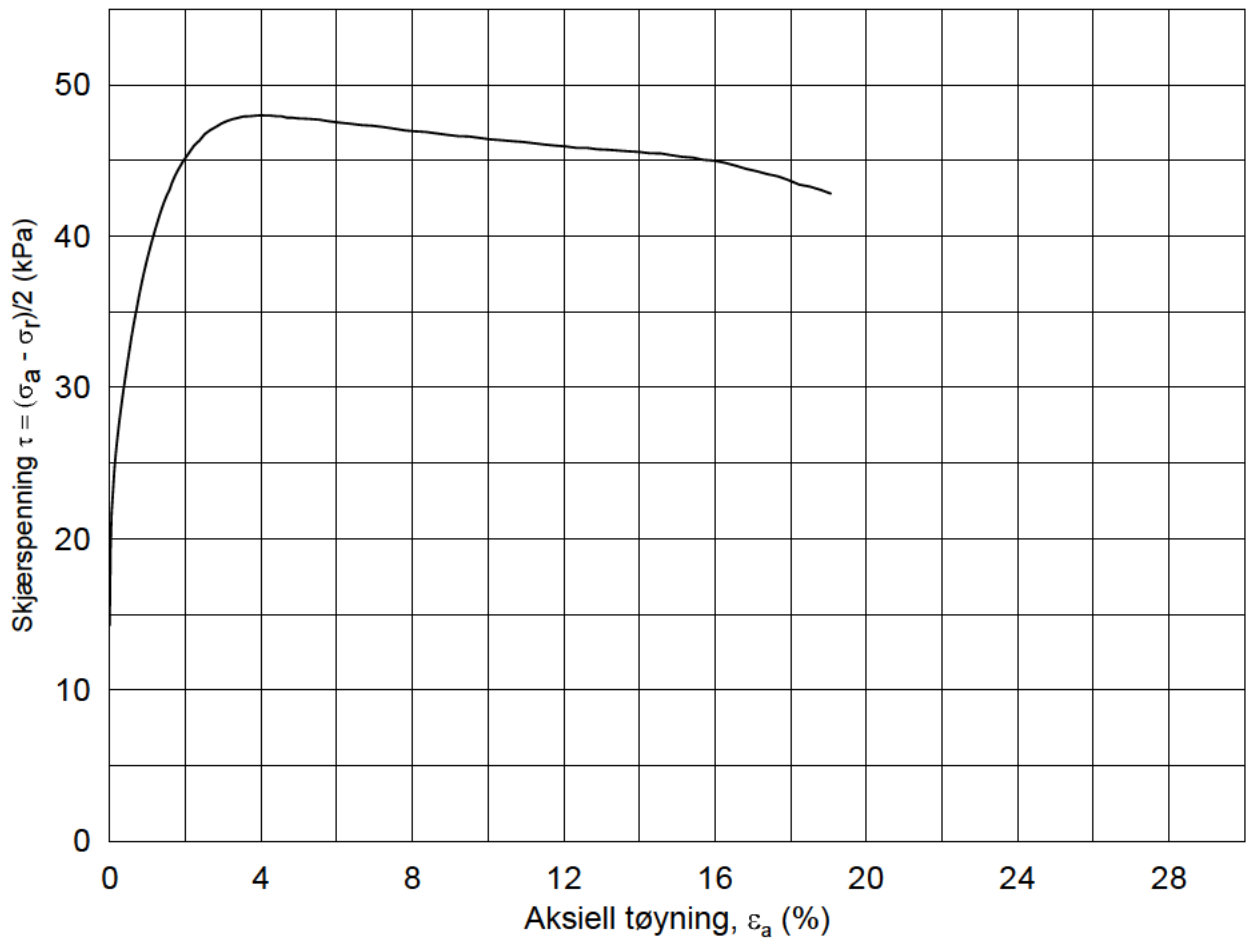
Effektiv gjennomsnittsspenning, $p' = (\sigma_a' + \sigma_r')/2$ (kPa)



Date/Rev. 2009-11-03/01

NIFS-N-6.7.2-Styrkekøkning av rekonsolidert kvikkleire				Dokument nr. 20120853-1
Treaksial forsøk: CAUA				Dato 2012-10-30
Boring: 10	Dybde = 6.50 m	Konsolidering-spenninger		
Sylinder: 4	$p_{o'}$ = 53.5 kPa	(kPa)	maks.	min.
Del: A	w_i = 28.3 %	$\sigma_{ac}' =$	-	-
Test: 1	w_c = 26.4 %	$\sigma_{rc}' =$	-	-
				endelig 53.5
				33.7
				Figur nr. 2
				Tegnet av MAS

10-4-A-1.Plot2.grf



Date/Rev. 2009-11-03/01

NIFS-N-6.7.2-Styrkekøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokument nr.
20120853-1

Treaksial forsøk: **CAUA**

Dato
2012-10-30

Boring: **10**

Dybde = **8.50** m

Konsolidering-spenninger

Sylinder: **6**

$p_{o'}$ = **71.5** kPa

(kPa) maks. min. endelig

Figur nr.

1

Del: **A**

w_i = **27.7** %

σ_{ac}' = - - **71.6**

Tegnet av

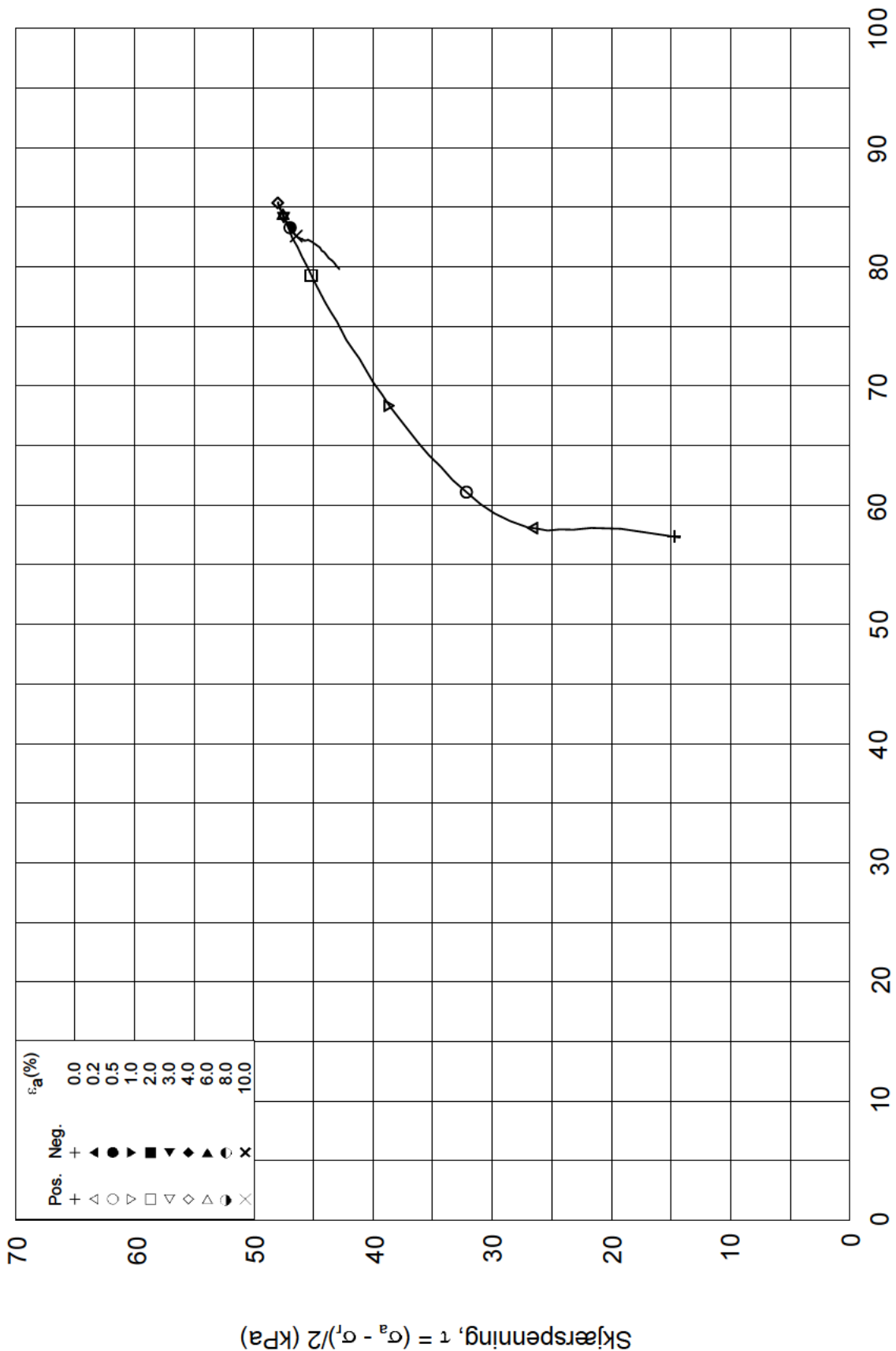
MAS

Test: **1**


w_c = **27.1** %

σ_{rc}' = - - **43.0**





Date/Rev. 2009-11-03/01

NIFS-N-6.7.2-Styrkekøkning av rekonsolidert kvikkleire				Dokument nr. 20120853-1	
Treaksial forsøk: CAUA				Dato 2012-10-30	
Boring: 10	Dybde = 8.50 m	Konsolidering-spenninger			
Sylinder: 6	$p_{o'}$ = 71.5 kPa	(kPa)	maks.	min.	endelig
Del: A	w_i = 27.7 %	$\sigma_{ac}' =$	-	-	71.6
Test: 1	w_c = 27.1 %	$\sigma_{rc}' =$	-	-	43.0
				Figur nr. 2	
				Tegnet av MAS	
					

10-6-A-1.Plot2.grf



Vedlegg 5: Ødometerforsøk

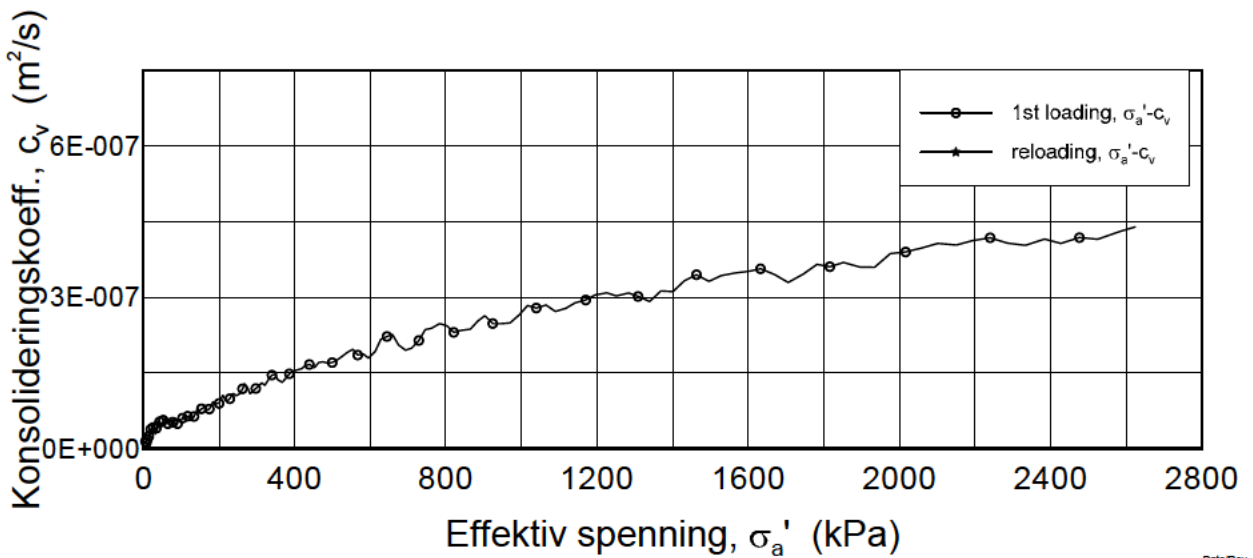
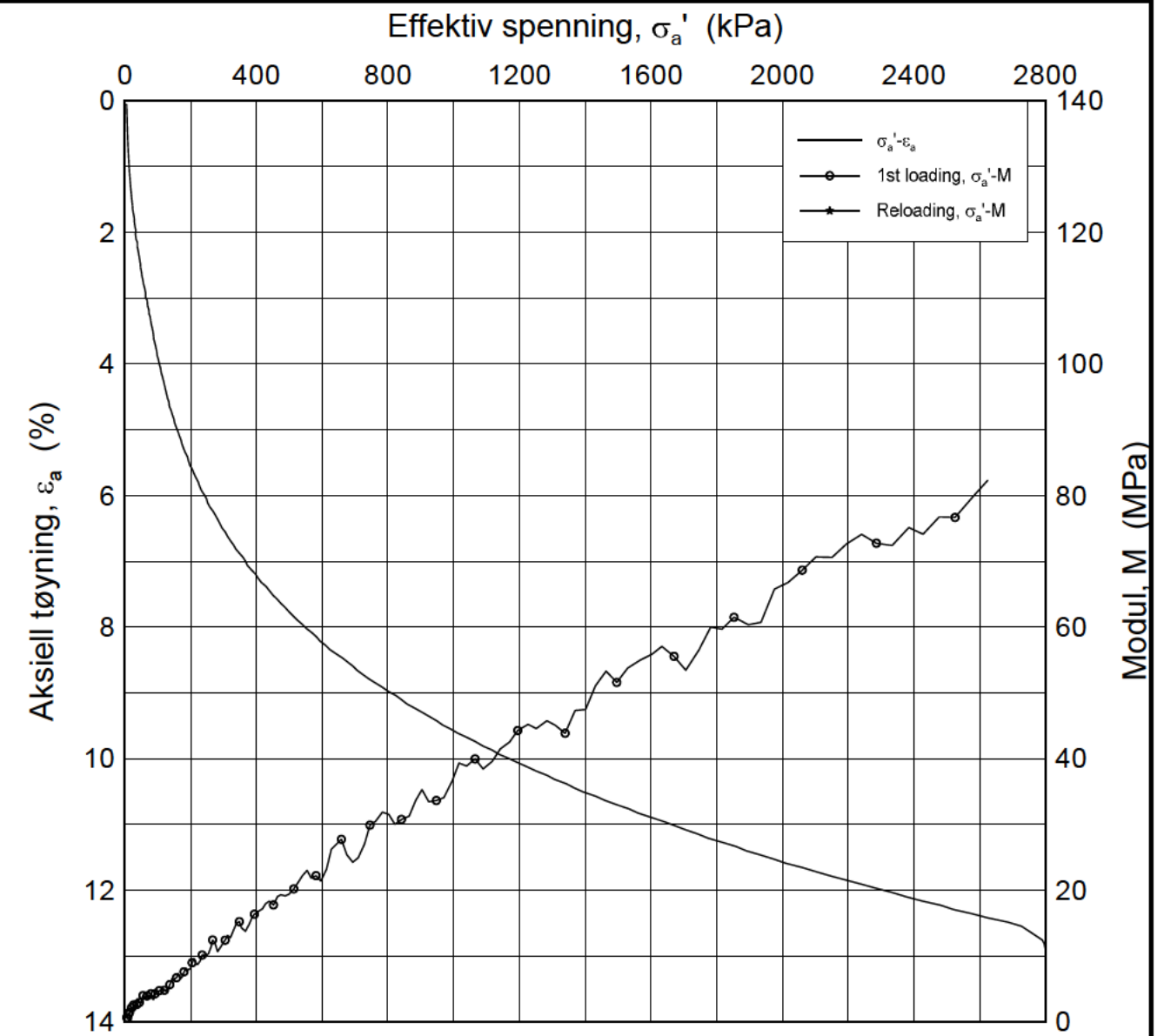
5.1-5.3 Borpunkt 7-CRS-dybde 9,42m (7-4-B-1)

5.4-5.6 Borpunkt 7-CRS-dybde 11,62m (7-5-C-1)

5.7-5.9 Borpunkt 10A-CRS-dybde 6,63m (10A-4-E-1)

5.10-5.12 Borpunkt 10A-CRS-dybde 8,77m (10A-6-F-1)

H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\7-4-B-1 lin(crs2137).grf



DatoRev. 2009-09-15/4

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokumentnr.
20120853

Oedometer test (CRSC)

Dybde = 9.42 m

Dato
2012-10-26

Borhull: 7

Sylinder: 4

p'_o = 105.5 kPa

Figurnr.
XX.XX

Del: B

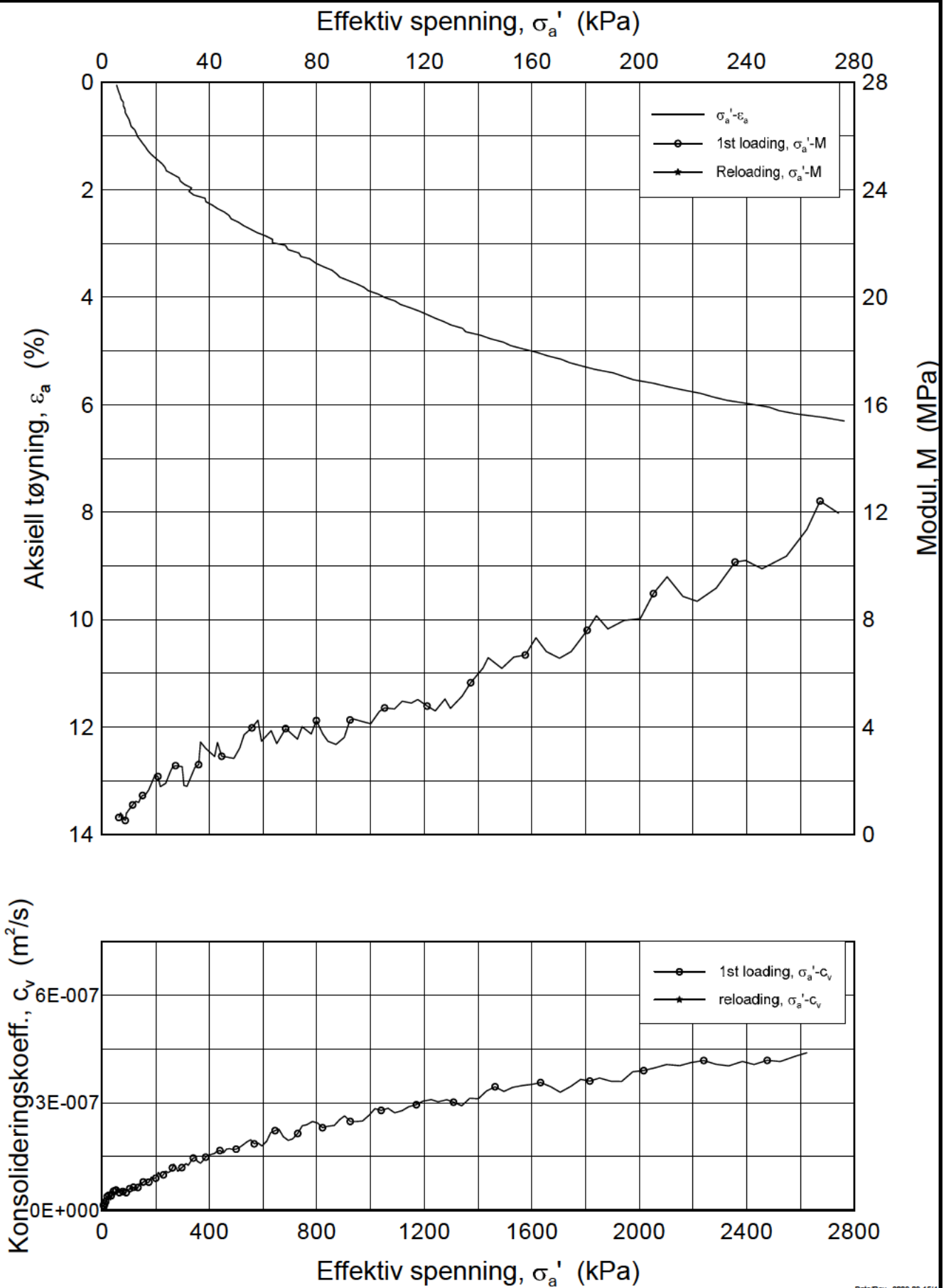
Test: 1

w_i = 22.69 %

Tegner
FP



H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\7-4-B-1 lin-2(crs2137).grf



DatoRev. 2009-09-15/14

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokumentnr.
20120853

Oedometer test (CRSC)

Dybde = 9.42 m

Dato
2012-10-26

Borhull: 7

Sylinder: 4

$p'_o = 105.5$ kPa

Figurnr.
XX.XX

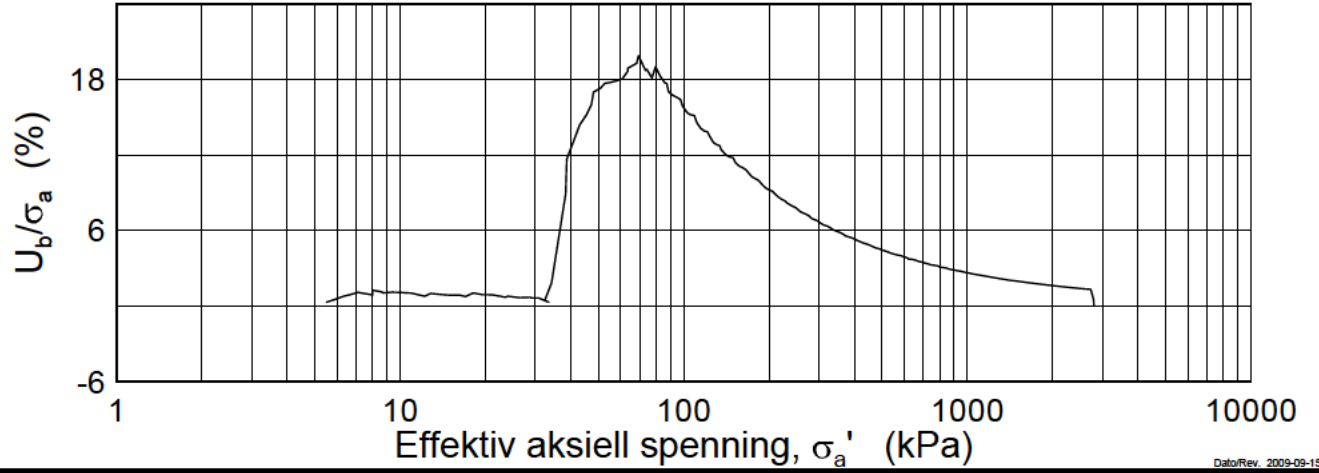
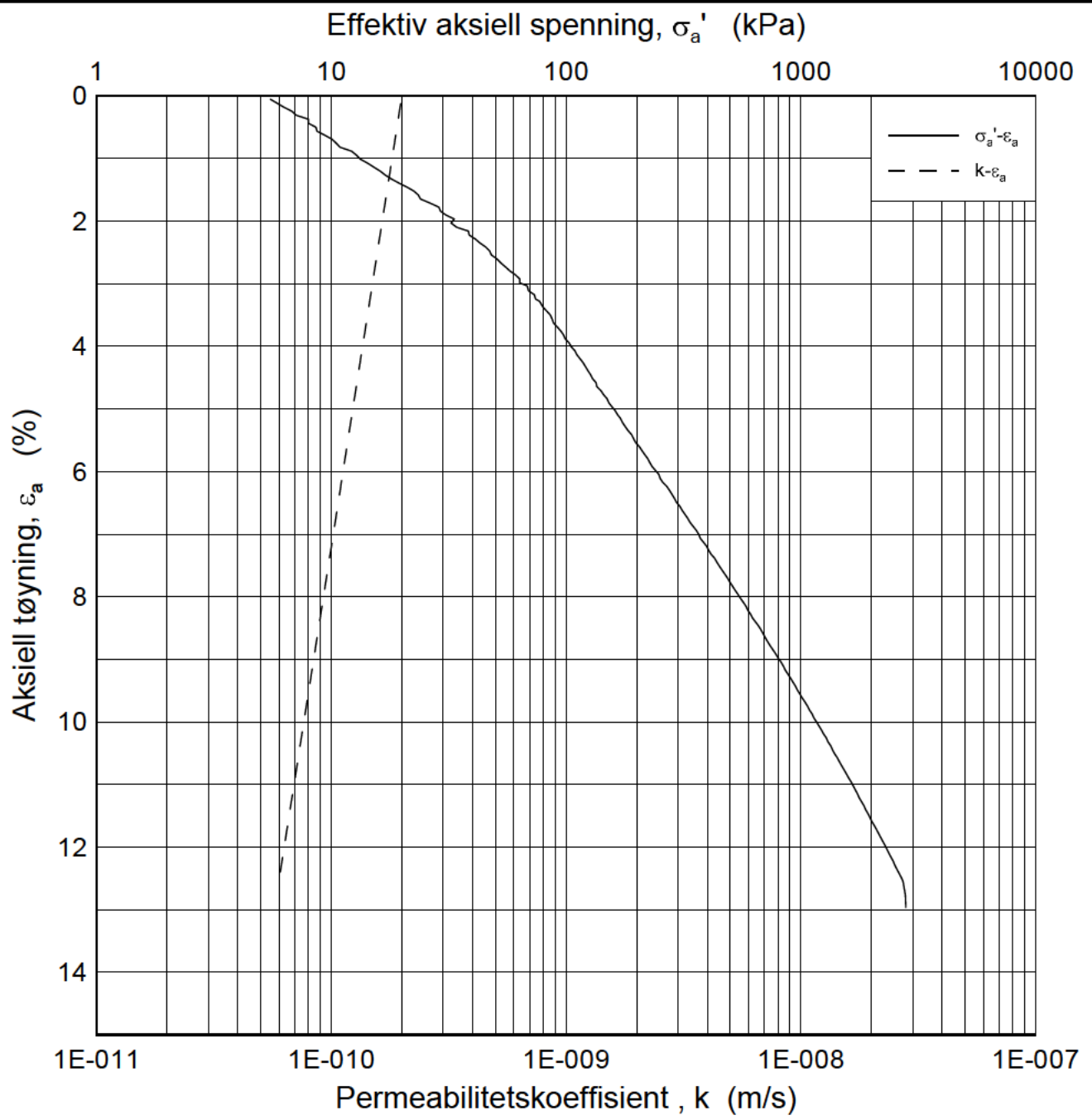
Del: B

Test: 1

$w_i = 22.69$ %

Tegner
FP





DatoRev. 2009-09-15/3

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokumentnr.
20120853

Ødometer test (CRSC)

Dybde = 9.42 m

Dato
2012-10-26

Borhull: 7

Sylinder: 4

p_o' = 105.5 kPa

Figurnr.
XX.XX

Del: B

Test: 1

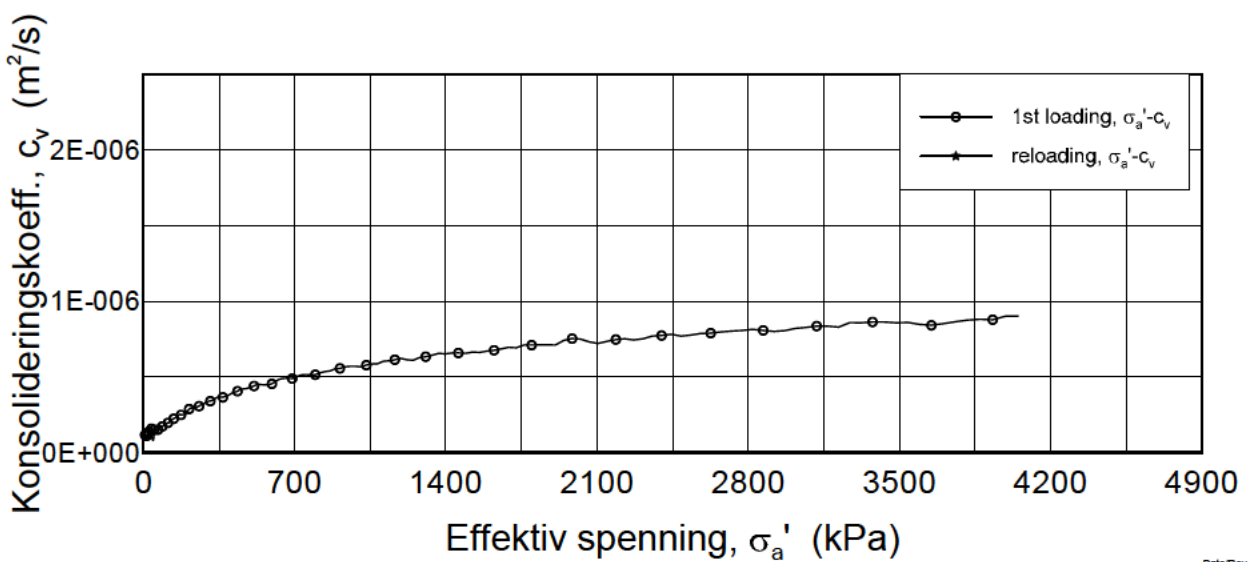
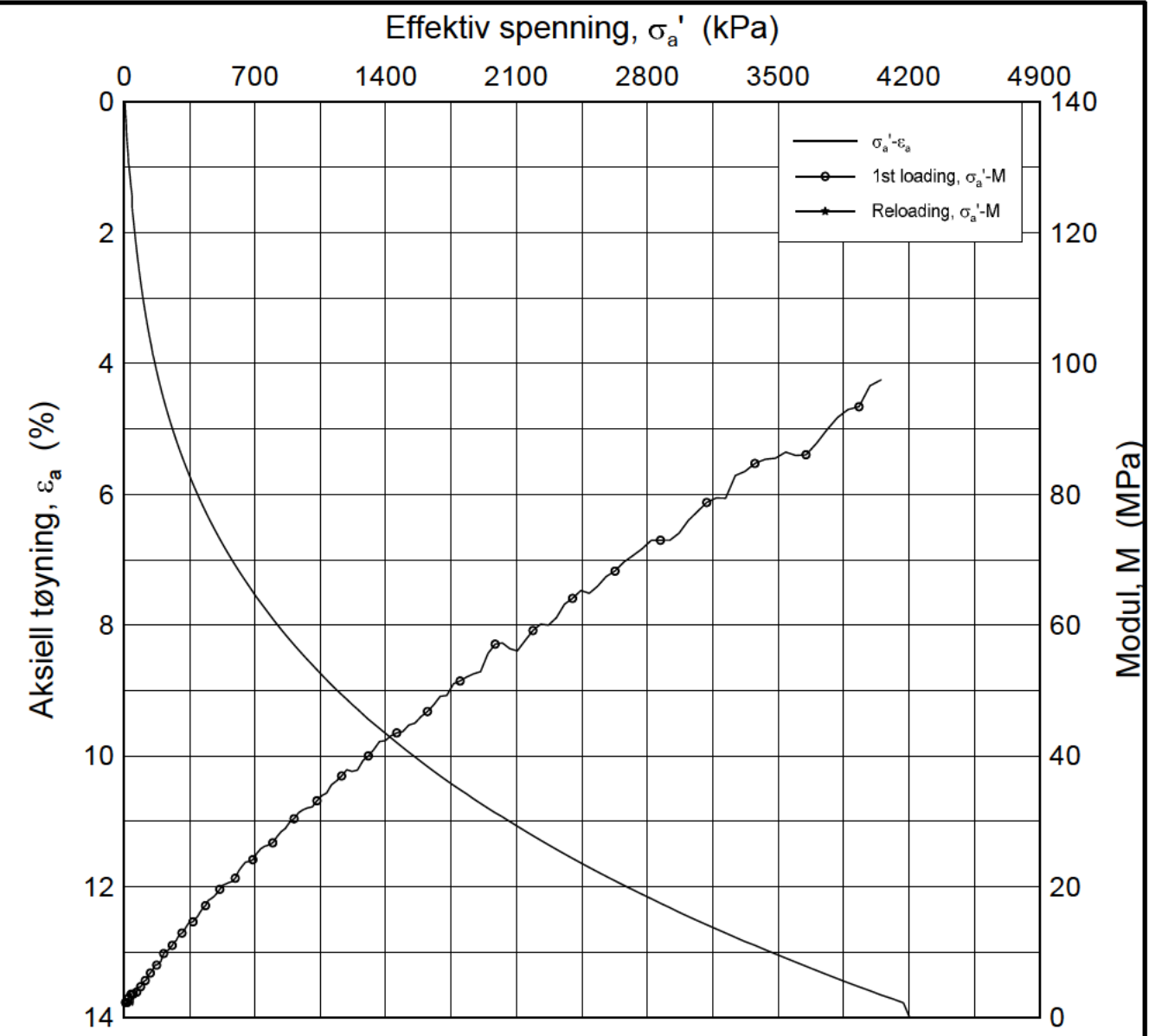
w_i = 22.69 %

Tegner
FP



H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\7-4-B-1 log(crs2137).grf

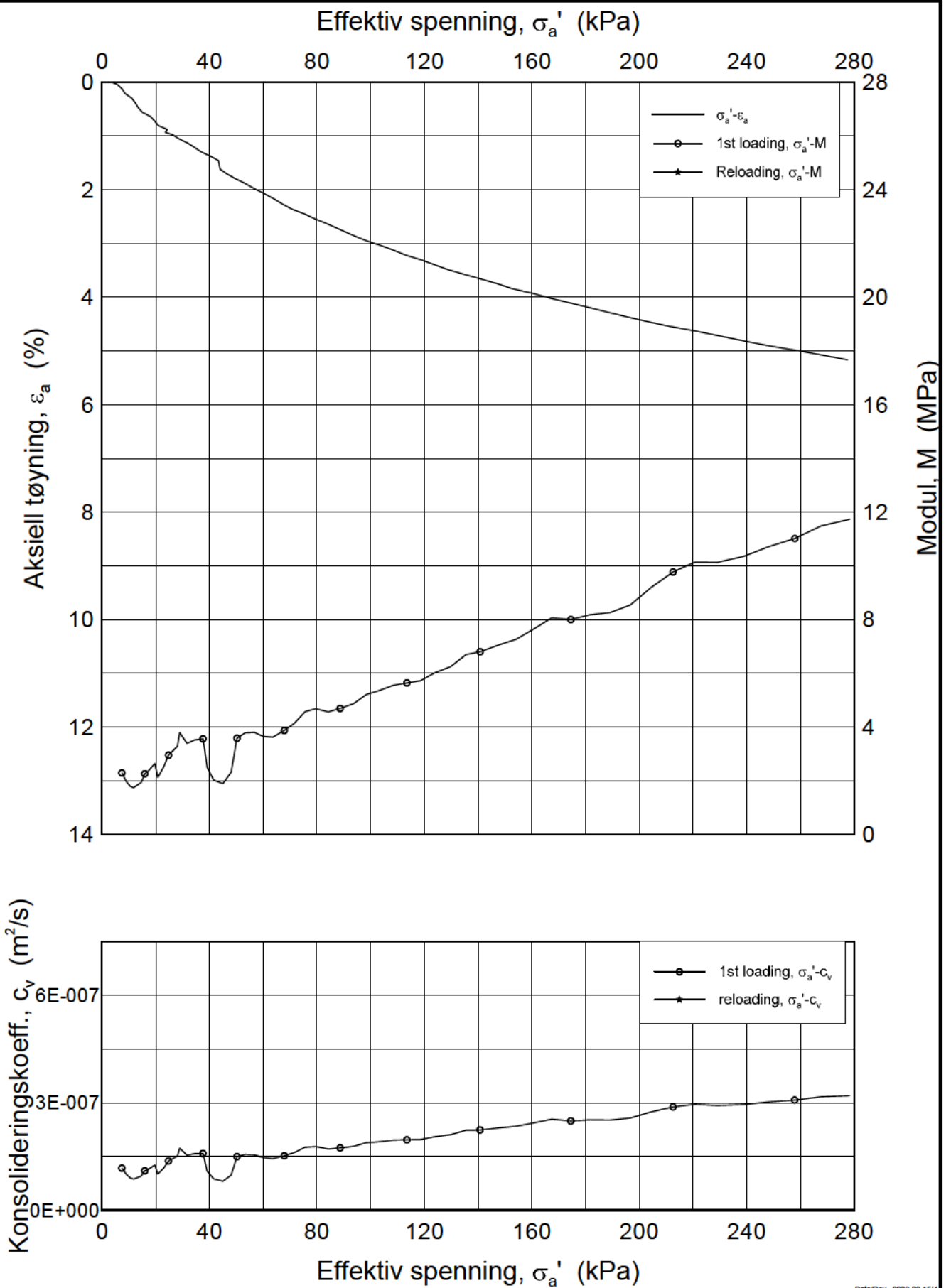
H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\7-5-C-1 lin(crs2138).grf



DatoRev. 2009-09-15/14

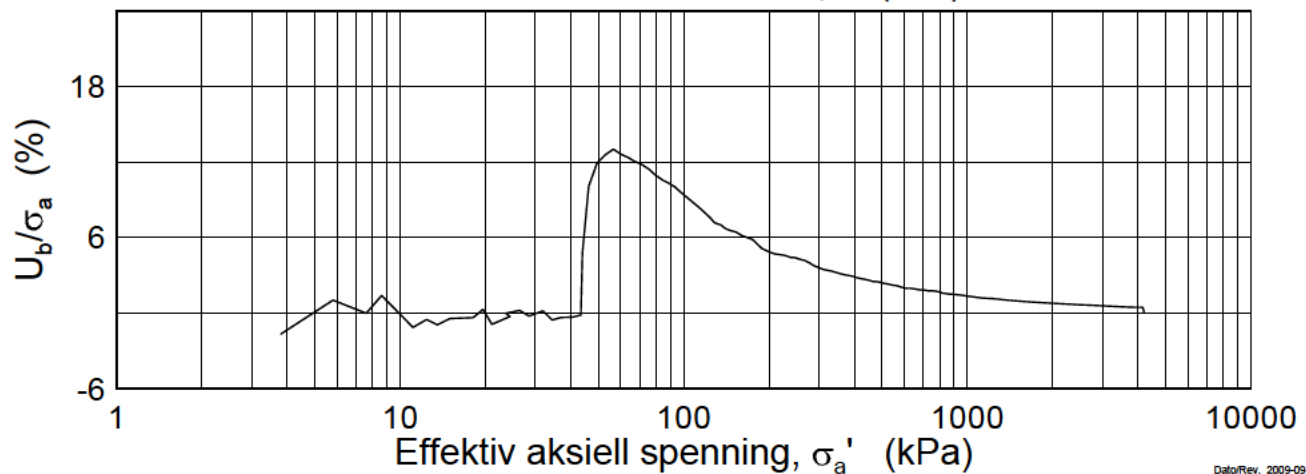
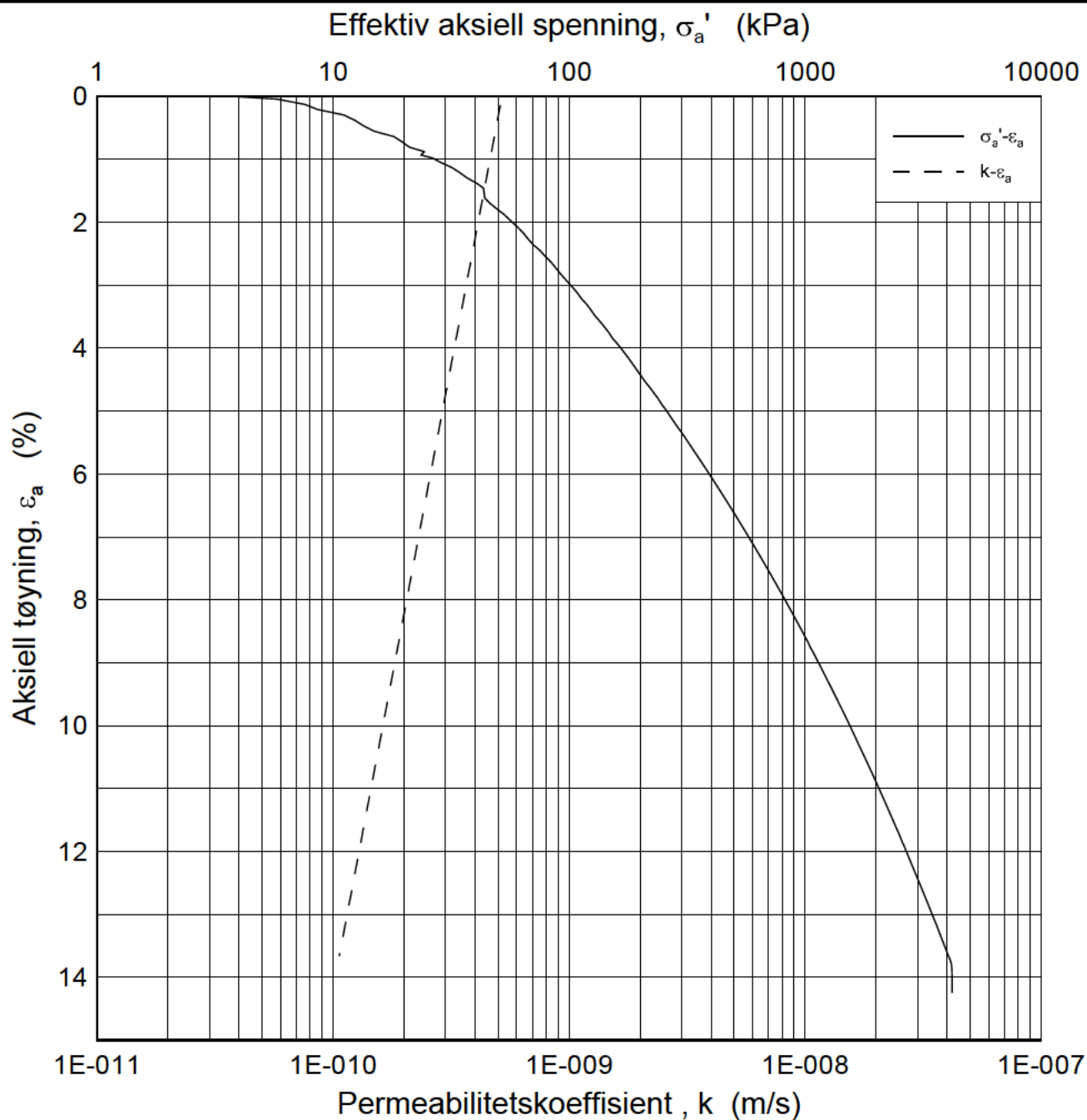
NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire			Dokumentnr. 20120853
Oedometer test (CRSC)			Dato 2012-10-26
Borhull: 7	Sylinder: 5	Dybde = 11.62 m	Figurnr. XX.XX
Del: C	Test: 1	$p'_o = 125.7$ kPa	Tegner FPJ
		$w_i = 22.68$ %	

H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\7-5-C-1 lin-2(crs2138).grf



DatoRev. 2009-09-15/4

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire			Dokumentnr. 20120853
Oedometer test (CRSC)			Dato 2012-10-26
Borhull: 7	Sylinder: 5	Dybde = 11.62 m	Figurnr. XX.XX
Del: C	Test: 1	p_o' = 125.7 kPa	Tegner FP
		w_i = 22.68 %	



DatoRev. 2009-09-15/3

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokumentnr.
20120853

Ødometer test (CRSC)

Dybde = 11.62 m

Borhull: 7

Sylinder: 5

p_o' = 125.7 kPa

Del: C

Test: 1

w_i = 22.68 %

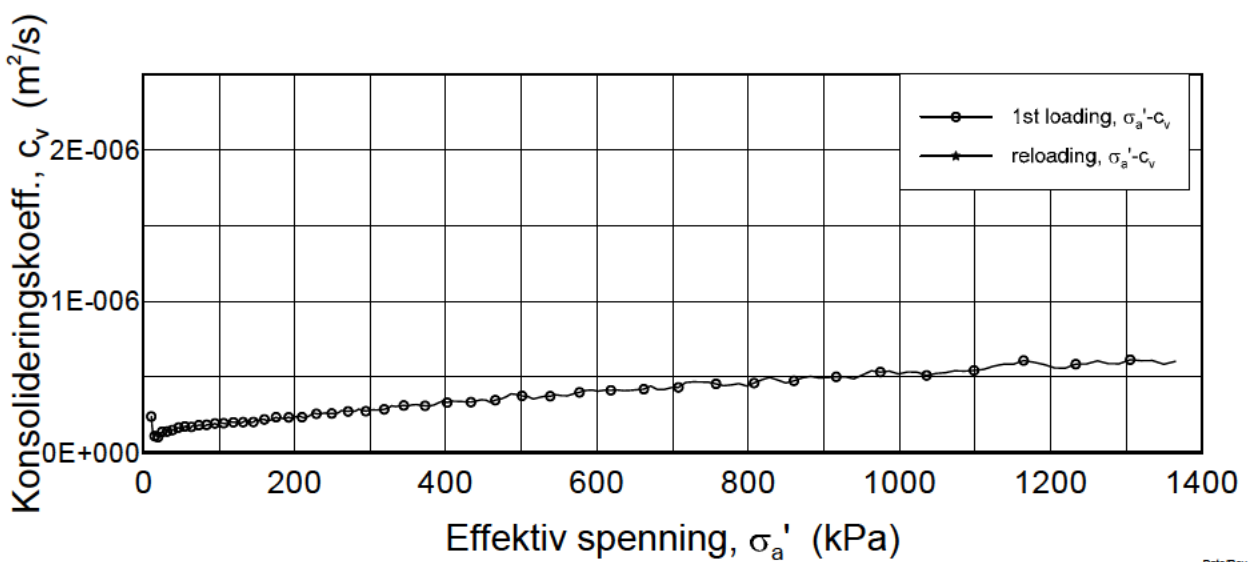
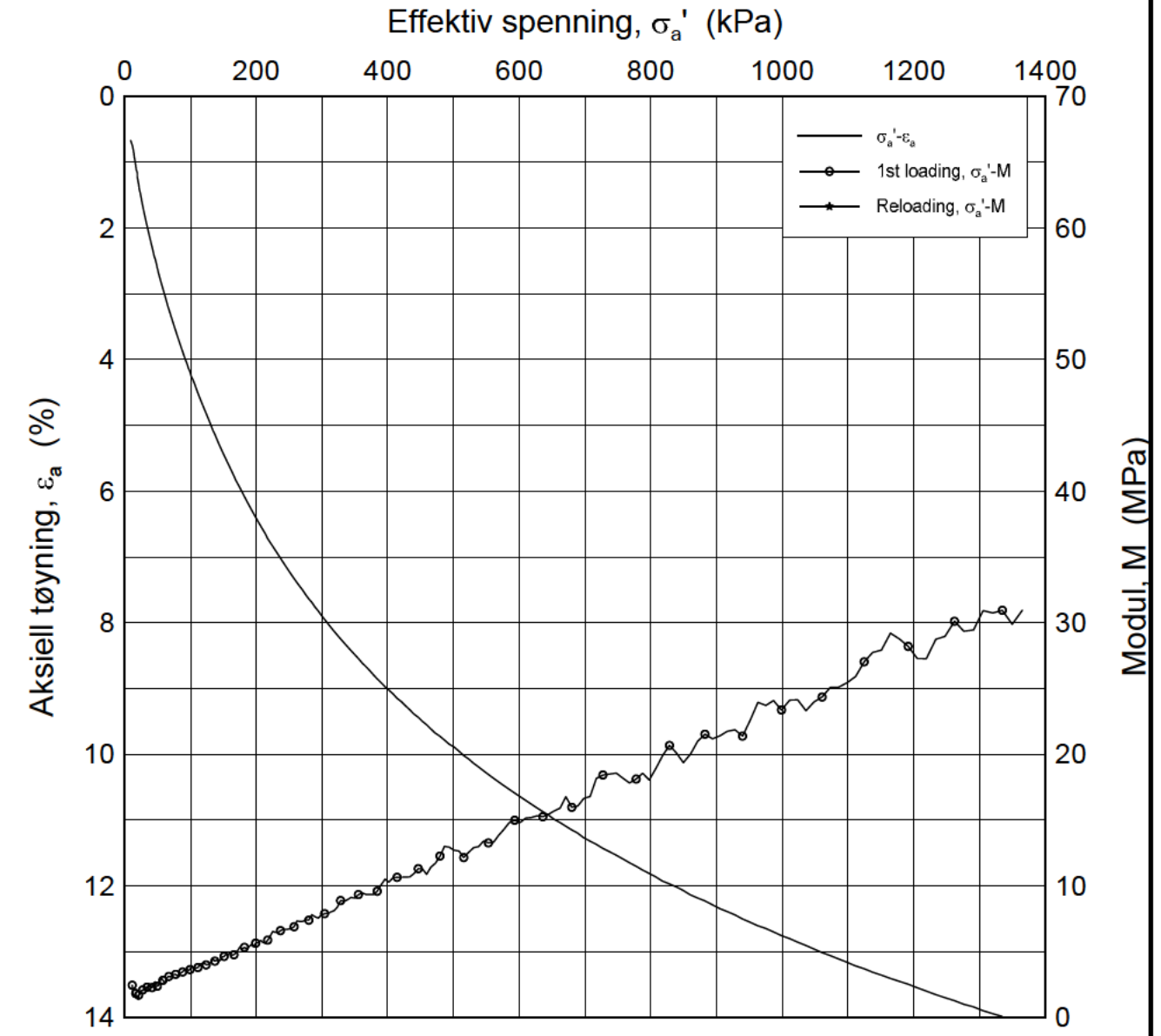
Dato
2012-10-26

Figurnr.
XX.XX

Tegner
FP



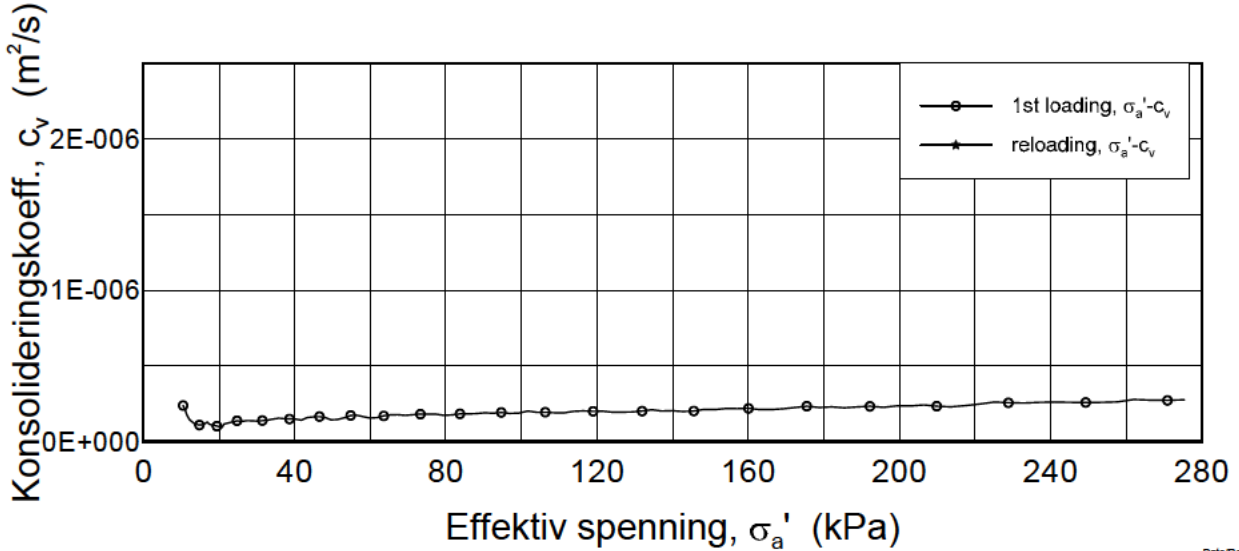
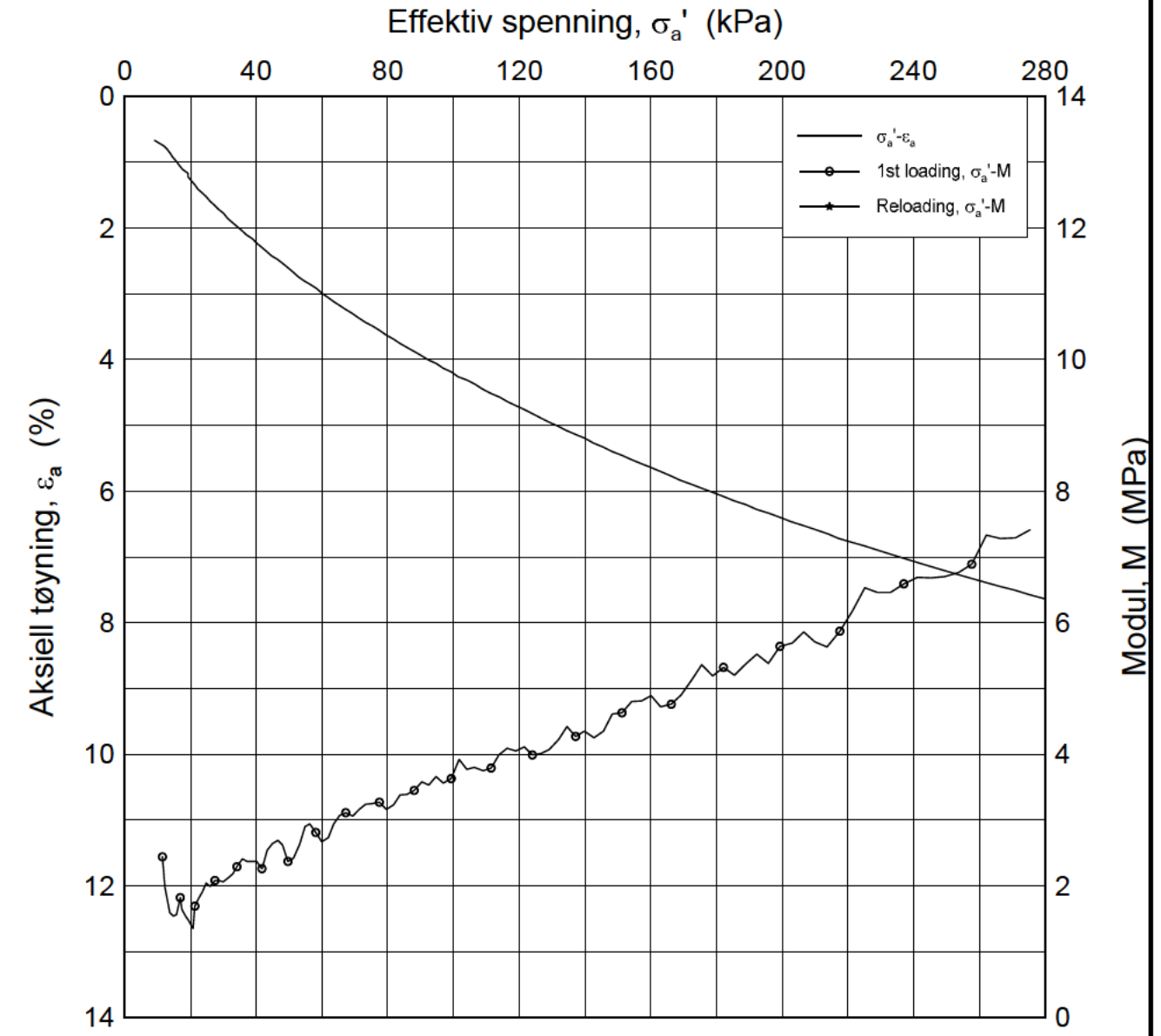
H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\10A-4-E-1 lin(crs2139).grf



DatoRev. 2009-09-15/4

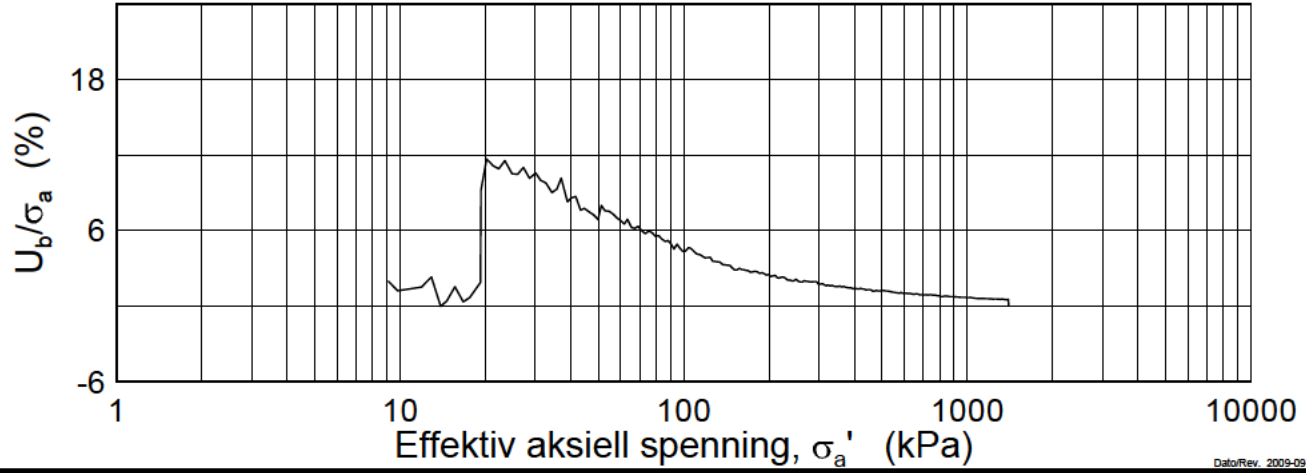
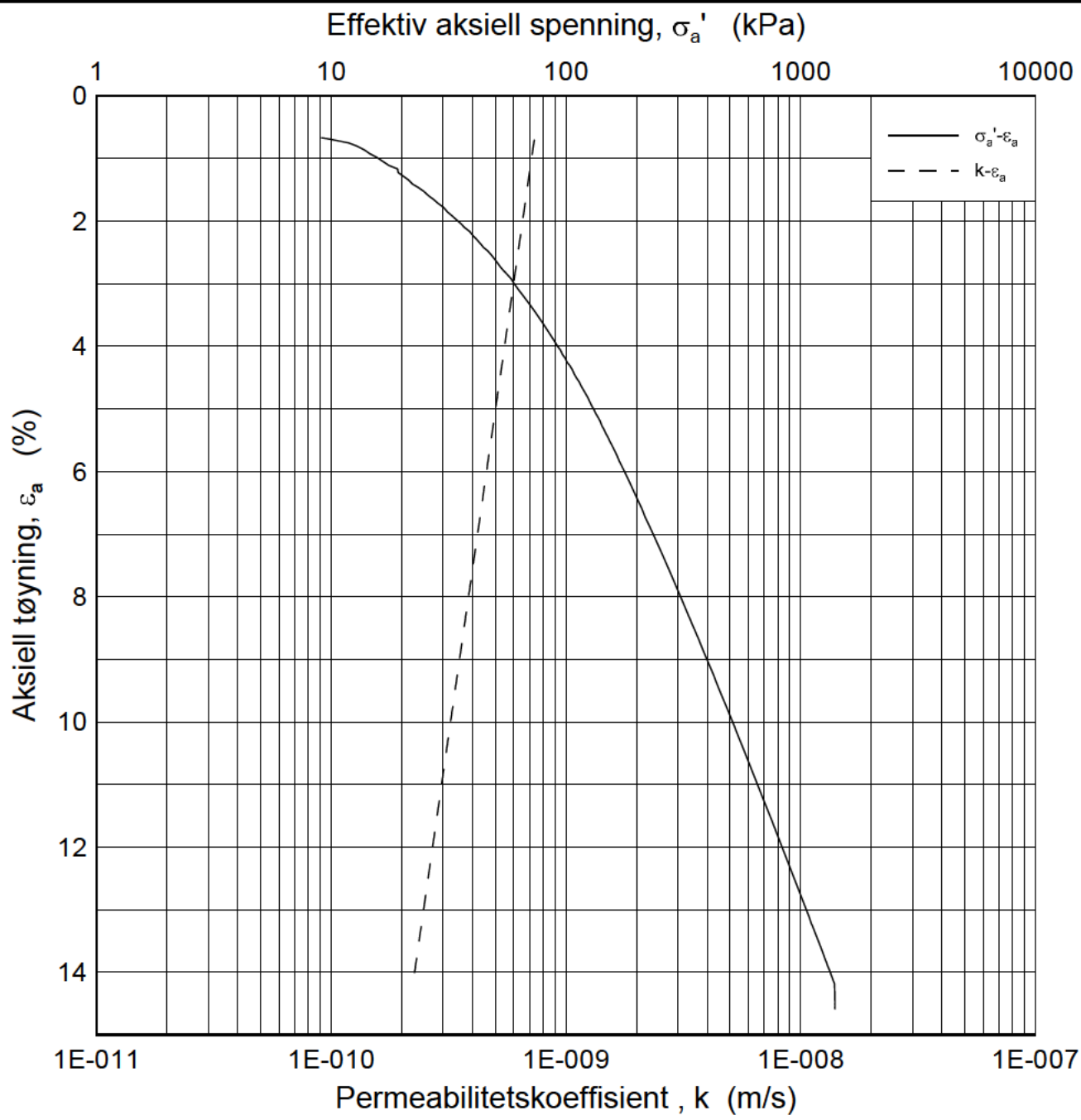
NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire			Dokumentnr. 20120853
Oedometer test (CRSC)			Dato 2012-10-26
Borhull: 10A	Sylinder: 4	Dybde = 6.63 m	Figurnr. XX.XX
Del: E	Test: 1	$p'_o = 53.5$ kPa	Tegner FP
		$w_i = 28.00$ %	

H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\10A-4-E-1 lin-2(crs2139).grf



DatoRev. 2009-09-15/4

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire			Dokumentnr. 20120853
Oedometer test (CRSC)			Dato 2012-10-26
Borhull: 10A	Sylinder: 4	Dybde = 6.63 m	Figurnr. XX.XX
Del: E	Test: 1	$p'_o = 53.5$ kPa	Tegner FP
		$w_i = 28.00$ %	



DatoRev. 2009-09-15/3

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokumentnr.
20120853

Ødometer test (CRSC)

Dybde = 6.63 m

Dato
2012-10-26

Borhull: 10A

Sylinder: 4

p_o' = 53.5 kPa

Figurnr.
XX.XX

Del: E

Test: 1

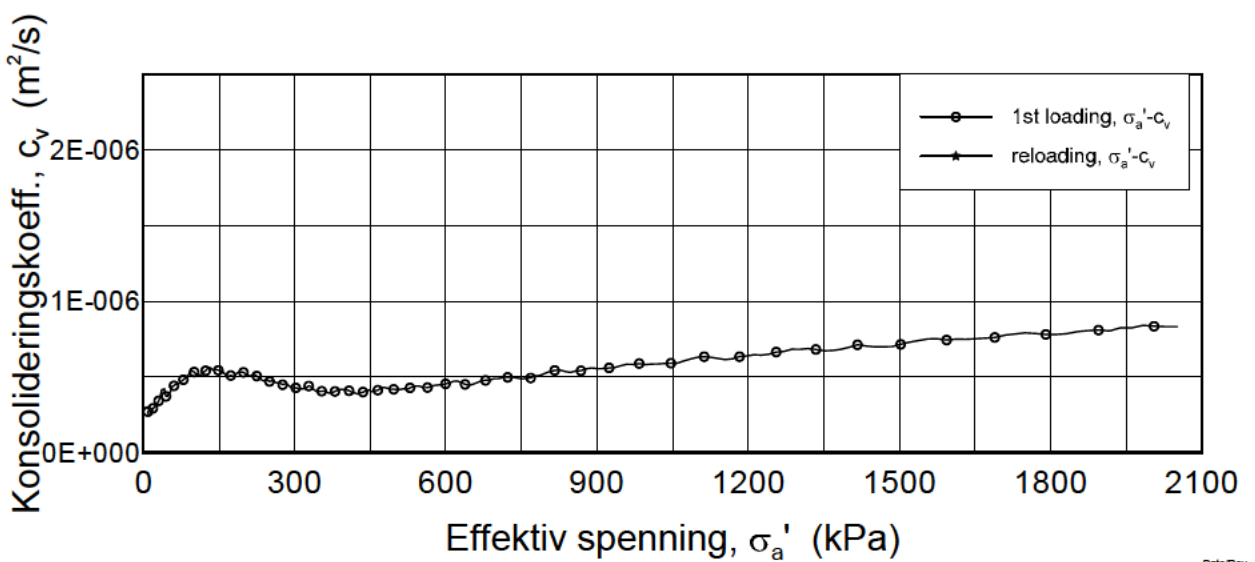
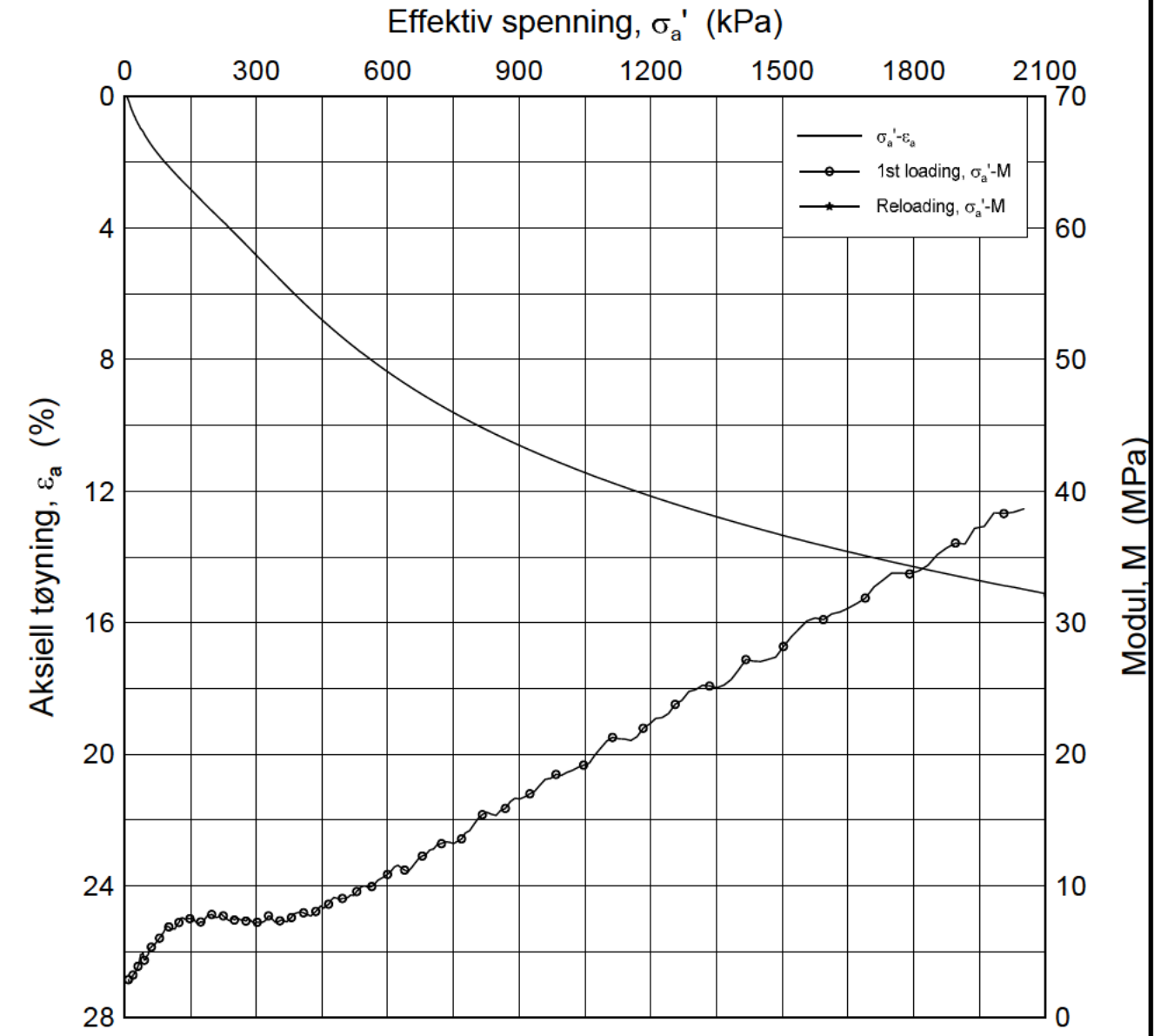
w_i = 28.00 %

Tegner
FP



H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\10A-4-E-1 log(crs2139).grf

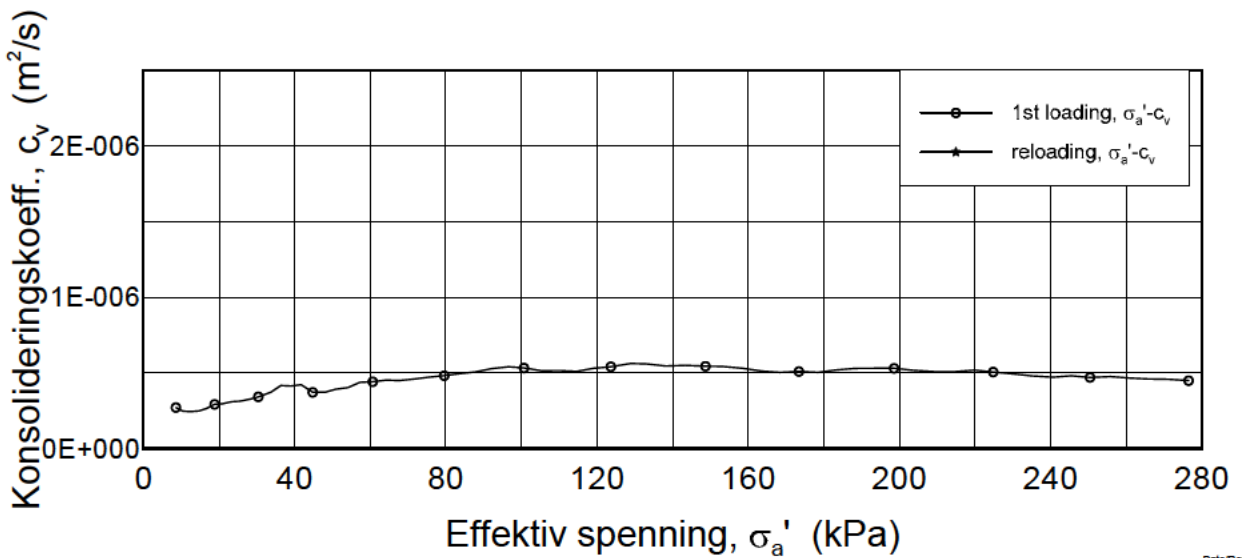
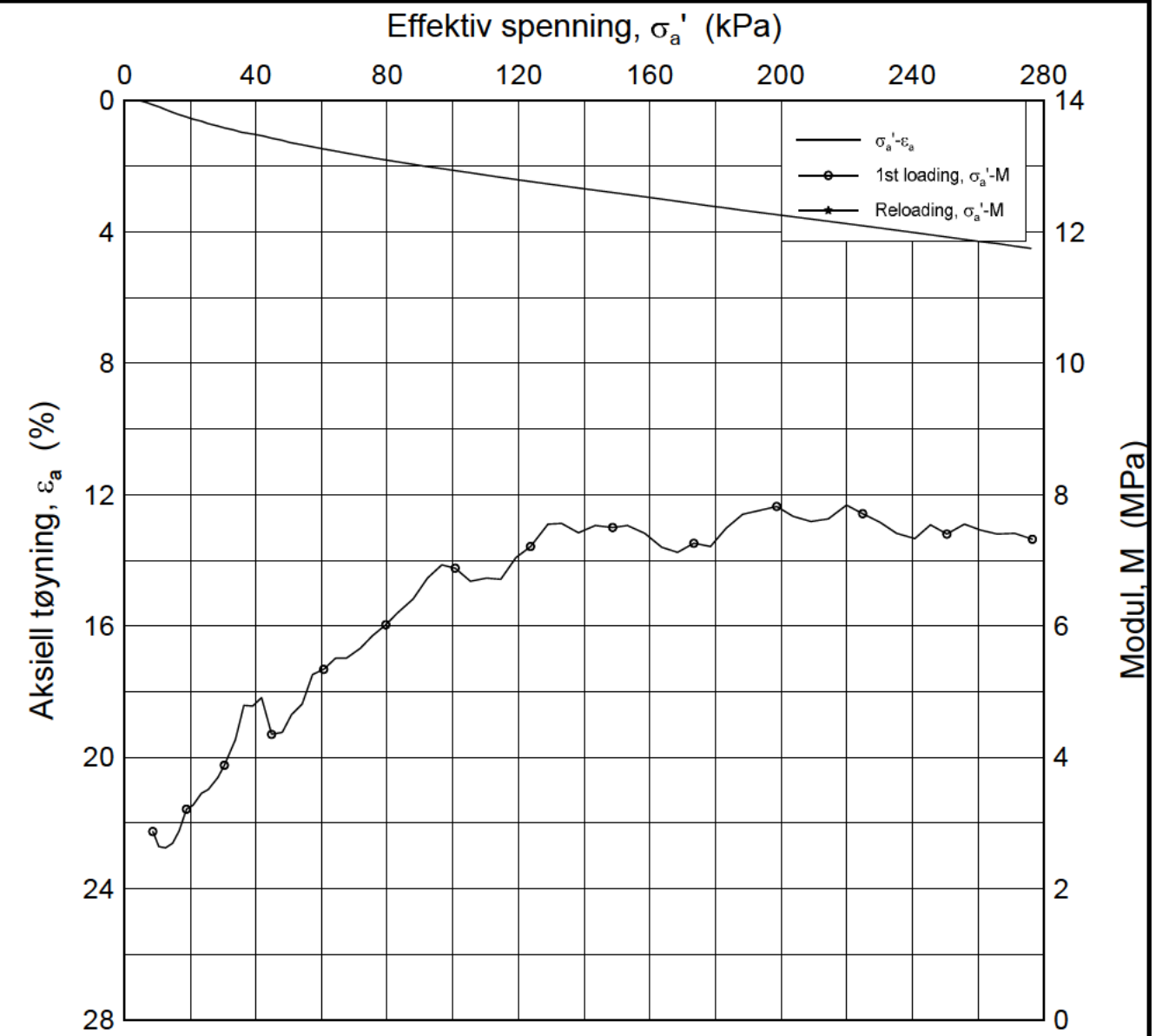
H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\10A-6-F-1 lin(crs2140).grf



DatoRev. 2009-09-15/4

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire				Dokumentnr. 20120853
Oedometer test (CRSC)				Dato 2012-10-26
Borhull: 10A	Sylinder: 6	Dybde = 8.77	m	Figurnr. XX.XX
Del: F	Test: 1	p'_o = 71.5	kPa	Tegner FP
		w_i = 27.00	%	

H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\10A-6-F-1 lin-2(crs2140).grf



DatoRev. 2009-09-15/4

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokumentnr.
20120853

Oedometer test (CRSC)

Dybde = 8.77 m

Dato
2012-10-26

Borhull: 10A

Sylinder: 6

p'_o = 71.5 kPa

Figurnr.
XX.XX

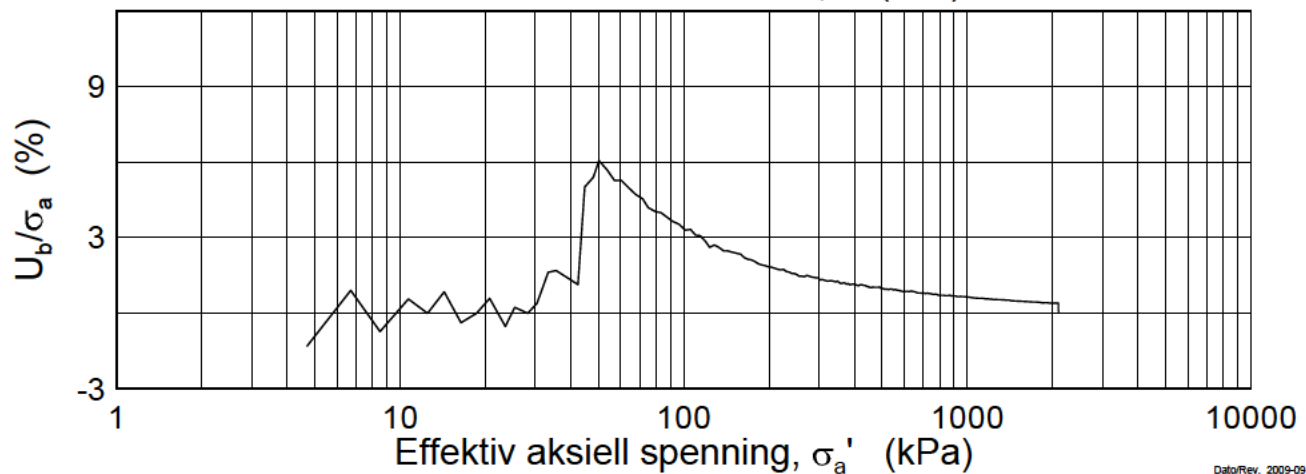
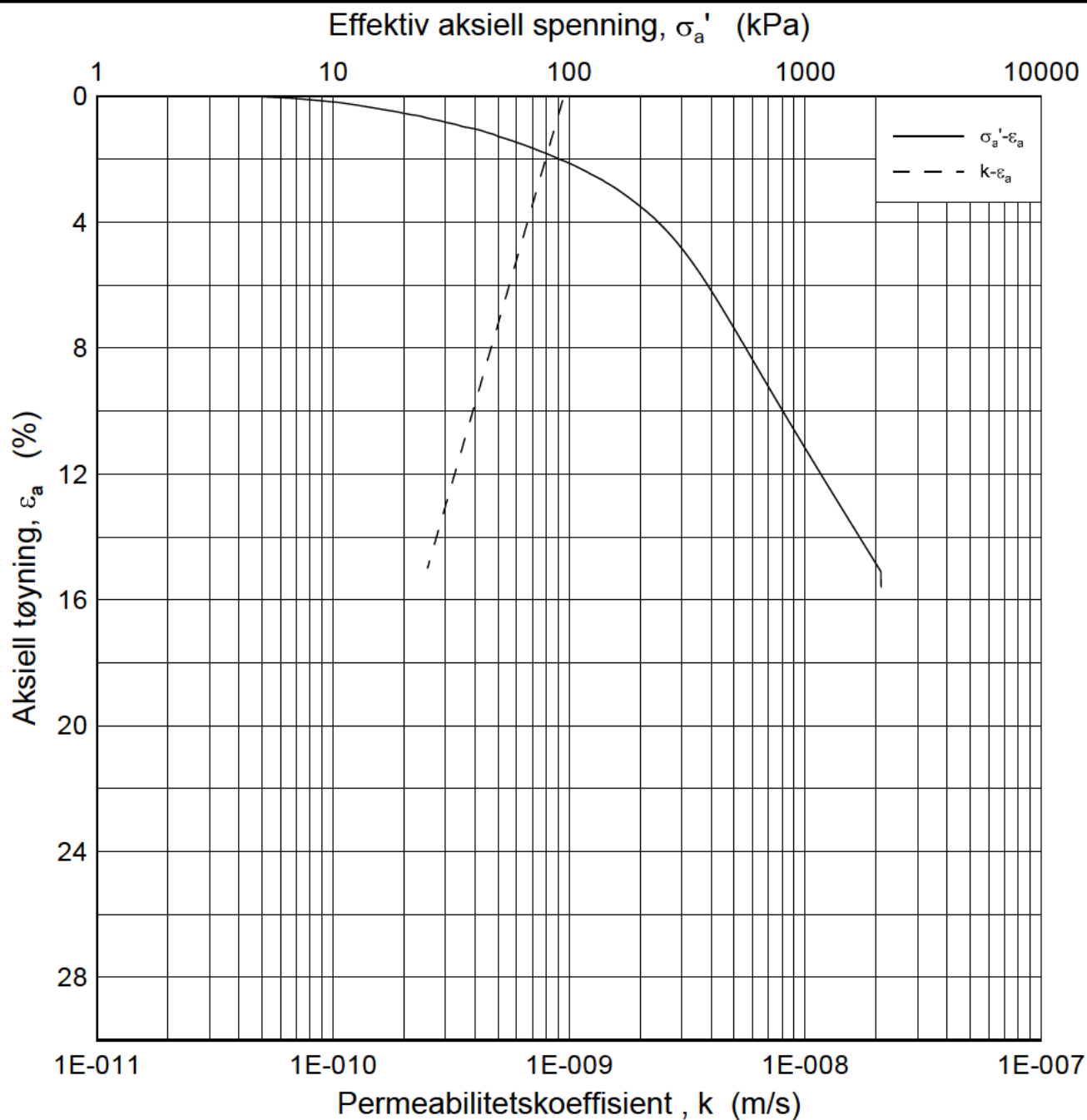
Del: F

Test: 1

w_i = 27.00 %

Tegner
FP





DatoRev. 2009-09-15/3

NIFS-N-6.7.2-Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire

Dokumentnr.
20120853

Ødometer test (CRSC)

Dybde = 8.77 m

Dato
2012-10-26

Borhull: 10A

Sylinder: 6

p'_o = 71.5 kPa

Figurnr.
XX.XX

Del: F

Test: 1

w_i = 27.00 %

Tegner
FP



H:\LABDATA\2012\20120853\Oedom\10A-6-F-1 log(crs2140).grf



Dokumentnr.: 20120853-01-TN
Dato: 2012-11-28
Rev. nr.: 1, datert 2013-01-04
Side: 33

Vedlegg 6: Mikroskopanalyse (SEM)

I uke 50 har vi analysert 6 leirprøver fra borhull nr. 7 og nr. 10 med hjelp av sveipelektronmikroskopi (SEM) (Scanning Electron Microscopy). Instrumentet kan brukes for å studere mikrostruktur av leiravsetninger og for å si noe mineralsammensetning. Sistnevnt gjøres ved å studere energidispersivt spektrometer fra røntgen stråling. Herunder beskriver vi prosedyren til SEM analysen og presenterer en oppsummering av resultatene.

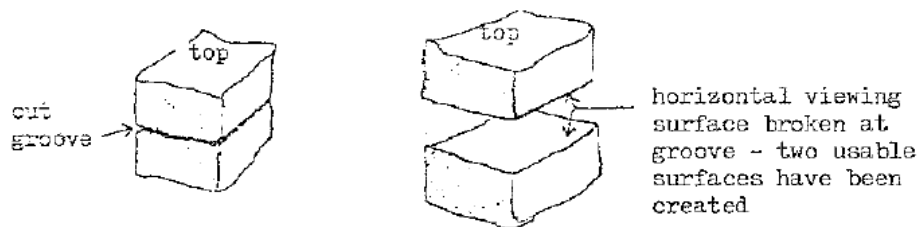
Prosedyre til SEM analyse

Material og utstyr

1. Prøve
2. Frysning middel (nitrogen væske)
3. Frysetørrer
4. Scanning electron mikroskop (SEM)
5. Lim (lav damp trykk lim; f. eks. araldite)
6. Ledende maling (kolloidalt sølv, kobber eller aluminium)
7. Belegg for prøvene (gull eller karbon)

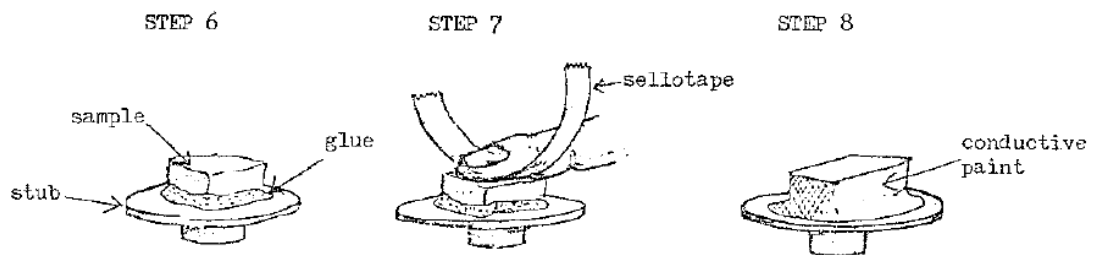
Prosedyre

1. Prøvene ble skjært i 2-3 cm store kubber og toppen ble markert (Se figur 3A).
2. Prøvene ble deretter dyppet inn i nitrogen væske (Se figur 3A).
3. Tørking i frysetørrer som initialt hadde en temperatur på -50 grader og vakuum.
4. Tørking overnatt.
5. Prøvene er tatt ut av frysetørreren og det ble valgt hvilken overflate en skulle se på (vertikal eller horisontal). Det ble laget et lite snitt på prøvene for så å dele dem i to (se Figur 1).

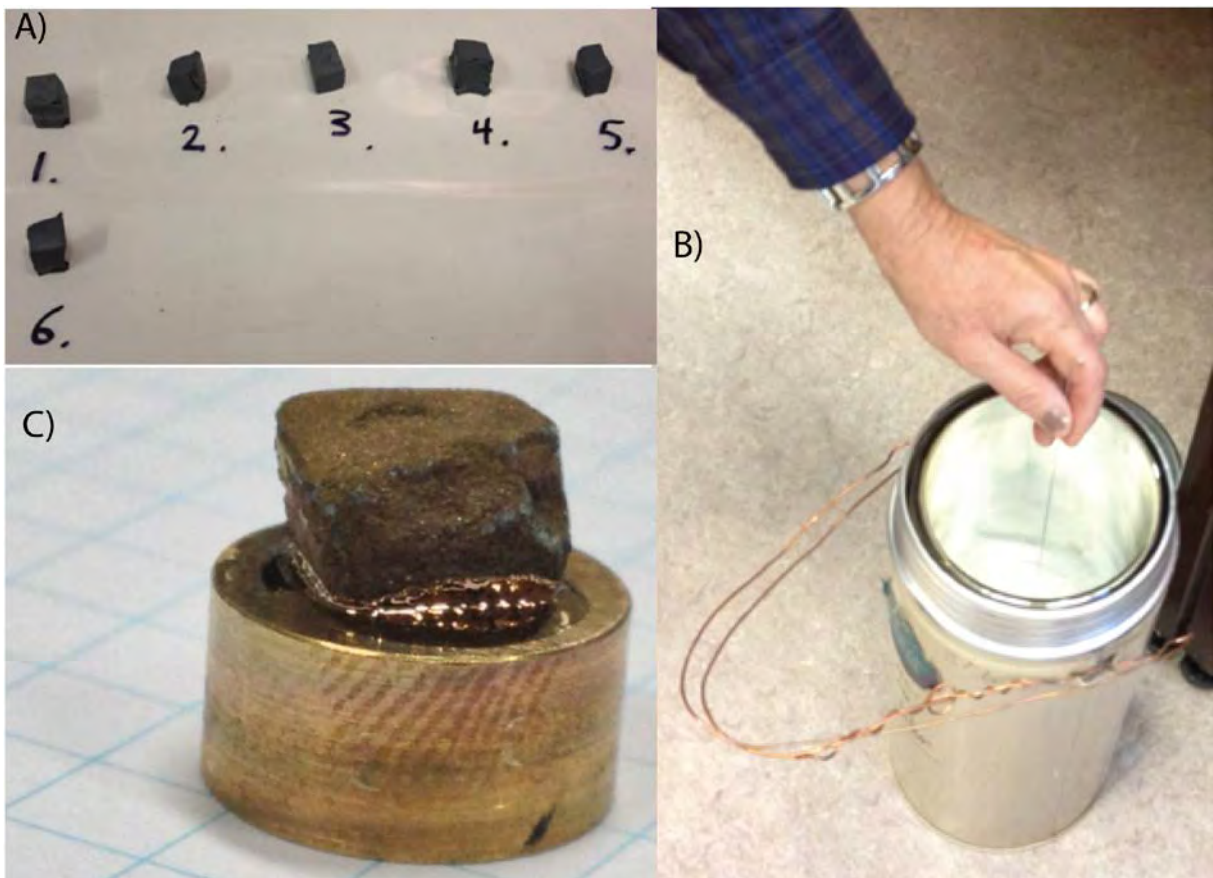


Figur 1: Deling av prøver.

6. Prøvene ble montert på stubber og limt fast (Se figur 1). Prøvene fikk hvile i minst 3-4 timer for å sikre at limet hold fast.
7. Prøvens overflate ble rensket med hjelp av vanlig "tape" for å fjerne løse partikler og for å jevne ut overflaten. Dette ble gjort 50-100 ganger. (Se figur 2)
8. Ledende maling ble brukt over limet og på kantene til prøven.
9. Prøven overflate ble gjort ledende med å bruke et gull "coating". 2-4 minutter "coatings" tid produserer et ledende lag som er noen få ångstrom tykk. (Figur 3C).
10. Prøven analyseres i SEM.



Figur 2: Liming, rensking og maling av prøvene.



Figur 3: A) Eksempler av 2-3 cm store prøver tatt fra kjernene. B) Nitrogenfrysing. C) Bruk av gull "coating på prøvene som er lim fast på stubber.

Prøvenummer og resultater

Totalt 6 prøver ble analysert i SEM på Universitetet i Oslo i uke 50. Prøvene nummerert 1-4 i Tabell 1 er tatt fra borhull 10 utenfor skredområdet. Prøvene 5 og 6 kommer fra borhull nr. 7 som ligger innenfor skredområdet.

Hver av prøvene i Tabell 1 ble delt i to før SEM analysene. Den ene delen av prøvene ble undersøkt under lavt vakuum og det energidisperse spektrometeret ble brukt for å analysere grunnstoffer i prøvene. Resultatene er vist i Vedlegg A for prøvene 1 til 5.

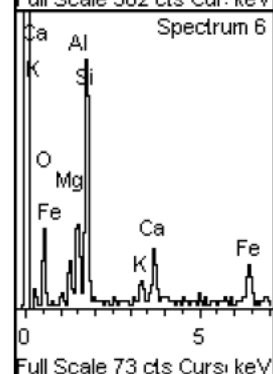
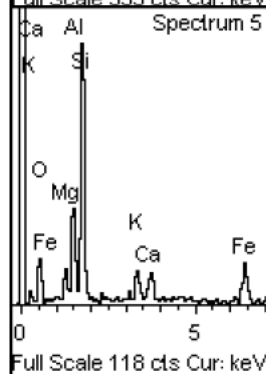
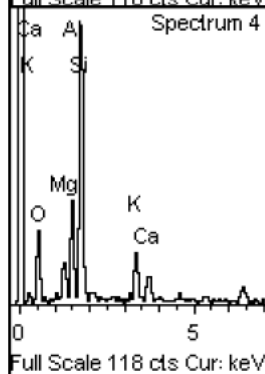
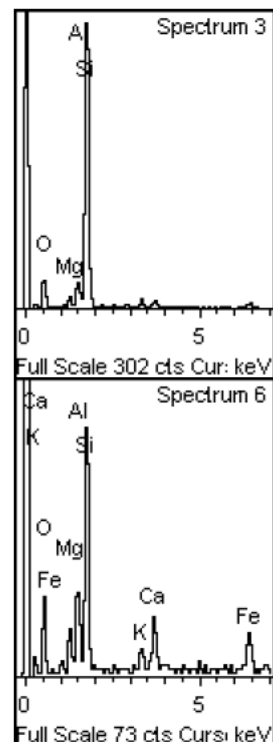
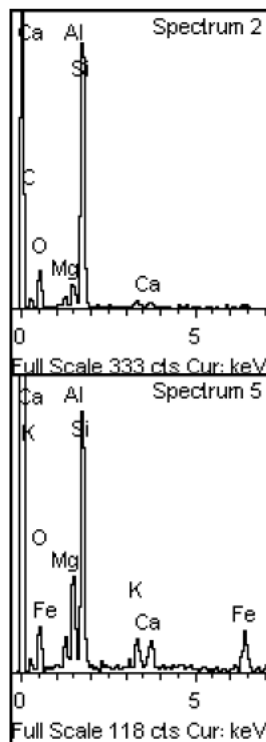
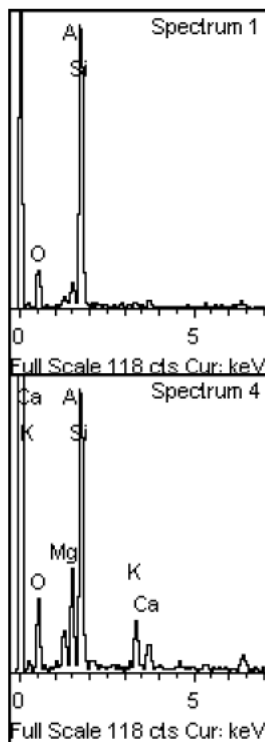
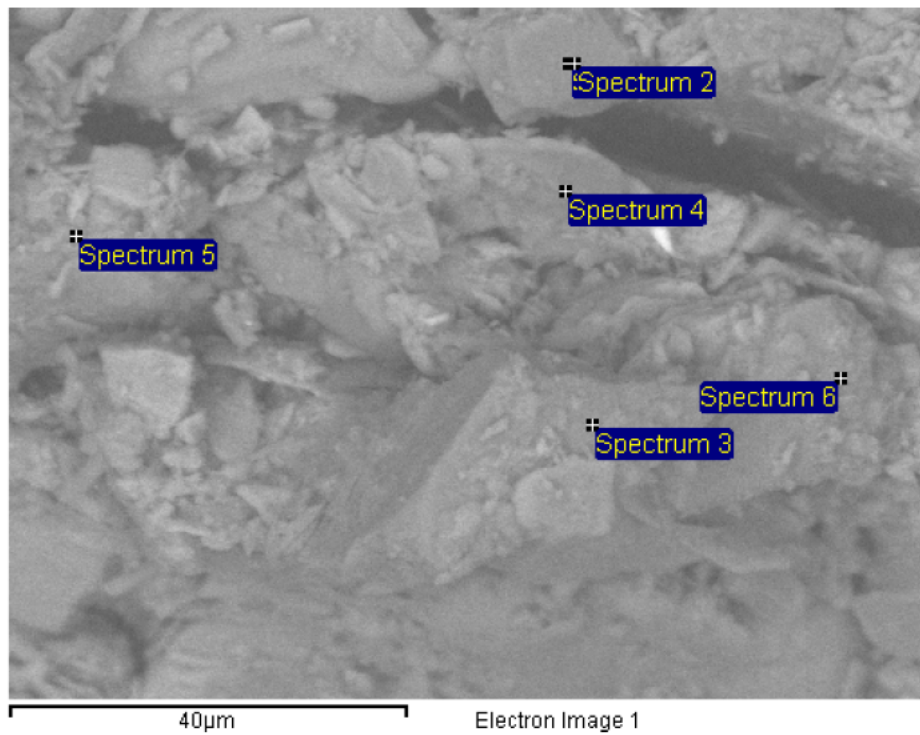
Den andre delen av prøvene ble dekket av et tynt gull coating og disse ble analysert i SEM under vakkum. Dette gir bedre og høyere oppløsning og dermed bedre bilder for mikrostruktur analyse. Totalt ble 91 bilder tatt ved forskjellige forstørrelse (dvs. ca. 100 til 8000 ganger). En oversikt over resultatene er presentert i Vedlegg B.

Tabell 1: SEM prøve nummer

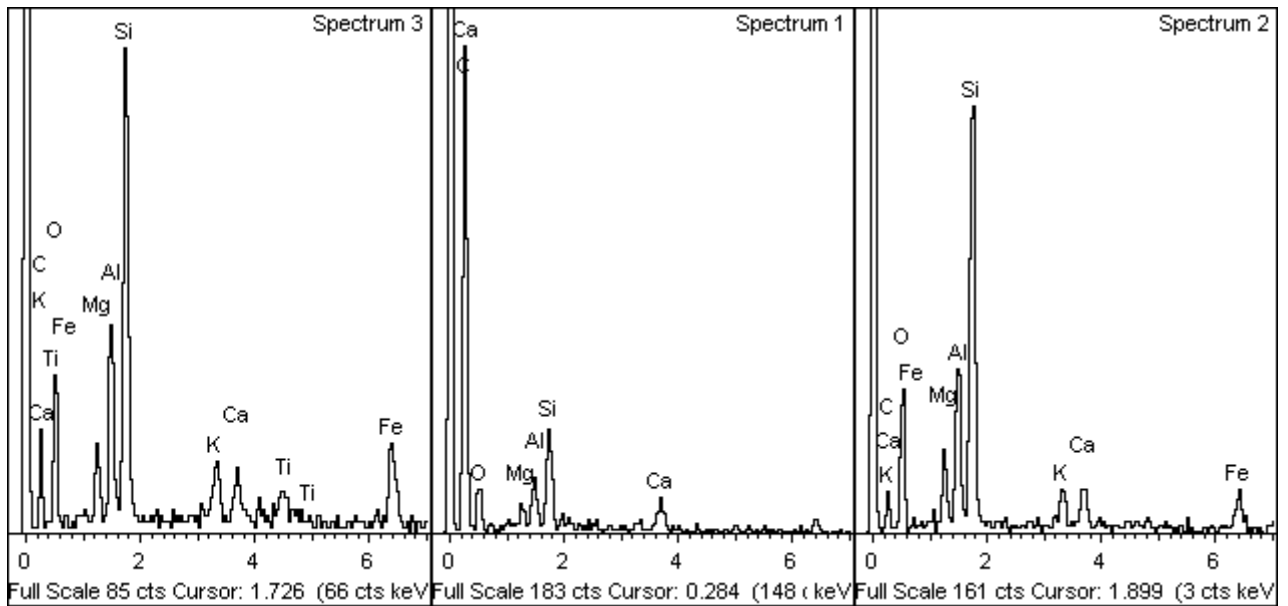
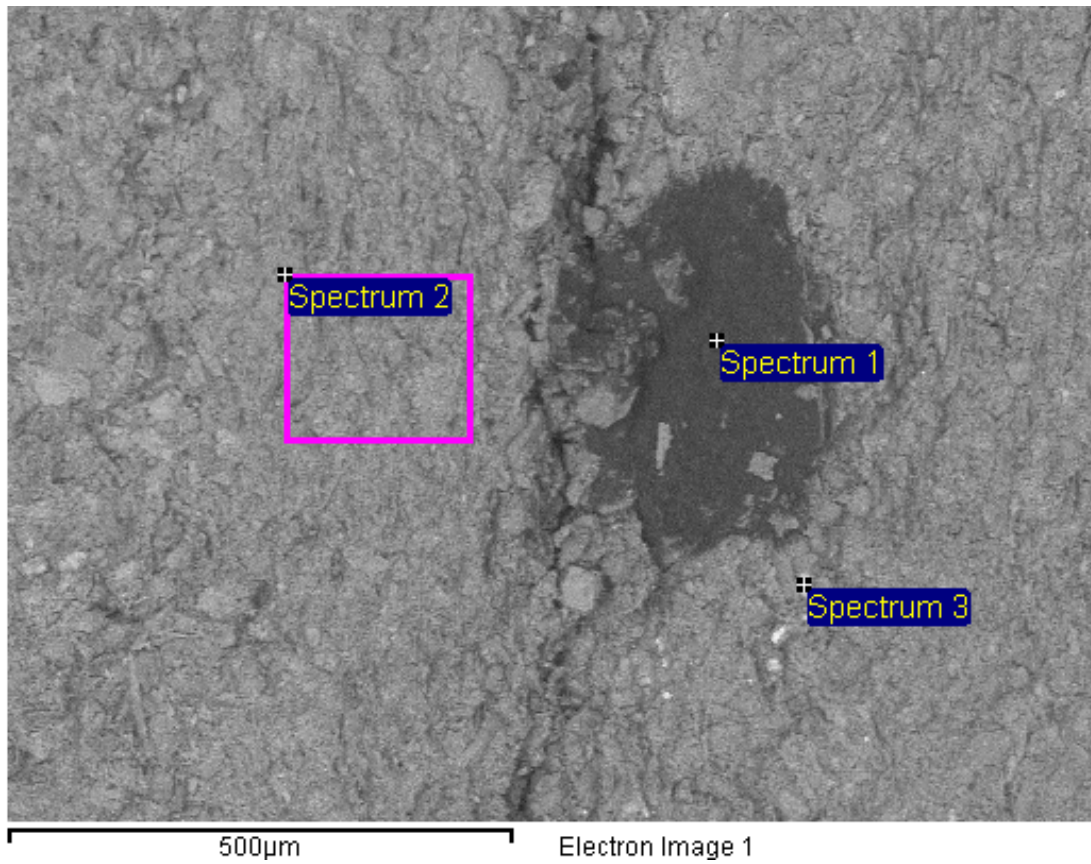
SEM Prøve nr	Borhull	Tube	Dybde (m)
1	10A	4	6,57
2	10A	4	6,82
3	10A	6	8,38
4	10A	6	8,85
5	7	2B	7,47
6	7	4A	9,37

Vedlegg A

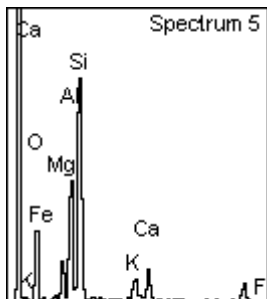
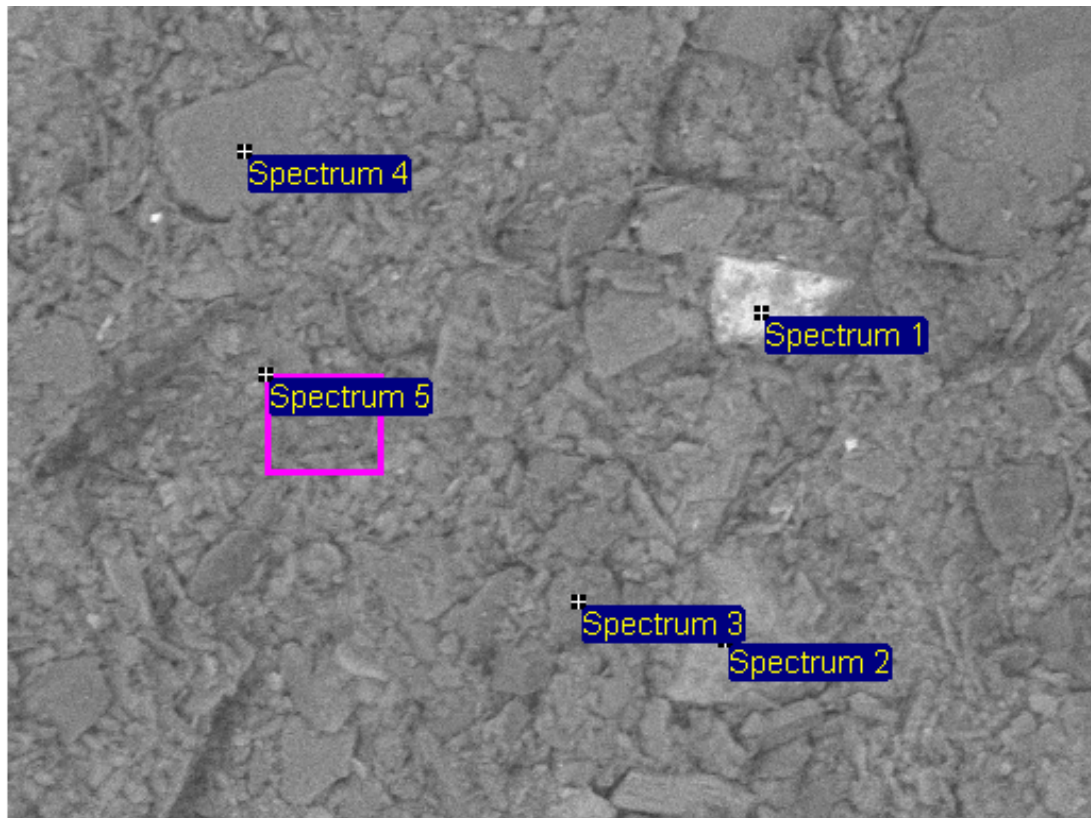
Mineralspektrum analyse av prøve nr. 1



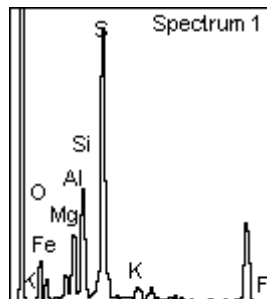
Mineralspektrum analyse av prøve nr. 2



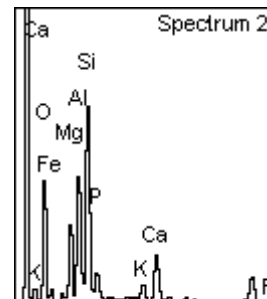
Mineralspektrum analyse av prøve nr. 3



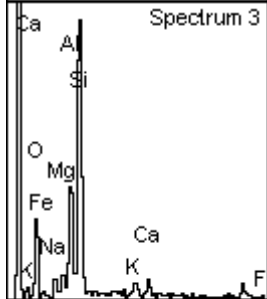
Full Scale 183 cts Cur: keV



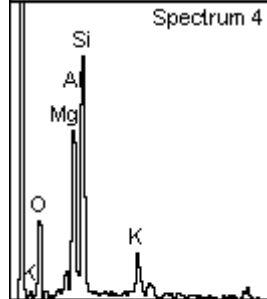
Full Scale 183 cts Cur: keV



Full Scale 183 cts Cur: keV

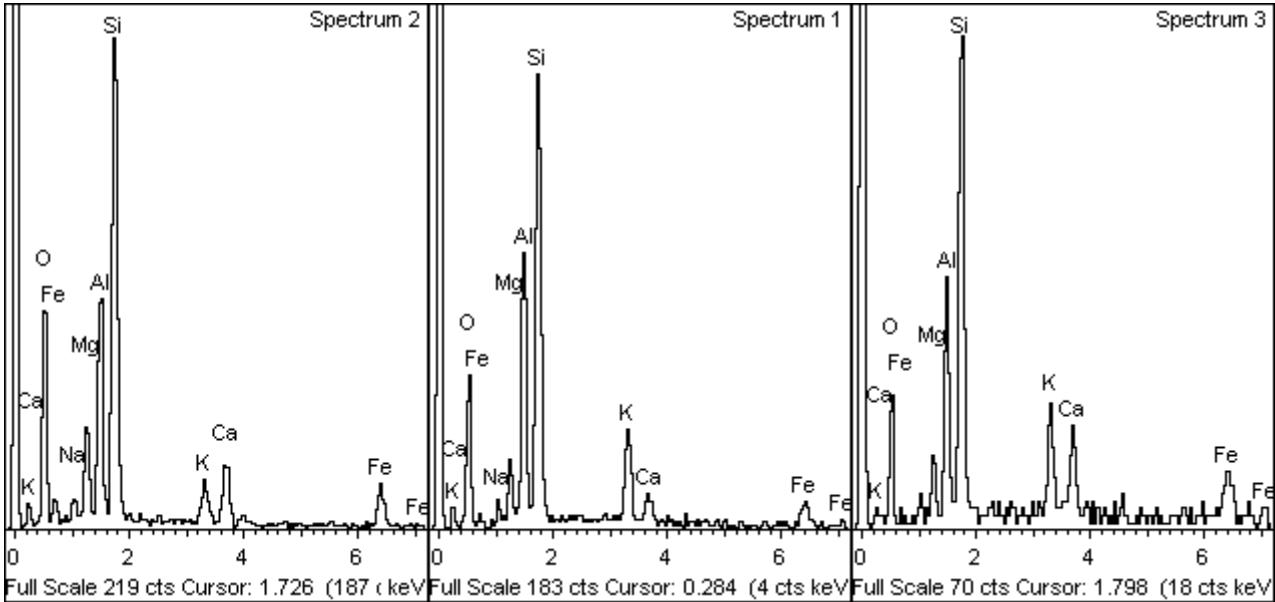
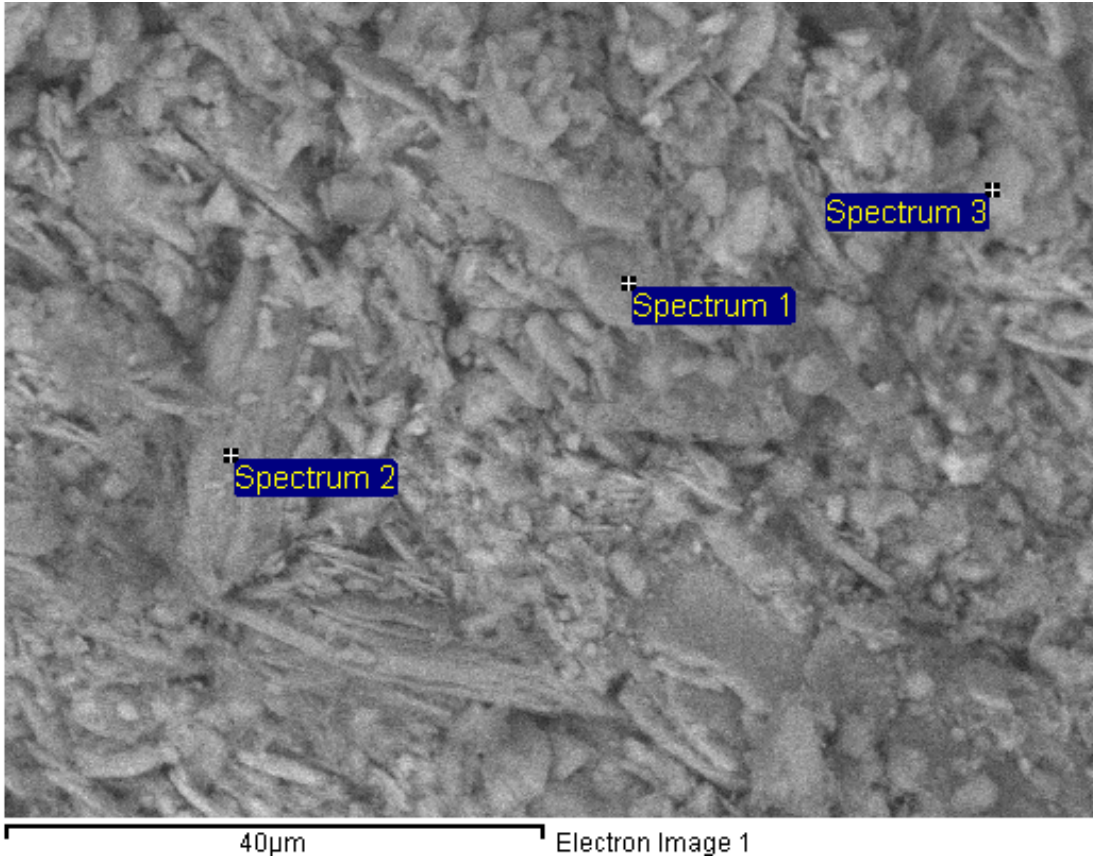


Full Scale 183 cts Cur: keV

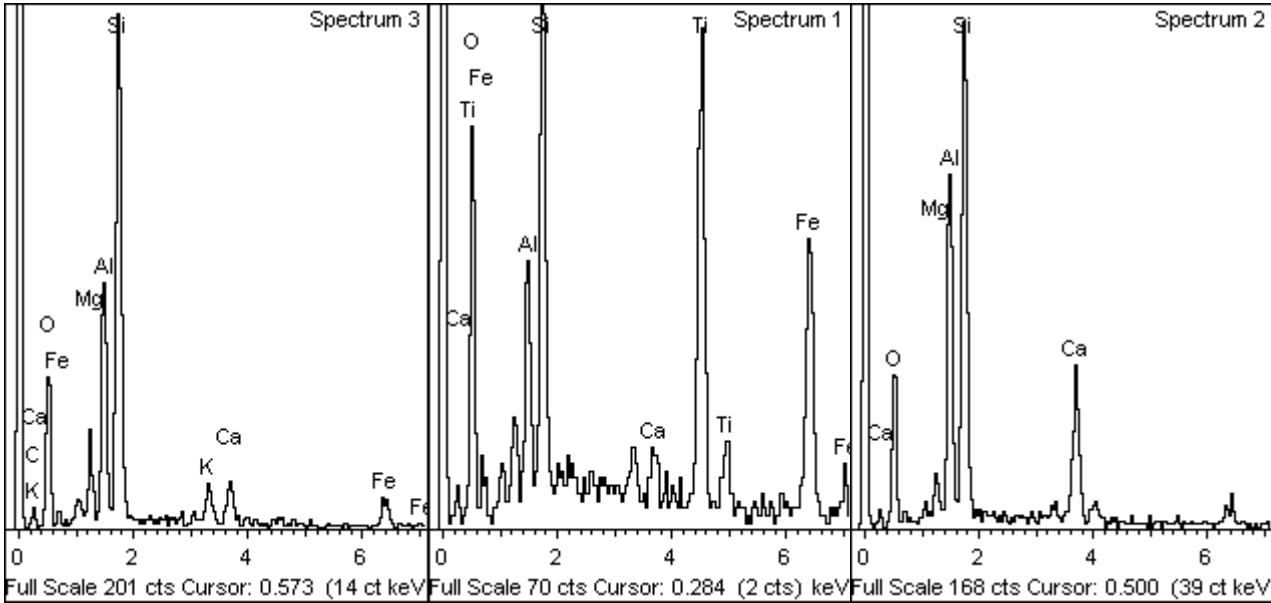
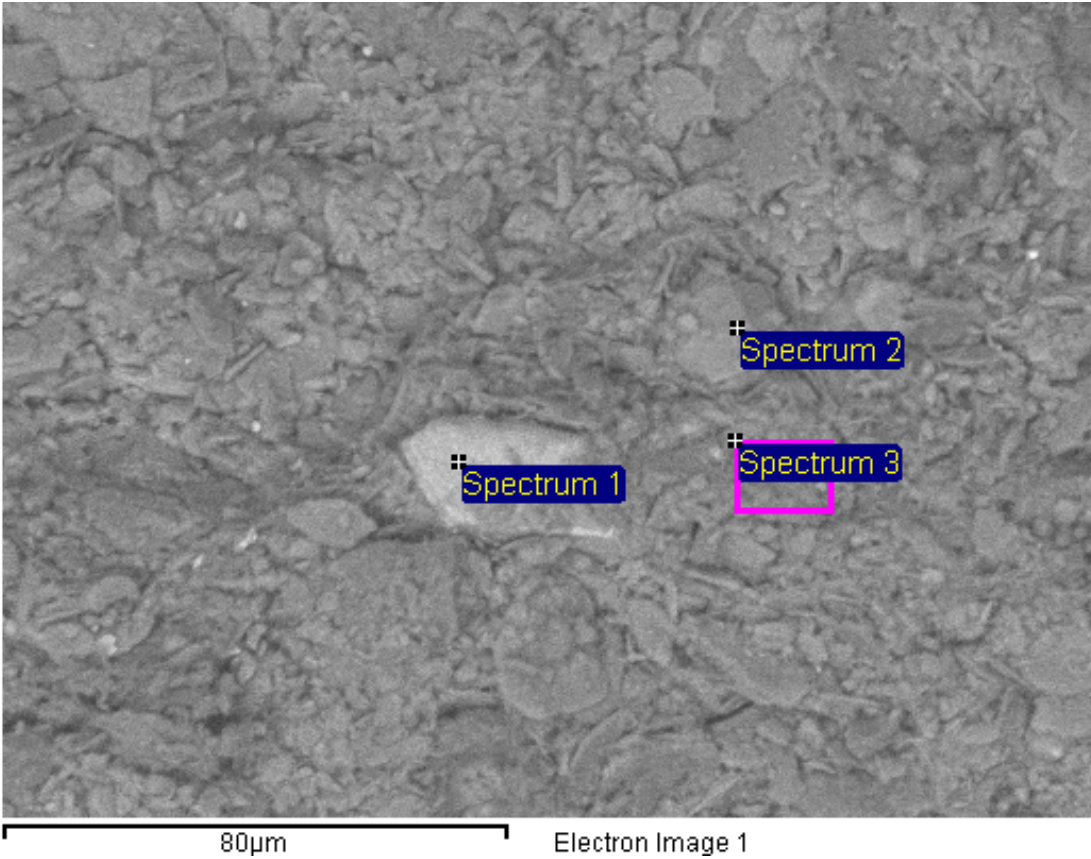


Full Scale 183 cts Cur: keV

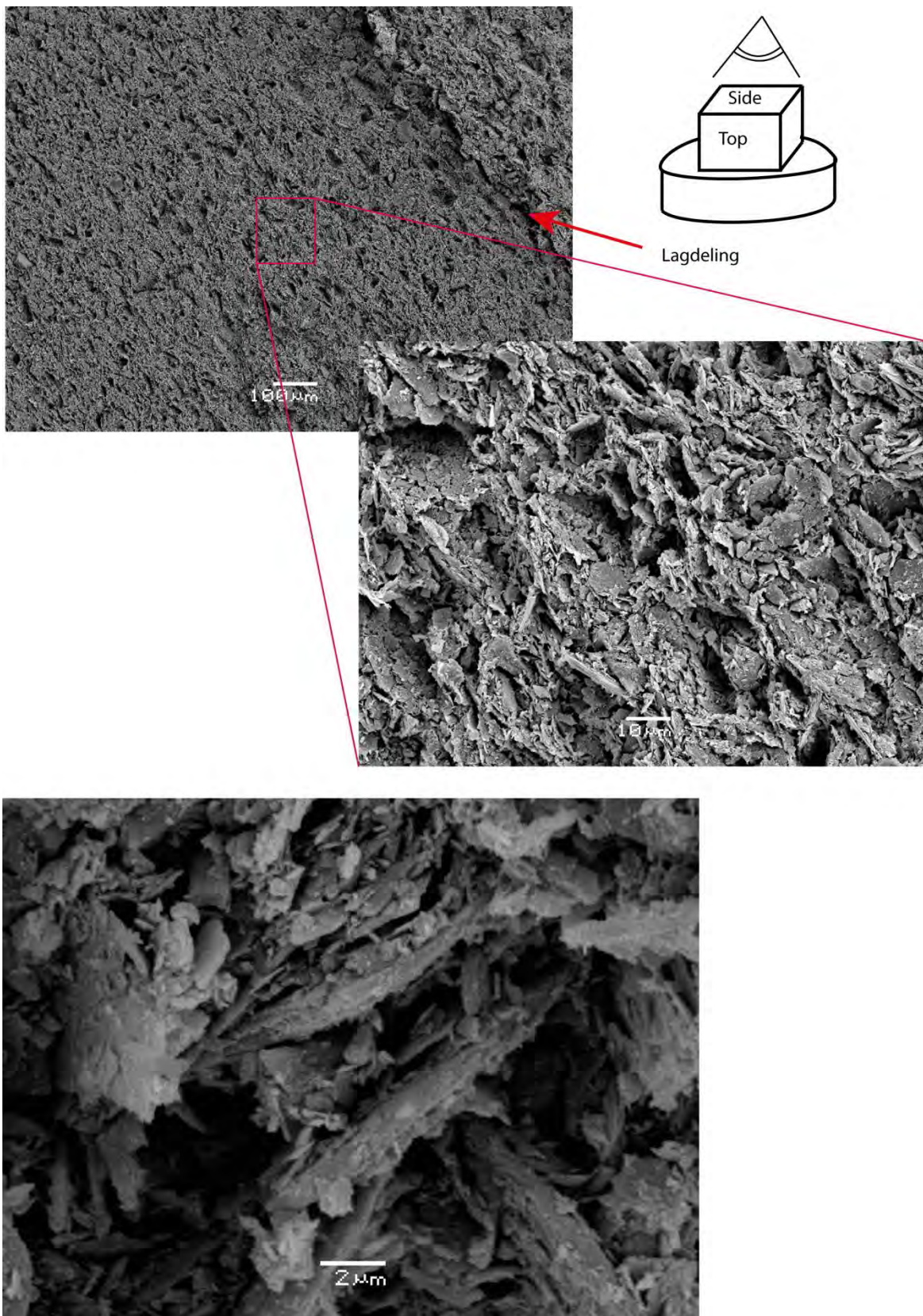
Mineralspektrum analyse av prøve nr. 4



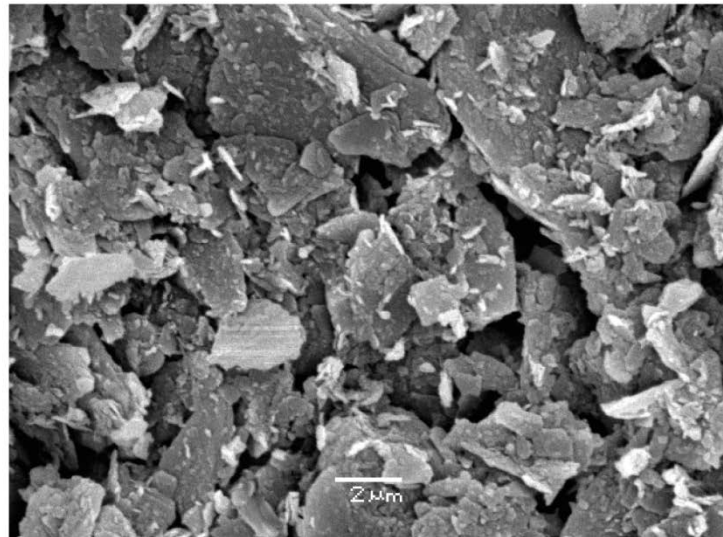
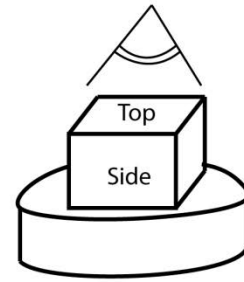
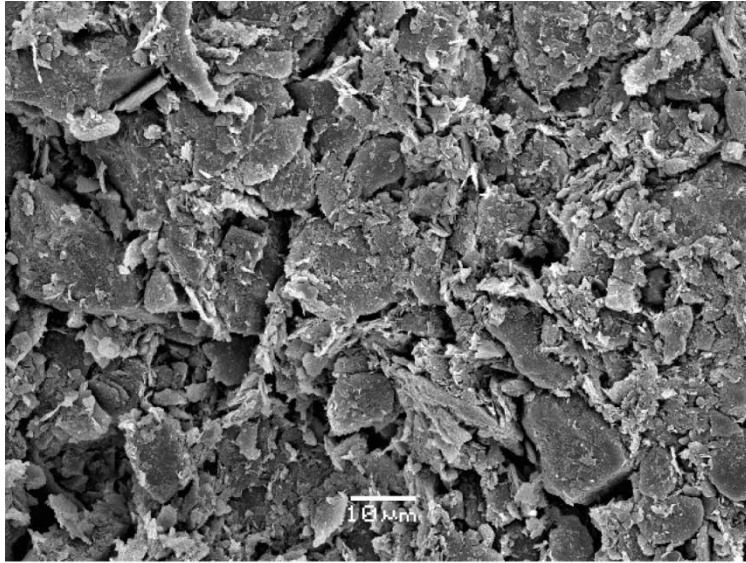
Mineralspektrum analyse av prøve nr. 5



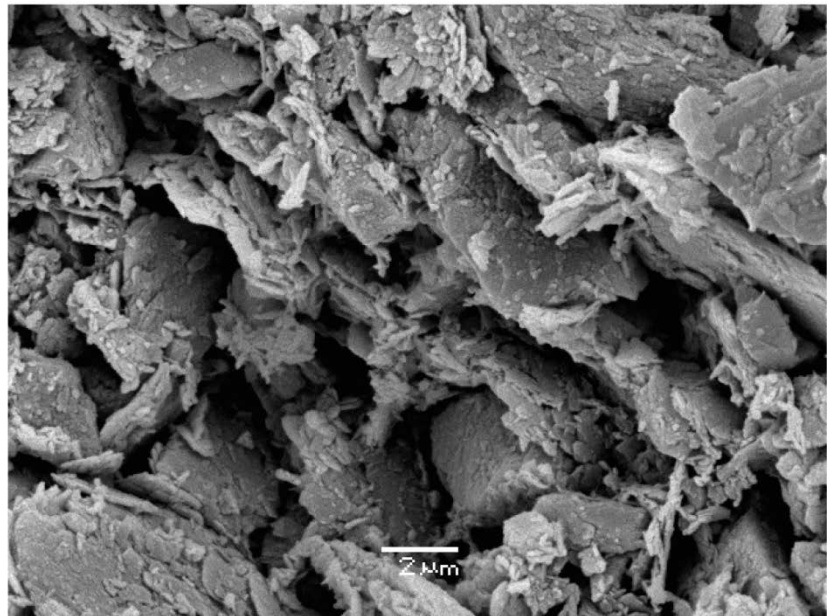
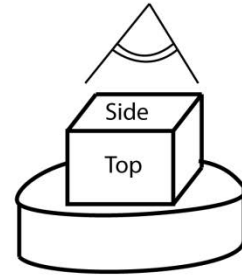
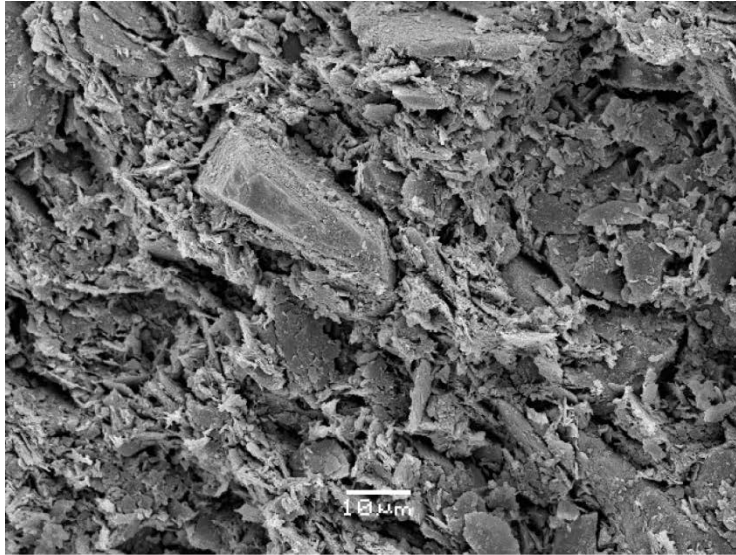
Vedlegg B



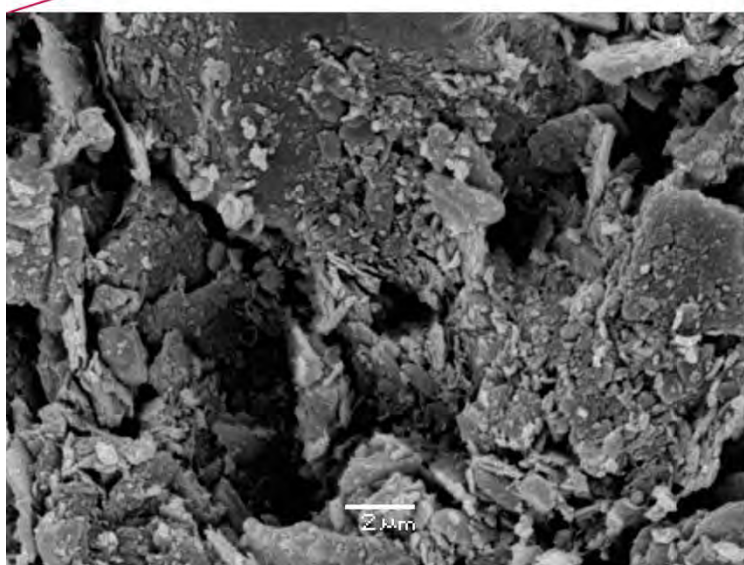
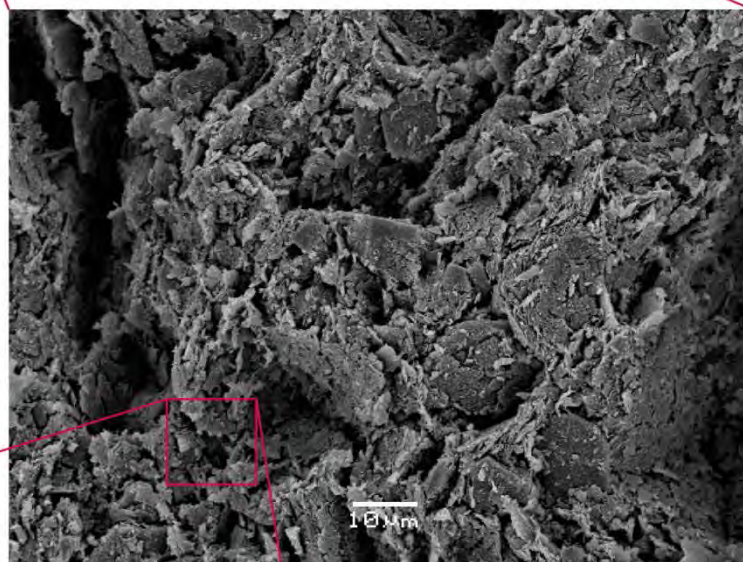
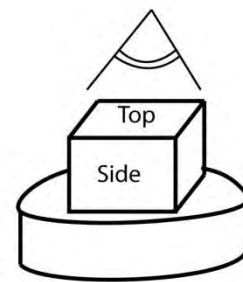
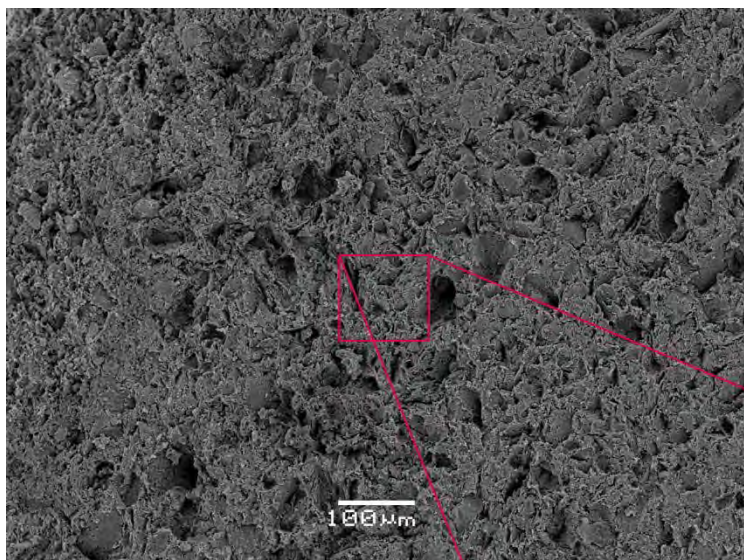
Figur 4: SEM prøve nr 1 gjennom vertikal akse ved 130, 1100 og 6000 ganger forstørrelse.



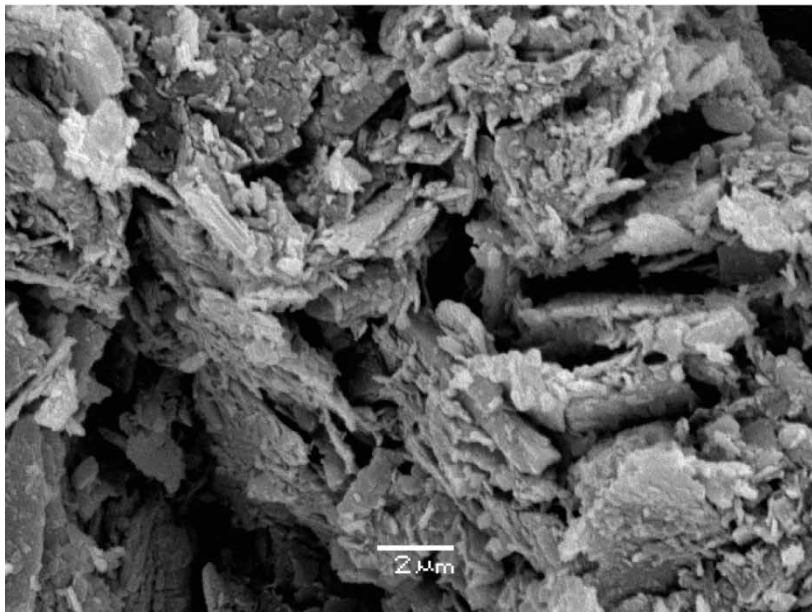
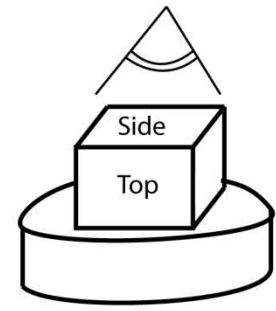
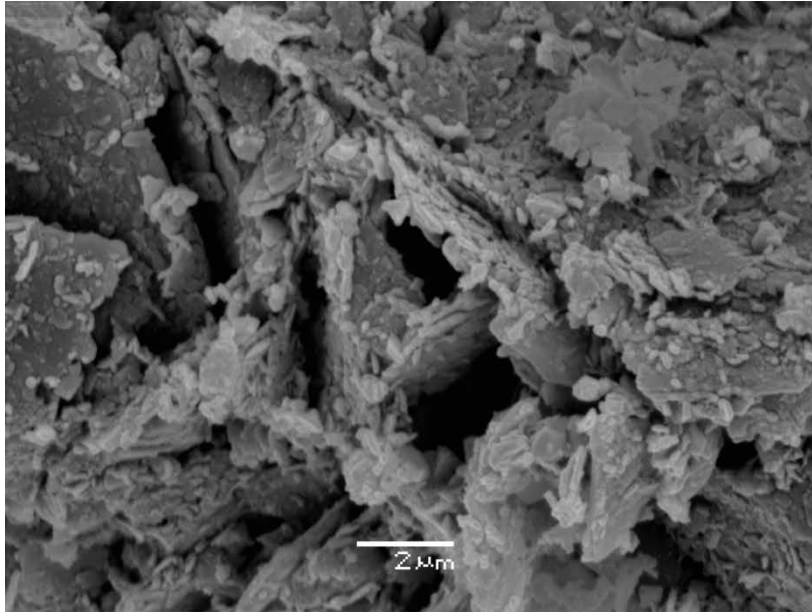
Figur 5: SEM prøve nr 2 gjennom horizontal akse ved 1300 og 6000 ganger forstørrelse.



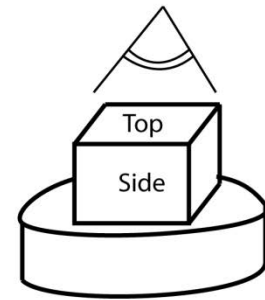
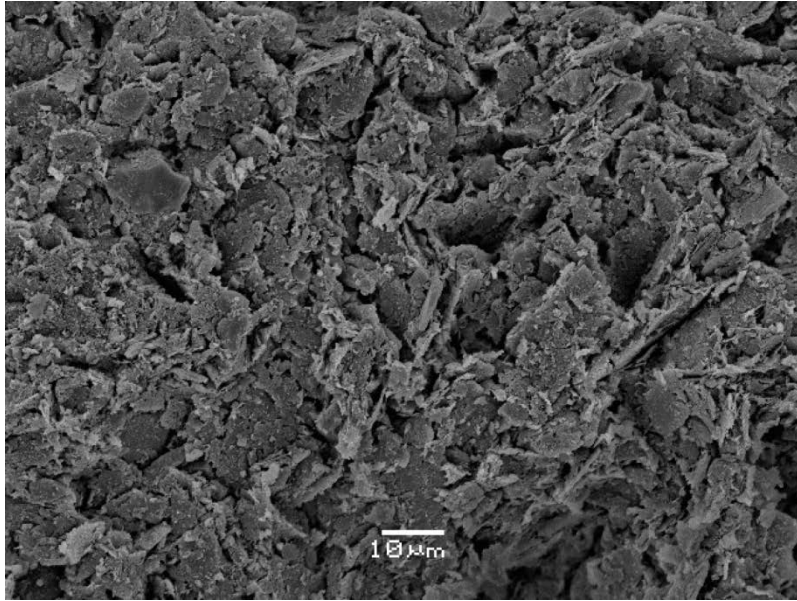
Figur 6: SEM prøve nr 2 gjennom vertikal akse ved 1100 og 6000 ganger forstørrelse.



Figur 7: SEM prøve nr 5 gjennom horisontal akse ved 130, 1100 og 6000 ganger forstørrelse.



Figur 8: (Top) SEM prøve nr. 5 og (Nederst) SEM prøve nr. 6 gjennom vertikal akse ved 6000 ganger forstørrelse.



Figur 9: SEM prøve nr 5 gjennom vertikal akse ved 1300 ganger forstørrelse.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Laboratorierapport	Dokumentnr./Document No. 20120853-01-TN				
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical Note	Dato/Date 2012-11-28				
Distribusjon/Distribution Fri/Unlimited	Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 1, 2013-01-04				
Oppdragsgiver/Client NIFS – prosjekt N-6.7.2					
Emneord/Keywords Kvikkleire, rekonsolidering, styrke, fasthet					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County Norge, Nordland	Havområde/Offshore area				
Kommune/Municipality Vefsn	Feltnavn/Field name				
Sted/Location Remma	Sted/Location				
Kartblad/Map 1926 IV Fustvatnet	Felt, blokknr./Field, Block No.				
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone 33 N7301835 E421512					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen-kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:
0	Originaldokument	RMo	JSL		
1	Inkluderer mikroskopanalyser (SEM)	RMo	JSL		
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 4. januar 2013	Sign. Prosjektleder/Project Manager Ragnar Moholdt			

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Sluppen
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

Utgitt i Rapportserien i 2013

- Nr. 1 Roller i det nasjonale arbeidet med håndtering av naturfarer for tre samarbeidende direktorat
- Nr. 2 Norwegian Hydrological Reference Dataset for Climate Change Studies. Anne K. Fleig (Ed.)
- Nr. 3 Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed
- Nr. 4 Faresonekart skred Odda kommune
- Nr. 5 Faresonekart skred Årdal kommune
- Nr. 6 Sammenfatning av planlagte investeringer i sentral- og regionalnettet for perioden 2012-2021
- Nr. 7 Vandringshindere i Gaula, Namsen og Stjørdalselva
- Nr. 8 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 9 Energibruk i kontorbygg – trender og drivere
- Nr. 10 Flomsonekart Delprosjekt Levanger. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 11 Årsrapport for tilsyn 2012
- Nr. 12 Report from field trip, Ethiopia. Preparation for ADCP testing (14-21.08.2012)
- Nr. 13 Vindkraft - produksjon i 2012
- Nr. 14 Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2013. Inger Sætrang
- Nr. 15 Klimatilpasning i energiforsyningen- status 2012. Hvor står vi nå?
- Nr. 16 Energy consumption 2012. Household energy consumption
- Nr. 17 Bioenergipotensialet i industrielt avfall
- Nr. 18 Utvikling i nøkkeltall for strømnetselskapene
- Nr. 19 NVEs årsmelding
- Nr. 20 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2012
- Nr. 21 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Forebyggende kartlegging mot skred langs strandsonen i Norge Oppsummering av erfaring og anbefalinger
- Nr. 23 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG) – forundersøkelse
- Nr. 24 Flom og skred i Troms juli 2012. Inger Karin Engen, Graziella Devoli, Knut A. Hoseth, Lars-Evan Pettersson
- Nr. 25 Capacity Building in Hydrological Services. ADCP and Pressure Sensor Training Ministry of Water and Energy, Ethiopia 20th – 28th February 2013
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen
- Nr. 27 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 28 Flomberegninger for Fedaelva, Kvinesdal kommune, Vest-Agder (025.3A1) Per Alve Glad
- Nr. 29 Beregning av energitilsig basert på HBV-modeller. Erik Holmquist
- Nr. 30 De ustabile fjellsidene i Stampa – Flåm, Aurland kommune Sammenstilling, scenario, risiko og anbefalinger. Lars Harald Blikra
- Nr. 31 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 4 Overvåking og varsling Overvåking ved akutte skredhendelser
- Nr. 32 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2012. Jonatan Haga
- Nr. 33 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Saltdiffusjon som grunnforsterking i kvikkleire
- Nr. 34 Kostnadseffektivitet i distribusjonsnettet – En studie av referentene i kostnadsnormmodellen
- Nr. 35 The unstable phyllitic rocks in Stampa – Flåm, western Norway Compilation, scenarios, risk and recommendations. Lars Harald Blikra
- Nr. 36 Flaumsonekart Delprosjekt Årdal i Sogn. Siss-May Edvardsen, Camilla Roald
- Nr. 37 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Skånsomme installasjonsmetoder for kalksementpeler og bruk av slurry
- Nr. 38 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Karakterisering av historiske kvikkleireskred og input parametere for Q-BING
- Nr. 39 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Natural Hazards project: Work Package 6 - Quick clay Characterization of historical quick clay landslides and input parameters for Q-Bing

Rapportserien i 2013 forts.

- Nr. 40 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Skred ved Døla i Vefsn. Undersøkelse av materialegenskaper
- Nr. 41 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. State-of-the-art: Blokkprøver
- Nr. 42 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Innspill til "Nasjonal grunnboringsdatabase (NGD) – forundersøkelse"
- Nr. 43 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire etter skred



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

