

## Udrenert skjærkryp i kvikkleire

Utvikling av treksialrigg og vurdering av Esp,  
Byneset, som forsøksfelt

**Jeremy Raymond King**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Anders Samstad Gylland, BAT

Medveileder: Arnfinn Emdal, BAT

Mike Long, School of Civil, Structural & Env, Dublin

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg, anlegg og transport





Oppgavens tittel: <b>Udrenert skjærkryp i kvikkleire: utvikling av treaksialrigg og vurdering av Esp, Byneset, som forsøksfelt</b>  <i>Undrained shear creep in quick clays: development of a triaxial device and evaluation of Esp, Byneset, as a potential research site</i>	Dato: 10.06.2013		
	Antall sider (inkl. bilag): 205		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Jeremy Raymond King			
Faglærer/veileder: Anders Samstad Gylland			
Eventuelle biveiledere: Arnfinn Emdal			

**Ekstrakt:**

Kvikkleire er tittelen for Delprosjekt 6 i etatsprogrammet: Naturfare- Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS). I forbindelse med punkt 6 i delprosjektet skal det undersøkes skjærkrypsegenskapene til kvikkleire. For at dette skal være mulig må man ha egnet prøvemateriale og utstyr.

Denne masteroppgaven presenterer resultater fra grunnundersøkelser fra to borpunkt på Esp, Byneset for undersøkelse av mulig prøvemateriale. Det er også beskrevet prosessen med klargjøring av et treaksialapparat, samt utførelsen av en forsøksserie med udrenert skjærkrypforsøk på materiale fra en blokkprøve tatt opp på Møllenberg i Trondheim.

Det er samlet litteratur om udrenert skjærkrypforsøk i sensitive materialer som gir en grunnlag for hva som kan være forventet oppførsel av kvikkleire ved skjærkryp i udrenert trykkforsøk. Litteraturstudiet gir også et overblikk over mulig fremgangsmetoder og forsøksprosedyrer for skjærkrypforsøk. Det har vært utgangspunktet for et foreslått forsøksopplegg. Forsøksopplegget er ment å kunne tilpasses etter materialet og eventuelle ønsker med en forsøksserie.

Et treaksialt apparat har blitt klargjort til å kjøre udrenerte skjærkrypforsøk. Apparatet er utviklet slik at mobilisert skjærspenning i krypforsøk er tilnærmet konstant. Siden apparatet kun er testet med en serie skjærkrypforsøk, er feilene som har blitt oppdaget kun blitt notert ned, og justeringene beskrevet som en del av videre arbeidet med å undersøke udrenert skjærkryp i kvikkleire. Det er notert at regulatoren til celletrykket er ustabil, temperatursvingninger i kjølerommet og feil ved implementering av LVDT i programvare. Oppgaven presenterer felt- og laboratorieundersøkelser på materiale fra NTNU1101 i 3,0 – 10,8 m dybde, og fra 4,0-4,8, 7,0-7,8 og 10,0-10,8 m dybde i NTNU2. Borpunkt NTNU1101 ligger ca. 40 m fra skredkanten, øst for skredgropa til kvikkleireskredet som ble utløst i januar 2012. Borpunkt NTNU2 ligger ca. 10 m fra skredkanten, like sør for skredgropa. Prøvematerialet fra profil NTNU1101 har vist å ikke være egnet til formålet med prosjektet. I profil NTNU2 er det påvist kvikkleire ved 7,0-7,8 og 10,0-10,8 m dybde. Materialet er homogent, uten lagdeling, gruskorn og skjellrester og er klassifisert som en lite plastisk, middels sensitiv til sensitiv og homogen siltig leire. Profilen egner seg til opptak av blokkprøver til å undersøke udrenert skjærkryp i kvikkleire. Borpunkt NTNU2 er utilgjengelig for borriggen per dags dato. Derfor er det ikke tatt opp blokkprøver i forbindelse med denne oppgaven. Grunneier har planlagt å anlegge en gårdsvei opp til borpunktet. Inntil den blir bygd må blokkprøvene bli tatt opp fra et annet sted.

En oversikt av geotekniske vurderinger i rapporter fra tidligere utførte grunnundersøkelser i nærområdet til skredgropa er samlet i oppgaven slik at all geoteknisk informasjon er lett tilgjengelig for videre arbeid.

**Stikkord:**

1. Geoteknikk
2. Kvikkleire
3. Skjærkryp
4. Esp, Byneset



## TBA4900 Geoteknikk Masteroppgave, vår 2013

Stud. techn.

**Jeremy Raymond King**

Masteroppgavetittel:

### **Udrenert skjærkryp i kvikkleire: utvikling av treaksialrigg og vurdering av Esp, Byneset, som forsøksfelt**

*Undrained shear creep in quick clays: development of a triaxial device and evaluation of Esp, Byneset, as a potential research site*

#### **Bakgrunn**

Kvikkleire er tittelen for Delprosjekt 6 i etatsprogrammet; Naturfare- Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS). I den forbindelse med punkt 6 i delprosjektet skal det undersøkes skjærkrypsegenskapene til kvikkleire. Det er planlagt å utføre forsøkene på høykvalitetsprøver tatt opp med NTNU sin Sherbrooke blokkprøvetaker. Masteroppgaven bygger videre på en prosjektoppgave på samme tema som ble skrevet høsten 2012. Prosjektet er støttet av Statens vegvesen, Jernbaneverket og NVE som ansvarlige for NIFS.

Lokasjonen Esp på Byneset, hvor det gikk et kvikkleireskred ved årsskiftet 2011/2012, er aktuelt for videre forskning på sensitive leire. For dette prosjektet gjelder det leirers evne til å motstå høy mobilisering over tid, noe som skal gjøres ved kryptesting i treaks. Det er derfor viktig å få oversikt av et jordprofil og avklare om dette kan være egnet til forskningsprosjektet.

Høsten 2012 ble det bygget en rigg for kjøring av udrenerte skjærkrypforsøk ved NTNU. Dette utstyret er ikke ferdig utviklet og det gjenstår testing og validering før det kan brukes til forskningsformål.

#### **Innhold**

For å undersøke lokasjonen på Esp som potensielt forsøksfelt skal kandidaten utføre laboratorieundersøkelser, tolke resultatene, bestemme grunnleggende parametere og beskrive jordprofilet. Fokus skal ligge på egnetheten av materialet til forskningsformål inn mot udrenert skjærkryp.

Videre skal kandidaten teste og bidra til klargjøring av et treaksialapparat for kjøring av krypforsøk. Kandidaten skal sette seg inn i nødvendig teori relatert til skjærkryp i sensitive leire.

#### **Omfang og levering**

Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng – dvs. tilsvarende 100 % av et semester. Arbeidet skal leveres i form av en teknisk rapport som leveres ikke senere enn 10. juni 2013. En uinnbundet original og to innbundne kopier skal leveres. Digitalt skal det leveres en versjon av oppgaven samt alle laboratedata som er fremkommet, både rådatafiler og behandlede data og eventuelle film/videopptak.

Biveileder: Arnfinn Emdal, NTNU.

**Anders Samstad Gylland**

Post Doc.

Institutt for Bygg, Anlegg og Transport

Faggruppe for Geoteknikk

NTNU

# Forord

Denne rapporten er utført i forbindelse med emnet TBA4900 Geoteknikk, Masteroppgave våren 2013. Oppgaven er utført i forbindelse med, og støtte av etatsprogrammet: NATURFARE-Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS), Delprosjekt 6: Kvikkleire, punkt 6.

Formålet med oppgaven har vært avhengig av resultatene fra grunnundersøkelser. Det har vært med på å prege utviklingen av oppgaven. Resultatene fra det første profilet gjorde at vi måtte lete etter et nytt prøvehull og utføre flere grunnundersøkelser enn først antatt. Det var planlagt å utføre flere forsøksserier med udrenert skjærkryp på ferske blokkprøver fra Esp, men vårtemperaturen gjorde at hull NTNU 2 ble utilgjengelig for borrhigen. I stedet fikk jeg muligheten til å bruke en gammel blokkprøve fra Møllenberg til den første kryptserien. Materialet var ikke optimalt, men apparatet ble testet, noe som var et viktig delmål.

Mange takk til Vikas Thakur og NIFS for all hjelp de har bidratt med til gjennomføring av dette prosjektet. Jeg vil også takke veilederen min Anders Samstad Gylland for hans engasjement for prosjektet og arbeidet mitt, og takk til Arnfinn Emdal for veiledning underveis. Takk til Jan Jønland og Helene Kornbrekke for veiledning og råd på laboratoriet og til Per Østensen for hjelp til klargjøring av treaksialapparatet. Jeg er også meget takknemlig for innsatsen som Gunnar Winther og Einar Husby har lagt ned i forbindelse med feltundersøkelser og i forsøket med å rigge i stand borrhigen for blokkprøvetaking på Esp.

Til slutt vil jeg rette en spesiell takk til kjæresten min og venner for 5 uforglemmelige år i Trondhejm.



# Sammendrag

Kvikkleire er tittelen for Delprosjekt 6 i etatsprogrammet: Naturfare- Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS). I forbindelse med punkt 6 i delprosjektet skal det undersøkes skjærkrypsegenskapene til kvikkleire. For at dette skal være mulig man ha egnet prøvemateriale og utstyr.

Denne masteroppgaven presenterer resultater fra grunnundersøkelser fra to borpunkt på Esp, Byneset for undersøkelse av mulig prøvemateriale. Det er også beskrevet prosessen med klargjøring av et treksialapparat, samt utførelsen av en forsøksserie med udrenert skjærkrypforsøk på materiale fra en blokkprøve tatt opp på Møllenberg i Trondheim.

Det er samlet litteratur om udrenert skjærkrypforsøk i sensitive materialer som gir en grunnlag for hva som kan være forventet oppførsel av kvikkleire ved skjærkryp i udrenert trykkforsøk. Litteraturstudiet gir også et overblikk over mulig fremgangsmetoder og forsøksprosedyrer for skjærkrypforsøk. Det har vært utgangspunktet for et foreslått forsøksopplegg. Forsøksopplegget er ment å kunne tilpasses etter materialet og eventuelle ønsker med en forsøksserie.

Et treksialt apparat har blitt klargjort til å kjøre udrenerte skjærkrypforsøk. Apparatet er utviklet slik at mobilisert skjærspenning i krypforsøk er tilnærmet konstant. Siden apparatet kun er testet med en serie skjærkrypforsøk, er feilene som har blitt oppdaget kun blitt notert ned, og justeringene beskrevet som en del av videre arbeidet med å undersøke udrenert skjærkryp i kvikkleire. Det er notert at regulatoren til celletrykket er ustabil, temperatursvingninger i kjølerommet og feil ved implementering av LVDT i programvare.

Oppgaven presenterer felt- og laboratorieundersøkelser på materiale fra NTNU1101 i 3.0 – 10.8 m dybde, og fra 4,0-4,8, 7,0-7,8 og 10,0-10,8 m dybde i NTNU2. Borpunkt NTNU1101 ligger ca. 40 m fra skredkanten, øst for skredgropa til kvikkleireskredet som ble utløst i januar 2012. Borpunkt NTNU2 ligger ca. 10 m fra skredkanten, like sør for skredgropa. Prøvematerialet fra profil NTNU1101 har vist å ikke være egnet til formålet med prosjektet. I profil NTNU2 er det påvist kvikkleire ved 7,0-7,8 og 10,0-10,8 m dybde. Materialet er homogent, uten lagdeling, gruskorn og skjellrester og er klassifisert som en lite plastisk, middels sensitiv til sensitiv og homogen siltig leire. Profilen egner seg til opptak av blokkprøver til å undersøke udrenert skjærkryp i kvikkleire. Borpunkt NTNU2 er utilgjengelig for borrhøgen per dags dato. Derfor er det ikke tatt opp blokkprøver i forbindelse med denne oppgaven. Grunneier har planlagt å anlegge en gårdsvei opp til borpunktet. Inntil den blir bygd må blokkprøvene bli tatt opp fra et annet sted.

En oversikt av geotekniske vurderinger i rapporter fra tidligere utførte grunnundersøkelser i nærområdet til skredgropa er samlet i oppgaven slik at all geoteknisk informasjon er lett tilgjengelig for videre arbeid.





# Summary

Quick clay is the title of the subproject 6 in the Norwegian Government Program Naturfare- Infrastruktur, Flom and Skred. In connection with Item 6 will material properties for shear creep in quick clay be examined. Suitable material and equipment must be available for this to be possible.

The Master Thesis presents results from soil investigation and an evaluation of two soil profiles at Esp, Byneset in Norway. It also describes the process of the development of an apparatus, and the execution of a series of undrained shear creep tests on material from a block sample taken from Møllenberg in Trondheim.

A literature study of undrained shear creep tests of sensitive soils, gives an indication of expected soil behavior for quick clay under shear creep tests. The study does also give an overview of possible methods and procedures in shear creep testing. This has been the basis for a proposed study setup. The study setup is supposed to be adaptable for adjustments made from experience gained after tests.

A triaxial apparatus has been prepared to run undrained shear creep tests. The apparatus is developed so that the mobilized shear pressure in creep test is approximately constant. Since the apparatus is only tested with one series of shear creep tests, the flaws detected, noted with suggested adjustments, and then described as further work in the study of effects of undrained shear creep on quick clay. It is noted that the regulator for the cell pressure is unstable, temperature fluctuates in the cold-storage room and that there are flaws in the implementation of LVDT in the software.

The drilling point NTNU1101 is located ca. 40 m east from the crown of the quick clay avalanche which was triggered January 2012. The drilling point NTNU2 is located ca. 10 m south of the landslide pit. The thesis presents field investigation and laboratory research on soil from NTNU1101 at 3.0-10.8 m depth and from NTNU2 at 4.0-4.8, 7.0-7.8 and 10.0-10.8 m depth. The results from profile NTNU1101 show that the material is unsuitable for the purpose of this project. It has been proven quick clay exists at 7.0-7.8 and 10.0-10.8 m depth in soil profile NTNU2. The material is homogenous clay, without layering, gravel and shell, and is generally classified as lean, medium sensitive to sensitive silty clay. The conclusion is that the soil profile is suitable for the purpose of undrained shear creep testing of quick clay. Drilling point NTNU2 is at present unreachable for the drilling rig. Therefore block samples have, as yet, not been taken up in connection with this thesis. The landowner is planning to build a farm road to assess the area. The block samples must be taken from another place until this road has been built.

A summary has been made of earlier geotechnical assessments with reports of investigations previously executed in the surrounding area so that all geotechnical information is easily accessible for further work.



# Innhold

Forord .....	I
Sammendrag .....	III
Summary .....	V
Figurliste .....	X
Tabelliste .....	XII
Forkortelser .....	XIII
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn .....	2
1.2 Problemstilling .....	3
1.1 Begrensing .....	4
1.3 Disposisjon .....	5
2 Kryp i norsk leire .....	7
2.1 Norsk leire .....	8
2.1.1 Salt- og ferskvannsavsetninger .....	8
2.1.2 Kvikkleire .....	8
2.2 Konsolidering .....	9
2.2.1 OC, NC og geologisk konsolidering .....	10
2.2.2 Primærkonsolidering .....	11
2.2.3 Treaksialforsøk .....	13
2.3 Kryp .....	13
2.3.1 Tidseffekter .....	14
2.3.2 Kjemiske bindinger .....	14
2.3.3 Tidsmotstand- Janbu .....	17
2.3.4 Nedbrytning .....	18
2.3.5 Tidligere studier av krypbrudd .....	20
3 Forsøksutstyret .....	23
3.1 Pørvetakeren .....	24
3.1.1 Sherbrooke .....	24
3.1.2 Prøvekvalitet .....	25
3.2 Forsøksapparatet .....	27

3.2.1	Oppbygning av apparat .....	27
3.2.2	Utvikling og kalibrering.....	29
3.2.3	Målinger .....	29
3.2.4	Arealkorreksjon.....	31
3.2.5	Plassering .....	34
3.2.6	Testforsøk med kommentarer .....	35
3.2.7	Diverse testforsøk med kommentarer. ....	35
4	Forsøksopplegg for blokkprøve .....	37
4.1	Oppdeling av prøven .....	38
4.1.1	Trimming .....	38
4.2	Forsøk.....	39
4.2.1	Rutineundersøkelser.....	39
4.2.2	Mineralogi .....	40
4.2.3	Ødometerforsøk .....	40
4.2.4	Udrenert treaksialt trykkforsøk .....	41
4.2.5	Krypforsøk i treaksialapparat.....	44
5	Mulighetsstudie på Esp, Byneset .....	45
5.1	Topografi.....	46
5.2	Geologisk opprinnelse.....	47
5.2.1	Berggrunnforhold.....	47
5.2.2	Løsmassene .....	47
5.3	Skredrisiko .....	48
5.3.1	Faregrad .....	49
5.3.2	Konsekvens .....	49
5.3.3	Risiko .....	50
5.4	Tidligere rapporter i området .....	51
5.4.1	Trondheim kommune – R.1527: <i>Byneset, Kvikkleireskred</i> .....	52
5.4.2	NGU – Rapport 2012.004: <i>Resistivitetsmålinger for løsmassekartlegging ved skredgrop på Byneset, Sør-Trøndelag</i> .....	52
5.4.3	NVE – Rapport 1/2012: <i>Kvikkleireskred ved Esp, Byneset i Trondheim</i> .....	52
5.4.4	NIFS – Rapport 34/2012: <i>Datarapport for Kvikkleireskred ved Esp i Byneset i januar 2012</i> .....	53
6	Materialundersøkelse fra Esp.....	55

6.1	Utførte grunnundersøkelser.....	56
6.1.1	Prøvehull NTNU1101 .....	56
6.1.2	Prøvehull NTNU2 .....	57
6.1.3	Opptak av blokkprøver.....	58
6.2	Resultater .....	60
6.2.1	Sonderinger .....	60
6.2.2	Rutineundersøkelser.....	63
6.2.3	Ødometer.....	67
6.2.4	Treaksialforsøk.....	73
7	Skjærkrypforsøk på blokkprøve.....	79
7.1	Blokkprøven.....	80
7.2	Rutineundersøkelser.....	80
7.3	Treaksialforsøk.....	81
7.3.1	Konsolidering og mobilisering .....	82
7.3.2	Resultater .....	83
8	Konklusjon .....	89
8.1	Mulighetsstudiet for blokkprøvetaking.....	90
8.2	Apparat.....	90
8.3	Krypforsøk .....	91
9	Videre arbeid .....	93
9.1	Mulighetsstudiet.....	94
9.2	Apparatet.....	94
9.3	Krypforsøk .....	94
10	Referanseliste .....	95
	Vedlegg A .....	
	A.1 Oversiktskart .....	
	A.2 Totalsondering.....	
	A.3 CPTU-sondering.....	
	A.4 Resultat fra laboratorieundersøkelser .....	
	Vedlegg B.....	
	B.1 Oversiktskart.....	
	B.2 Dreietrykkssondering.....	

B.3 CPTU-sondering.....	.....
B.4 Resultat fra laboratorieundesøkelser .....	.....
Vedlegg C.....	.....
C.1 Indekstesting .....	.....
C.2 Treksialforsøk .....	.....
Vedlegg D .....	.....
D.1 Treksialforsøk.....	.....

## Figurliste

Figur 1-1: Redusering av peak-veriden på forsøk fra blokkprøver.....	2
Figur 1-2: Bilder av kvikkleireskredet på Esp, Byneset tatt i april og mai 2013.....	3
Figur 1-3: Skredkant bak etterskred og klargjøring av treksapparat.....	4
Figur 1-4: Oppløst ovegang og åpnet blokkprøve fra Møllenberg. ....	4
Figur 2-1: Kornskjelettet i leire avsatt i saltvann (a) og ferskvann (a)[4, 5].....	8
Figur 2-2: Eksempler på kvikkleireskred ned mot en bekk eller ravine [5]. ....	9
Figur 2-3: Sammenhengen mellom et spenning- tøyning diagram og spenning- porefall diagram fra et 1D kompresjon.....	10
Figur 2-4: Utvikling av effektivspenningene og setningene etter belastning [6].....	11
Figur 2-5: Prinsippskisse på porevannsutpressing og spenningsutvikling under konsolidering i treksialforsøk.....	13
Figur 2-6: Prinsippskisse av reservemostand mot kompressibilitet som utvikles i leire over tid [10]. ....	14
Figur 2-7: Negativ ladet leirpartikkel med tilfestede kation. ....	15
Figur 2-8: Normalkonsolidert prøve utsatt for vann med høyt $K^+$ -innhold [10]. ....	16
Figur 2-9: a) Tidsforløpet for setningene ved et lasttrinn i et ødometerforsøk. b) Utviklingen av tidsmotstanden i et lasttrinn. c) Tidsmotstandstallet ved forskjellige spenninger i forhold til prekonsolideringsspenningen. ....	17
Figur 2-10: Illustrasjon av krypforsøk utført i treksialt forsøksapparat[5, 12]. ....	19
Figur 2-11: Krav til prosentvis forbedring og vesentlig forbedring av materialfaktor [2, 3]. ....	19
Figur 2-12: Redusering av peak-veriden på forsøk fra blokkprøver.....	20
Figur 3-1: NTNU sin Sherbrooke blokkprøvetaker. ....	24
Figur 3-2: Bilde av et bunnbor og åpnet blokkprøve dekket med voks.....	25
Figur 3-3: Sammenligning av prøver fra Lefebvre, Lacasse og Berre.....	25
Figur 3-4: Oppsett av apparat, monitor, sensorer og kontroller.....	27
Figur 3-5: Tverrsnitt av innbygd leirprøve. ....	28

Figur 3-6: - a) Skisse av prøvetverrsnitt etter trimming. - b) Skisse av deformasjon ved små tøyninger. - c) b) Skisse av deformasjon ved store tøyninger .....	31
Figur 3-7: Beregnet arealøkning i konsolideringsfasen av forsøket CAU_917-CRS fra Møllenberg, Trondheim. ....	32
Figur 3-8: Beregnet arealøkning i skjærfasen av forsøket CAU_917-CRS fra Møllenberg, Trondheim .....	33
Figur 3-9: Fire prøvestykker etter utbygging av apparat og tørking.....	33
Figur 3-10: Plassering av temperaturføler.....	34
Figur 4-1: Eksempler på vertikal oppdeling av en blokkprøve.....	38
Figur 4-2: Stativ brukt for å trimme prøver til å ha et tverrsnitt på 54 mm diameter og en tråsåg som brukes til kuttingen. ....	39
Figur 4-3: Alternativ for konsolidering.....	43
Figur 5-1: Kart over skredområdet på Esp hentet fra maps.google.no 27. april 2013 .....	45
Figur 5-2: Skredgropa før og etter kvikkleireskredet. Hentet fra kart.gulesider.no og maps.google.no den 21. mars 2013.....	46
Figur 5-3: To små skred i en ravine. Hentet fra kart.gulesider.no 21. mars 2013 .....	46
Figur 5-4: Berggrunnsforholdene på Esp, Byneset. Hentet fra <a href="http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/">http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/</a> 27. april 2013 .....	47
Figur 5-5: Kart på løsmassene på Esp, Byneset. Hentet fra www.NGU.no 22. mars 2013. ....	48
Figur 5-6: Kart over faregrad på Esp, Byneset. Hentet fra www.NVE.no 22. mars 2013. 49	49
Figur 5-7: Klassifisering av risiko for kvikkleireskred på Esp, Byneset. Hentet fra www.NVE.no/skrednett 28. april 2013.....	50
Figur 5-8: Oversikt av utførte grunnundersøkelser i nærheten av skredgropa på Esp, Byneset [37]. ....	52
Figur 6-1: Oversiktsbilde over kvikkleireskredet og NTNU sine borpunkt på Esp, Byneset. Henter fra maps.google.no 18.03.2013. ....	56
Figur 6-2: Topografi ved NTNU2 før og etter kvikkleireskredet. Bildet til venstre indikerer skredretning til skredmassene. Hentet fra kart.gulesider.no og maps.google.no den 21. mars 2013. ....	57
Figur 6-3: Utsikt over skredgropa på Esp, Byneset, retning nord. Bildet ble tatt 14.05.2013.....	57
Figur 6-4: Venstre: Erosjon langs bekkeløpet som renner sørover lokalisert like vest for skredgropa. Høyre: Oppløst overgang ved oppdemmet bekkeløp. ....	59
Figur 6-5: Venstre: mulige traseer til hull NTNU 2 over skredmassene. Høyre: skredmassene på traseen sett mot øst. ....	60
Figur 6-6: CPTU sonderinger fra NTNU 1101 og NTNU 2.....	61
Figur 6-7: Materialklassifisering etter Robertson, 1990. ....	62
Figur 6-8: Samlet kornfordeling fra prøvehull NTNU1101.....	64
Figur 6-9: Prosentvis innhold av leire og silt. ....	65
Figur 6-10: Samlet kornfordeling fra prøvehull NTNU 2.....	67



Figur 6-11: Prekonsolideringsspenning fra NTNU 1101 og NTNU 2 samt in situ spenning for grunnvannstand på 1 og 3 m dybde.....	68
Figur 6-12: Variasjon av OCR med dybden av utførte forsøk for grunnvannstand i 1 og 3 m dybde.....	69
Figur 6-13: Resultater av ødometerstivhet og modultall i profilene.....	71
Figur 6-14: Resultater for konsolideringskoeffisienten i profilene.....	72
Figur 6-15: Betydningen av prøve kvalitet i ødometerforsøk.....	73
Figur 6-16: q-p plot fra NTNU 1101 med brudd linjer.....	75
Figur 6-17: Mohr-Coulomb kriteriet illustrert i et Mohr-diagram [5]. .....	75
Figur 6-18: Resultatene fra CAD428 med rød bruddlinje beregnet fra CAU734.....	77
Figur 7-1: Utviklingen av vertikal tøyning under forsøkene. ....	79
Figur 7-2: Åpning av blokkprøve fra Møllenberg, Trondheim den 22. mai 2013.....	80
Figur 7-3: Bilder fra trimming av prøver. Venstre: Stort hull etter grusstein i CP-mob-0,99. Midten: Snart ferdig trimming av CP-mob-0,85. Høyre: Eksempler av grus funnet ved trimming. ....	82
Figur 7-4: Porevannsutpressing under konsolideringsfasen. ....	83
Figur 7-5: Variasjonen av celletrykket i konsolideringsfasen i treaksialforsøkene. ....	84
Figur 7-6: Variasjonen av celletrykket i skjærfasen i treaksialforsøkene .....	84
Figur 7-7: NTNU plot. Effektivt celletrykk mot mobilisert skjærspenning. ....	85
Figur 7-8: Tøyningshastigheten gjennom forsøkene. ....	86
Figur 7-9: Mobiliseringsgrad mot bruddtøyning. ....	87
Figur 7-10: Mobiliseringsgrad plottet mot tid i skjærfasen før brudd. ....	87

## Tabelliste

Tabell 2-1: Vanlig typer kation som tar del i ioneutveksling i norsk marin leire [10]. ....	16
Tabell 2-2: Litteratur om kryp.....	21
Tabell 3-1: Måling av prøve kvalitet i henhold til T. Berre.....	26
Tabell 3-2: Måling av prøveforstyrrelse [24]......	26
Tabell 3-3: Bildeforklaring av apparatoppsett. ....	27
Tabell 3-4: Tegningsforklaring av innbygd leirprøve.....	28
Tabell 3-5: Funksjonalitetene til apparatet.....	28
Tabell 3-6: Kalibreringsdatafil til apparatet.....	29
Tabell 4-1: Typiske verdier for tidmotstandstallet for leire (KILDE). ....	41
Tabell 5-1: Faregradklasser [36]. ....	49
Tabell 5-2: Konsekvensklasser [36]......	50
Tabell 5-3: Oversikt over ferdige rapporter av grunnundersøkelser i nærhet av skredgropen. ....	51
Tabell 6-1: Materialbeskrivelse for de forskjellige sonene [42]. ....	62

Tabell 6-2: Parameter og resultat fra indekstester fra NTNU 1101.....	64
Tabell 6-3: Parameter og resultat fra indekstester fra NTNU 2.....	66
Tabell 6-4: Parametere fra ødometerforsøk.....	68
Tabell 6-5: Beregning av tykkelsen av erodert løsmasse ved NTNU 1101.....	70
Tabell 6-6: Parametere fra treksialforsøk.....	74
Tabell 7-1: Indekstest fra høsten 2011 og våren 2013.....	81
Tabell 7-2: Konsolideringsspenning og mobiliseringsgrad.....	83

## Forkortelser

<b>Forkortelse</b>	<b>Forklaring</b>
<i>CAU(C)</i>	- Anisotrop konsolidert, undrenert trykkforsøk
<i>CIU(C)</i>	- Isotrop konsolidert, undrenert trykkforsøk
<i>CAD(C)</i>	- Anisotrop konsolidert, drenert trykkforsøk
<i>CRS</i>	- Konstant tøyingsrate
<i>CP</i>	- Konstant spenning
<i>OCR</i>	- Grad av overkonsolidering
<i>POP</i>	- Differansen mellom dagens, og tidliger overlagingstrykk
<i>TSP</i>	- Totalspenningssti
<i>ESP</i>	- Effektivspenningssti
<i>OC</i>	- Overkonsolidert leire
<i>NC</i>	- Normalkonsolidert leire
<i>LVDT</i>	- Linear Voltage Displacement Transduser (deformasjonsmåler)
<i>CPTU</i>	- Udrenert trykksondering, -spissmotstand og sidenfriksjon
<i>RCPTU</i>	- Udrenert trykksondering med resistivitetemålinger
<i>NVE</i>	- Norges Vassdrags- og Energidirektorat
<i>NGU</i>	- Norges Geotekniske Undersøkelse
<i>SVV</i>	- Statens Vegvesen
<i>NGI</i>	- Norges Geotekniske Institutt
<i>SGI</i>	- Svensk Geotekniska Institut



# 1 Innledning

Denne oppgave er en masteroppgave som er skrevet ved faggruppe Geoteknikk, institutt for Bygg, Anlegg og Transport på NTNU våren 2013. Masteroppgaven bygger videre på en prosjektoppgave skrevet høsten 2012 på samme tema, og er en del av et tverretatsprogram for utbedring av sikkerhetsfilosofi ved geoteknisk arbeid med sprøbruddsmateriale. Innledningen beskriver bakgrunnen, problemstillingene, begrensninger og disposisjonen til oppgaven.

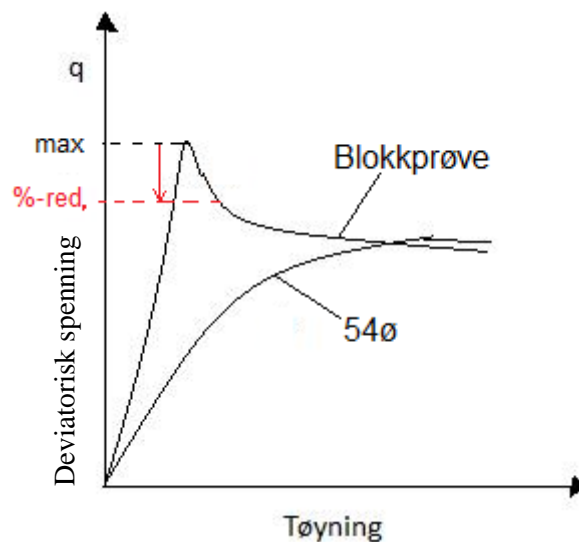
## 1.1 Bakgrunn

Mange bebygde områder i Norge ligger i påviste kvikkleiresoner. Gjennom det nasjonale etatsprogrammet NATURFARE-Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS), skal sikkerhetsfilosofi ved kvikkleire utbedres. Områdestabilitet i kvikkleiresoner er en viktig faktor siden små initialskred kan utløse større skred, som igjen kan dekke store områder. Målsetningen til punkt 6 i delprosjekt 6: Kvikkleire, i etatsprogrammet NIFS er:

*«Samordning av etatenes regelverk og sikkerhetsfilosofi innenfor temaer som områdestabilitet og lokalsikkerhet for tiltak i terreng med forekomst av kvikkleire eller sprøbruddmateriale.» [1]*

Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) og Statens Vegvesen har i dag hver sine anbefalinger for total sikkerhet i naturlig skråninger med sprøbruddsmateriale [2, 3]. Statens Vegvesen anbefaler prosentvis forbedring av initial sikkerhetsfaktor ved inngrep, mens Norges Vassdrags- og Energidirektorat anbefaler en kombinasjon av prosentvis forbedring av total sikkerhetsfaktor ved inngrep og reduksjon av materialkapasitet til sprøbruddsmateriale.

NVE sin veileder fra 2011, «Veileder for vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper», anbefaler i dag 15 % reduksjon av målt maksimal aktiv skjærstyrke, eller peak-verdi, fra blokkprøver med kvikkleire og 10 % reduksjon på andre sprøbruddsmaterialer.



**Figur 1-1: Redusering av peak-veriden på forsøk fra blokkprøver.**

En begrunnelse for reduksjonen er risiko for progressive brudd ved utnyttelsen av peak-verdien fra blokkprøvene som er betydelig høyere enn forsøk tatt med 54 mm sylindere. En annen grunn er tidseffekter. Med tidseffekter menes effekten av ulik påtvunget tøyningshastighet og krypeffekter. Tåler materialet å være høyt mobilisert over lengre tid? Eller hvor høyt tåler materialet å være mobilisert over en bestemt tidsperiode? Siste store kvikkleireskred i Trøndelag ble utløst 1. januar 2011 på Esp, Byneset. Mange

grunnundersøkelser og kartlegging har blitt utført i området i forbindelse med sikringsarbeid. Det er valgt å undersøke krypeffekter på materialet i området rundt skredgropa.



**Figur 1-2: Bilder av kvikkleireskredet på Esp, Byneset tatt i april og mai 2013.**

## **1.2 Problemstilling**

I forbindelse med Delprosjekt 6:Kvikkleire, punkt 6, skal materialoppførselen til kvikkleire undersøkes ved udrenert skjærkryp i treaksiale trykkforsøk. Forsøkene er ment å gi bedre materialforståelse, som igjen kan bidra til arbeidet med å fastslå tillatt mobiliseringsgrad ved materialfaktor og prinsippet om prosentvis reduksjon av bruddtopp på høykvalitetsprøver av sprøbruddsmateriale.

Før undersøkelsene av kan begynne må et jordprofil med egnet materiale, for opptak av høykvalitets blokkprøver, kartlegges. Det er allerede valgt å fokusere på området rundt skredgropen på Esp Byneset. I den utførte prosjektoppgaven ble det utført prøveåpning av leirprøver tatt med stålsylindere fra 3,0 – 6,8 m dybde i borpunkt NTNU1101. Fra grunnundersøkelsene i prosjektoppgaven ble det ikke påvist kvikkleire. Sonderinger indikerte at det antageligvis var mer sensitivt materialet dypere i profilet. En del av mulighetsstudiet vil være å fullføre kartleggingen av profil NTNU1101 og undersøke leirprøver tatt med stålsylindere som ble tatt opp 26.11.2012, fra 7,0 – 10,8 m dybde.

I tillegg til et egnet materiale må apparatet som skal kjøre og registrere de udrenerte skjærkrypforsøkene være tilpasset formålet med prosjektet. Apparatet må være kompatibel med forsøkestypene, og registrer reelle verdier, slik at resultatene kan brukes til å studere materialoppførselen.

Ved hjelp av litteraturstudiet fra prosjektoppgaven vil det bli foreslått et rammeverk for utførelse av forsøksserier med udrenerte skjærkrypforsøk på ferske blokkprøver.

## 1.1 Begrensing

Utviklingen av oppgaven er avhengig om resultatene fra grunnundersøkelsene viser at jordprofilet egner seg for opptak av blokkprøver eller ikke. Det har gått med tid til å evaluere et nytt borpunkt da det første borpunktet viste seg å bestå av uegnet materiale.



**Figur 1-3: Skredkant bak etterskred og klargjøring av treaxsapparat.**

Det ble forsøkt å rigge til borryggen for opptak av blokkprøver, men på grunn av sesongen ble det ikke aktuelt innenfor tidsrammen til oppgaven.



**Figur 1-4: Oppløst ovegang og åpnet blokkprøve fra Møllenberg.**

De utførte skjærkrypforsøkene ble derfor begrenset til å bruke tilgjengelig materialet som var på kjølelageret. Like før innlevering ble det utført en forsøksserie med treaxsial skjærkryp på prøver fra en blokkprøve tatt opp august 2011 på Møllenberg, Trondheim. Siden apparatet og forsøksopplegget bare er benyttet til en forsøksserie, vil det ikke være mulig å avkrefte at det må gjøres flere justeringer i tillegg til de som blir nevnt i denne oppgaven.

### **1.3 Disposisjon**

Etter dette innledende kapittelet er oppgaven i grove trekk delt opp i et kapittel med materialeegenskaper til leire som berører arbeidet. Så blir utstyret som skal brukes og det utførte mulighetsstudiet presentert. Dette kapittelet er preget av rekkefølgen på når de forskjellige oppgavene har blitt løst. Den avsluttende delen består av resultatene og tilhørende diskusjon med en konklusjon og en oversikt av hvilke arbeidsoppgaver som kan arbeides videre med.





## **2 Kryp i norsk leire**

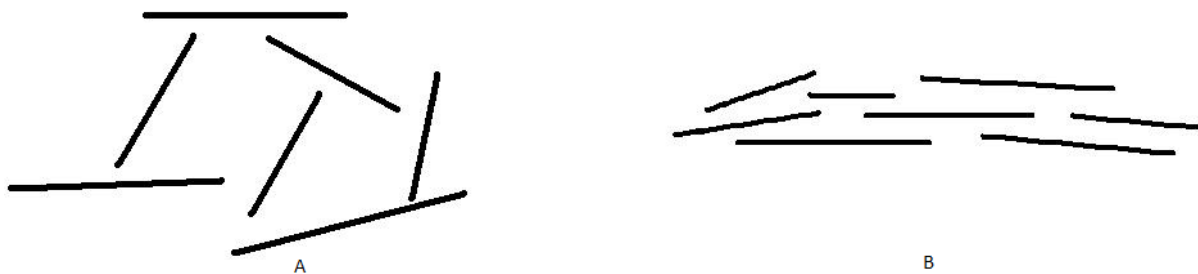
For å forstå hensikten med å undersøke udrenert skjærkryp i kvikkleire, er det viktig å forstå prøvematerialet og de forskjellige mekanismene som inngår ved skjærkryp.

## 2.1 Norsk leire

Løsmassene i Norge er dannet over mange tusen år med erosjon fra isbreer og elver. Isbreene har knust og skuret grunnfjellet, fraktet større og mindre partikler med seg i breen, eller ved hjelp av breelver. Etter isbreene sine mange framskyvelser og tilbaketrekninger under den siste smelteperioden for ca. 9 000 år siden, er det dannet løsmasser av både lagdelte sedimenter og sedimenter med stor mektighet. Etter hvert har sedimentene dannet en kornstruktur ved hjelp av trykk og kjemiske bindinger. Løsmasser blir gjerne definert ved hjelp av fraksjonene med de forskjellige kornstørrelsene, og leire utgjør den minste kornstørrelsen. Leirpartikler har en ekvivalent diameter mindre enn 2  $\mu\text{m}$  (0,002 mm) [4].

### 2.1.1 Salt- og ferskvannsavsetninger

Det skilles mellom leire avsatt i salt- og ferskvann da saltionene har påvirket kornstrukturen. Figur 2-1 illustrerer forskjellen mellom marin leire og ferskvannsleire.



Figur 2-1: Kornskjelettet i leire avsatt i saltvann (a) og ferskvann (a)[4, 5].

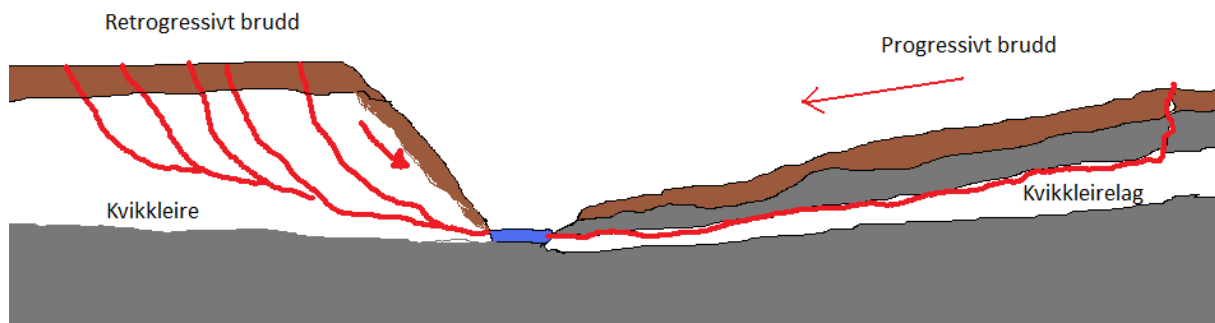
Leire er et kohesivt materiale og vil danne bindinger med nabokorn, som til slutt utgjør et kornskjelett. Ionene i saltvannet gjorde at de elektrisk ladde flakene ikke sedimenterte som i ferskvann, men dannet et mer åpent kornskjelett. Se figur 2-1. Porene er fylt med saltvann som opprettholder stabiliteten til det åpne kornskjelettet [4].

### 2.1.2 Kvikkleire

Etter tilbaketrekningen av isbreene i Skandinavia har avlastingen ført til at Norge har hatt en betydelig landheving [4]. Dette har gjort at saltvannsedimenter har blitt hevet over dagens havnivå. Flere tusen år med landheving og erosjon har ført til saltutvasking av porene i den marine leiren. Utvaskingen av ionene gjør at bindingskreftene i kornskjelettet reduseres, og når saltinnholdet er blitt tilstrekkelig redusert av ferskvannsgjennomstrømning, blir kornskjelettet ustabil. Den saltutvaskede, marine leiren er da blitt omdannet til ustabil kvikkleire [4].

Ved forstyrrelse, vil porevannet bli frigitt fra porene. Mengden porevann gjør at leirpartiklene vil flyte i sitt eget porevann i stedet for å danne forbindelser med nabopartiklene, og legge seg som leirpartiklene i figur 2-1 b). Mangel på vannbindende ioner og kontakt mellom leirflak gjør at kvikkleire mister styrke ved omrøring og blir omdannet til noe som kan minne om en suppe [4].

Den suppelignende materialeegenskapen kan føre til at store skråninger kan kollapse og «renne» bort. Et initialscred kan eksempelvis bli utløst av erosjon i en bekk som punkterer en kvikkleirelomme, se figur 2-2. Kvikkleire gjør at skredmassene vil renner bort fra skredgropa. Mangel på stabiliserende motvekt av utrast materiale vil føre til belastning av skredkanten som står igjen, dette kan føre til et nytt brudd. Dette kalles et retrogressivt brudd og vil fortsette til skredkanten er stabil. Kvikkleirescred kan også være i slake skråninger hvor store flak rives løs og glir på et lag av omrøst kvikkleire. Figur 2 illustrer bruddflatene på disse skredtypene.



Figur 2-2: Eksempler på kvikkleirescred ned mot en bekk eller ravine [5].

I Norge har vi hatt flere store kvikkleirescred de siste 40 årene. Eksempler på kvikkleirescred i Trøndelag er Rissa i 1978, Kattmarka i 2009 og på Byneset så sent som i januar 2012 [1].

I tilknytning til geoteknikk beskrives gjerne kvikkleire ved hjelp av materialeegenskapene. Vanninnholdet,  $w$ , vil på grunn av det store porevolumet normalt ligge over flytegrensen,  $w_L$ . Saltinnholdet i kvikkleire er gjerne mindre enn 5 g/L porevann [6]. Sensitivitet  $S_t$ , er en mye brukt parameter som betegner forskjellen mellom udrenert skjærstyrke før og etter omrøring. På grunn av at målt sensitivitet er avhengig prøvekvaliteten før omrøring, er ikke sensitiviteten nok til å definere kvikkleire. Genrelt blir  $S_t > 30$  klassifisert som meget sensitivt [7]. Kvikkleire defineres som en leire som har omrørt skjærstyrke,  $s_{ur} < 0,5$  kPa [7]. I praksis betyr dette at kvikkleire vil kollapse om den blir forstyrret, nesten som et korthus, og flyte i sitt eget porevann. Kvikkleire sin egenskap til å miste all styrke og renne bort i nesten flatt terreng er det som gjør den meget farlig.

## 2.2 Konsolidering

Å konsolidere betyr å styrke, slå sammen eller forene. I geoteknikk betegner begrepet konsolidering, jorda sin evne til å tilpasse spenningsforandringer. Med konsolidering er det ofte også snakk om setninger og strukturendring, over- og normalkonsolidering primær- og sekundærkonsolidering. Setningene er avhengig av over- og normalkonsolidering, som kan anses som tilstander, mens primær- og sekundærkonsolidering beskriver setninger med et slags tidsperspektiv. Dette kapittelet

skal ta for seg primærkonsolidering, da neste kapittel omhandler kryp og langtidseffekter. Det er viktig å påpeke at setningsmekanismene ikke er fraskilt, men overlapper hverandre. Alle figurene er skisser eller illustrasjoner av forsøk hentet fra litteraturen.

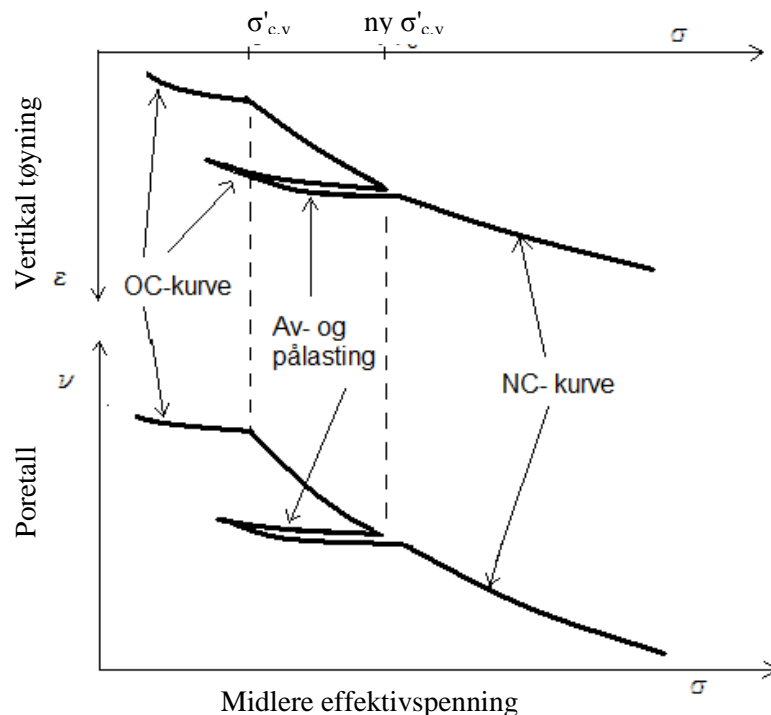
### 2.2.1 OC, NC og geologisk konsolidering

Overkonsolidert leire (OC-leire) er leire med lavere vertikal in situ spenning enn prekonsolideringsspenning. Prekonsolideringsspenningen til en leire er betegnelsen på den høyeste spenningen leiren har vært konsolidert til ved direkte belastning og tidseffekter. Overkonsolideringsgraden, *OCR*, er definert ved:

$$OCR = \frac{\sigma_{c,v}'}{\sigma_{0,v}'} \quad (2-1)$$

Hvor:  $\sigma_{0,v}'$  = vertikal in situ spenning, [kPa]  
 $\sigma_{c,v}'$  = vertikal prekonsolideringsspenningen, [kPa]

Normalkonsolidert leire (NC-leire) er leire som er utsatt for spenning som er større enn, eller lik den gamle prekonsolideringsspenningen. I figuren under illustrerer typisk oppførsel for leire og som viser betydningen av OC- og NC-leire.



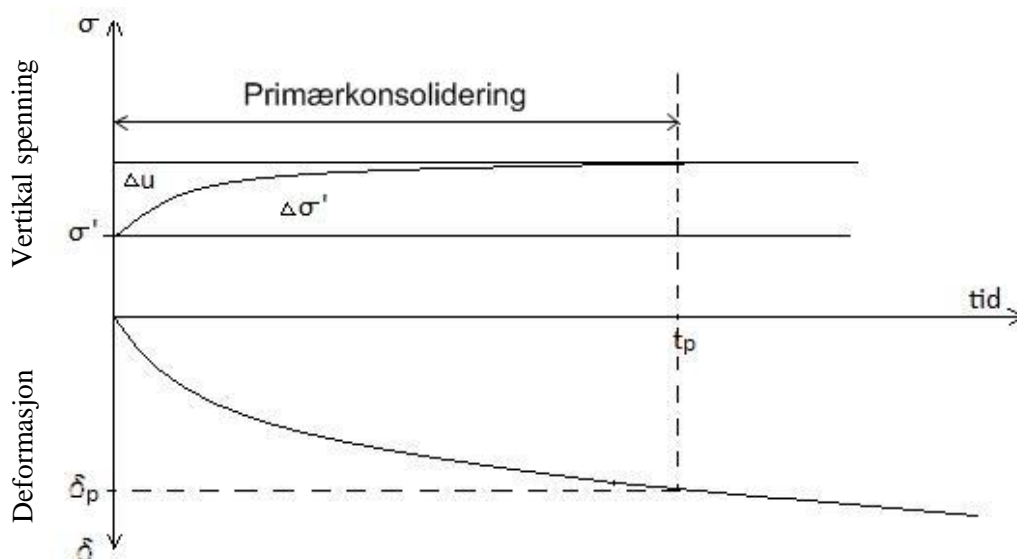
**Figur 2-3: Sammenhengen mellom et spenning- tøyning diagram og spenning- poretall diagram fra et 1D kompresjon.**

Figur 2-3 illustrer hvordan stivheten til leiren endres om den har vært konsolidert høyere en dagens in situ tilstand (OC), enn i NC-område. Grunnen til at av- og pålastingskurvene ikke overlapper hverandre, og at den nye prekonsolideringsspenningen er noe høyere enn spenningen var før avlasting begynte, er på grunn av en kohesjon som blir dannet med tiden.

Tidligere er dannelse av leire forklart ved at veldig små flak med bergmineraler grupperte og sedimenterte lagvis. Etter trykk fra overliggende avsetninger og flere tusen år med spenningsendringer og kontakt med naboflak, ble løsmassene konsolidert og kornskjellettet dannet. Med dette utgangspunktet vil det tenkes at de fleste jordarter vil være normalkonsolidert, da uberørt landskap har hatt samme spenningstilstand etter sedimentasjonene sluttet. Det er ikke tilfelle i Norge da landheving kan ha ført til at elver og bekker erroderte bort flere titalls meter med løsmasser, og dermed senke in situ spenningen. I tillegg vil geologisk aldring også påvirke prekonsolidering. Med det menes at leire kan virke å «huske» og ha vært belastet høyere enn det den faktisk har vært belastet. Denne tidseffekten vil bli nærmere forklart i kapittel om langtidseffekter.

### 2.2.2 Primærkonsolidering

Ved ekstra belastning, vil leire presses sammen og bygge opp et poretrykk. Etter en tid vil poretrykket utjevnes og effektivspenningene øke. Primærkonsolidering betegner konsolidering i tidlig fase når setningene er mest avhengig av det oppbygde poretrykk. Tarazghi presenterte den klassiske konsolideringsmodellen, som stemmer godt overens med primærkonsolidering, da utjevning av poreovertrykk er største bidragsyter til setninger [8]. Primærkonsolidering er en overgangsfase fra at det oppbygde poreovertrykket bærer den påførte belastningen, til at kornskjellettet blir omstrukturert og bærer den nye belastningen. Se figur 2-4.



Figur 2-4: Utvikling av effektivspenningene og setningene etter belastning [6].

Modellen baserer seg på at det finnes en unik sammenheng mellom tøyning og effektivspenning som er uavhengig av tid. Tarazghi mente at setningsforløpet var avhengig av poreovertrykket som ble skapt ved endring av effektivspenningene. Se figur 2-4. Dette er forenklinger som har vist seg å være noe grove, og ikke stemme for langtidssetninger [8].

Forenklingene gjorde det derimot mulig for Tarazaghi å løse differensialligningen om setninger ved visse betingelser. For endimensjonal konsolidering, og ved å anta at ødometerstivheten og permeabiliteten er konstant med tiden, kan ligningen forenkles slik:

$$\frac{du}{dt} = \frac{M}{\gamma} * \frac{\partial}{\partial z} \left( k * \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2-2)$$

Som ved konstant  $k$  med dybde, blir:

$$\frac{du}{dt} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2-3)$$

Hvor konsolideringskoeffisienten er definert som:

$$c_v = \frac{k * M}{\gamma_w} \quad (2-4)$$

Hvor  $k$  = permeabilitet [m/s]

$M$  = ødometermodul [kPa]

$\gamma_w$  = tyngdetettheten til vann [kN/m<sup>3</sup>]

$z$  = dybde under terreng [m]

Ligning (2-2) er gyldig ved følgende betingelser [8]:

- Homogen og mettet masse
- Darcys lov er gjeldende ( $k = -vi$ )
- En-dimensjonal porevannstrømning og tøyning
- Endring av poretrykk er lik endring av effektivspenning
- Tøyningene er kun avhengig av effektivspenningene
- Porevannet og leirpartiklene er inkompressible

Ved å løse differensialligningen over, og innføre begrepet primær konsolideringsgrad og tidsfaktor

$$U_p = \frac{\delta(t)}{\delta_p} \text{ og } T_v = \frac{t}{t_p} \quad (2-5)$$

og løse ligning (2-3), og ved å vite tøyingsprofilen, kan man utlede ligning (2-6):

$$T_v = \frac{c_v}{H^2} * t \rightarrow t = T_v \frac{H^2}{c_v} \rightarrow t_p = \frac{H^2}{c_v} \quad (2-6)$$

Hvor  $U_p$  = primær konsolideringsgrad [-]

$t$  = tid [s]

$t_p$  = tid ved ferdig primærkonsolidering [s]

$T_v$  = tidsfaktor fra ferdig konsolidering [-]

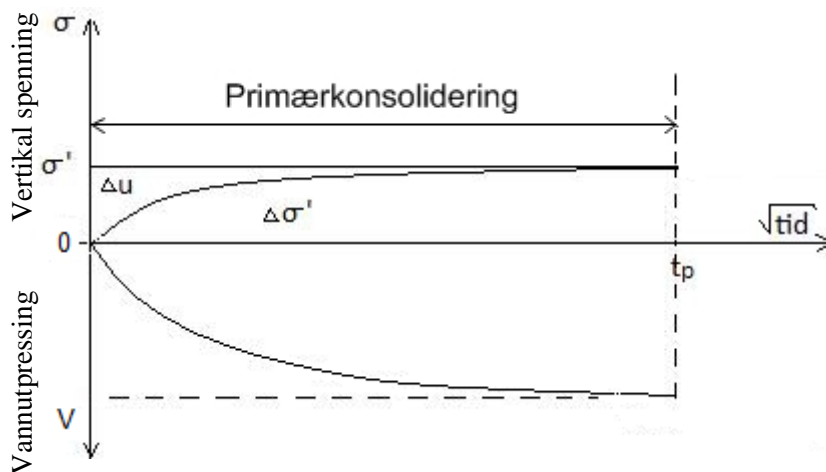
$H = \text{Dreneringshøyde [m]}$

Ved å sette tidsfaktoren,  $T_p$ , lik 1 (slutt på primærkonsolidering), kan man beregne  $t_p$ . På denne måten kan man finne et estimat for endt konsolidering. Dette er nyttig å bruke ved setningsberegninger og konsolidering av treksialforsøk.

### 2.2.3 Treksialforsøk

Ved utførelse av treksialforsøk, ønsker man som regel å primærkonsolidere jordprøven til en spenningstilstand. Før prøven ble tatt opp av bakken, er prøvestykket konsolidert til in situ spenning, med antageligvis en litt høyere prekonsolidering. Etter å ha blitt hevet opp og kjørt til laboratoriet, har prøven sannsynligvis et spenningsnivå tilnærmet null. Konsolideringen av prøven vil påvirke resultatet, så det er viktig å vite hvordan, og på hvilket nivå det er konsolidert til, både i forhold til in situ vertikalspenning, prekonsolideringsspenningen og deviatorisk spenningsforhold [9].

Konsolideringstiden kan beregnes ved hjelp av ligning (2-6). På grunn av ofte mangel på entydig  $c_v$ , vil beregnet tid heller ikke bli entydig. Da er det mulig å se på effekten av primærkonsolideringen for å bestemme konsolideringstiden. Med det menes at primærkonsolideringen er ferdig når poretrykket er utjevnet. Den eneste måten porevannet kan utjevnes i et lukket system som i et treksialforsøk, er ved hjelp av porevannutpressing. Dette betyr at når det ikke lengre blir presset ut mer porevann under konsolideringsfasen i forsøket, er primærkonsolideringen ferdig, som vist i figur 2-5.



Figur 2-5: Prinsippskisse på porevannutpressing og spenningsutvikling under konsolidering i treksialforsøk.

Mengden porevann som blir presset ut er avhengig av prøve kvaliteten, noe som vil bli forklart senere. Etter at kurven for porevannutpressingen virker å tangere et konstant volum  $V$ , kan man anta at primærkonsolideringsfasen er ferdig og at det er klart for å starte skjærforsøket eller å konsolidere til et annet nivå.

## 2.3 Kryp

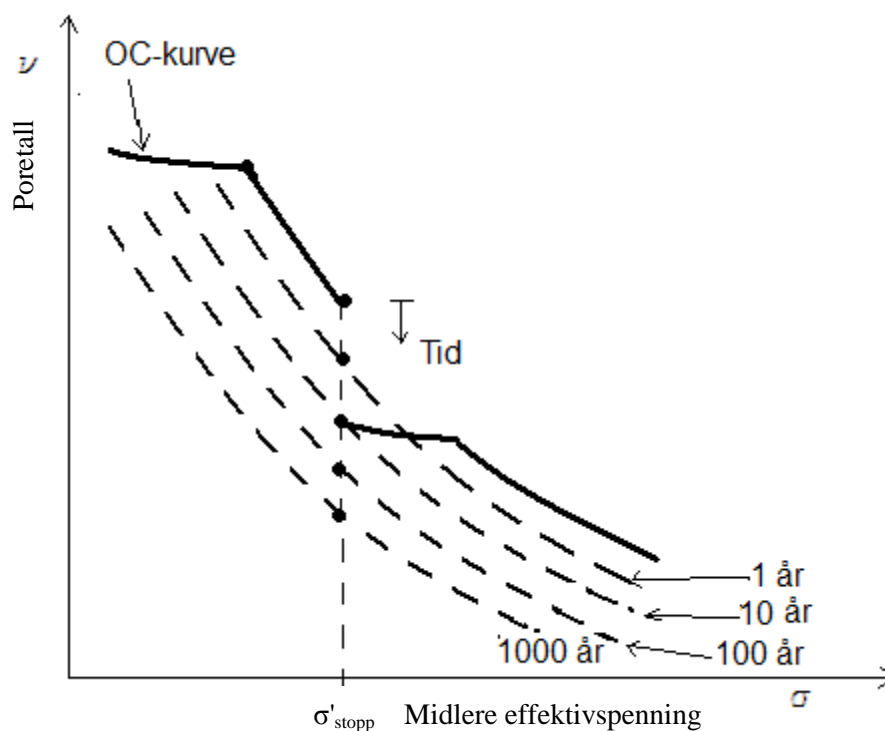
Etter at poreovertrykket er utjevnet, og kornskjelettet bærer belastningsendringen, vil det vi kaller sekundærkonsolidering, være den største bidragsyteren til setningene og



omstrukturering jorda på grunn av høyere effektivspenning. Denne prosessen starter allerede før primærkonsolideringen er ferdig på grunn av økt effektivspenning, men i et tidsperspektiv på flere tusen år er det naturlig å skille ved endt primærkonsolidering [10]. Kryp er et begrep som betegner setningene under sekundære konsolideringsfasen. Sekundær-konsolidering er en fase som i geoteknisk forstand, ikke stopper. Mens en geotekniker gjerne er interesserte i 10-, 50- og 100-års setninger, så beskriver Bjerrum forsinket, eller geologisk konsolidering som en prosess som pågår over 3 000 år for noen jordarter. Blant dem er kvikkleire [10].

### 2.3.1 Tidseffekter

Krypsetninger opptrer under konstant effektivspenninger. Setningene kommer av at kornstrukturen siger litt sammen etter omstrukturering. I tillegg til nedbrytningen vil kornskjelettet danne nye bindinger, som gjør at ytterligere belastning vil skape mindre setning, enn om den belastningen hadde blitt påført med en gang. Figur 2-6 viser hvordan kompressibilitetsmotstand utvikles i leire over tid og økning av prekonsolideringsspenningen.



Figur 2-6: Prinsippkisse av reservemotstand mot kompressibilitet som utvikles i leire over tid [10].

### 2.3.2 Kjemiske bindinger

Bjerrum observerte på laboratoriet at om leire blir gitt tid, vil det dannes en kohesiv binding som gjør den mindre kompressibel ved videre belastning [10]. Det går ut på at etter flere tusen år med kontakt, har flakene i kornskjeletter dannet bindinger seg imellom. Bjerrum vurderte virkningen av tre forskjellige bindingstyper i norsk leire.

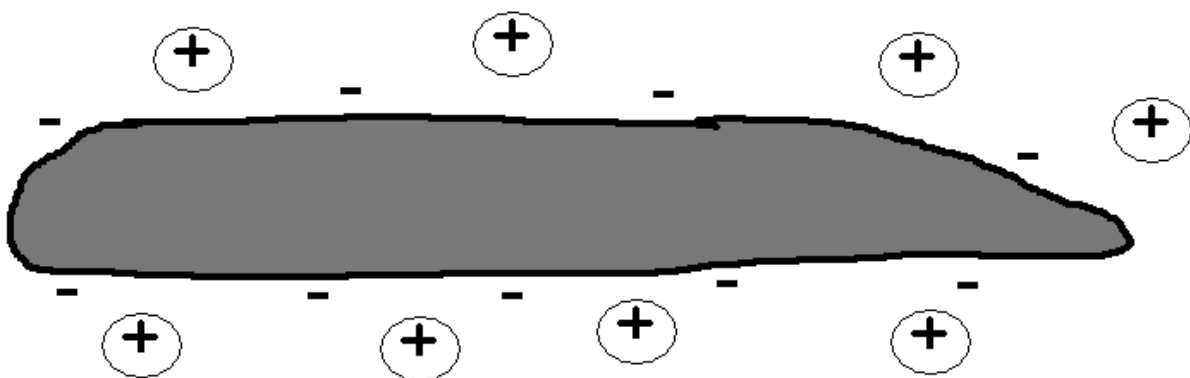
- van der Waals krefter/kaldsveising

- sementerings
- utveksling av kationer

Bjerrum antok at det finnes en type kaldsveist binding i alle leirarter, og at effekten av dette i norske leirer har muligvis bidratt til et uendret vanninnhold etter utvasking av saltvannet i porevannet. Bindingene har derimot ikke betydelig effekt for styrke eller stivhet [10].

Noen av mineralene i leirmassene, har sementerende egenskaper. Organisk materiale, aluminium, jern, gips og karbonater er noen av disse mineralene. Effekten er begrenset til å styrke forbindelsene i kornstrukturen, men har vist seg å ha en betydelig effekt. Denne sementerings effekten har ikke blitt påvist i norske leirer, da den er for svak for til å måles eller ikke finnes, har den vist seg å være utslagsgivende i sammenlignbar kanadisk leire [10, 11]. Sementering har ført til at kanadisk leire med ca. lik plastisitet, vanninnhold og sensitivitet som norsk leire har betydelig høyere skjærstyrke [10, 11].

I norske leirer er hovedårsaken til denne økende inkompressibelheten en kjemisk binding som oppstår ved utskiftning av kation i flakene [10].



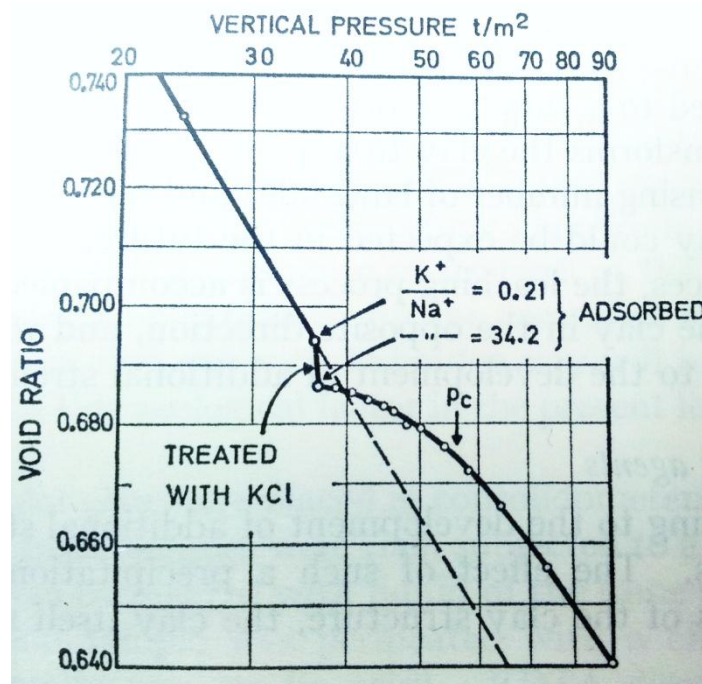
**Figur 2-7: Negativ ladet leirpartikkel med tilfestede kation.**

Leirmineraler består av nett med negativt ladning. De negative ladningene blir balansert av kation som fester seg til overflaten. Utvekslingen drives av endringer av kation i porevannet. Slike endringer har kommet etter at marin leire har blitt hevet over havnivå og vannet ut med ferskvann og regnvann [10]. Tabellen under viser en oversikt over kation som tar del i ioneutveksling i norsk marin leire.

Tabell 2-1: Vanlig typer kation som tar del i ioneutveksling i norsk marin leire [10].

Type kation	Kilde
H <sup>+</sup>	Vann og oppløsning av CO <sub>2</sub> i organisk materiale
Na <sup>+</sup>	Sjøvann
Ca <sup>++</sup>	Sjøvann og fossiler
Mg <sup>++</sup>	Sjøvann og oppløsning av kloritt
Al <sup>+++</sup>	Oppløsning av kloritt og feltspat
Fe <sup>+++</sup> (og Fe <sup>++</sup> )	Oppløsning av kloritt
K <sup>+</sup>	Oppløsning av feltspat og glimmer

Saltvann er rikt på Na<sup>+</sup>, mens regnvann kan inneholde oppløst oksygen, O<sub>2</sub>, og karbondioksid (CO<sub>2</sub>). Omgivelsene til leiren gjør at regnvann vil tynne ut saltvannet i porene. I naturen er dette en meget langsom prosess, men kontinuerlig, noe som gjør at leiren vil bli påvirket på sikt. Oppløst CO<sub>2</sub> senker pH-verdien i porevannet og vil skape en ubalanse, om den synker tilstrekkelig. Denne ubalansen motvirkes ved at kation på kornoverflaten løses ut i porevannet [10]. Figur 2-8 viser et forsøk Bjerrum utførte på en leire fra Drammen som ble konsolidert høyere enn prekonsolideringen før den har ble utsatt for vann med høyt innhold av K<sup>+</sup>-ion. Mengden K<sup>+</sup>-ion blir målt relativt til mengden Na<sup>+</sup> ved hjelp av en K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>-rate. Etter at prøven var normalkonsolidert til ca. 360 kPa ble K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>-raten økt fra 0,21 til 34,2.



Figur 2-8: Normalkonsolidert prøve utsatt for vann med høyt K<sup>+</sup>-innhold [10].

Forsøket viser hvordan endring av mengdeforholdet av kation, drastisk endrer leiren sin prekonsolidering fra ca 360 kPa til ca.560 kPa [10]. Ved å se på figur 2-8 og figur 2-6, kan man se en sammenlignbar utvikling, bortsett fra at den naturlige prosessen tar lang tid.

Resultatet betyr at leire, etter tid, vil øke *OCR*. Det er derfor vanlig i marin leire, som ikke er blitt utsatt for stor grad av erosjon av overliggende løsmasser, å måle en *OCR* over 1,0.

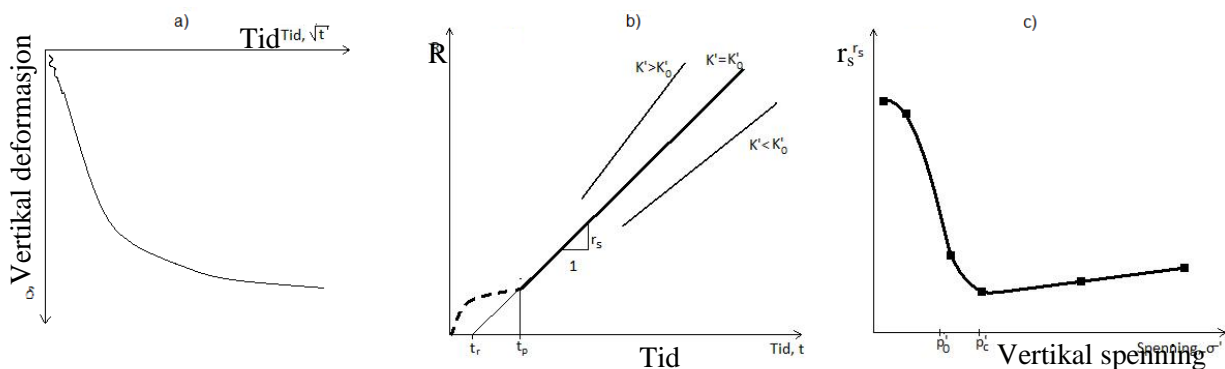
### 2.3.3 Tidsmotstand- Janbu

Etter pålastning og primærkonsolidering vil tøyningshastigheten synke. Om leiren ikke går til brudd, vil leiren nærme seg de geologiske betingede langtidsdeformasjoner for det aktuelle området [6]. Som tidligere forklart, vil langtidssetninger foregå lenge etter primærsetningene har avsluttet. Et hjelpemiddel for beregning av langtidssetninger er tidsmotstanden *R*, presentert av Janbu, som er definert ved:

$$R = \frac{dt}{d\varepsilon} \quad (2-7)$$

Fra ligning (2-7) blir tidsmotstanden definert som tid per tøyning. Tidsmotstanden kan finnes ved trinnvis ødometerforsøk. Ved et lasttrinn vil man anta store tøyninger like etter pålastingen før det blir stabilisert og så kanskje blir veldig små. Se figur 2-9 a).

Prinsippkissen i figur 2-9 b) viser hvordan tidsmotstanden varierer med tiden etter en belastningsendring i ødometerforsøk.



**Figur 2-9: a) Tidsforløpet for setningene ved et lasttrinn i et ødometerforsøk. b) Utviklingen av tidsmotstanden i et lasttrinn. c) Tidsmotstandstallet ved forskjellig spenninger i forhold til prekonsolideringsspenningen.**

Etter en viss tid,  $t_p$ , blir tidsmotstanden lineær. Helningen på denne delen av kurven er tidsmotstandstallet  $r_s$  og defineres for  $t > t_p$  ved:

$$R = r_s(t - t_r) \quad (2-8)$$

Hvor  $t_r$  = referansetid [s], se figur 2-9 b)

$r_s$  = tidsmotstandstallet [-] og defineres for  $t > t_p$  ved

$$r_s = \frac{dR}{dt} \quad (2-9)$$

Den tidligste delen av tidsmotstanden stemmer overens med teorien om primærsetninger med kvadratisk tidsforløp, hvor  $t_p$  betegner tiden for endt primærkonsolidering. Se ligning (2-6) [8]. Ved å samle tidsmotstandstallene fra samtlige lasttrinn i et ødometerforsøk, kan

det vises at tidsmotstandstallet er avhengig av in situ spenning og prekonsolideringen. Deviatorisk spenningsforholdet vil også ha en effekt på  $r_s$ , når for lav  $K_0'$  kan føre til overbelastning [6]. Figur 2-9 c) viser en prinsippskisse av variasjonene til tidsmotstandstallet i forhold til in situ tilstand og prekonsolideringsspenningen [6]. Punktene indikerer eksempelvis trinnbelastningen.

Ved hjelp av begrepet tidsmotstandstall kan man beregne sekundærsetninger [6]. Ved å kombinere ligning (2-7) og (2-8):

$$R = \frac{dt}{d\varepsilon} = r_s(t - t_r) \quad (2-10)$$

Og løse med hensyn på tøyningssendring:

$$d\varepsilon = \frac{1}{r_s} * \frac{dt}{(t - t_r)} = \frac{1}{r_s} * \frac{d(t - t_r)}{(t - t_r)} \quad (2-11)$$

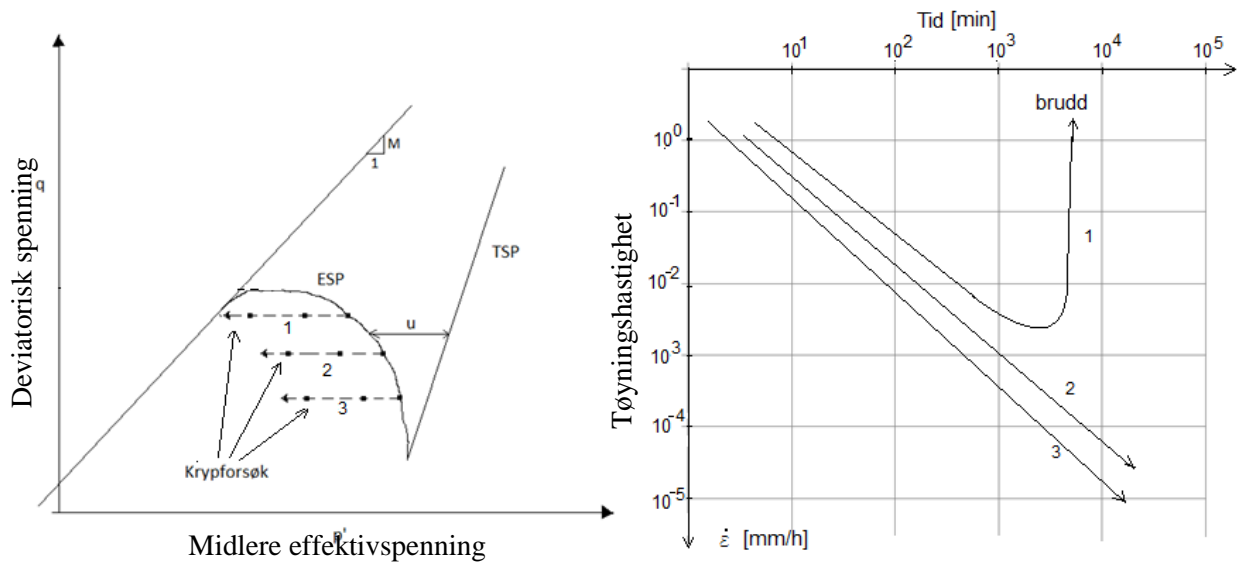
For å så integrere begge sider og sette inn integrasjonsgrensene fra  $t_p$  til  $t$ , blir sekundære setningen til slutt beregnet ved hjelp av:

$$\varepsilon = \frac{1}{r_s} \ln \left( \frac{t - t_r}{t_p - t_r} \right) \quad (2-12)$$

Janbu mente at selv om  $c_v$  styrer primærfasen og tidsmotstanden styrer sekundærfasen for setningene, glir fasene ofte over hverandre uten et markert tidspunkt. Dette samsvarer med teorien som er nevnt tidligere.

### 2.3.4 Nedbrytning

Ved krepbrudd vil krepdeformasjonene, gitt ved ligning (2-12), ha ført til vesentlig strukturell nedbrytning av kornstrukturen. Nedbrytningen vil føre til frigivelse av porevannet samtidig som tøyningen øker poretrykket i prøven. Effektivspenningen vil bli redusert med tiden, og etter tilstrekkelig reduksjon, bryter prøven sammen [12]. En enkel illustrasjon på dette er vist i figur 2-10. Figuren til venstre viser hvordan tre krepforsøk, med forskjellige mobiliseringsgrader i forhold til et normalt udrenert treaksialforsøk, vil oppføre seg illustrert med ESP i et q-p-plot. Etersom tiden går vil  $p'$  minke med økt deformasjon og poretrykk. Effekten av tiden er illustrert i figuren til høyre. Man kan se at prøven med høyest mobiliseringsgrad, har en endring av tøyningssakselasjon, som gjør at tøyningshastigheten øker til bruddtaket er nådd. I de andre forsøkene vil tøyningshastigheten fortsette å minke helt til de eventuelt går til brudd senere, verdiene blir for små til å måles eller at forsøket avsluttes.

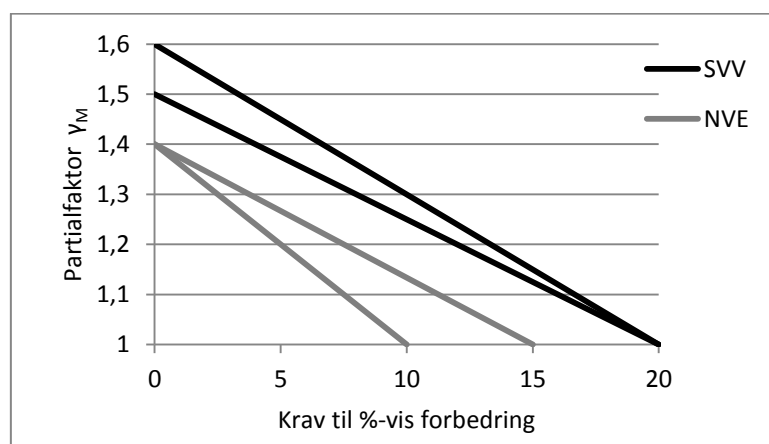


**Figur 2-10: Illustrasjon av krypforsøk utført i treaksialt forsøksapparat[5, 12].**

Mobiliseringsgraden, tøyningshastigheten og tiden er kun for vise hvilken størrelsesorden som kan gjelde kvikkleire, basert på tidligere prosjekt [5]. I leire er lateral deformasjon tilstede. Ødometerforsøk vil derfor ikke klare å tilfredsstillere in situ betingelsene. Ved undersøkelse av norsk kvikkleire må skjærkrypforsøk derfor utføres i treaksialapparat for å simulere et mer realistisk lateral deformasjonsforhold [6].

### 2.3.4.1 Prosentvis reduksjon av kapasitet av sprøbruddmateriale

For å redusere risiko for skred har Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens Vegvesen anbefalinger for sikkerhet i naturlig skråninger. Anbefalingene går på prosentvis forbedring av total sikkerhetsfaktor ved inngrep, eller reduksjon av materialkapasitet av sprøbruddmateriale. Anbefalingene er ulike slik det er illustrert i figur 2-11.

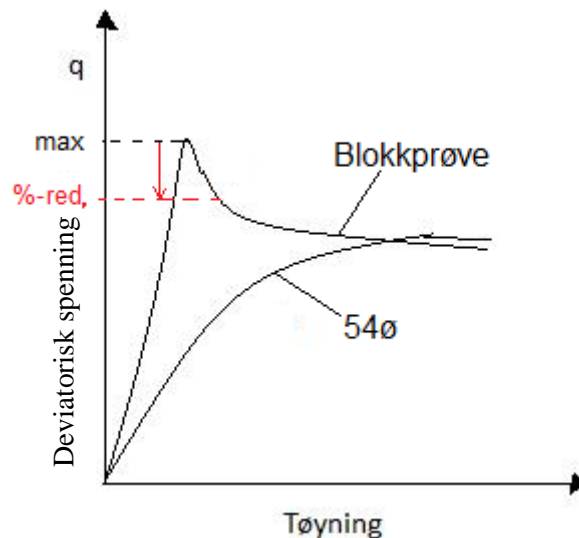


**Figur 2-11: Krav til prosentvis forbedring og vesentlig forbedring av materialfaktor [2, 3].**

Kravene til prosentvis forbedring varierer for materialet. Figuren over viser at Statens Vegvesen sitt krav ved veibygging er høyere enn NVE sitt krav. Grunnen er at selv om begge kravene gjelder for totalspenningsanalyser, bygger de på forskjellig grunnlag.

Statens Vegvesen gjelder fra initial partialfaktor, mens NVE har i tillegg til prosentvis forbedring av totalsikkerheten, en anbefaling på reduksjon av skjærkapasitet av sprøbruddsmateriale [2, 3].

NVE sin veileder fra 2011, «Veileder for vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper», anbefaler i dag 15 % reduksjon av målt maksimal aktiv skjærstyrke, eller peak-verdi, fra blokkprøver med kvikkleire og 10 % reduksjon på andre sprøbruddsmaterialer [2]. Figur 2-12 viser hvordan skjærfastheten reduseres i et diagram med deviatorisk spenning mot tøyning.



**Figur 2-12: Redusering av peak-veriden på forsøk fra blokkprøver.**

Reduksjonen øker initial partialfaktor. En begrunnelse for reduksjonen er risiko for progressive brudd ved utnyttelsen av peak-verdien fra blokkprøvene som er betydelig høyere enn forsøk tatt med 54 mm sylindere. En annen grunn er tidseffekter. Med tidseffekter menes effekten av ulik påtvunget tøyningshastighet og krypeffekter.

### **2.3.5 Tidligere studier av krypbrudd**

King [2012] utførte et litteraturstudie om relevante utførte studier av testing av kryp i uforstyrrede prøver av sensitive leire ved udrenerte treaksialforsøk. Dette kapittelet bygger videre på det litteraturstudiet for å gjøre det mer komplett.

#### **2.3.5.1 Tidligere arbeider**

Her er kort oversikt av noen tidligere arbeid som har blitt utført. Deler av innsamlet litteraturen ble gjort i forbindelse med prosjektoppgaven, høsten 2012.

##### **2.3.5.1.1 Vaid og Campanella, 1977 [13]**

Forsøkene ble utført på «Haney» leire. Leiren er en middel sensitiv siltig leire og har en prekonsolideringsspenning på ca.  $340 \text{ kN/m}^3$ . Prøvene ble normalkonsolidert til  $515 \text{ kN/m}^3$ . Konsolideringstiden varierte de fra 1,5 – 48 dager, for å kunne undersøke om konsolideringstiden påvirket resultatene. Det ble utført krypforsøksserier med konstant last

og konstant spenning. Prøvematerialet og prekonsolideringsspenningen er ikke sammenlignbart med kvikkleire, men ved bruk av forskjellige metoder viser resultatene at forsøk utført med konstant kryplast vil tåle høyere mobilisering enn forsøk med konstant krypspenning.

#### 2.3.5.1.2 F. Tavenas, S. Leroueil, P. La Rochelle og M. Roy, 1978 [14]

Forsøkene av krypeffekter ble utført på en lett overkonsolidert leire (Saint Alban Clay). Det ble sammenlignet forsøksresultater fra ødometer og udrenerte- og drenerte treaksiale krypforsøk ble sammenlignet. Totalt ble det gjort 13 udrenerte krypforsøk som hadde samme effektiv initialspenninger som de drenerte testene. Resultatene viser sammenfallende tendenser med andre arbeider og ble brukt for å validere et forslag om å separere skjær- og volumetrisk tøyning foreslått av Kavezajian and Mitchell i 1977.

#### 2.3.5.1.3 T. L. Holzer, K. Höeg og K. Arulanandan ,1973

Forsøkene ble utført på «San Francisco Bay Mud». Hensikten med forsøkene var å undersøke hvordan poreovertrykk er relatert til udrenert kryp. De konkluderte med at skjærtøyninger ved udrenert kryp er direkte avhengig av oppbygging av poreovertrykk, og at utviklingen av poreovertrykket over tid var avhengig av initial konsolidering og konsolideringstid.

#### 2.3.5.1.4 Andre

I tillegg til overnevnt litteratur, er det skrevet mange studier på materialoppførsel ved kryp. I tabell har jeg valgt å liste opp noen arbeider som kan leses for å danne et grunnlag for undersøkelse av materialoppførselen til kvikkleire ved udrenert skjærkryp. Det er også valgt å skrive ned noen stikkord fra hvert arbeid.

**Tabell 2-2: Litteratur om kryp.**

<b>Forfattere</b>	<b>Stikkord</b>
Mitchell, Campanella og Singh (1968) [15]	- effekten av temperaturendringer i drenerte og udrenerte krypforsøk
Mitchell, Robert og Eden (1972) [16]	-
SIG rapport nr. 4 – 1977 [17]	- oppførsel av bløt skandinavisk leire - aktive og passive udrenerte skjærkrypforsøk
Lefebvre (1996) [18]	- skred i bløte sensitive leirer
Leroueil (2001) [19]	- bevegelse i leire - skjærflater
Mitchell og Soga (2005) [12]	- kryp sensitiv leire
Mathijssen, Molenkamp og Boylan (2008) [20]	- langtidsstabilitet i bløt leire - kryp og bruddlinjer

#### **2.3.5.2 Forsøksmetoder**

Vaid og Campanella [13] utførte forsøksserier i treaksialapparat med forskjellig spenningstøynings historier på normalkonsolidert leire. De ønsket å finne korrelasjoner mellom



forskjellige forsøksmetoder. Blant de utførte forsøksseriene, var en med konstant tøyningshastighet, en med konstant krypspenning og en med konstant kryplast. I motsetning til forsøk med konstant kryplast, hvor spenningen synker, vil forsøksserien med konstant krypspenning kontinuerlig endre kryplasten slik at vertikalspenningen forblir konstant. En lastendring vil være nødvendig ettersom arealet på prøven endres under forsøket.

Frank Josef Fredriksen skrev i 1983 en hovedoppgave på NTNU hvor han undersøkte udrenert skjærkryp i leire [21]. Fredriksen registrerte i sine første forsøk varierende poretrykk på grunn av temperaturendringer i rommet. Ujevnheten i poretrykket påvirket resultatet. Fredriksen foreslo at forsøkene i senere arbeid burde foregå i rom med konstant temperatur, og helst ved den middeltemperaturen jorden har in situ [21].

Av tidligere studier kan det virke som en mobiliseringsgrad som fører til krypbrudd varierer mellom jordartene, og at man kan forvente en mobiliseringsgrad mellom 0,5 – 0,75 vil føre til krypbrudd i kvikkleire etter ca. en uke. Skjærtøyingene ved udrenerte krypforsøk er direkte avhengig av oppbygningen av poreovertrykk, og at utvikling av poreovertrykket over tid igjen er avhengig av initial konsolidering og konsolideringstid [9]. I tillegg kan man forvente veldig små tøyningshastigheter før tøyingene i et forsøk eventuelt akselerer til brudd. Tidligere studier viser at forsøkene som gikk til brudd, nådde tøyningshastigheten et minimum før hastigheten snudde og akselererte til brudd. For prøvene som ikke gikk til brudd i forsøksstiden, fortsatte tøyningshastigheten å synke til forsøket ble avbrutt [12, 13]. Det vil være viktig at monitoren til apparatet har muligheten til å vise veldig små tøyningsendringer da det kan virke som enkelte forsøk i tidligere studier har blitt avbrutt for tidlig.

Siden NVE sin veileder anbefaler altså 15 % reduksjon av maksimal skjærkapasitet målt fra blokkprøver. Det tilsvarer en høyere mobilisering enn forventet maksimal mobiliseringsgrad ved forsøk som varer ca. 1 uke.

### **3 Forsøksutstyret**

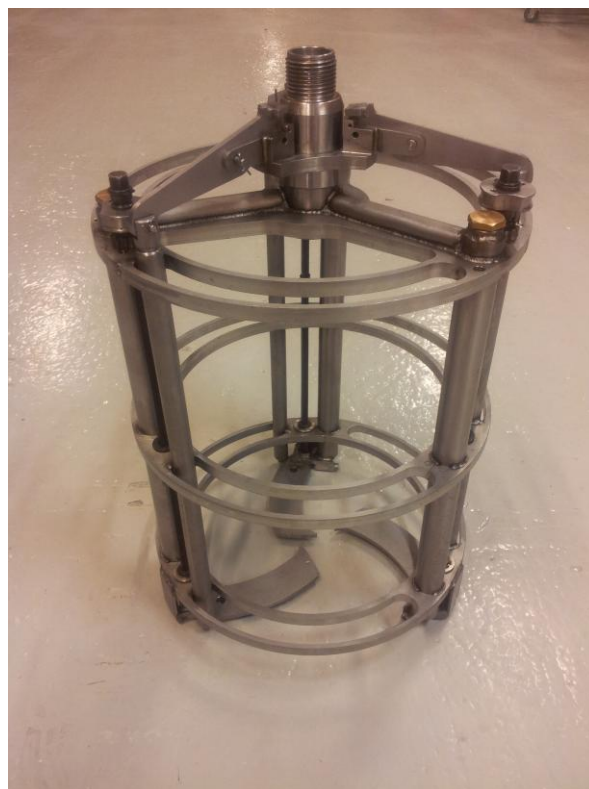
For at det skal være mulig å undersøke udrenert skjærkryp i kvikkleire er det viktig å ha utstyr som er kompatibelt med forskningsmålet. Materialprøver må hentes opp fra jorda og forsøkene er avhengig av et apparat som kan kjøre ønsket forsøk.

### 3.1 Pørvetakeren

Til nå er dannelse og egenskaper til leire beskrevet. Kunnskapen om løsmasser har kommet ved at det er tatt opp jordprøver fra bakken. Det finnes mange måter å ta opp jordprøver, men for denne problemstillingen er kun den metoden som minst forstyrrelse godt nok siden veldig små rystelser i kvikkleire reduserer kvaliteten betraktelig. I løpet av 1970-tallet ble en ny type blokkprøvetaker utviklet på universitet av Sherbrooke i Kanada. De ønsket å gjøre det mulig å ta dypere blokkprøver på en billig måte, da de eksisterende metodene ikke var egnet for bløt leire og ikke særlig dypere enn 4 m [22].

#### 3.1.1 Sherbrooke

Resultatet ble Sherbrooke blokkprøvetakeren. Konseptet går ut på å forbore et hull med 40 cm diameter til ønsket dybde. Hullet blir fylt av vann eller bentonittslam for å unngå kollaps av hullveggen, og for å redusere effekten av heving i bunn. Hullbunnen blir så rensket og jevnet av et flatt bunnbor. Se figur 3-2. Deretter presses prøvetakeren 35 – 40 cm ned i leira. Leirblokken blir spylt løs fra veggen ved hjelp av horisontale spylere som er festet til en roterende ramme. Nederst på prøvetakeren er det plassert tre knivblad. Disse blir utløst og kutter blokkprøven løs fra bunnen og støtter blokkprøven da den blir løftet opp. Etter den er løftet opp blir blokkprøven pakket inn i plast- og aluminiumsfoliedekket, så dekket med et lag voks, for å unngå uttørking, før den fraktes til laboratoriet. Figur 3-1 viser et bilde av en Sherbrooke blokkprøvetaker.



Figur 3-1: NTNU sin Sherbrooke blokkprøvetaker.



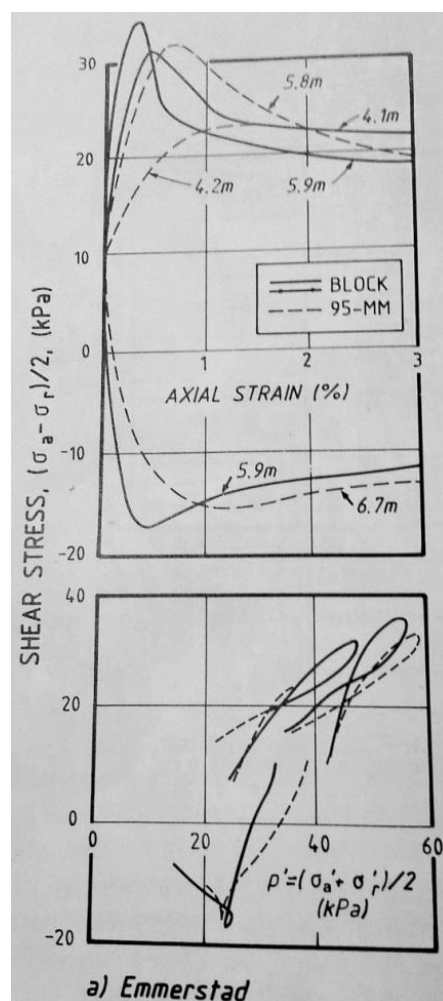
Figur 3-2: Bilde av et bunnbor og åpnet blokkprøve dekket med voks.

Størrelsen på blokkprøven varierer med materialet som blir tatt opp. Blokkprøver som blir tatt opp med NTNU sin Sherbrooke blokkprøvetaker har en diameter opptil ca. 25 cm og en lengde på ca. 35 – 40 cm

### 3.1.2 Prøvekvalitet

I et samarbeid med Lefebvre har S. Lacasse og T. Berre, fra NGI, sammenlignet prøve kvaliteten på prøveblokk og en NGI- 95 stempeltaker [23]. De undersøkte prøver fra tre forskjellige tomter. To av jordprofilene besto av kvikkleire og den siste av sensitiv leire.

Resultatene viste at kvalitetsdifferansen var avhengig av leirtypene. Resultatene fra den sensitive leiren fra Onsøy viste tilsvarende kvalitet, men i prøvene med kvikkleire, viste resultatene fra blokkprøven 30 % høyere maksimal skjærstyrke og fire ganger høyere stivhet [23]. Se figur 3-3. Det var mindre variasjon mellom prekonsoliderings-spennningene noe som kan forventes da prøve kvaliteten fra begge prøvetakerene var relativt gode og kvaliteten kun avgjør hvor entydig prekonsolideringen vises i resultatene. Resultatene fra samarbeidsprosjektet viste også at prøvene tatt med Sherbrooke blokkprøvetakeren hadde meget bra kvalitet over 10 m dybde [23].



Figur 3-3: Sammenligning av prøver fra Lefebvre, Lacasse og Berre.

Ved drenert konsolidering i et treksialforsøk blir det, som tidligere nevnt, presset ut porevann. Mengden utpresset porevann kan være en indikasjon på prøveforstyrrelse. Selv om type jordart, konsolidering og tid også er avgjørende faktorer, foreslo T. Berre en klassifisering av prøve kvalitet ut fra mengden utpresset porevann, eller volumetrisk tøying under konsolidering.

**Tabell 3-1: Måling av prøve kvalitet i henhold til T. Berre.**

OCR	Dybde	Perfekt kvailtet $\epsilon_{vol} <$	Akseptabel kvailtet $< \epsilon_{vol} <$	Forstyrret kvailtet $\epsilon_{vol} >$
[-]	[m]	[%]	[%]	[%]
1,0 – 1,2	0 – 10	3,0	3,0 – 5,0	5,0
1,2 – 1,5	0 – 10	2,0	2,0 – 4,0	4,0
1,5 – 2,0	0 – 10	1,5	1,5 – 3,5	3,5
2,0 – 3,0	0 – 10	1,0	1,0 – 3,0	3,0
3,0 – 8,0	0 – 10	0,5	0,5 – 1,0	1,0

For å måle graden av strukturforstyrrelse har NGI laget en tabell, hvor  $\Delta e/e_0$  fra konsolideringsfasen blir brukt som et mål på klassifisere graden av forstyrrelse når prøven konsolideres [24]. Prøve kvaliteten blir delt opp i kategori 1 – 4 , hvor kategori 1 betegner prøver av best kvalitet.

**Tabell 3-2: Måling av prøveforstyrrelse [24].**

Kategori for prøve kvalitet [ $\Delta e/e_0$ ]				
OCR	Veldig bra (1)	Bra (2)	Dårlig (3)	Veldig dårlig (4)
1-2	<0,04	0,04-0,07	0,07-0,14	>0,14
2-4	<0,03	0,03-0,05	0,05-0,10	>0,10

Prøve kvaliteten på treksialforsøkene utført i denne oppgaven er klassifisert i henhold til Lunne sin kategorisering. Klassifiseringen tar utgangspunkt i å sammenligne materialet før og etter konsolideringen, noe som gjenspeiler endringer i kornstrukturen og forstyrrelser.

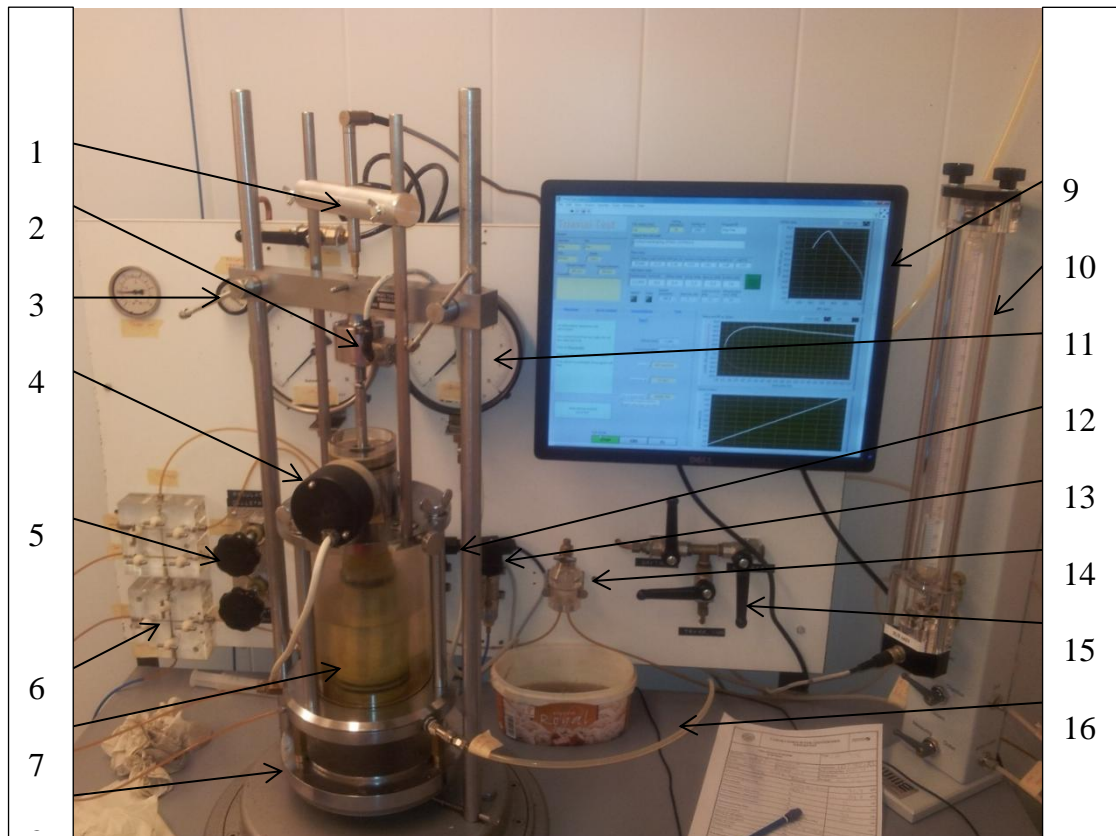
Ved opptak av prøvemateriale fra Esp, for undersøkelse av skjærkryp, vil det være naturlig å bruke NTNU sin egen Sherbrooke blokkprøvetaker. Det vil forhåpentligvis gjøre at samtlige forsøk blir av best mulig kvalitet. Det skal nevnes at prøveforstyrrelser også kan komme fra uforsiktig behandling av blokkprøven etter opptak.

## 3.2 Forsøksapparatet

I forbindelse med prosjektet har det vært nødvendig å modifisere og bygge opp et nytt treaksialapparat som kan kjøre udrenerte skjærkrypforsøk med konstant spenning. Det har også vært nødvendig å utvikle programvaren til apparatet slik at apparatet registrer og belaster forsøkene som ønsket.

### 3.2.1 Oppbygning av apparat

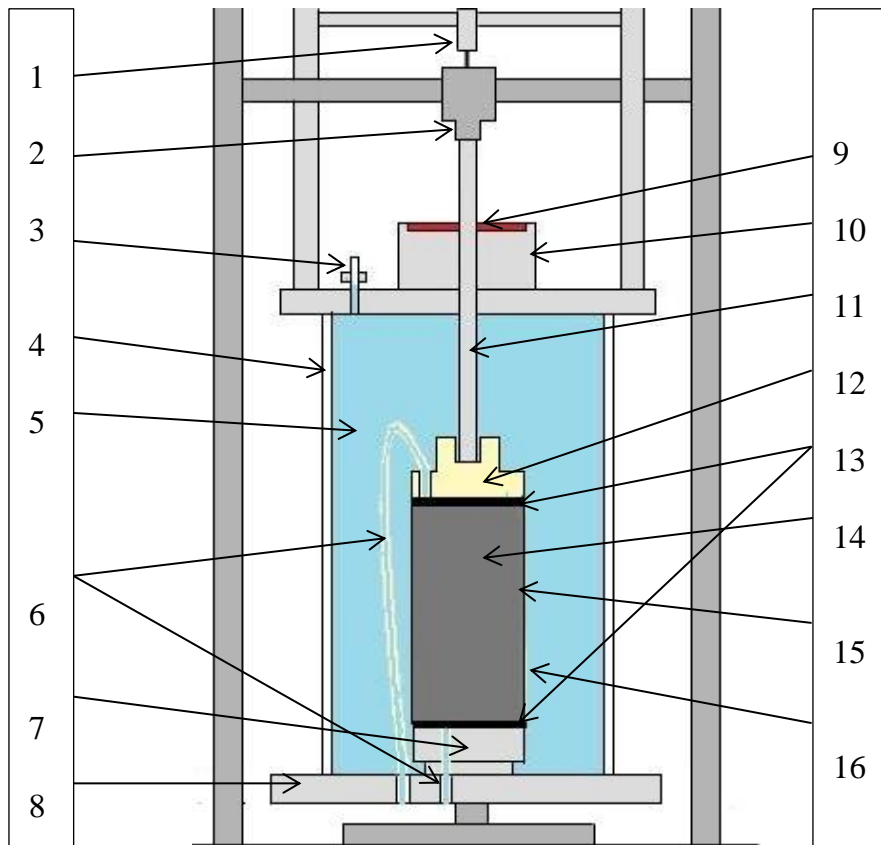
Anders S. Gylland har i løpet av høsten 2012 og våren 2013 satt sammen treaksialapparatet til slik det fremstår i figur 3-4 og 3-5.



Figur 3-4: Oppsett av apparat, monitor, sensorer og kontroller.

Tabell 3-3: Bildeforklaring av apparatoppsett.

1	LVDT	5	Celle- og baktrykksregulator	9	Monitor	13	Celletrykksensor
2	Lastsensor	6	Kraner til topp- og bunnfilter	10	Byretten	14	Kran til celle
3	Trykregulator fra kilde	7	Celleklokke med innbygd prøve	11	Barometer for celle- og baktrykk	15	Stengekraner til apparatet
4	Friksjonsmotor for laststang	8	Plate styrt av motor	12	Pore- og celletrykksensor	16	Celletrykk inn



Figur 3-5: Tverrsnitt av innbygd leirprøve.

Tabell 3-4: Tegningsforklaring av innbygd leirprøve.

1	LVDT	5	Celle vann	9	Olje	13	Steinfilter
2	Lastsensor	6	Slanger til steinfilter	10	Roterende friksjonsmotor	14	Prøvestykket
3	Ventil	7	Pidestal	11	Laststang	15	Filterpapir
4	Cellevegg	8	Plate styrt av motor	12	Toppstykket	16	Gummihud

Funksjonene som er tilgjengelig på apparatet er listet opp i tabellen under.

Tabell 3-5: Funksjonalitetene til apparatet.

Forsøksvariasjoner	Forsøksfase	Kommentar
<b>Isotropisk og anisotropisk (Baktrykk)</b>	Konsolidering (Konsolidering og skjær)	(Krever ny klokke)
<b>Drenert og udrenert</b>	Skjær	Enkel kran
<b>Konstant tøyingsrate og kryp</b>	Skjær	CRS og
<b>Kryp: konstant spenning eller last</b>	Skjærkryp	Krever endring av areal-korreksjon i programfilen.

Funksjonene listet opp i tabell 3-5 kan kombineres på ulike måter slik at forsøket kan tilpasses etter ønske. Alle forsøkene gjelder trykkforsøk da det må monteres en annen typelastsensor for utførelse av strekkforsøk.

### 3.2.2 Utvikling og kalibrering

Det er arbeidet med programvaren til treaksialapparatet slik at den er tilpasset for utførelse av krypforsøk, i tillegg til vanlig udrenerte og drenerte treaksialforsøk. Hensikten med tilpassing og kalibrering av utstyret er for at målingene som blir registrert ved forsøkene skal være verdier fra den valgte forsøkestypen. En feil ved kalibrering, og programmet kan i verste utfall føre til at brukeren kan ødelegge prøven. Beste utfallet vil være en endring av kalibreringen av voltverdiene i eget regneark. Programmet er utviklet og kalibrert av Per Østensen, avdelingsingeniør på geoteknikk, her på NTNU. Programmet har så blitt tilpasset dette skjærkryppapparatet ved et samarbeid mellom Per Østensen (avdelingsingeniør ved geoteknikk, NTNU), Anders S. Gylland (post doc. på NTNU) og undertegnede.

### 3.2.3 Målinger

Treaksialapparatet har flere sensorer koblet til på ulike strategiske steder. Se figur 3-4 og 3-5. LVTD, byretten, last- og trykksensorene leser av voltverdier, som så blir omregnet til trykk, volum eller deformasjon. Kalibreringsfilen til sensorene tilkoblet apparatet er vist i tabell 3-6.

Tabell 3-6: Kalibreringsdatafil til apparatet.

*Calibration data*	
Steps/med mer	100000
Load cell (N/V)	196,4
Diff sensor (kPa/V)	50
Cell sensor (kPa/V)	100
Back sensor (kPa/V)	100
Burette (cm <sup>3</sup> /V)	20,79
LVDT (mm/V)	1
Pr2Load (N/kPa)	0,1

#### 3.2.3.1 Trykksensorene

Trykket fra trykkilden blir regulert i to steg. Først blir trykket justert ned til ca. 2 Bar. Derfra er det en egen regulator for celletrykket og en for baktrykket.

Celletrykket kan reguleres etter ønske. Sensoren er plassert mellom trykkregulatoren og trykktanken full av vann til å fylle cella.

Selv om denne oppgaven ikke har forklart funksjonen med baktrykk, så vil det ved en senere anledning benytte seg av baktrykk i forsøksseriene. Funksjonen er tilgjengelig, og klar til å brukes når NTNU har gått til anskaffelse av en klokke som tåler høyere trykk. Baktrykk gjør at pore- og celletrykket kan økes høyere verdier ved konsolidering. Ved



videre poretrykkoppbygning, er det vanlig å benytte seg av deviatorisk spenningen mellom poretrykket og celletrykket. Sensoren er plassert like etter regulatoren for baktrykket.

Det er koblet til en sensor som måler poretrykket i jordprøven. Sensoren er i direkte kontakt til topp- og bunnfilter gjennom slanger som er mettet med destillert vann og utsatt for vakuum. Om ikke alle luftblærene fra steinfilterene og slangene blir fjernet, vil luftblærene gjøre at poretrykket som blir målt av sensorene vil være lavere enn det reelle trykket i jordprøven.

### **3.2.3.2 Lastsensoren**

Lastcellen består av en laststang som overfører krefter fra jordprøven opp til lastmåleren. - Lastmåleren er fastholdt mot vertikalforskyvning av to stenger som vist i figur 3-4 og 3-5.

### **3.2.3.3 Deformasjonsmåling**

Deformasjon og tøyningshastighet kan måles ved hjelp av to forskjellige måter på apparatet; LVDT og stepmotoren. Motoren kan justeres fra å bruke 200 til 2000 step per omdreining [25]. Ved å vite forskyvning en omdreining gir, kan man enkelt finne deformasjon per step, og beregne deformasjonen slik. Slik motoren er stilt, vil 100 step utgjøre 1 mikrometer (0,001 mm).

I figur 3-5 er apparatdelene som blir løftet av motoren farget lysegrå, mens delene av apparatet som ikke flytter på seg er farget med en mørkere farge. I dette apparatet starter LVDT-måleren ved maksimal avlesning (ca. 10 mm) og etter hvert som motoren løfter cella, vil synkende målerverdier registreres helt til LVDT-måleren ikke lenger er i kontakt. Ved vanlige treaksiale skjærforsøk er det vanlig å justere deformasjonen i eget regneark etter at forsøket er ferdig, da det ikke har noe å si for forsøksprosessen. En enkel omregning kan være:

$$\delta = \delta_{startverdi} - \delta_{registrert} \quad (3-1)$$

Hvor:

$\delta$  = vertikal deformasjon

$\delta_{startverdi}$  = startverdien i forsøket, hvor vertikal deformasjon er lik null

$\delta_{registrert}$  = registrert

Krypforsøk med konstant spenning krever at deformasjonene underveis i forsøket må være riktig for at det skal være mulig for motoren å påføre en konstant spenning. Dette løses ved at LVDT blir påmontert før konsolideringen og at startverdien på ca. 9-10 mm mer blir nullstilt. Deretter vil en programmert faktor på -1 gjøre at registreringene i konsoliderings- og skjærfasen blir riktige.

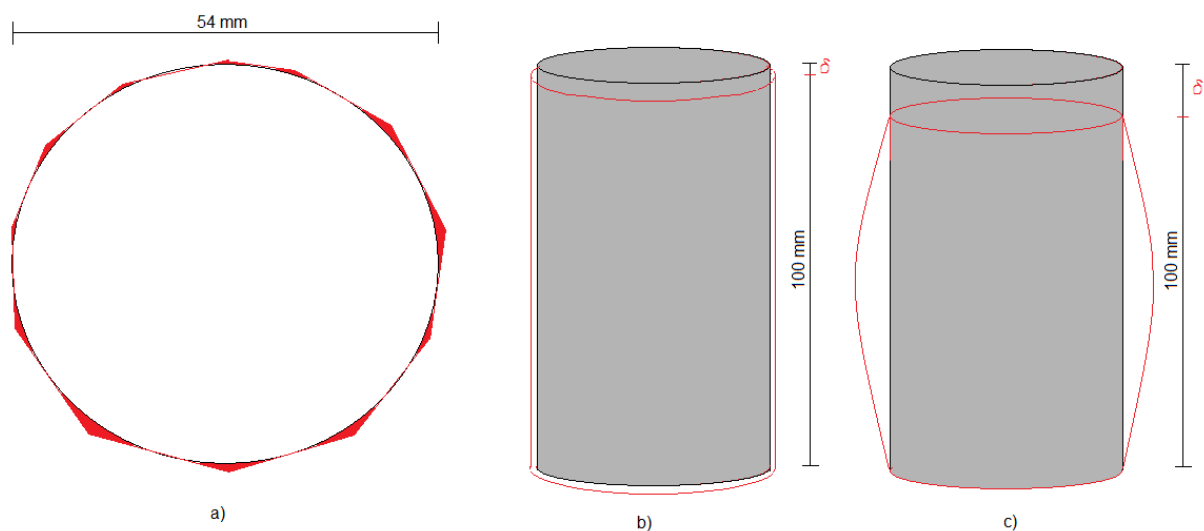
Ved krypforsøk med konstant spenning er motoren styrt av en enkel sjekk eller «for»-løkke. Om spenningen er lavere enn valgt spenning, roterer den og løfter prøven, hvis ikke, gjør den ingenting. Dette betyr at motoren er avhengig av at lasten registrert i sensoren må omgjøres til endelig spenning før denne sjekken kan skje. En treghet med

registrering av denne beregningen kan gjøre at motoren roterer litt mer, som fører til spenningen øker mer enn ønsket. På grunn av størrelsesordenen av deformasjonene stepmotoren kan påføre prøven, vil dette antageligvis ikke ha betydning for resultatet, men kan kreve numeriske tilpasninger ved analysene. Virkningen bør uansett undersøkes ved kryp veldig små tøyningshastigheter, for å se om en programtilpassing kreves.

### 3.2.4 Arealkorreksjon

Ved krypforsøk vil arealendringer i prøven føre til senket spenning om endringene ikke blir tatt i betraktning ved spenningsmålingene allerede under forsøket. Kontinuerlig arealkorreksjon vil gjøre at nøyaktigheten på spenningsberegningen vil være mer nøyaktig ved krypforsøk under konstant spenning.

Prøvene som skal brukes, blir trimmet ut av blokkprøver. Manuelt trimmede prøver vil ikke ha samme, eller riktig, startareal  $A_0$  ved forsøksstart. Forskjellig prøveareal vil føre til et lite avvik mellom den faktiske spenningen i prøven og spenningen som vil bli brukt i resultatene. Grunnen til dette er fordi lastsensoren i apparatet kun måler en kraft fra toppstykket. Kalibreringsfilen må derfor få en startverdi på arealet, for å så korrigere startverdien,  $A_0$ , underveis i forsøket. Feilmarginen på startverdien og faktisk areal vil være der hele tiden, men differansen mellom forskjellige prøver, vil minke ettersom den som utfører trimmingen forbedrer, og standardiserer, teknikken. Feilmarginen mellom arealene vil bli direkte overført til spenningen. Figur 3-6 a) illustrer hvordan arealfeilen vil se ut i forhold til en sirkel med 54 mm diameter. Skissen viser en grov trimming for å poengtere feilkilden.



**Figur 3-6: - a) Skisse av prøvetverrsnitt etter trimming. - b) Skisse av deformasjon ved små tøyninger. - c) Skisse av deformasjon ved store tøyninger**

Det har blitt gjort en vurdering av å ta med arealendringer i beregningene i prøver under konstant skjærspenning. Grunnen er at uten arealkorreksjon underveis i krypforsøket, vil prøven være utsatt for konstant skjærlast, og ikke konstant skjærspenning. Etterhvert som prøven kryper vil prøven utvide seg, denne endringen vil gjøre at skjærspenningen i

prøven reduseres. Se figur 3-6 b) viser hvordan denne utvidelsen vil være ved små tøyninger.

Arealkorreksjon for konsolidering og drenerte forsøk hvor volum av utpresset porevann er beregnet ved ligning:

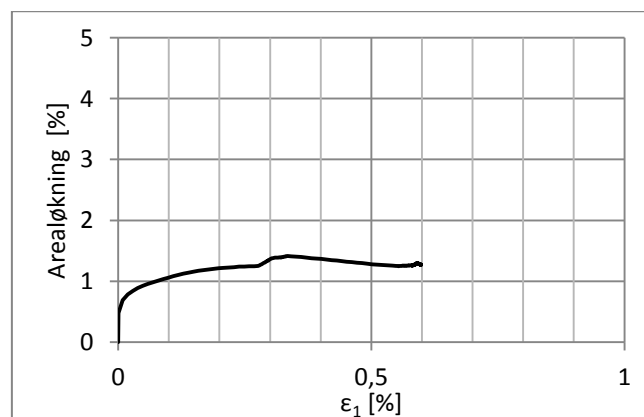
$$A_{corr} = A_0 \frac{(1 - \varepsilon_v)}{(1 - \varepsilon_1)} \quad (3-2)$$

Arealkorreksjon for udrenerte forsøk, uten volumendringer ( $\varepsilon_v = 0$ ):

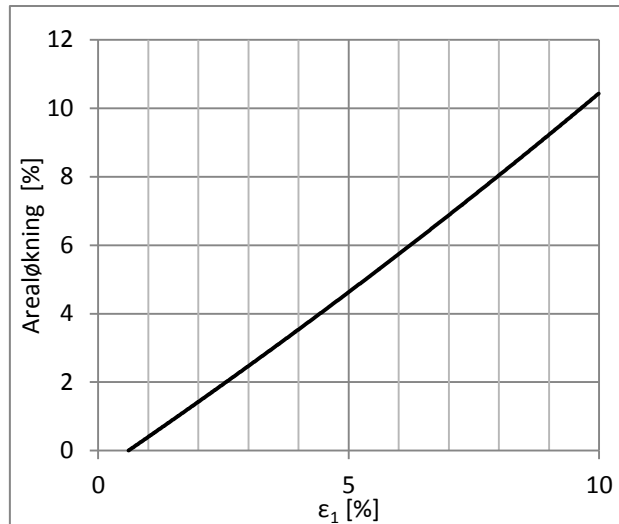
$$A_{corr} = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon_1)} \quad (3-3)$$

Hvor  $A_0$  = startareal [ $\text{mm}^2$ ]  
 $A_{corr}$  = korrigert areal [ $\text{mm}^2$ ]  
 $\varepsilon_1$  = vertikal tøyning  
 $\varepsilon_v$  = volumtøyning, utpresset porevann

Blokkprøver vil generelt ha god prøve kvalitet, som gjør at porevannsutpressing ( $\varepsilon_v$ ) og vertikal aksialtøyning  $\varepsilon_1$ , under konsolideringsfasen vil være små. Det gjør at korrigert areal,  $A_{corr}$ , fra ligning (3-3) ikke vil endres betydelig under denne fasen. Dette gjør at det er valgt å implementer arealkorreksjonen etter avsluttet konsolideringsfase, da alternativet ville være å tilpasse konsolideringsspenningene, hvis anisotropt, kontinuerlig under forsøket i forhold til beregnet verdier av tøyningene. For at krypfasen av forsøket skal ha tilnærmet riktig spenningsberegning er det valgt å legge inn en arealkorreksjon ved ligning (3-3) i programmet siden forsøkene er udrenerte. Figurene under viser arealendringene i gjennom i et vanlig treaksialforsøk.



**Figur 3-7: Beregnet arealøkning i konsolideringsfasen av forsøket CAU\_917-CRS fra Møllenberg, Trondheim.**



**Figur 3-8: Beregnet arealøkning i skjærfasen av forsøket CAU\_917-CRS fra Møllenberg, Trondheim**

Figur 3-7 viser at beregnet arealendring i under konsolideringsfasen i dette tilfelle utgjør 1,3 % økning. Det tilsvarer 1,3% reduksjon av vertikal tilleggsspenning, som i dette tilfelle tilsvarte ca. 0,3 kPa. Figur 3-8 viser beregnet arealendringer under skjærfasen i det samme treaksialforsøk. Figuren viser at arealøkning i denne skjærfasen er større enn i konsolideringsfasen.

Ved store vertikale tøyninger vil ikke prøvene følge arealøkningen slik som vist i figur 3-6 b) og 3-8. Da vil det ikke være riktig å anta uniform arealøkningen. På grunn av friksjon mellom steinfilterene og leireprøven vil prøvene ha en varierende arealutvikling ved store tøyninger. I mange tilfeller vil det oppstå en tønneformasjon illustrert ved figur 3-6 c). I slike tilfeller vil ligning (3-2) underestimere arealet. Det er viktig å poengtere at dette er noe som oppstår lenge etter bruddtøyning, og vil derfor ikke påvirke resultatene ved tidspunktet før, ved og like etter brudd. Figur 3-9 viser eksempler på deformerte prøvestykker etter 10 mm vertikal deformasjon i et treaksialforsøk.



**Figur 3-9: Fire prøvestykker etter utbygging av apparat og tørking.**

Av figur 3-9 kan vi se at deformasjonsformen ikke alltid er lik, noe som gjør at arealberegning ved store tøyninger er vanskelig.

### 3.2.5 Plassering

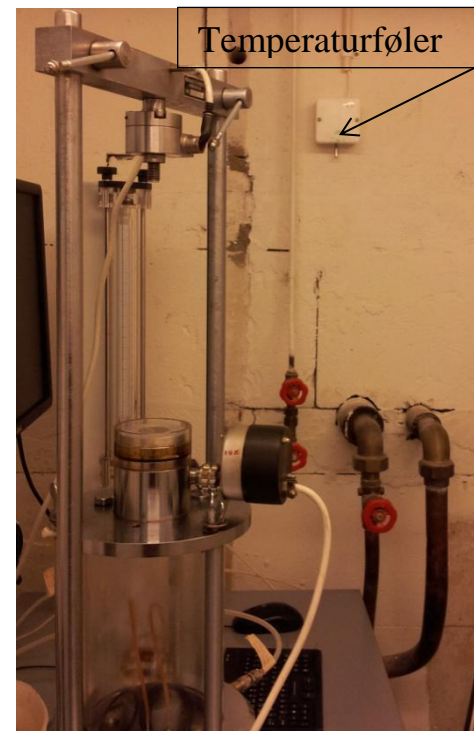
Tidligere har jeg forklart hvor sensitiv krypprosessen kan være. I tillegg til behandling av prøvematerialet og oppbygning av apparatet, vil også omgivelsene til apparatet være med på å påvirke forsøket og krypprosessen. Derfor er stabile og kontrollerbare omgivelser rundt apparatet ønsket. Det er valgt å definere stabile omgivelser, så nær «in situ»-omgivelsene, som bra omgivelser. Uønsket avvik eller variasjon vil ha negativ effekt.

En viktig faktor under krypprosessen er nedbrytningen av kornbindingene. Rystelser kan føre til uønsket nedbrytning av kornbindingene og skape et krypforløp som ikke gjenspeiler situasjonen in situ. For å unngå flest mulig rystelser fra bygning er apparatet plassert i kjelleren på Lerkendalsbygget. Menneskeskapt rystelser fra varelevering, tungtransport i og utenfor bygget, åpning og lukking av dører og bare det at noen går forbi kan føre til uønsket nedbrytelse. For å unngå dette bør det sterkt vurderes å installere dempere på bordet som apparatet står på. For forsøk som går over en lang periode kan det være aktuelt å undersøke jordskjelvsaktivitet under forsøksperioden, da dette kan gi utslag i resultatene. Jordskjelvsaktivitet er et naturlig fenomen forårsaket av blant annet tektonisk bevegelser og landheving. Så lenge den geografiske og geologiske avstanden mellom prøvetomten og laboratoriet er liten, vil størrelsene på, og virkningen av rystelsene være tilnærmet lik, og derfor ikke bli betegnet som en uheldig hendelse.

Registrerte rystelser burde loggføres og tas i betraktning ved analysering av resultatene.

Temperaturrendringer har blitt observert til å være utslagsgivende under kryppforsøk ved tidligere studier. Fredriksen, 1983, observerte at ujevn romtemperatur hadde innflytelse på kryppforsøkene. Ved udrenerte kryppforsøk har ikke porevannet mulighet til å dreneres bort, som betyr at poretrykket vil endre seg med temperaturen. En temperaturøkning vil øke poretrykk ved udrenerte forsøk. Økt poretrykk i udrenerte kryppforsøk gjør at den effektive spenningsstien, ESP, beveger seg mot bruddlinjen slik det er vist i figur 2.9. Mitchell, Campanella og Singh [1968] studerte effekten av raske og ekstreme temperaturrendringer i kryppforsøk i både udrenerte og drenerte kryppforsøk. Resultatene viser at tøyningshastigheten øker betraktelig ved økt temperatur, også i drenerte kryppforsøk.

Fredriksen, 1983, beskrev at energisparing i Lerkendalsbygget, med oppvarming kun ved arbeidstid, gjorde at prøven ble utsatt for en temperatursyklus.



Figur 3-10: Plassering av temperaturføler.

Dette ble gjenspeilet i resultatene. Temperaturen i jorden varierer gjennom året, men det er antatt, avhengig av dybde underterreng, at et jordelement ikke blir utsatt for betydelig store temperatursvingninger i løpet av en uke. For å unngå uønsket temperaturendring, og for å ikke utsette jordprøvene for unaturlige temperaturer, er apparatet plassert i et klimarom med konstant temperatur. Temperaturføleren i rommet er plassert på veggen, ca. 40 cm høyere opp enn midten av prøvestykket, noe som betyr at temperaturen i cellen kan være litt lavere enn det føleren registrerer. Dette er antatt å være neglisjerbart, når hovedfokuset er å unngå temperaturendringer. For å velge en temperatur ble rommet først justert til å holde  $7,0\text{ C}^0$ . Etter noen dager, viste termometeret  $8,7\text{ C}^0$ . Det ble antatt at kjøleanlegget ikke hadde kapasitet til å holde  $7,0\text{ C}^0$ . Det ble så valgt å bruke en konstant temperatur på  $10\text{ }^\circ\text{C}$  i klimarommet under forsøk. Hensikten med dette var så at kjøleanlegget ville få en buffer i forhold til laveste temperaturen kjølerommet klarer å holde. Etter observasjoner over to uke, er det registrert temperaturer mellom  $10,0 - 12,0\text{ }^\circ\text{C}$ , noe som kan bety at toleransegrensene til kjøleanlegget er for dårlig. Dette betyr kanskje at kjøleanlegget likevel har kapasitet til å holde lavere temperaturer, men at toleransegrensen til kjøleanlegget er for høy.

I tillegg til å sikre stabile omgivelser til apparatet, så vil et ustabil apparat ha direkte effekt på prøven. Et krypforsøk vil kreve at celletrykket,  $\sigma_3'$ , holdes konstant over lengre periode, kanskje opptil 1-3 uker. Det vil derfor være nødvendig å ha tilgang til en stabil trykkilde. Det har blitt observert at fellesanlegget i bygningen har blitt skrudd av etter kort forvarsel, så trykkilden bør være uavhengig av fellesanlegget i bygningen. Det er valgt å koble opp til fellesanlegget, men å ha en egen kompressor tilgjengelig for å opprettholde nødvendig trykk til trykkregulatoren, ved eventuelle trykktap i fellesanlegget. Kompressoren er kun avhengig av å være koblet til strømmettet. Ved et eventuelt strømbrudd i bygningen, vil kompressoren ikke klare å opprettholde trykk i cellen, men da vil heller ikke apparatet fungere og forsøket vil være ødelagt..

### **3.2.6 Testforsøk med kommentarer**

I tilknytning til undersøkelsene av krypeffektene i kvikkleire, er det utført testforsøk underveis for å teste stabiliteten til apparatet, registreringer og programvaren. Det er utført fire testforsøk som en del av prosessen med å gjøre apparatet klart for bruk. Etter små justeringer og flytting av apparatet til kjølerommet, ble apparatet også brukt for treaksialforsøkene fra hull NTNU 2.

### **3.2.7 Diverse testforsøk med kommentarer.**

Disse forsøkene ble utført før apparatet ble flyttet ned i kjelleren. Prøvematerialene besto av siltig leire som var til overs fra et annet prosjekt. Det ble fokusert på overgangen mellom konstant tøyningshastighet til konstant spenning, ulike tøyningshastigheter, monitor-oppsettet samt kalibrering under innbygging- og konsolideringsfasen. Resultater fra forsøkene er i Vedlegg D.

Først ble arealkorreksjonen endret da det ikke var programmert inn arealkorreksjon i skjærfasen. Grafikken på monitoren for overvåking av forsøket måtte justeres da den ikke viste spenningsstien.

Tøyningshastighetene ble variert mellom 1 og 30 mm/h. Overgangen fra konstant tøyningsrate til konstant spenning startet ca. 5 kPa før ønsket spenningsnivå med en redusert tøyningsrate. Ved ca. 1 kPa under ønsket spenningsnivå, eller ca. 0,5 kPa skjærspenning, gikk apparatet over til å bli styrt av spenningsnivået. Dette har Per Østenes programmert for å unngå overbelastning grunnet treghet i registrering av voltverdien på lastsensoren.

Utenom dette ble oppdaget vi under det siste forsøket at kranen fra trykkregulatoren inn til trykktanken var stengt av. Feilen skjedde på grunn av en sjelden utskiftning av vannet i trykktanken. Det gjorde at forsøket ble et tilnærmet enaksialt trykkforsøk.

Det kan også noteres at for hyppige lagringsintervaller gjennom hele forsøksstiden ikke er lurt siden forsøk som går over flere dager kan resultere i unødvendig lange rådatafiler. Om dette skulle skje vil det være en fordel å bruke et program for å tilpasse lagringsintervallene. Generelt vil det være nok å lagre hvert 10. sekund under konsolideringen og starten av skjærfasen. Ved lavt mobiliserte krypforsøk som antas å krype lenge før de går til brudd bør det vurderes å endre lagringsintervallet til hvert 30. sekund eller hvert minutt etter 3 – 4 timer inn i skjærfasen.

### **3.2.7.1 Forsøk fra NTNU2**

Dette kapitlet vil kun se på aspekter av forsøkene i sammenheng med funksjonaliteten til apparatet da de geotekniske tolkningene av resultatene fra disse forsøkene er kommentert senere.

#### **3.2.7.1.1 CAD-428**

Resultatene fra forsøket indikerer at apparatet klarer å utføre drenerte skjærtrykkforsøk. Programvaren var riktig i henhold til ønsket forsøkstype.

LVDT-sensoren ble ikke montert før etter at skjærfasen hadde startet. Siden det ikke er mulig å nullstille deformasjonen i denne fasen, ble ikke denne funksjonen testet.

#### **3.2.7.1.2 CAU-734**

Forsøket ble utført riktig i forhold til hva som var ønsket. Det ble registrert noe ustabil celledrykk. LVDT ble fastmontert før konsolidering. Det viste seg at programvaren ikke var riktig innstilt i forhold til LVDT-registreringene, noe som betydde at jeg måtte bruke stepmotoren til deformasjonsmåling.

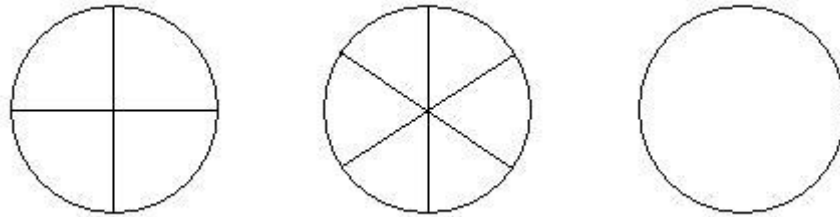
## 4 Forsøksopplegg for blokkprøve

En viktig del av forskningen på kvikkleire består av å analysere forsøk utført i felt og laboratoriet. For at resultatene skal komme til nytte er det viktig at forsøksopplegget blir tilpasset formålet med forskningen. I krypforsøk vil det blant annet være interessant å se på krypforløp ved ulike mobiliseringsgrader. For at det skal være mulig, må andre jordparametere være undersøkt på forhånd. Det vil være viktig at prøvene er tatt fra samme dybde og med minst mulig avstand mellom seg, slik at referanse verdiene til prekonsolideringen og skjærstyrke kan regnes for å være tilnærmet lik. I tillegg må innbygging og konsolideringen i treaksialforsøkene være identiske med tilhørende referanseforsøk. Alt dette er enklest gjennomført ved å bruke en blokkprøvetaker. Figuren under viser mulige vertikal oppdeling av en blokkprøve. Dette kapittelet presenterer et forslag til forsøksopplegg som kan brukes for undersøkelse av kryp i kvikkleire med materiale tatt opp med NTNU sin Sherbrooke blokkprøvetaker. Det kan bli nødvendig å vike fra foreslått opplegg på grunn av prøvematerialet eller erfaringer gjort etter hvert. Likevel vil det anbefales å bruke forsøksopplegget som en mal når man skal sette opp en forsøksplan før man åpner blokkprøven slik at man er sikre på at man får utført forsøkene man ønsker.



## 4.1 Oppdeling av prøven

Blokkprøvene tatt opp med NTNU sin Sherbrooke prøvetaker har en maksimal diameter på ca. 25 cm og en høyde på ca. 35 – 40 cm. Ved oppdeling av prøven er det viktig å tenke på hvilke forsøk som skal utføres, og hvilken prøve kvalitet de forskjellige forsøkene krever. I tillegg må eventuelle lagdelinger og ujevnheter tas med i betraktning før oppdeling. Med blokkprøvetakeren vil det også være mulig å dele opp slik at man kan utføre horisontale ødometer- og treaksialforsøk om dette skulle være av interesse.



Figur 4-1: Eksempler på vertikal oppdeling av en blokkprøve.

I forkant av krypforsøkene bør et ødometer- og et treaksialforsøk med CRS utføres, slik at man finner prekonsolideringsspenningen og maksimal skjærstyrke ved den aktuelle konsolidering. Prøvematerialet skal være uforstyrret, og så likt som mulig. Siden forsøkene skal være en del av et forskningsprosjekt, er det viktig å kartlegge jordarten på andre aspekter enn kun styrke og konsolidering, slik at senere studier kan bruke resultatene som sammenligningsgrunnlag. Rutineundersøkelser og mineralogitest bør også utføres for at de forskjellige forsøkene kan sammenlignes, og mulig ulikheter forklares.

I figur 4-1 viser noen muligheter ved oppdeling av en blokkprøve. Størrelsen på blokkprøven gjør at det er mulig å dele opp blokken i flere lag med treaksialprøver, og dermed øke et sammenligningsgrunnlag. Oppdelingene har forskjellige fordeler og ulemper, men sett i lys av formålet med dette prosjektet vil oppdelingen som gir 6 mulige treaksialforsøk per lag være fordelaktig. De andre rutineundersøkelsene kan bli utført med materiale som er til overs.

### 4.1.1 Trimming

Etter å ha delt opp blokkprøven i ønsket deler, vil prøver som skal benyttes i treaksialforsøk, kreve mer nøyaktig tverrsnitt. Dette gjøres ved å trimme prøvebitene. For å trimme bitene fra den oppdelte blokkprøven trengs et stativ lik den i figur 4-2. Stativet er laget slik at en prøvebit som holdes på plass av to plater kan rotere rundt en vertikal akse. Ved å kutte prøven vertikalt flere ganger og rotere rundt, vil man til slutt ha et mangekantet tverrsnitt. Er det mange nok kanter, vil tverrsnittet oppfattes som rundt. Se figur 3-6 a). Figur 4-2 viser bilde av stativet og verktøyet som blir brukt til å trimme prøvene.



**Figur 4-2: Stativ brukt for å trimme prøver til å ha et tverrsnitt på 54 mm diameter og en tråsåg som brukes til kuttingen.**

Etter at tverrsnittet har blitt trimmet, kan prøvematerialet forsiktig overføres til en vugge hvor man så kan trimme av toppen og bunnen av prøven. Her vil leiren være noe forstyrret på grunn av små tagger i platene i trimmestativet som skaper friksjon. Lengden vil så være nøyaktig 100 mm og klar for å bli veid og bygget inn i treaksialapparatet.

## 4.2 Forsøk

Når det angår rekkefølgen på hvilke forsøk som skal utføres vil det være essensielt at et treaksialforsøk og ødometerforsøk utføres før kryptforsøkene. Av praktiske årsaker kan det da også være naturlig å bruke den første dagen til å utføre rutineundersøkelsene mens man venter på resultatene. Kryptestene kan starte først etter at resultatene fra treaksial- og ødometerforsøkene er analysert.

### 4.2.1 Rutineundersøkelser

Rutineundersøkelser som burde gjennomføres for hver blokkprøve er:

- **Prøveåpning og beskrivelse:** Oppdeling av prøven og en visuell beskrivelse. Gjerne også mens man trimmer prøvematerialene.
- **Vanninnhold:** Tre målinger av in situ vanninnhold,  $w$  etter NS 8013 [26].
- **Konuforsøk:** Bestemmelse av udrenert skjærstyrke,  $s_{u,k}$ , omrørt skjærstyrke,  $s_{r,k}$ , og sensitivitet,  $S_p$ , i henhold til NS 8015 [27].

- **Densitetbestemmelse:** En måling av densitet,  $\rho$ , og tyngdetetthet,  $\gamma$  for liten ring etter NS 8011 [28] og Håndbok 014 [29], og en bestemmelse av korndensiteten,  $\rho_s$ , etter NS 8012 [30].
- **Plastisitetsindekser:** en bestemmelse av plastisitetstegrensene  $w_p$ , og flytegrense  $w_L$ , etter NS 8003 [31].
- **Kornfordeling:** en bestemmelse av kornfraksjoner i leira, og om mulig gradering [7].
- **Saltinnhold:** en måling av saltinnhold i leira.

Det vil ikke være nødvendig å utføre enaksialt trykkforsøk for bestemmelse av udrenert skjærstyrke når konus og treaksialforsøk også gi udrenert skjærstyrke.

Resultatene fra rutineundersøkelsene vil vise variasjoner av parametere gjennom dybden, samt til å være en referanse for andre forsøk, slik at mulige ulikheter oppdages. Materiale bør heller benyttes på treaksiale krypforsøk.

#### 4.2.2 Mineralogi

Prøvemateriale som skal brukes til mineralogi, bør ha lite kontakt med aluminiumsfolie, da metallet kan påvirke ladningene materialet. Prøvematerialene bør pakkes inn i plastfolie, dekket av fuktet papir rundt, og puttes i plastpose for å hindre uttørking. Siden det ikke er mulig å foreta en slik undersøkelse på Lerkendalsbygget, må prøvematerialet bli sendt til et annet laboratorie.

#### 4.2.3 Ødometerforsøk

Ved oppdeling av blokkprøven må ca. 4 cm tykk del av prøven, med minst 54 mm diameter, bli brukt til å bygge inn et ødometerforsøk for bestemmelse av prekosolideringspenningen, stivhet, konsolideringskoeffisienten og tidsmotstand. Ødometerforsøkene kan bli utført i et apparatur enten ved konstant tøyingsrate CRS, eller trinnvis pålastning IL. Massen til prøvene blir målt før innbygning og etter tørking for bestemmelse av vanninnhold og midlere densitet. Innbygning, tolkninger og beregninger utføres i henhold til Håndbok 014 [29].

##### 4.2.3.1 CRS - Konstant tøyingsrate

Med en konstant tøyingsrate blir de aller fleste prøvene utsatt for en kontinuerlig økning av vertikalspenningen. Dette gjør at deformasjonskurven blir glatt, som videre gjør at bestemmelse av ødometerstivheten  $M_{OC}$ , modultallet  $m$  og konsolideringskoeffisienten  $c_v$  blir enklere.

$$M = \frac{d\sigma'}{d\varepsilon_1} \quad (4-1)$$

$$m = \frac{dM}{d\sigma'} \quad , \text{ for } \sigma' > \sigma'_{c,0} \quad (4-2)$$

$$c_v = \frac{d\sigma'}{dt} \frac{(H_0(1 - \varepsilon_1))^2}{2u_b} \quad (4-3)$$

Hvor:  $\varepsilon_1$  = vertikal tøyning [-]  
 $\sigma'$  = vertikal spenning [kPa]  
 $\sigma'_{c,0}$  = vertikal prekonsolideringsspenning [kPa]  
 $H_0$  = starthøyden, (20 mm)  
 $u_b$  = poretrykket i bunn av prøven. [kPa]

#### 4.2.3.2 IL - inkrementell last

Trinnvis ødometer utsetter prøven for flere belastingstrinn. Sjokkbelastning i starten av hvert lasttrinn kan føre til uregelmessigheter i tøyningeberegningene. I tillegg vil det være vanskelig å bestemme prekonsolideringsspenningen, da nøyaktigheten er avhengig av lasttrinnene. Trinnvis belastning vil derimot være nyttig i beregning av tidsmotstanden og tidsmotstandstallet til leiren slik det er beskrevet tidligere. Se ligning (2-2) og (2-3) for utledning.

**Tabell 4-1: Typiske verdier for tidsmotstandstallet for leire (KILDE).**

	Tidsmotstandstallet, $r_s$
NC – leire	100 – 500
OC – leire	1000 – 5000

Det bør utføres et CRS-forsøk og et IL-forsøk for hver blokkprøve. Et CRS-forsøk vil gi en god indikasjon på prekonsolideringsspenningen og setning-/tøyningforløpet som vil være nyttig for krypforsøk i treaksialapparatet og et IL-forsøk vil gi verdier for tidsmotstandstallet, slik at en vurdering av krypprosessen vil være mulig. Om det kun utføres et forsøk, kan et CRS-forsøk foretrekkes framfor et IL-forsøk da prekonsolideringsspenningen anses som viktigere for dette formålet.

#### 4.2.4 Udrenert treaksialt trykkforsøk

For hver blokkprøve må det som nevnt tidligere bli utført minst et treaksialforsøk på forhånd. Dybdereferansen til hver prøve blir fra ca. midt på prøven. Denne dybden og kunnskapen om prekonsolideringsspenningen er grunnlaget til å bestemme konsolideringen til krypserien. Systematisk navngiving av prøvene vil være lurt, da det er sannsynlig at flere forsøk er fra samme dybde. Å bruke forsøks- og konsolideringstype i navnet kan være nyttig for å skille forsøkene fra hverandre. Dette er også viktig å tenke på ved krypforsøkene. Da vil kanskje også mobiliseringsgraden være nyttig for navngivning. Som for ødometerforsøkene, er massen til prøven veid før innbygging og etter tørking for bestemmelse av vanninnhold og midlere densitet.

##### 4.2.4.1 Innbygging

De prøvene som ikke skal bygges inn samme dag som blokkoppdelingen må bli pakket inn i folie dekket av fuktig papir og plastpose, og plassert i kjøleskap frem til forsøket blir utført.

Diameteren på Sherbrooktakeren er ca. 25 cm, så det blir nødvendig å trimme diameteren til prøven. Trimming av prøvene vil bli utført slik det er forklart tidligere. Deretter må høyden til prøvene bli trimmet i en vugge til 100 mm. Ved innbygning må direkte kontakt med prøven unngås, men om trimmingen påfører skader på prøven, grunnet stein eller skjellrester, kan skaden bli lappet med avtrimmet materiale, om dette ikke skaper mer forstyrrelser. Etter registrering av massen til ferdig trimmet prøve,  $m_t$ , kan steinfilter som er oppbevart i destillert vann uten luft, plasseres forsiktig i topp og bunn av prøven. Deretter kan prøven forsiktig plasseres på pidestall i forsøksapparatet. Et vætet filterpapir blir lagt rundt prøven før den pakkes inn i en lateksmembran. Fire gummiringer blir brukt for å holde membranen fast og isolere prøven fra celletrykket. Steinfilterene sikrer drenering av overskuddsporevannet og filterpapiret reduserer dreneringsveien til steinfilterene slik at konsolideringen går raskere.

Etter montering av resten av apparatet, fylles cellen med vann til ca. midt på prøven for å så nullstille poretrykket. Deretter fylles cellen helt opp, lastsensoren monteres og pidestall hevet til kontakt med lastcellen og nullstilt. Celletrykket blir så økt til ca. 10 kPa for å skylle topp- og bunnfilter. Filterene blir skylt med destillert vann utsatt for vakuum for å sørge for at det ikke er luftbobler i systemet. Luftbobler er kompressible og vil føre til for lave målinger av poretrykket, enn hva som er tilfellet. Når alle luftboblene er skylt ut kan LVDT-sensoren monteres og konsolideringsfasen starte.

#### 4.2.4.2 Konsolidering

Etter innbygning justeres celletrykket opp til ønsket konsolideringsspenning og anisotropforhold. For bestemmelse av konsolideringsspenning kan resultatene av tyngdetetthetsbestemmelser fra rutineundersøkelsene brukes. Tyngdetettheten  $\gamma$ , og grunnvannstand må bestemmes for beregning av *OCR* til leiren. I tillegg til egne undersøkelser så kan man bruke tidligere resultater fra samme området som bestemmelsesgrunnlag. Referansedybden til hver prøve brukes for å beregne vertikal in-situ spenning. Den endelige konsolideringsspenningen kan vike fra denne, om det er ønskelig med en annen *OCR*.

$$\sigma'_{v0} = z\gamma - (z - z_w)\gamma_w \quad (4-4)$$

Hvor:  $z$  = dybde under terreng, [m]

$z_w$  = antatt dybde til grunnvannstand, [m]

$\gamma$  = tyngdetetthet til løsmasse, [kN/m<sup>3</sup>]

$\gamma_w$  = tyngdetetthet til vann, [kN/m<sup>3</sup>]

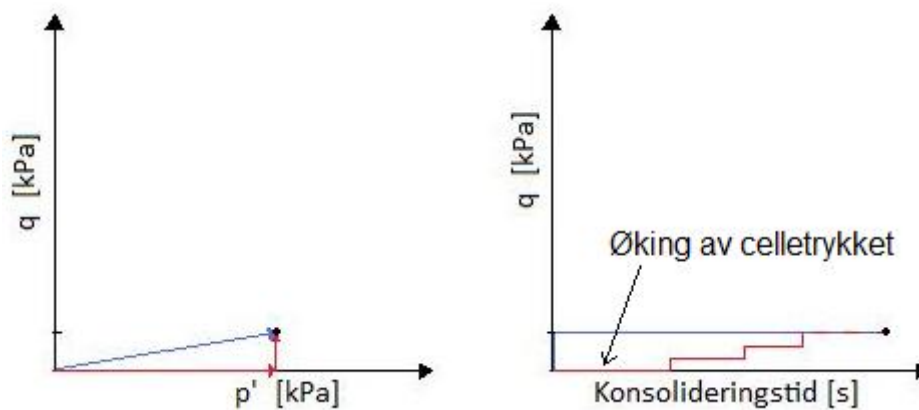
For å unngå mulig nedbryting av leirstrukturen under konsolidering, er det viktig at denne fasen foregår kontrollert. Bestemmelse av celletrykket bør bli gjort ved hjelp av hviletrykkskoeffisienten,  $K_0'$ . Det er ikke nødvendig å benytte Jacky's formel for beregning av  $K_0'$  da den vil gi en lav verdi, og kanskje belaste prøven mye. En verdi på 0,7 vil være greit å starte med, siden en for lav  $K_0'$  kan forårsake brudd i prøven allerede før skjærforsøket blir startet. For senere forsøk vil det kanskje bli aktuelt å utføre forsøk

med lavere verdier av  $K_0'$ . Da kan Jacky's formel for bestemmelse av hviletrykkskoeffisienten brukes:

$$K_0' = 1 - \sin(\varphi) \quad (4-5)$$

Hvor  $\varphi$  = kritisk friksjonsvinkel

For anisotrope forsøk er det ulike måter å påføre konsolideringsspenningen. To av disse er illustrert i figuren under, hvor metoden representert med rød strek vil være måten å foretrekke da den vil gi en gradvis påføring av krefter.



Figur 4-3: Alternativ for konsolidering

Konsolideringen blir så startet, og porevannsutpressingen blir målt ved hjelp av en byrette. Konsolideringstiden blir ikke bestemt på forhånd, men fasen blir avsluttet når kurven for utpresset porevann mot kvadratroten av tid flater helt ut slik det er beskrevet tidligere. Kurver fra konsolideringsfasen for alle forsøk bør legges sammen med resultatene for alle forsøkene slik det er gjort i vedlegg A, B og C. På denne måten kan andre som leser arbeidet enklere forstå forsøksprosessen.

For noen av prøvene kan det være aktuelt å øke konsolideringsspenningen over in situ spenning, og kanskje også helt opp til  $\sigma_{c,0}'$ , med  $OCR = 1$ . Resultatene vil vise hvordan leiren oppfører seg ved andre spenningsforhold enn dagens situasjon, noe som kanskje ofte vil være aktuelt ved utbygging.

#### 4.2.4.3 Skjærforsøk

Når konsolideringen er fullført stenges kranen til byretten for å skape udrenert tilstand i prøven. Skjærforsøket startes ved at motoren løfter pidestallen, som prøven er plassert på med konstant hastighet. Toppstykket på toppen av prøven er holdt fast for vertikal forskyvning og registrerer kraften prøven overfører opp i toppstykket ettersom den blir presset mer og mer sammen. Poretrykket blir registrert i sensorer som er tilkoblet topp- og bunnfilteret. Deformasjonshastigheten kan variere, men 3 mm/h er greit å bruke da forsøket blir ferdig i løpet av en arbeidsdag. Den valgte deformasjonshastigheten tilsvarer en vertikal tøyningshastighet på 3 % per time i forhold til starthøyden. Alle forsøkene blir

stoppet etter 10 mm vertikal deformasjon siden prøvene har gått til brudd, og videre spenningsmålinger blir for unøyaktige.

#### **4.2.4.4 Utbygging**

Når skjærforsøket er avsluttet blir pedistall senket og cellen tømt for vann. Prøven blir tatt ut og leirrester på steinfiltrene skylt med destillert vann før det blir tørket i tørkeskap for bestemmelse av vanninnholdet,  $w$ . Utstyret rengjøres og gjøres klart til neste forsøk.

#### **4.2.5 Krypforsøk i treaksialapparat**

Når krypforsøkene kan begynne, er det viktig å bruke informasjonen fra det vanlige treaksiale skjærforsøket til å velge mobiliseringsgrad og konsolidering. Forskjellen mellom et krypforsøk og et vanlig udrenert treaksialt trykkforsøk er hva som driver forsøket videre. I et «vanlig» forsøk, som er beskrevet over, er det i dag normalt å bruke konstant tøyningshastighet som drivende kraft. I krypforsøket vil kravet om å opprettholde konstant spenning, presse prøven sammen. Etter hvert som prøven faller sammen på grunn av pålastningen, vil motoren kompensere ved å heve pidestallen, slik at valgt skjærspenning opprettholdes.

Om man ønsker å endre konsolidering i samme blokkprøve bør et nytt treaksialt skjærforsøk utføres med ønsket konsolidering, da ulik konsolidering kan påvirke egenskapene til leiren [9].

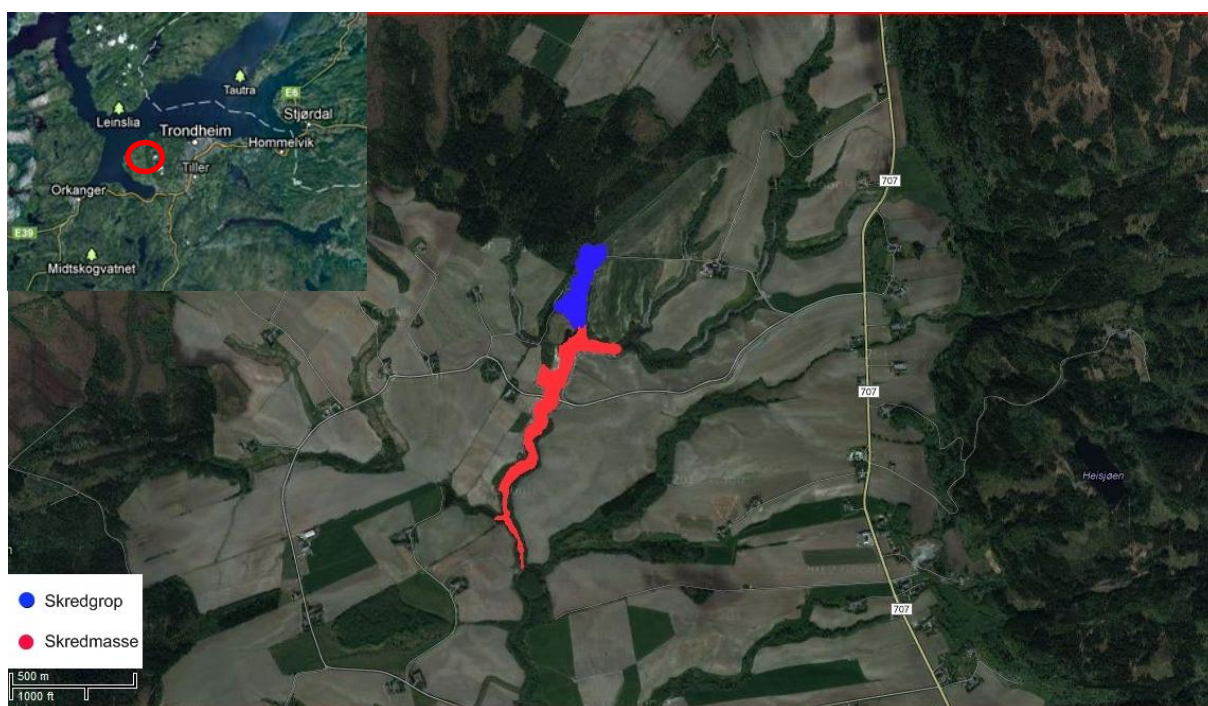
I forbindelse med dette prosjektet vil det i første omgang vil en variasjon av mobiliseringsgraden mellom 0,85 – 1,0 være aktuelt for videre arbeid i henhold til NVE sin veileder på 15 % reduksjon av maksimal skjærspenning. For praktiske årsaker, kan det være lurt å velge den høyeste mobiliseringsgraden i første krypforsøk, da dette sannsynligvis vil føre til krypbrudd tidligere enn forsøk med lavere mobilisering. En annen fordel ved å bruke høy mobilisering først er at forsøkene som gir krypbrudd kan avsluttes, slik at neste forsøk kan starte. Det vil spare lagringstid og forsøksstid totalt, da det er mulig at lavt mobiliserte forsøk ikke går til brudd før flere uker. Se figur 2-10.

I litteraturen finner man at forsøk på sensitivt materiale kan vare i flere uker, men da med mye lavere mobiliseringsgrad. Forsøk på kvikkleire med mobiliseringsgrad mellom 0,85 – 1,0 kan derfor forventes å gå til brudd etter kortere tid. Det vil forsøkene vise. Før man eventuelt avbryter et forsøk og antar at det ikke vil gå til brudd, må utviklingen av tøyningssakselasjonen undersøkes, da det har vist seg at et krypbrudd kan ta veldig lang tid.

Forsøksstiden må også sammenlignes med hvor lenge det vil være riktig å anta udrenert tilstand i jorda. Senere kan det derfor være avgjørende å bestemme hvor lang tid prøvematerialet oppfører seg udrenert. Tidsrammen på forsøksstiden vil være med på å avgjøre hvilken mobiliseringsgrad man bør starte forsøksserien med.

## 5 Mulighetsstudie på Esp, Byneset

Undersøkelser på skjærkryp er avhengig av et sted for opptak av prøvemateriale. Det har blitt utført grunnundersøkelser for å finne et sted som egner seg for å ta opp blokkprøver for videre arbeid i forskningsprosjektet. Det er valgt å undersøke et område i Esp på Byneset, i tilknytning med kvikkleireskredet som ble utløst 1. januar 2012. Figur 5-1 viser en oversikt over kvikkleireskredet samt nærområdet rundt.



**Figur 5-1: Kart over skredområdet på Esp hentet fra maps.google.no 27. april 2013**

Det har blitt satt noen kriterier for hva slags prøvemateriale som er ønskelig å bruke i forskningsprosjektet. Det er ønsket å studere kvikkleire i prosjektet da et lite grunnbrudd kan ha store konsekvenser for områdestabiliteten. Det er også et krav om at prøvemateriale skal være relativt homogent, da få uregelmessigheter gjør det enklere å sammenlikne resultatene. Grunne prøver vil være fordelaktig siden prøve kvaliteten sannsynligvis er bedre enn i dypere prøver. Prøvematerialet skal derfor være en homogen leire som er relativt kvikk, og som ikke er mye dypere enn 10 m under terreng.



## 5.1 Topografi

Skredområdet på Esp består av dyrket mark som er delt opp av raviner og bekker. Like nord for skredområdet er det granskog. Skredgropa og åkrene på hver side heller svakt sørover. Ellers heller åkrene mot nærliggende mindre bekker som danner Ristelva, og renner ut i fjorden ca. 4 km sør for skredgropa på Esp. Figur 5-2 viser skredgropa på Esp før og etter at skredet hadde gått.



**Figur 5-2: Skredgropa før og etter kvikkleireskredet. Hentet fra kart.gulesider.no og maps.google.no den 21. mars 2013.**

I bekkeløp, lik de vi finner på Esp, er det naturlig å anta at bekkene sørger for kontinuerlig erosjon av løsmassene. Stor vannføring i bekkene kan utløse små skred langs bekkeløpet. Figur 5-3 viser to mindre skred på hver sin side av en vei som krysser en ravine ca. 500 m øst, sør- øst for skredet.



**Figur 5-3: To små skred i en ravine. Hentet fra kart.gulesider.no 21. mars 2013**

Det er ca. 500 m mellom kvikkleireskredet fra 2012 og skredene på figuren over. Dette er en indikasjon av et område med aktiv erosjon med risiko for skred.

I tillegg til eget arbeid, er det blitt utført andre rapporter av grunnundersøkelser etter skredet i januar 2012. Kapittelet har også en kort oppsummering av tilgjengelige

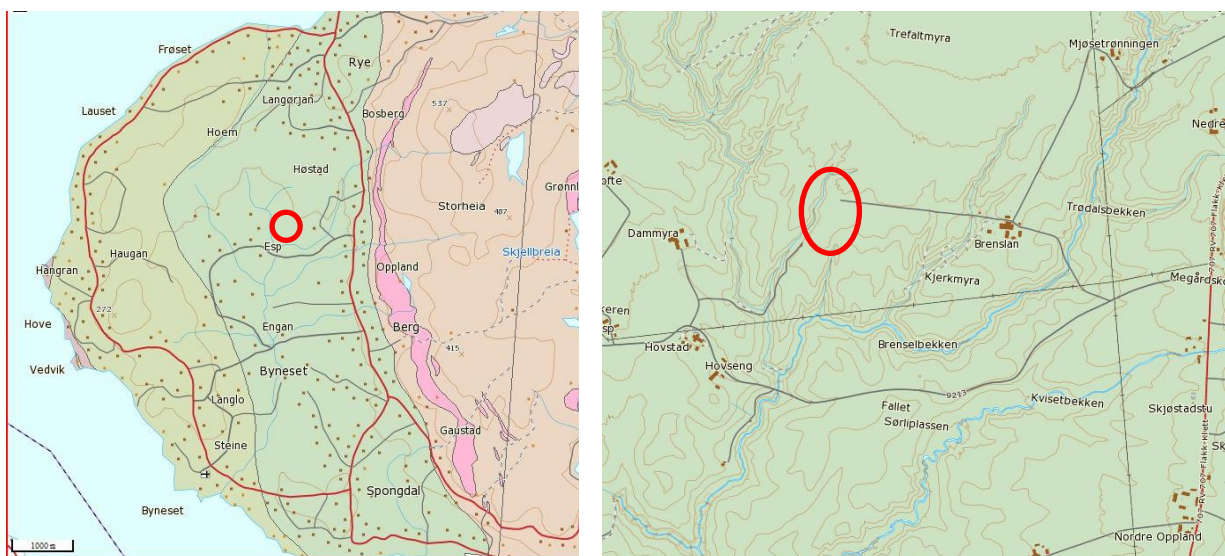
rapporter. De fleste av rapportene er offentlige og kan leses i sin helhet på hjemmesidene til de respektable parter.

## 5.2 Geologisk opprinnelse

Delkapittelet gir en beskrivelse av de geologiske grunnforholdene i området rundt skredgropa.

### 5.2.1 Berggrunnforhold

På figuren under viser kart over berggrunnen på Byneset. Guladdekket er markert med grønn farge, mens berggrunnen i Bymarka, som er farget rosa og rød, er Størensdekket. Skredgropa fra januar 2012 er markert med rød ring, og lokalisert ca. midt i område av Guladdekket.

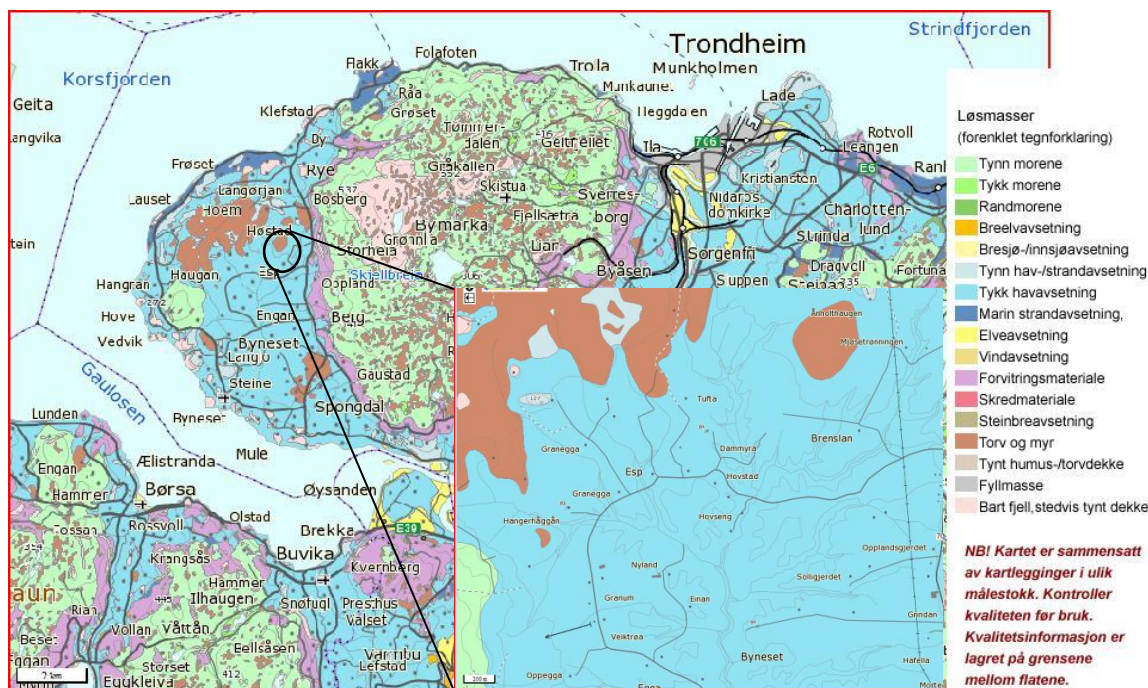


**Figur 5-4: Berggrunnsforholdene på Esp, Byneset. Hentet fra <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> 27. april 2013**

Berggrunnen i området rundt skredgropa består av berg med opprinnelse fra Guladdekket. Guladdekket er en del av en øvre dekkserie i Trøndelag. [32] Guladdekket er flere kilometer tykt, og dannet av metasedimenter og metavulkaner. Dekke består av granatglimmerskifer, sulfidrik grafittskifre, glimmerskier, kvartsitt og amfibolitt. [33, 34]. Deler av dekket er datert til ca 430 mill. år siden og ble dannet i den Paleozoikum ære i den senproterozoikum-ordovicium tid [32].

### 5.2.2 Løsmassene

Siden det ikke er mye berggrunn i dagslys ved skredgropa er det viktig å vite hva hvilke typer løsmasser man kan forvente å finne i området før man starter grunnundersøkelsene. Figur 5-5 viser kartutsnitt over løsmassene på Esp, Byneset. Løsmassekartet er hentet fra NGU sin karttjeneste.



Figur 5-5: Kart på løsmassene på Esp, Byneset. Hentet fra [www.NGU.no](http://www.NGU.no) 22. mars 2013.

På løsmassekartet kan man se at løsmassene rundt skredgropa, som ligger mellom Brenslan og Dammyra gård, består av tykk havavsetning. Havavsetningene omkring skredgropa er av stor mektighet. Tidligere utførte grunnundersøkelser fra eldre rapporter i området støtter dette.

Granskogen, som ligger nord for skredgropa, virker å være plantet på delvis tykk havavsetning og dels torv og myr. Cirka 800 m nordvest for skredgropa er det et større område med løsmasser bestående av torv og myr. Lengre øst for Esp ligger Bymarka i Trondheim.

### 5.3 Skredrisiko

I forbindelse med kartlegging av kvikkleire i Norge, er det også utført skredfare-, konsekvens-, risiko- og sikringsutredninger. Skredrisiko deles opp i klasse 1-5, hvor klasse 4 og 5 anses som uakseptabelt risiko. Klassifiseringen er en samlet vurdering av faregrad og konsekvens. Kartlegging av skredrisiko skal være et hjelpemiddel til å prioritere tiltak for skredsikring.

I januar 2005 leverte NGI en evaluering risiko for kvikkleireskred i Trondheim kommune for NVE. Rapporten tar for seg kvikkleiresoner i hele Trondheim kommune med en vurdering av faregrad, konsekvenser og risiko [35].

De vurderingene jeg omtaler under er fra 2005 og vil derfor være forandret i området i direkte tilknytning til skredet etter januar 2012. Samtidig som sannsynligheten for et nytt skred i de utraste skredmassene er veldig liten, har sannsynligheten kanskje har økt andre steder nettopp på grunn av skredet.

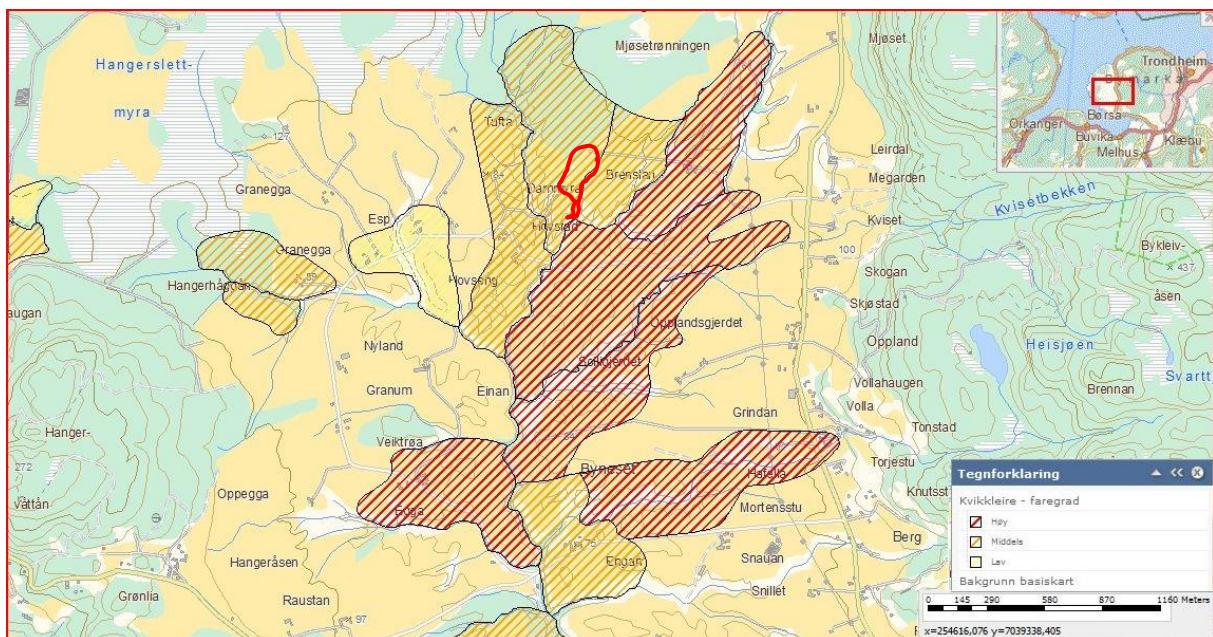
### 5.3.1 Faregrad

Faregraden blir vurdert av grunnforhold, topografi, erosjon og flom, og er sannsynligheten for et skred [36]. Faregrad blir delt i tre klasser som vist i tabell 5-1.

**Tabell 5-1: Faregradklasser [36].**

Klasse	Faregrad
3	Høy
2	Middels
1	Lav

Figur 5-6 viser faregraden for kvikkleire på Esp og nærliggende områder. Kartet er hentet fra NVE sin karttjeneste. Skredgrova fra januar 2012 er markert med rød strek.



**Figur 5-6: Kart over faregrad på Esp, Byneset. Hentet fra [www.NVE.no](http://www.NVE.no) 22. mars 2013.**

Esp har betegnelse middels og høy faregrad for kvikkleire. Skredgrova ligger i Høgstadmyra kvikkleiresone, som er klassifisert med middels faregrad. Områdene sør og vest for skredgrova er klassifisert med høy faregrad. Etter kvikkleireskredet og sikringsarbeid er ferdig, vil faregraden i området mest sannsynlig minske.

### 5.3.2 Konsekvens

Konsekvenser i sammenhengen med skred er en vurdering av skadene et potensielt skred kan forårsake. Faktorer som helse, tap av liv, verdier og viktige samfunnsmessige funksjoner blir vurdert ved skadekonsekvenser [36]. Tabell 5-2 viser oppdelingen av konsekvensklassene.

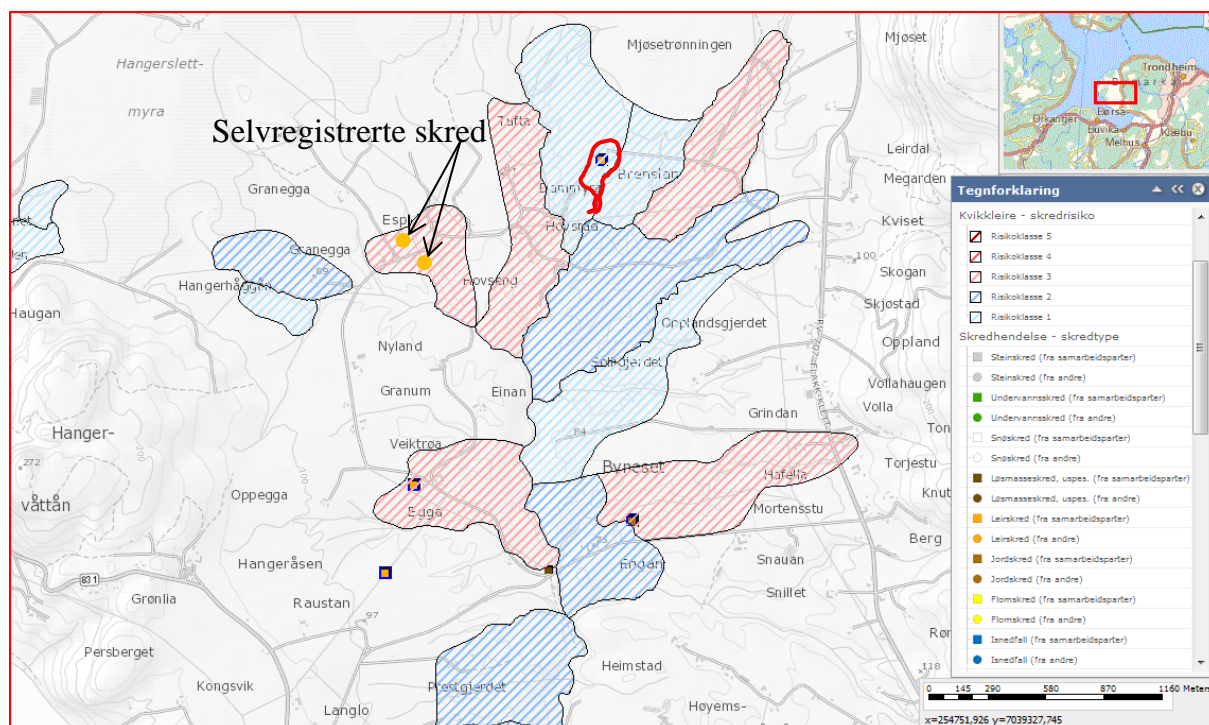
**Tabell 5-2: Konsekvensklasser [36].**

Klasse	Konsekvens
3	Meget alvorlig
2	Alvorlig
1	Mindre alvorlig

De viktigste faktorene som påvirker skadekonsekvensene i skredområdet går på mulig tap av liv og tap av viktige samfunnsmessige funksjoner. Esp består stort sett av dyrket mark som vil være vurdert som mindre alvorlig. Det er ingen viktige samfunnsmessige funksjoner i nærheten av skredgropa. Det er noen gårder spredt over området. Skredsonene i tilknytning til gårdene vil derfor ha en økt sannsynlighet for tap av liv, og vil dermed ha høyere konsekvensklasse.

### 5.3.3 Risiko

Ved en samlet vurdering av faregraden og skadekonsekvensene, har NVE kommet frem til risikovurdering av kvikkleireskred. Et kartutsnitt hentet fra NVE sin karttjeneste viser risikovurderingen i området på Esp, Byneset i figur 5-7. Tidligere registrerte skred er også plottet på figuren for å se sammenheng mellom områdeklassifiseringene, og faktiske skred. Skredgropa fra januar 2012 er markert med rød strek.



**Figur 5-7: Klassifisering av risiko for kvikkleireskred på Esp, Byneset. Hentet fra [www.NVE.no/skrednett](http://www.NVE.no/skrednett) 28. april 2013.**

Kartutsnittet over viser tydelig sammenheng mellom registrerte skred og kartlagte risikoområder. Området i umiddelbar nærhet til skredgropa har middels høy faregrad og

berører kun dyrket mark, som gjør at skadekonsekvensen er mindre alvorlig. Området har derfor blitt klassifisert med risikoklasse 1.

## 5.4 Tidligere rapporter i området

Etter kvikkleireskredet ble utløst i januar 2012 har det blitt skrevet flere geotekniske rapporter fra området. Noen har blitt utført som en del av sikringsarbeidet kun dager etter skredet gikk, mens andre har blitt skrevet senere med tanke på stabilitet og generelle grunnundersøkelser. I dette kapittelet er det forsøkt å samle alle rapporter med geotekniske undersøkelser og vurderinger fra område rundt skredgropa. Ved å se på flere rapporter i området vil man få et bedre grunnlag og oversikt til å forstå grunnforholdene. Noen av rapportene inkluderer også grunnundersøkelser gjort langt unna skredgropa. Det er valgt å ikke legge vekt på de da det er veldig mye informasjon å hente fra de nærliggende undersøkelsene.

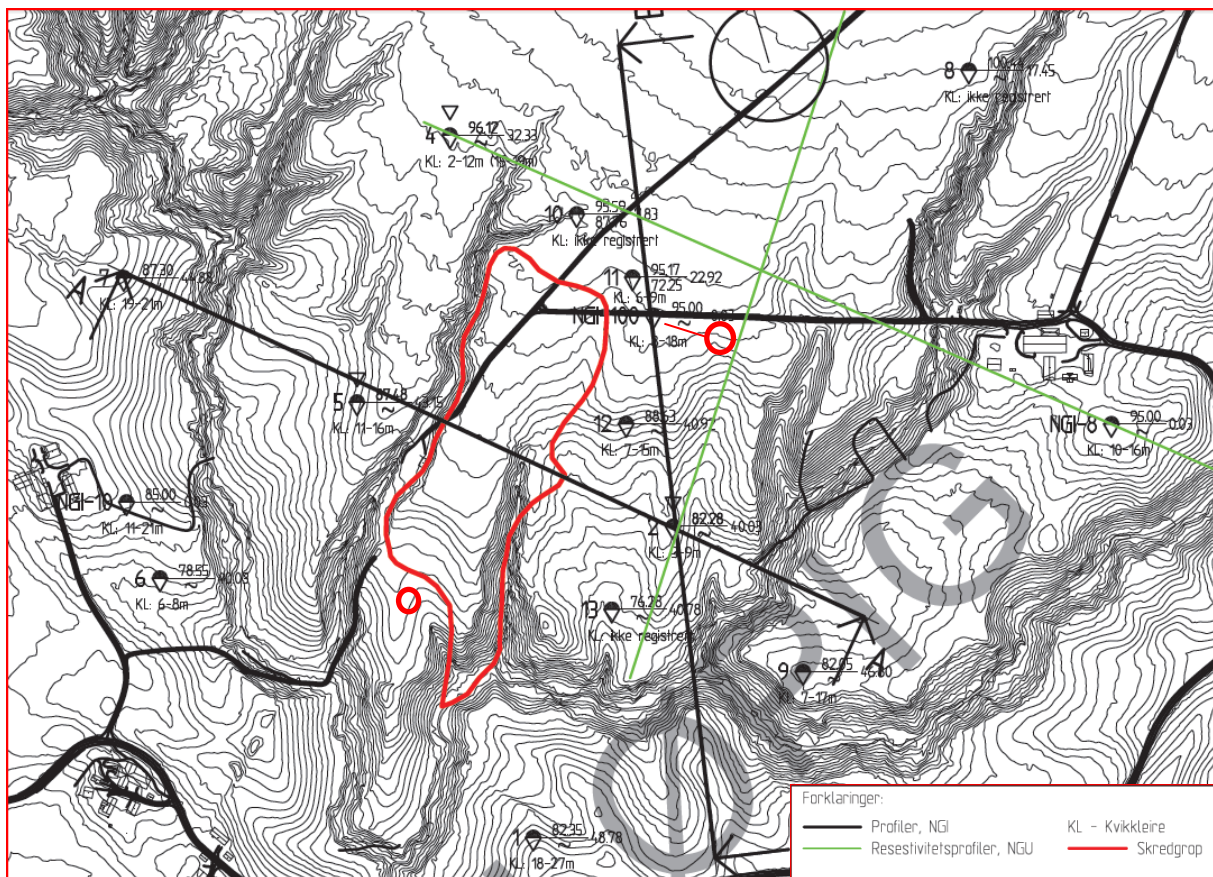
Tabell 5-3 viser en oversikt av de utførte geotekniske rapportene som omhandler skredgropa og nærområdet.

**Tabell 5-3: Oversikt over ferdige rapporter av grunnundersøkelser i nærhet av skredgropen.**

Rapport	Utført av	Undersøkelser	Plassering i forhold til skredgrop
R.1527	Trondheim kommune	26 DOT, 7 TOT, 4 PZ	Rundt hele skredgropa og østvendt skråning ved skredmassefronten
004.2012	NGU	2 stk. 2D resistivitetsprofiler	Øst og nord for skredgropa
20120042-00-1-TN	NGI- foreløpig versjon datert 08.01.12	Sikkerhetsvurdering av hele området	Esp
34/2012	NISF (NVE,SVV)	1 CPTU, 32 prøvet. (5 borepunkter) og 2 GV- og PZ-måling	Øst for skredgropa
1/2012	NVE- foreløpig versjon datert 09.01.12	Situasjonsbeskrivelse og sikringstiltak	Hele området

De to tekniske notatene fra NGI er vedlagt i NVE sin rapport. Det er også vedlagt en hydrologisk vurdering av området i rapporten.

Kartutklippet under viser skredgropen og plassering av alle kjente utførte grunnundersøkelser, samt plassering av grunnundersøkelsene gjort i tilknytning til dette prosjektet markert med rød ring.



Figur 5-8: Oversikt av utførte grunnundersøkelser i nærheten av skredgropa på Esp, Byneset [37].

#### 5.4.1 Trondheim kommune – R.1527: Byneset, Kvikkleireskred

Datarapporten ble utført for å bistå NVE sine grunnundersøkelser i området like etter kvikkleireskredet 1. januar 2012 [38].

#### 5.4.2 NGU – Rapport 2012.004: Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging ved skredgropa på Byneset, Sør-Trøndelag.

I forbindelse kartlegging av løsmassene i etterkant av kvikkleireskredet, utførte NGU to resistivitetmålinger for NVE. Det ble laget to profiler, en parallelt med skredgropa og en på tvers, like nord for skredgropa. Profilene er vist i figur 5-8. Målingene indikerer soner med mulig kvikkleire nordøst og nordvest for skredgropa. Rapporten konkluderer også med at oppstikkende fjell, mulige grove masser og lommer med saltholdig, stabil leire har vært vesentlig for skredutbredelsen av kvikkleireskredet januar 2012 [39].

#### 5.4.3 NVE – Rapport 1/2012: Kvikkleireskred ved Esp, Byneset i Trondheim

Rapporten er en foreløpig versjon datert 09.01.2012 kl 16.00. Rapporten tar for seg sikkerhetsvurderinger og tiltak basert på de to overnevnte rapportene samt et teknisk notat fra NGI og en hydrologisk vurdering og prognose fra Hervé Colleuille.

#### **5.4.4 NIFS – Rapport 34/2012: Datarapport for Kvikkleireskred ved Esp i Byneset i januar 2012**

I tråd med delprosjekt 6 Kivkkleire i etatsprogrammet til NIFS, ønsket de å supplere de utførte grunnundersøkelsene, med en rapport med fokus på prøvetaking. Feltarbeidet ble utført av Statens Vegvesen sommeren 2012. Laboratorieundersøkelsene av de 32 prøvetakningene ble utført av NTNU [40]. Fire av borpunktene er på åkeren som ligger like øst for skredgropa. Området har lignende topografiske trekk som området som raste ut januar 2012.





## 6 Materialundersøkelse fra Esp

I forbindelse med å finne et egnet sted for blokkprøver er det utført grunnundersøkelser. Det har blitt tatt opp totalt 11 prøverør fra to hull, NTNU 1101 og NTNU2. Alle prøvene er tatt opp med 54 mm stålsylindre, og kommer fra mellom 3,0 – 10,8 m dybde. Sylindrene fra prøvehull NTNU1101 ble tatt opp i to omganger. Det ble tatt opp totalt 8 sylindere, fra 3,0 til 10,8 m dybde, henholdsvis fire stykker den 30. oktober og fire stykker den 26. november. Resultatene fra laboratorieundersøkelsene fra 3,0 – 6,8 m dybde ble utført som en del av prosjektoppgaven til undertegnede. Samtlige resultater fra felt- og laboratorieundersøkelsene fra hull NTNU1101 er samlet i denne oppgaven, da nye tolkninger har blitt gjort og fordi det vil gjøre det enklere å se helheten av jordprofilen.

## 6.1 Utførte grunnundersøkelser

Som en del av arbeidet med masteroppgaven og mulighetsstudie, er det utført rutineundersøkelse, treaksial- og ødometerforsøk på de resterende 7 sylindrene. En fullstendig oversikt av hvilke forsøk som er blitt utført med resultater ligger i vedlegg A og B.



Figur 6-1: Oversiktsbilde over kvikkleireskredet og NTNU sine borpunkt på Esp, Byneset. Henter fra [maps.google.no](http://maps.google.no) 18.03.2013.

### 6.1.1 Prøvehull NTNU1101

NTNU 1101 ligger ca. 40 m øst for den nordre skredkanten, og ca. 1 m sør for gårdsveien som kommer fra Brenslan gård. Hullet er lokalisert i et område som må ha tilstrekkelig skjærstyrke uten støtte fra de utrase massene siden det ikke raste ut med resten av skredet eller som et etterskred. Samtidig kan det være kvikkleire der da et mulig kvikkleirelag eller lomme ikke befinner seg i den mest kritiske skjærflate.

Prøvesylindrene fra 7,0 – 10,8 m dybde ble åpnet i begynnelsen av januar 2013. I tillegg til prøvehullet, ble det utført en total og en CPTUR-sondering i oktober 2012. Utenom rutineundersøkelser, er det sendt inn 6 prøver for nøyaktig saltinnholdsmåling og mineralogitestning, og utført 16 ødometerforsøk og 16 treaksialforsøk. Feltundersøkelsene ble utført av Gunnar Winther, Anders Samstad Gylland og Jan Jønland, og laboratorieundersøkelsene av undertegnede. Resultater fra felt- og laboratorieundersøkelsene fra hull NTNU1101 utført av NTNU er samlet i denne oppgaven, og ligger i vedlegg A. Resultatene fra mineralogitestene er kun gjengitt med mineraler og saltinnhold.

### 6.1.2 Prøvehull NTNU2

Det er også utført grunnundersøkelser ved hull NTNU 2. Hullet ble plassert på den i gjenstående jordet, på nedsiden av de utraste massene. Deler av denne plassen raste ut i motsatt retning i forhold til resten av skredmassene, mens andre deler raste ut som et etterskred mot øst [41]. Det er en mulighet at grunnforholdene i området som står igjen består av kvikkleire, da denne utstikkeren kanskje ble «holdt på plass» av skredmassene som strømmet mot den nordre raskanten. Se figur 6-1 og 6-2.



**Figur 6-2: Topografi ved NTNU2 før og etter kvikkleireskredet. Bildet til venstre indikerer skredretning til skredmassene. Hentet fra kart.gulesider.no og maps.google.no den 21. mars 2013.**

På befaring 14. mai 2013 viste det seg synlige forskjeller mellom de utraste massene. Skredmassene fra det første skredet har strømmet ca. 870 m fra skredgropa (figur 6-1), mens de utraste massene fra etterskredet ble delvis liggende igjen i skredgropa [41]. Figur 6-3 viser utsikten over skredgropa retning nord, sett fra skredkanten på etterskredet.



**Figur 6-3: Utsikt over skredgropa på Esp, Byneset, retning nord. Bildet ble tatt 14.05.2013.**

Bildet over viser i hvilken grad skredmassene fra etterskredet har blitt liggende nedenfor skredkanten.

Det er ikke utført grunnundersøkelser på denne plassen tidligere siden oppdemmede bekker og omrørt skredmasser etter skredet har hindret mulig tilgang for borryggene. Nå har bekkene i området blitt erosjonssikret og noe av skredmassene som demmet opp bekkene har blitt fjernet [37]. Etter en befaring den 14. mars 2013 ble det klart at gårdsveien som går opp til hull NTNU2, vist i bildet til høyre i figur 6-2, fortsatt ligger delvis under vann. Ved hjelp av de nye veiene som har blitt laget i forbindelse med plastring av bekkene og tykk is gjør det mulig for borryggen å komme frem.

Da det ble valgt nøyaktig plassering av NTNU2, var det viktig at hullet ikke var for nær skredkanten, da jordmassene her allerede har blitt vesentlig mer skjærbelastet grunnet den nye topografien. Området nær skredkanten har hatt en drastisk endring i spenningsfordeling, og vil derfor allerede ha startet å krype av den høyere skjærbelastning. I første omgang ble det valgt å utføre en dreietrykksondering og en CPTU for å undersøke om materialet kan være av interesse for prosjektet. Etter en vurdering av resultatene fra feltundersøkelsene, ble det tatt opp tre prøverør dagen etter, i dybde:

- 4,0 – 4,8 m
- 7,0 – 7,8 m
- 10,0 – 10,8 m

Feltarbeidet ble utført av Anders S. Gylland og Gunnar Winther, mens laboratorieundersøkelsene ble utført av undertegnede. I tillegg til rutineundersøkelsene er det utført 3 ødometerforsøk og 2 treaksial forsøk. Resultatene fra felt- og laboratorieundersøkelsene er samlet i vedlegg B.

### **6.1.3 Opptak av blokkprøver**

I mai 2013 startet arbeidet med å gjøre klar borryggen for blokkprøvetaking ved NTNU2. Bekkedalen vest for skredgropa er for bratt for å kjøre borryggen over til tomten fra denne siden. Se figur 6-4. I stedet ble det forsøkt å lage en bro over den oppdemmede bekken sør-vest for hull NTNU2.



**Figur 6-4: Venstre: Erosjon langs bekkeløpet som renner sørover lokalisert like vest for skredgrova. Høyre: Oppløst overgang ved oppdemmet bekkeløp.**

Hensikten var å delvis benytte seg av en provisorisk overgang til gårdsveien som går opp til åkeren. Overgangen var laget av bonden i forbindelse med hogstarbeid, og planen var å supplere overgangen med en 6 m lang stålbro og paller, slik at borryggen kunne komme over. På grunn av høy utetemperatur i Trondheim i denne perioden viste det seg at den tilsynelatende relativ stabile overgangen ble holdt oppe av is. Bildet til høyre viser hvordan hele overgangen gikk i oppløsning i løpet halvannen dag. Det ble konkludert med at det ikke var økonomisk riktig å fortsette arbeidet ved overgangen, da det senere er planlagt å bygge en overgang oppå den gamle gårdsveien av andre.

Framkommeligheten over skredmassene sør for NTNU2 ble også vurdert. Fra anleggsveiene laget i forbindelse med erosjonsikringen og den sørlige åkeren var det ca. 50 m med skredmasser som må krysses. Figur 6-5 viser trassene over skredmassene som ble vurdert.



**Figur 6-5: Venstre: mulige traseer til hull NTNU 2 over skredmassene. Høyre: skredmassene på traseen sett mot øst.**

Det viste seg at noen steder hadde det øverste laget med skredmassene tørket, men det var synlig vann mellom sprekkene, og det var mulig å dytte en pinne gjennom massene uten særlig problemer. I tillegg var det områder dekket av vann som var meget bløte.

Etter vurderingen av de forskjellige mulighetene ble det besluttet å vente på anleggelsen av den nye gårdsveien for å ta opp blokkprøver ved hull NTNU 2.

## **6.2 Resultater**

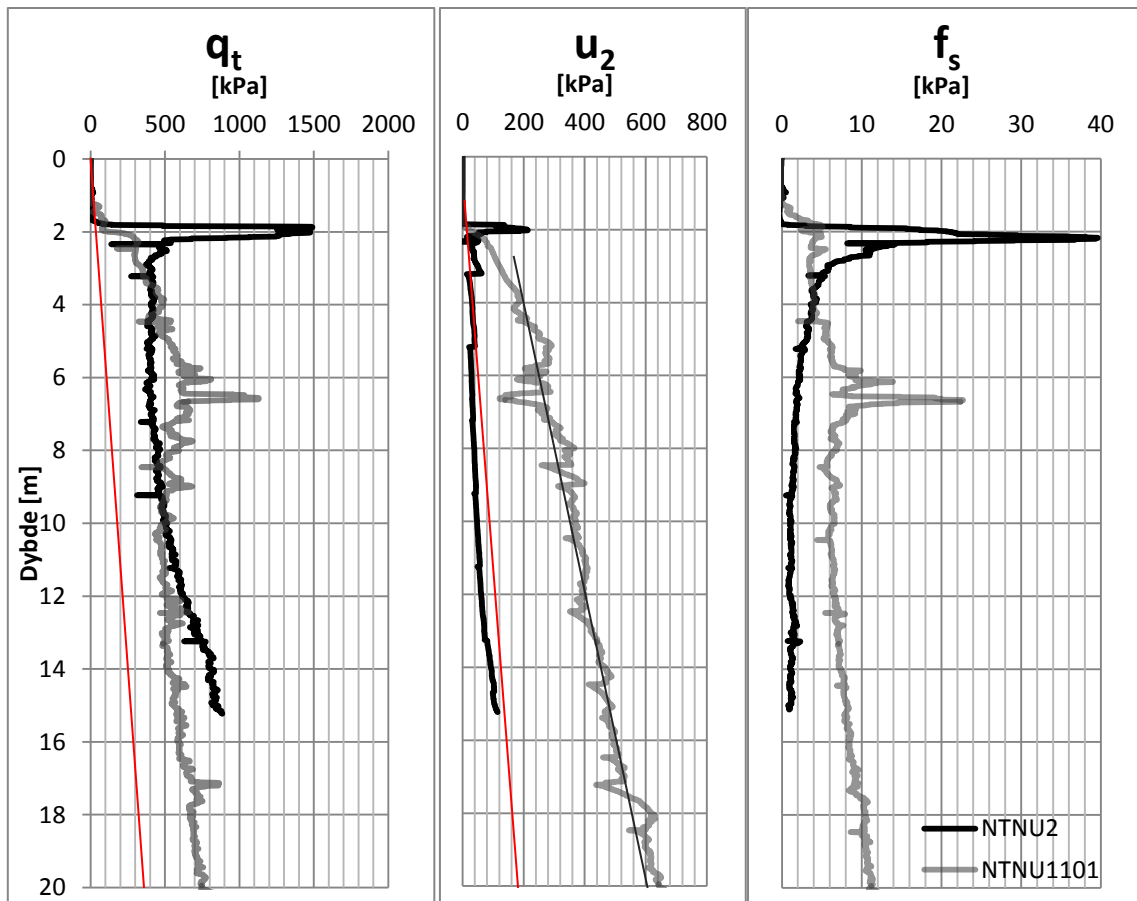
Dette delkapittelet presenterer resultatene fra utførte grunnundersøkelser på Esp, Byneset. Resultatene fra utførte grunnundersøkelser fra høst 2012 er også tatt med i tolkningen av løsmassene på Esp i Byneset. Det vil være et større fokus på detaljer med de undersøkelsene som er blitt utført i løpet av masteroppgaven i dette kapittelet, siden prøveåpningene utført i 2012 allerede har blitt beskrevet av King, 2012.

### **6.2.1 Sonderinger**

Det er utført forskjellige sonderinger i forbindelse med prosjektet. I dette avsnittet er resultatene fra sonderingene sammenlignet.

#### **6.2.1.1 CPTU**

Grafene under viser CPTU-sonderingene fra NTNU 1101 utført oktober 2012 og NTNU 2 i april 2013. Det er gjort noen linjeriseringer i resultatene for å vise antagelsene som er blitt gjort. Det skal nevnes at poretrykkmålingene fra NTNU 2 er feil, da det viste seg å være noe galt med CPTU-sonden. De røde strekene markerer vertikal totalspenning og hydrostatisk poretrykk.



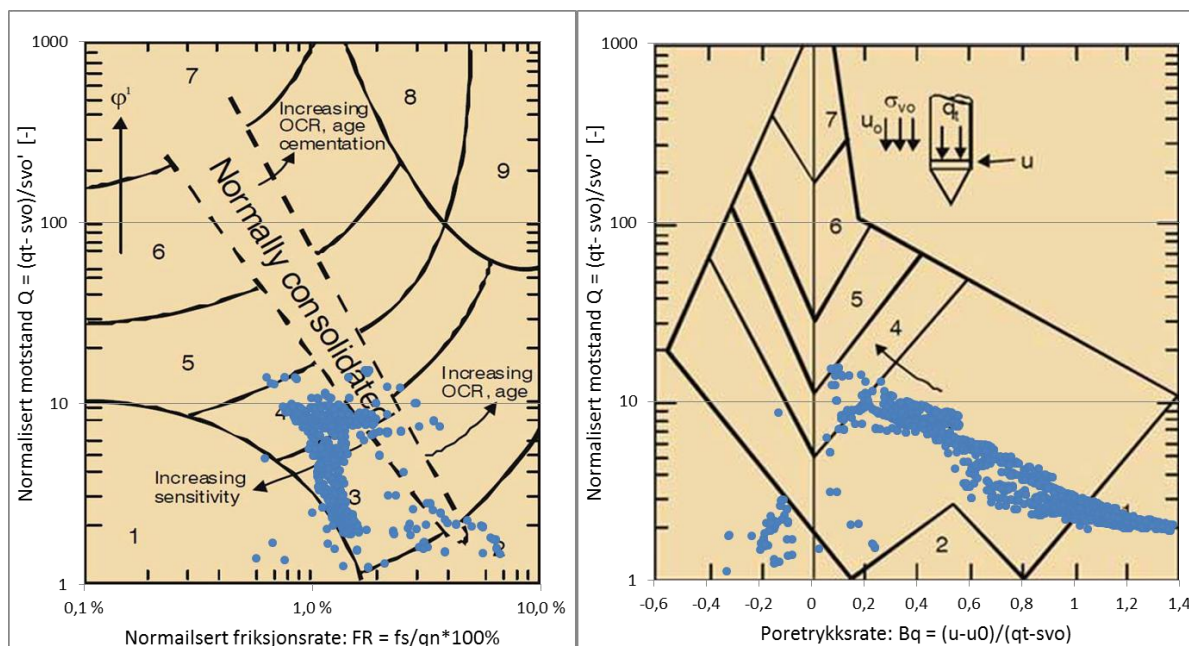
Figur 6-6: CPTU sonderinger fra NTNU 1101 og NTNU 2.

#### 6.2.1.1.1 Borpunkt NTNU1101

Resultatene fra spissmotstanden, poretrykket og sidefriksjonen sett sammen antyder et lagskille ved ca. 6 – 7 m dybde. Samtidig virker det som leiren fra ca. 8 – 11 m dybde er noe mer sensitiv da kurvene viser konstant sidefriksjon og tupp motstand ved disse dybdene. Fra 11 m dybde og videre ned øker motstanden og friksjonen ca. lineært som indikerer et mindre sensitivt materiale. Poretrykket registrert viser at det er hydrostatisk overtrykk.

Det ble brukt RCPTU-sonde ved denne sonderingen. Ved å bruk resistivitetsmålingene er det mulig å klassifisere materialet [42].





Figur 6-7: Materialklassifisering etter Robertson, 1990.

Tabell 6-1: Materialbeskrivelse for de forskjellige sonene [42].

Sone	Beskrivelse	Sone	Beskrivelse
1	Sensitiv, finkornet	6	Sand
2	Organisk materiale - trov	7	Grusig sand til sand
3	Leirer - Leire til siltig leire	8	Veldig stiv sand til sand
4	Silt blanding - leirig silt til siltig leire	9	Veldig stiv finkornet
5	Sand blanding - siltig sand til sandig silt		

Figur 6-7 viser at resultatene fra sonderinger antyder at materialet er litt sensitiv siltig leire eller leirig silt.

#### 6.2.1.1.2 Borpunkt NTNU2

Resultatene fra både spissmotstanden og sidefriksjonen indikerer at den første meteren er tørrskorpe og at materialet under tørrskorpa består løsmasser uten tydelig lagskille. Det er antydning til sensitivt materiale fra ca. 3 – 7,5 m dybde. Her er det ingen eller liten økning av tupp motstand samtidig som sidefriksjonen synker. Fra ca. 7,5 m dybde begynner spissmotstanden å øke, mens sidefriksjonen synker ytterligere fra ca. 2 kPa til 1 kPa. Dette kan forklares ved at uforstyrret skjærstyrke øker med dybden, men at materialet er såpass sensitivt at det yter liten friksjon etter forstyrrelser.

Det er utført en CPTU-sondering ved hull SVV 12 [40]. Plasseringen til hullet ca. 100 m øst for midt på skredgrova. For nøyaktig plassering se figur 5-8. Poretrykket stemmer godt overens med målte verdier fra borpunkt NTNU 1101. Det stemmer også med grunnundersøkelsene utført av Trondheim kommune i området [38]. Da det ikke er utført noen poretrykksmåling ved NTNU 2 kan man anta en liknende poretrykkprofil.

Sidefriksjonen i borpunkt SVV 12 virker å sammenfalle med resultatene fra NTNU 2. Sonderingen viser spesielt lav sidefriksjon ca. 5 – 15 m dybde [40].

Ved å se på sidefriksjonen i de to hullene, er det tydelig at hull NTNU 2 er mer sensitivt. I tillegg egner materialet ved hull NTNU 2 seg til blokkprøvetaking da det er få eller ingen lagskiller eller sjikt. Resultatene fra rutineundersøkelsene vil eventuelt bekrefte dette.

#### **6.2.1.2 Totaltsondering**

Det er kun utført en totalsondering. Den ble gjort i borpunkt NTNU 1101. Det ble ikke brukt spyling og sonderingen hadde jevn rotasjon på ca. 25 runder per minutt før den ble stoppet ved 21,8 m dybde uten å treffe fjell. Resultatet er vist i Vedlegg A.2.

Totalsonderingen viser økt motstand frem til ca. 7 m dybde. Fra ca. 7 – 15 m dybde synker motstanden igjen.

#### **6.2.1.3 Dreietrykkssondering**

I borpunkt NTNU 2 ble det utført en dreietrykkssondering. Sonderingen er vist i vedlegg B.2. Resultatene viser at det er ca. 1 m tykt lag med tørrskorpe over sensitiv leire. Sonderingen ble stoppet ved ca. 14,5 m dybde. Trondheim kommune utførte 26 dreietrykkssonderinger på Esp, Byneset i forbindelse med sikringsarbeidet etter skredet [38]. Trondheim kommune konkluderte med at området besto av bløt leire av stor mektighet, bortsett fra området nord for skredkanten [38]. Resultatene stemmer overens med resistivitetsmålinger utført av NGU [39]. Dreiesonderingen ved borpunkt NTNU 2 viser til at grunnen der muligvis er mer sensitiv enn i borpunktene til Trondheim kommune, da nedpressingskraften,  $F_{DT}$ , ikke er målt høyere enn til 3 kN fra 1 – 15 m dybde.

### **6.2.2 Rutineundersøkelser**

Det er utført rutineundersøkelser fra begge borpunkt. Dette kapittelet har samler resultatene fra begge borpunkt og

#### **6.2.2.1 Hull NTNU1101**

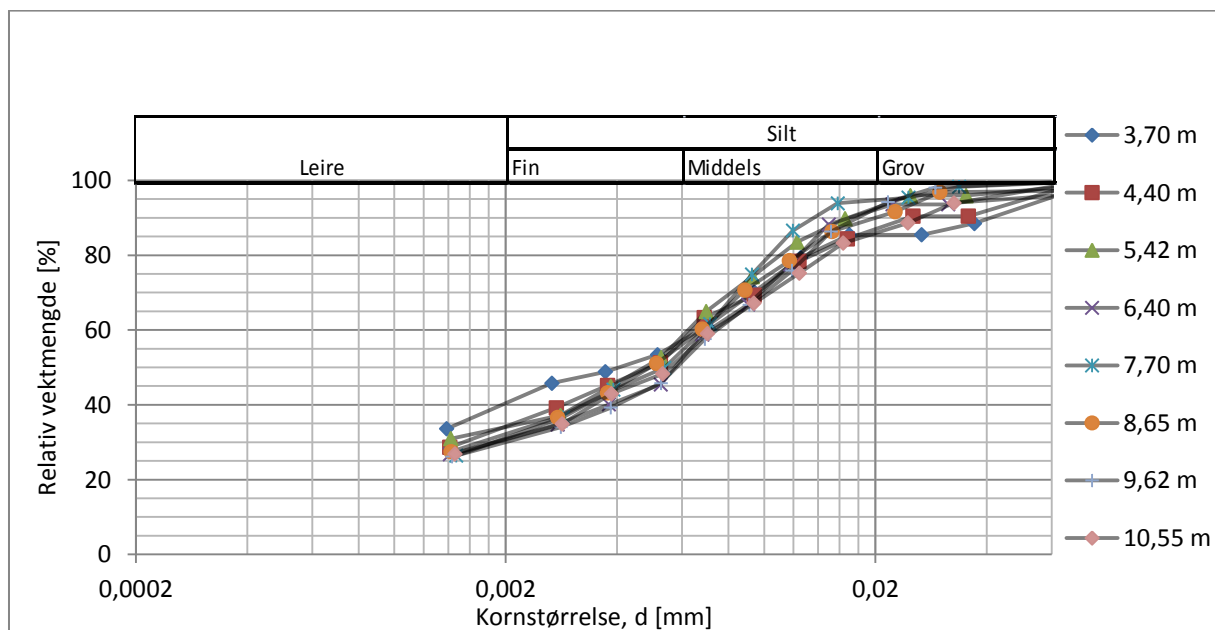
Resultatene viser en relativ homogen, overkonsolidert, siltig leire med mye gruskorn og skjellrester. Fra visuell klassifisering er det registrert et mulig siltlag ved 8,30-8,60 m dybde. Kvikkleire er påvist ved 10,0 – 11,0 m dybde.

Tabell 6-2: Parameter og resultat fra indekstester fra NTNU 1101.

Egenskaper	Verdier	[ - ]	Merknader
Leirinnhold	30 – 40	%	
Siltinnhold	46 – 70	%	
Vanninnhold, $w$	31 – 48	%	
Plastisitetsgrense, $w_p$	20,4 – 29,0	%	Synkende med dybden
Flytegrense, $w_L$	24,3 – 36,8	%	Synkende med dybden
Plastisitetsindeks, $I_p$	3 – 8,4	%	
Flytindeks, $I_L$	1,44 – 4,14	-	
Saltinnhold, $S$	0,5 – 2,2	g/L	Synkende med dybden
Porøsitet, $n$	44,1 – 58,9	%	
Poretall, $e$	0,79 – 1,43	-	
Metningsgrad, $S_r$	99,5 – 107,8	%	
Densitet, $\rho$	1,76 – 1,98	g/cm <sup>3</sup>	
Korndensitet, $\rho_s$	2,66 – 2,80	g/cm <sup>3</sup>	
$s_u$	22 – 68	kPa	
$s_{r,k}$	0,37 – 6,13	kPa	Påvist kvikkleire ved 10,0–10,8m dybde
Sensitivitet, $S_t$	9 - 109	kPa	

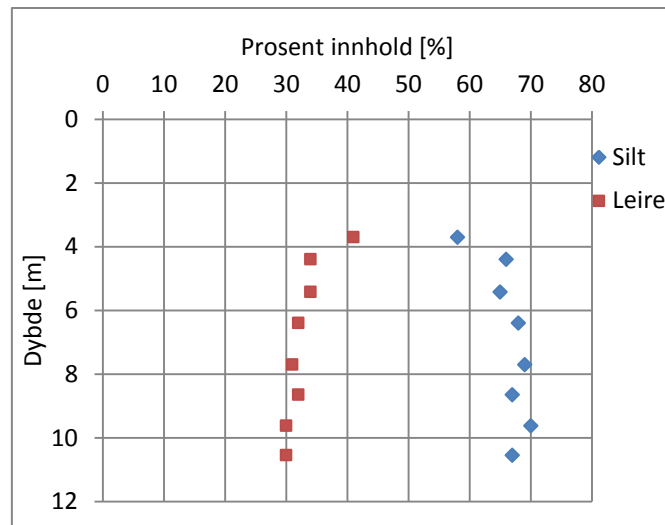
Utenom det som er nevnt i tabell 6-2 blir materialet klassifisert som lite plastisk og aktivt og middels til meget sensitivt [7].

Figur 6-8 viser en oversikt av hydrometerforsøkene fra NTNU1101. Det er ikke vært mulig å bestemme graderingstallet til materialet da ingen av hydrometerforsøkene går under 25 % av relativ vektmengde [7].



Figur 6-8: Samlet kornfordeling fra prøvehull NTNU1101.

Kurvene viser en ca. lik kornfordelig gjennom dybden. Materialet er definert som leire med meget høyt siltinnhold [7]. Klassifiseringen stemmer godt overens med klassifiseringen fra RCPTU-sonderingen.



Figur 6-9: Prosentvis innhold av leire og silt.

Figuren over indikerer at siltinnholdet til materialet øker med dybden. Fra 7 – 11 m dybde er løsmassene ca. 70 % silt, og kun 30 % leire.

### 6.2.2.2 Hull NTNU2

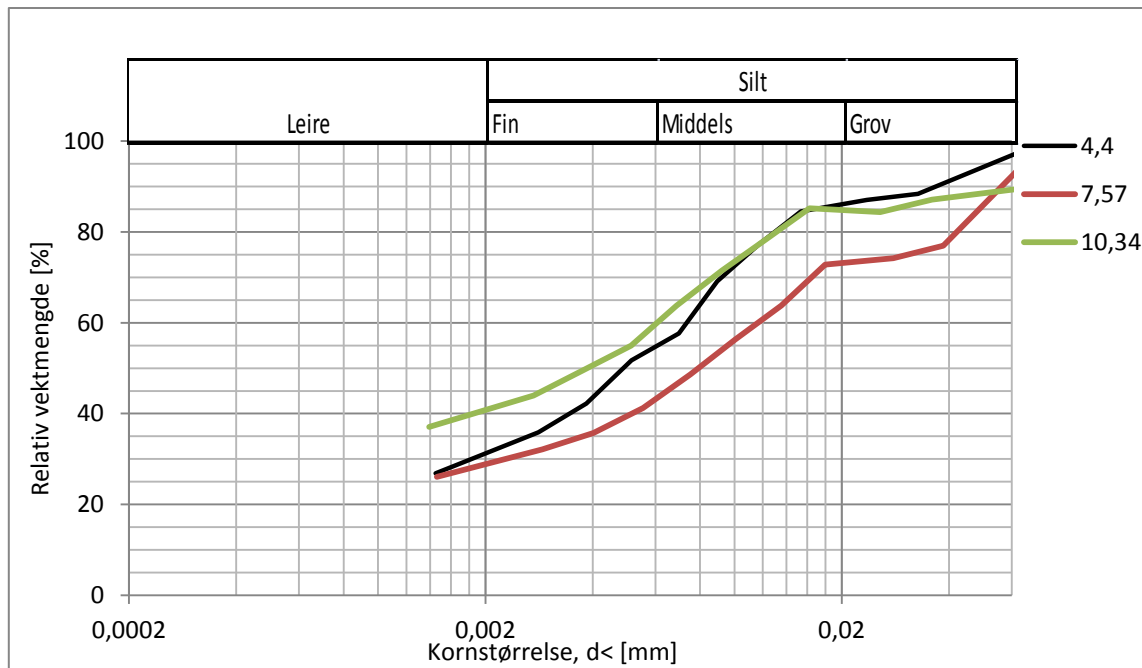
Resultatene fra prøvene som er tatt opp viser en meget homogen, høyt overkonsolidert, siltig leire med få gruskorn og skjellrester. Fra visuell klassifisering er det ikke registrert et noen form for lagdeling. Kvikkleire er påvist ved 7,0 – 7,8 m og 10,0 – 10,8 m dybde. Prøvematerialet fra 10,0 – 10,8 m dybde var forstyrret etter utskyvning.

Tabell 6-3: Parameter og resultat fra indekstester fra NTNU 2.

Egenskaper			Merknader
Leirinnhold	29 – 41	%	
Siltinnhold	71 – 59	%	
Vanninnhold, $w$	35 – 40	%	
Plastisitetsgrense, $w_p$	25,2 – 28,7	%	
Flytegrense, $w_L$	20,3 – 22,4	%	
Plastisitetsindeks, $I_p$	4,5 – 6,3	%	.
Flytindeks, $I_L$	2,04 – 3,34	-	
Saltinnhold, $S$	0,7 – 3,7	g/L	Usikre på verdiene på grunn av stor spredning.
Porøsitet, $n$	45,9 – 50,1	%	
Poretall, $e$	0,85 – 1,01	-	
Metningsgrad, $S_r$	102 – 103	%	
Densitet, $\rho$	1,88 – 1,94	g/cm <sup>3</sup>	
Korndensitet, $\rho_s$	2,70 – 2,72	g/cm <sup>3</sup>	
$s_{u,k}$	11 – 33	kPa	Forstyrret materiale ved 10,0 – 10,8 m dybde
$s_{r,k}$	0,20 – 1,95	kPa	Påvist kvikkleire ved 7,0 – 7,8 og 10,0 – 10,8m
Sensitivitet, $S_t$	17 – 116	kPa	

Utenom det som er nevnt i tabell 6-3 blir materialet klassifisert som lite plastisk og aktivt og middels til meget sensitivt [7].

Figur 6-10 viser en oversikt av de tre hydrometerforsøkene fra NTNU 2. Det er heller ikke her definert et graderingstall til materialet da ingen av hydrometerforsøkene går under 25 % av relativ vektmenge [7].



**Figur 6-10: Samlet kornfordeling fra prøvehull NTNU 2**

Figuren over indikerer noe ulik kornfordeling i de forskjellige prøvene. Da borpunkt NTNU 1101 viste en tendens til økende siltinnhold med dybde, er det med et tynt grunnlag, en motsatt tendens i NTNU 2. Det må gjøres flere kornfordelinger før det er mulig å konkludere dette.

### 6.2.3 Ødometer

Dette kapittelet samler resultatene fra de 11 ødometerforsøkene fra NTNU 1101 og 2, utført våren 2013, samt de 8 ødometerforsøkene fra NTNU 1101 utført november 2012. Fire av ødometerene fra NTNU 1101 ble utført med trinnvis belastning, resten var CRS-forsøk. Lasttrinnene prøvene ble belastet med tilsvarende spenninger på 25, 50, 100, 200, 400, 700 kPa. Alle trinnene varte en time. Resultatene fra ødometerforsøkene er oppsummert i tabell 6-5. Mer detaljerte resultater fra hvert forsøk er lagt ved i Vedlegg A og B. Det er også presentert noen kommentarer om utførelsen fra enkelte forsøk som anses å være nyttig informasjon.

#### 6.2.3.1 Parametere

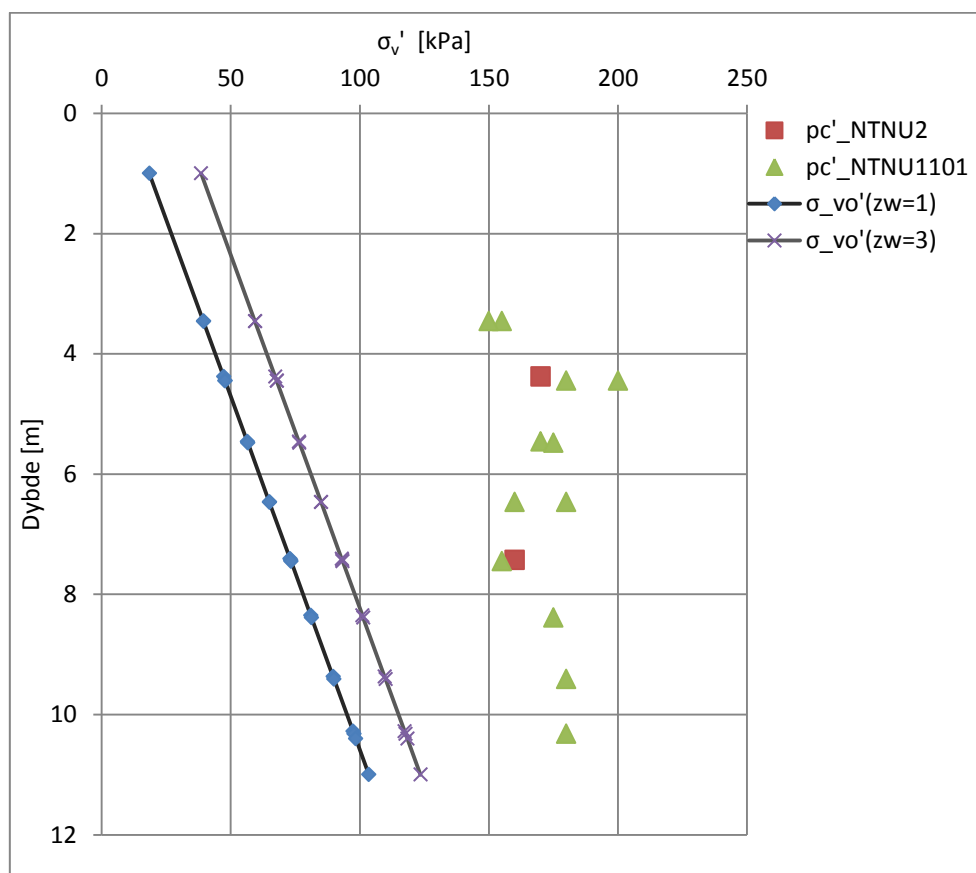
En vurdering av jordparameterne fra ødometerforsøkene gjennom hele profilet sammen med prøver fra nærliggende områder vil gi en bedre oversikt til å vurdere prekonsolidering, mulig tidligere terrengnivå og konsolideringskoeffisienten.

Tabell 6-4: Parametere fra ødometerforsøk.

Egenskaper			Merknader
<b>NTNU 1101</b>			
<i>OCR</i>	1 - 4	-	Synkende med dybden
<i>POP</i>	Ca. 70-120	kPa	Avhengig av grunnvannstand og dybde
<i>Moc</i>	3 - 6	MPa	
<i>m</i>	15-20	-	
<i>r<sub>s</sub></i>	194 - 250	-	Hentet fra prekonsolideringsspenningen
<i>c<sub>v</sub></i>	5 - 100	m <sup>2</sup> /år	Hentet fra gjennomsnitt i OC-område
<b>NTNU 2</b>			
<i>OCR</i>	2,2 – 3,6	-	Krever flere forsøk for bestemmelse.
<i>POP</i>	-	kPa	
<i>Moc</i>	3,5 – 4	MPa	
<i>m</i>	16 – 19	-	
<i>c<sub>v</sub></i>	10 - 30	m <sup>2</sup> /år	Hentet fra gjennomsnitt i OC-område

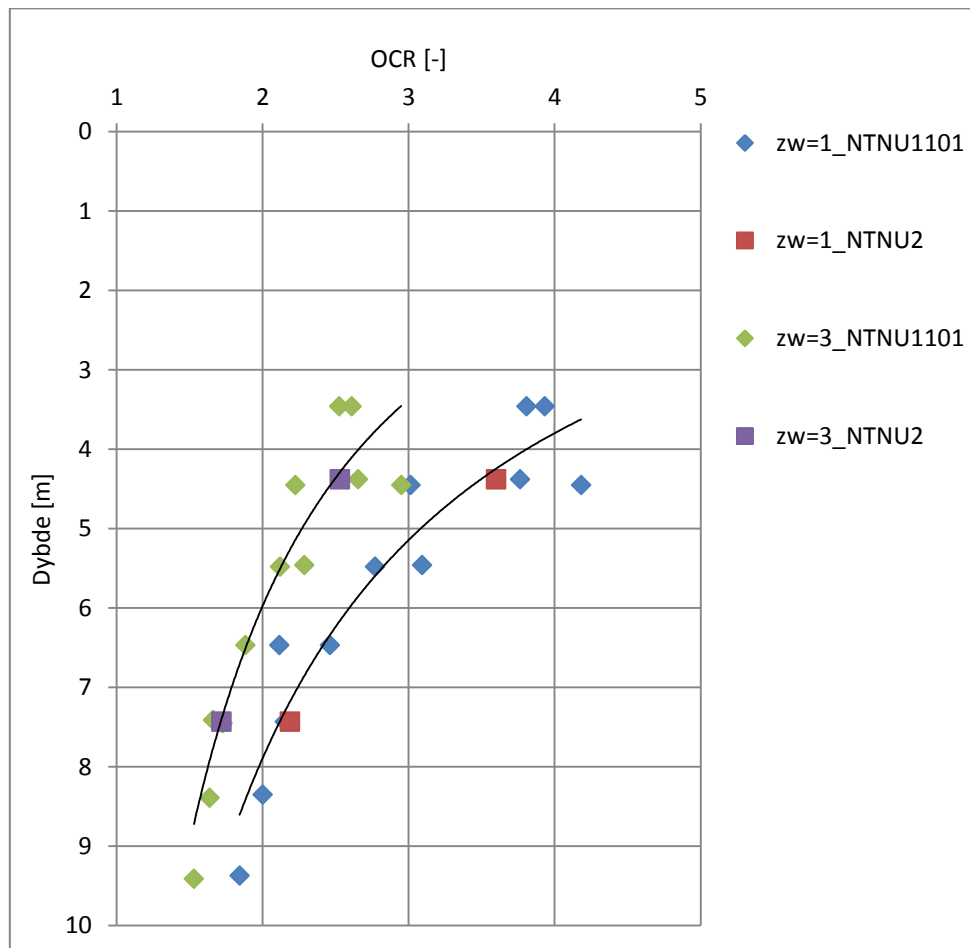
### 6.2.3.1.1 OCR og POP

Overkonsolideringsgraden blir beregnet fra prekonsolideringsspenningen som blir funnet ved ødometerforsøk og beregnet in situ spenning. Figur 6-11 viser hvordan prekonsolideringen og in situ effektivpenning varierer i profil NTNU 1101.



Figur 6-11: Prekonsolideringsspenning fra NTNU 1101 og NTNU 2 samt in situ spenning for grunnvannstand på 1 og 3 m dybde.

Ved å sammenligne den vertikale prekonsolideringsspenningen,  $\sigma_{c,v}'$ , til leiren, og beregne effektiv vertikal in-situ spenning, kan det tolkes at leiren har en *POP*, «pre over pressure», på ca. 70 - 100 kPa. Se figur 6-11. Dette indikerer at løsmassene er overkonsolidert av både aldring, og tidligere overliggende løsmasser. Figur 6-12 viser hvordan overkonsolideringsgraden varierer i profilet. Det er valgt å beregne OCR for grunnvannstand ved 1 og 3 m dybde siden NIFS i sin datarapport, fra åkeren øst for skredgropa, har registrert grunnvannstand til å være ved ca. 2 – 3 m dybde [40].



**Figur 6-12: Variasjon av OCR med dybden av utførte forsøk for grunnvannstand i 1 og 3 m dybde.**

Trendlinjen er laget med resultatene fra hull NTNU 1101. Figuren over viser at resultatene fra hull NTNU 2 ligger på denne trendlinjen.

Resultatene fra NTNU1101 viser en synkende OCR, fra ca. 4 til ca. 2 ved 10,4 m dybde. Dette kan tyde på at opprinnelig terrengnivå har vært mye høyere enn dagens nivå. Ved å anta dagens tilstand med grunnvannstand på 1 m dybde og gjennomsnittlig tyngdetetthet er  $18,5 \text{ kN/m}^3$  også gjaldt før løsmassene ble erodert bort, kan tykkelsen på de eroderte løsmassene beregnes. Ved å anta en viss sekundær konsolideringseffekt slik som er beskrevet tidligere kan man beregne tykkelsen på eroderte løsmasser ved å sette ligning (4-4) inn i ligning (2-1).



$$z_{\text{terrengforskjell}} = z_{\text{før}} - z_{\text{nå}} = \left( \frac{\frac{\sigma_{c0}'}{\text{Tidseffekt}} - z_w \gamma_w}{\gamma - \gamma_w} \right) - z_{\text{nå}} \quad (6-1)$$

Hvor  $z_{\text{før}}$  = dybde til under tidligere terrengkote [m]

$z_{\text{nå}}$  = dybde under dagens terreng [m]

$z_w$  = grunnvannstand [m]

$\gamma$  = tyngdetetthet til løsmasse [kN/m<sup>3</sup>]

$\gamma_w$  = tyngdetetthet til vann, ca. 10 kN/m<sup>3</sup>

$\sigma_{v0}'$  = prekonsolideringsspenningen [kPa]

I tabell 6-6 er det valgt ut tre ødometerforsøk fra hull NTNU 1101 for å vurdere hvor tykt lag med løsmasser som har erodert bort. Det er valgt å ikke sammenligne med hull NTNU 2, da kvotene er forskjellige. Det er valgt å variere den sekundære konsolideringseffekten.

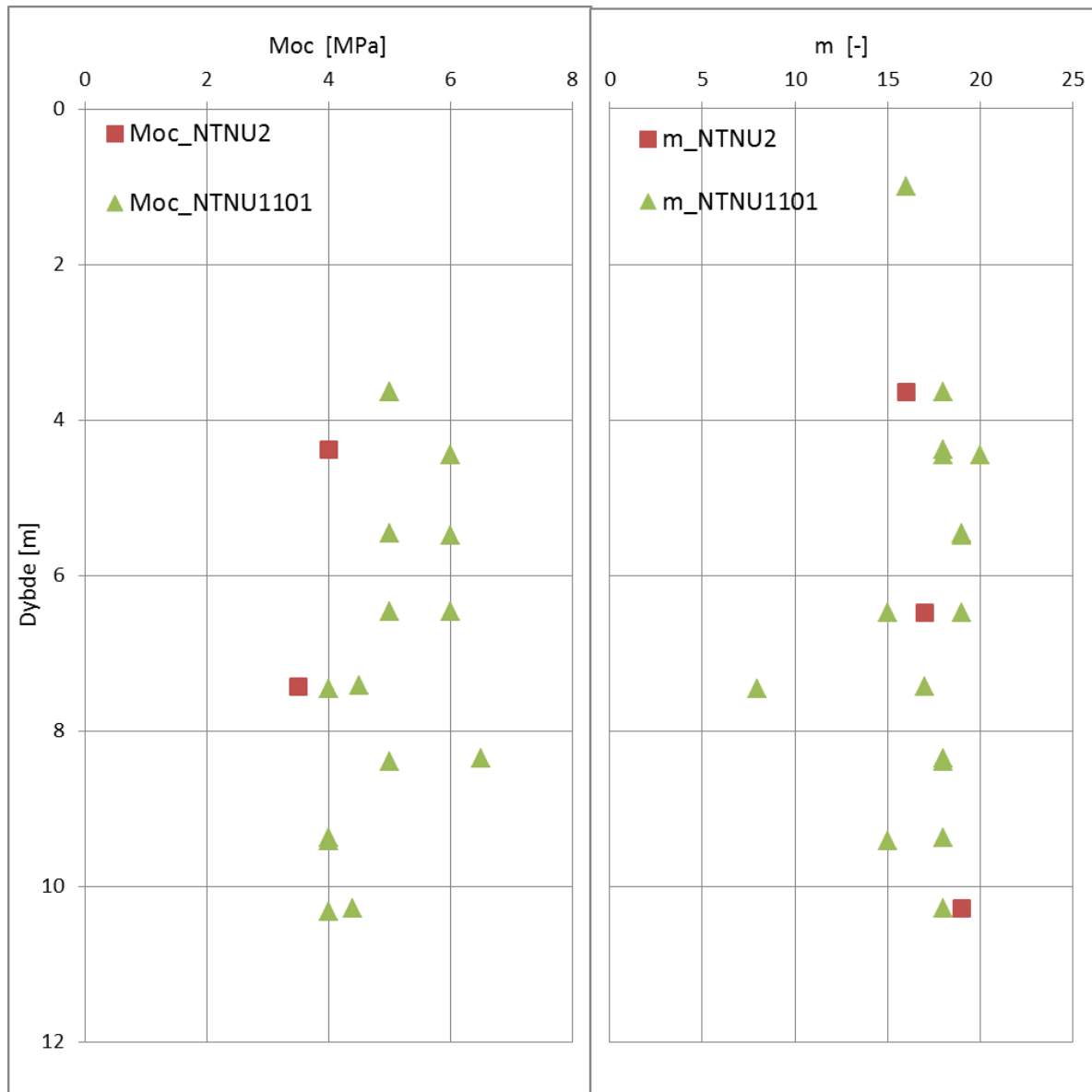
**Tabell 6-5: Beregning av tykkelsen av erodert løsmasse ved NTNU 1101.**

Forsøk og dybde $\sigma_{c0}'$ [kPa]	CRS_364 150	CRS_839 180	CRS_1032 180
Tidseffekt	Beregnet tykkelse av erodert løsmasse [m]		
1,0	10,5	9,3	7,3
1,1	8,9	7,3	5,4
1,2	7,5	5,7	3,8

Tabellen viser at resultatene fra forskjellige dybder i profilet gir ikke et entydig estimat av overlaging.

### 6.2.3.1.2 Ødometerstivheten $M_{oc}$ og modultallet $m$

Figur 6-13 viser hvordan  $M_{oc}$  og  $m$  varierer med dybden i profilene.

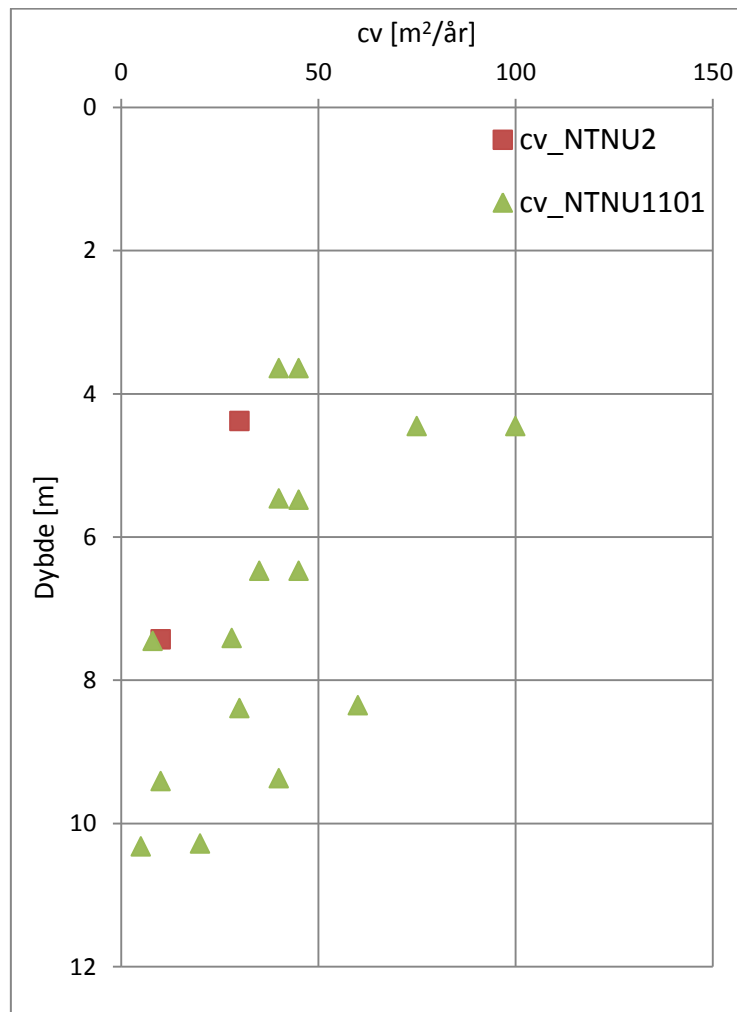


**Figur 6-13: Resultater av ødometerstivhet og modultall i profilene.**

Parameterne virker å være ca. konstante med dybden i profil NTNU 1101, mens modultallet ser ut til å øke med dybden i profil NTNU 2. Dette er ikke sikkert da det er utført kun tre forsøk i dette profilet, hvor alle forsøkene innenfor spredningen av verdiene funnet i profil NTNU 1101. Det må utføres flere ødometerforsøk ved borpunktet for bekrefte tendensen.

### 6.2.3.1.3 Konsolideringskoeffisienten $c_v$

Det er forventet verdien på  $c_v$  i norsk leire ligger mellom 2 – 25  $\text{m}^2/\text{år}$  [7]. Figur 6-14 viser hvordan  $c_v$  varierer i profilene.



Figur 6-14: Resultater for konsolideringskoeffisienten i profilene.

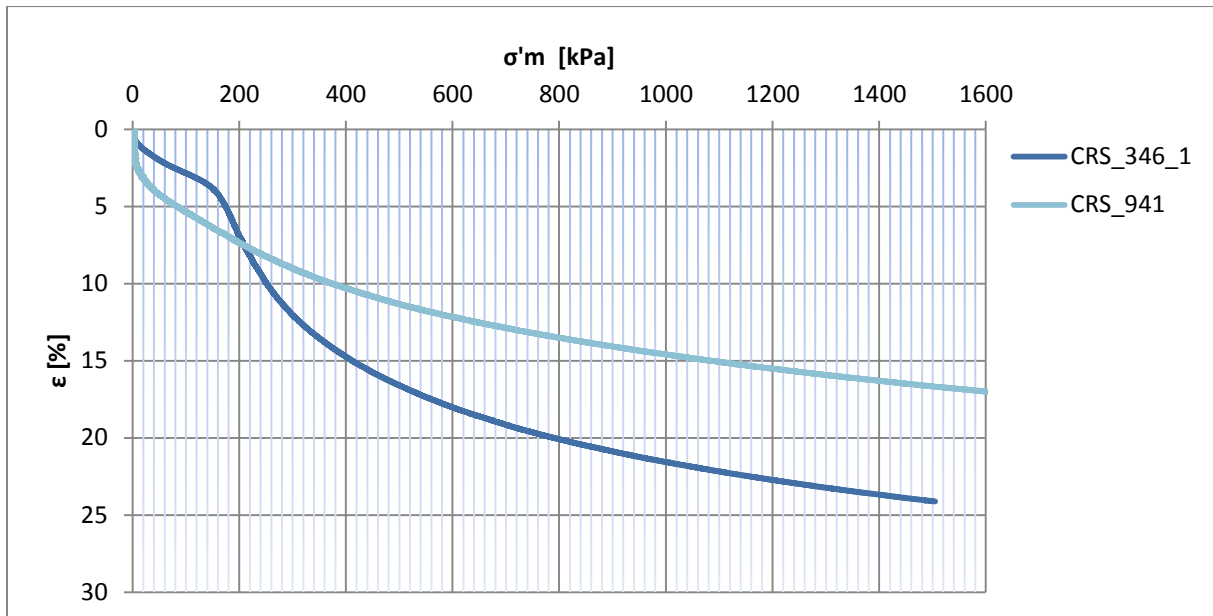
Det er kun to registrerte verdier fra profil NTNU 2, noe som gjør det vanskelig å anta en trend. I profil NTNU 1101 virker konsolideringskoeffisienten å synke med dybden, selv om det er registrert stor spredning i resultatene ved noen dybder. Resultatene utført i høst 2012 virker å være noe høyere enn hva som er vanlig [7].

### 6.2.3.2 Kommentarer

Resultatene fra ødometerforsøkene er oppsummert i tabellen under. Mer detaljerte resultater fra hvert forsøk er lagt ved i Vedlegg A og B.

Sett bort fra forsøkene fra dybde ca. 5,46 og 5,48 m, viser resultatene fra november 2012 at ødometerforsøkene som er utført fra samme dybde er samlet. Utenom det viser resultatene viser også en tendens til økende stivhet med dybden. Forsøkene med trinnvis belastning ble utført med for få lasttrinn til å fastslå prekonsolideringsspenningen.

Forsøk CRS\_1040 fra NTNU2 var forstyrret etter utskyvning og viser ingen indikasjon av prekonsolideringsspenning. CRS\_941 og CRS\_1032 var også noe forstyrret, noe som gjenspeiles i resultatene. Figur 6-15 viser betydningen av forstyrrelser på resultatene fra ødometer forsøk CRS\_364\_1 og CRS\_941.



**Figur 6-15: Betydningen av prøve kvalitet i ødometerforsøk.**

Figur 10-7 viser at forsøket CRS\_364\_1 har en tydelig knekk i kurven og kan «huske» en prekonsolideringsspenning på ca. 155 kPa, mens CRS\_941 «husker» ingen tidligere konsolidering.

## 6.2.4 Treksialforsøk

Det er utført 18 treksialforsøk fra hull NTNU 1101 og 2. Av dem, ble 10 utført våren 2013 hvor av to fra NTNU 2. 17 av forsøkene er udrenerte treksialforsøk. 16 har blitt konsolidert anisotropisk og ett forsøk isotropisk. Et forsøk et drenert treksialforsøk som ble konsolidert anisotropisk. Forsøkene på prøvematerialet fra NTNU 2 ble utført på det nye apparatet.

### 6.2.4.1 Konsolidering

Det har hele tiden vært hensikten å bruke  $K_0'$  lik 0,7 til alle forsøk. Det har derimot ikke vært tilfelle for alle forsøk da det ene apparatet ikke kunne kjøre anisotrop konsolidering. Forsøket det er snakk om ble utført høsten 2012. Tillegg ble det uklare ved kalibreringsfilen i januar 2013, som førte til feil vertikal tilleggslast.

### 6.2.4.2 Parametere

Treksialforsøk kan brukes til å finne mange jordparametere. Blant dem jeg har funnet er aktiv skjærkapasitet  $s_{u,aktiv}$ , friksjonsvinkel  $\phi$ , attraksjon  $a$ , stivhet  $E_{50}$ . Resultatene er samlet i tabell 6-7.

Tabell 6-6: Parametere fra treaksialforsøk.

Egenskaper			Merknader
<b>NTNU 1101</b>			
$a$	18-22	kPa	Stor variasjon på grunn av anisotropi
$\tan\phi$	0,38-0,56	-	
$E_{50}$	0,5 – 20,7		
$s_{u,treaks}$	25,2 – 43,7	kPa	
<b>NTNU 2</b>			
$a$	5	kPa	Veldig lave målinger.
$\tan\phi$	0,81	-	
$E_{50}$	0,1 – 1,0	MPa	
$s_{u,treaks}$	61,0	kPa	

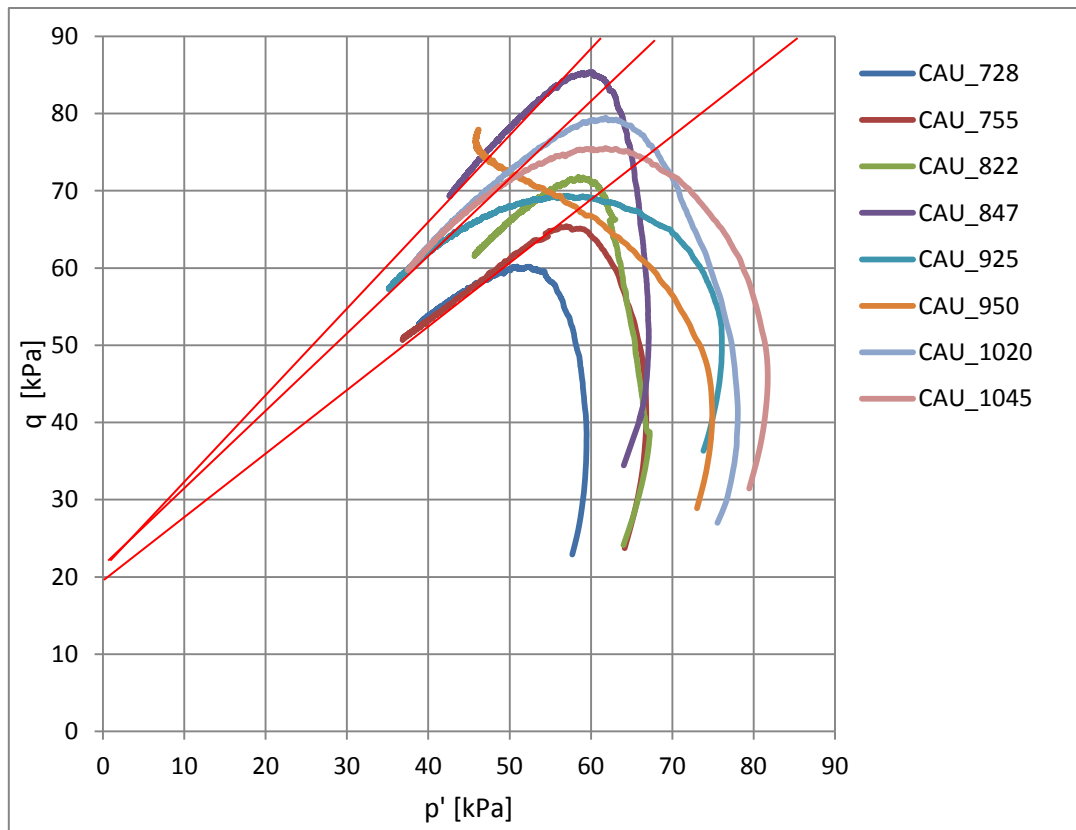
#### 6.2.4.2.1 Friksjonsvinkel og attraksjon

For bestemmelse av friksjonsvinkel,  $\phi$ , har bruddlinjen i forsøkene som viser dilatant oppførsel ved brudd, blitt senket ned til hvor den dilatant oppførselen startet. I tillegg er det tatt hensyn til at spenningene som beregnes ved store tøyninger, lenge etter bruddtøyningene, antageligvis er noe for høye. Dette vil bidra til å senke friksjonsvinkelen noe. I de forsøk hvor det ikke er indikert en spesifikk attraksjon  $a$ , har attraksjonen blitt satt lik 0. I et  $q$ - $p'$ -plot er friksjonsvinkelen bestemt av:

$$M_c = \frac{6 \sin\phi}{3 - \sin\phi} = \frac{\Delta q}{\Delta p' + a} \rightarrow \phi = \arcsin\left(\frac{3M_c}{6 + M_c}\right) \quad (6-2)$$

Hvor  $M_c$  = helning på bruddlinjen ( se figur 4-4 ).

I figur 6-16 har jeg samlet resultatene fra noen av forsøkene for å illustrere forskjellige bruddlinjer markert med rød strek.

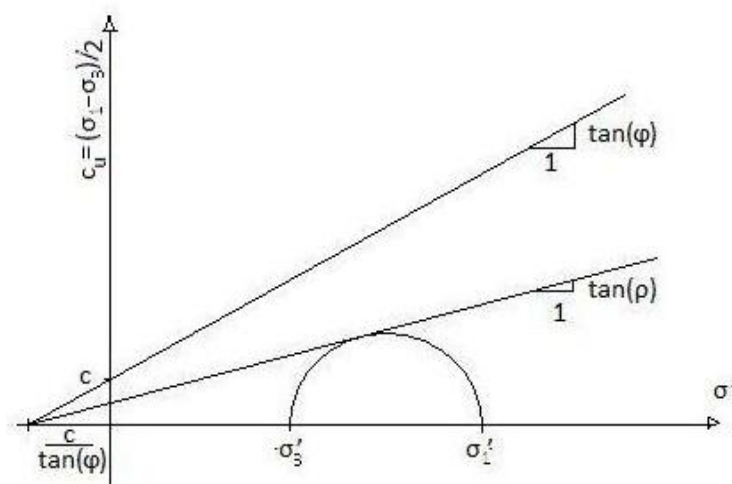


Figur 6-16: q-p plot fra NTNU 1101 med brudd linjer.

Figur 6-16 viser at noen av forsøkene har identiske bruddlinjer, noe som man vil anta at prøver fra samme prøvemateriale skal ha.

#### 6.2.4.2.2 Skjærkapasitet og stivhet

Skjærstyrken i et treaksialforsøk er avhengig av konsolideringsgrad. Fra Mohr-Coulomb bruddkriteriet for evaluering av skjærfasthet kan man se at kapasiteten er helt avhengig av spenningsnivå. En enkel fremstilling av bruddkriteriet kan vises med et Mohr-diagram, som i figuren under hvor  $\tan(\varphi)$  styrer bruddlinjen.



Figur 6-17: Mohr-Coulomb kriteriet illustrert i et Mohr-diagram [5].

Ut fra figuren over og ved hjelp av geometri kan man så vise at skjærkapasiteten kan uttrykkes som:

$$s_u = c + \sigma' \tan \varphi \quad (6-3)$$

Hvor  $\sigma' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}$   
c = kohesjon  
 $\rho = \varphi$

Fra ligning (6-3) og figur 6-17 kan man enkelt se at en høyere konsolidering vil gi en høyere skjærkapasitet når Mohr-sirkelen blir skjøvet mot høyre. Mohr-Coulomb kriteriet kan bli brukt til å evaluere skjærfasthet i både udrenert og drenert tilstand. Man må da huske å skille mellom total- og effektivspenningstien, og hva det innebærer.

Under har jeg hentet frem noen forsøk for å vise hvordan jeg har tolket kurvene. CAU334 er også tatt med for å se hvordan en prøve med meget god kvalitet oppfører seg.

I forsøkene som vist dilatant oppførsel har jeg vært noe konservativ og senket skjærkapasiteten til det punktet hvor prøven «knekker». Dette er fordi den dilatante oppførselen kan komme av lav konsolidering, og fordi vanlig norsk leire er kontraktiv.

Stivheten ved 50 % av skjærkapasitet har vist seg å være vanskelig å beregne da numerisk data har gjort det delvis umulig å beregne noe fornuftige verdier i forhold til forventet.. En årsak til dette kan være anisotropisk konsolidering. Tabell 6-8 viser at de beregnede verdiene fra høsten 2012 er meget varierende.

#### **6.2.4.3 Kommentarer til forsøkene**

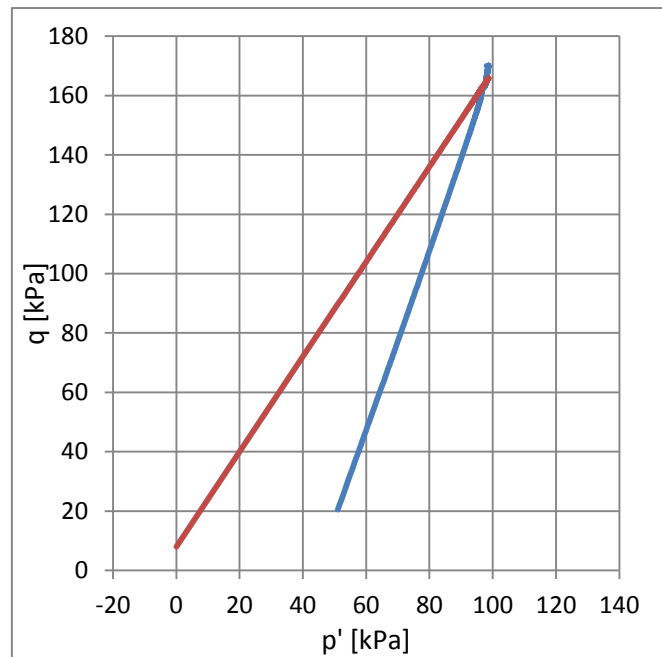
Ved klassifisering av prøve kvaliteten skal det nevnes at usikkerheten av grunnvannstand kan gjøre at OCR er noe feil, som kan ha ført til for lav konsolidering i forhold til hva som var hensikten. I tillegg til kan det oppstå feil klassifisering, da OCR kan være lavere enn antatt. Det vil si at forsøkene dypere enn ca. 6 m kan være i den laveste OCR-klassen i henhold til T. Lunne [24].

Prøvekvaliteten til prøvene utført i januar og mai 2013 blir betegnet fra veldig bra til dårlig, altså kategori 1 – 3 i henhold til T. Lunne. Resultatene bekrefter varierende kvalitet på prøvene i form av blant annet bruddtøyning, peak-verdi av skjærkapasitet og mengde utpresset porevann. Det virker å være en forskjell i kvalitet på forsøkene fra NTNU1101. Forsøkene fra høsten 2012 virker å ha bedre kvalitet enn forsøkene som er utført etter jul. Dette skyldes antageligvis en kombinasjon av lagringstid og at det er dypere prøver.

CAU847 og CAU925 er konsolidert med en høyere skjærspenning enn planlagt, da en feil med nullstilling av vertikallast gjorde at verdiene startet på lavere verdi enn ved 0 N. Det er også vurdert om CAU728, CAU755 og CAU822 også har blitt konsolidert med lik feil da disse er utført før feilen ble rettet opp. Filene med rådata fra disse forsøkene viser at vertikal tilleggslast starter etter nullstillingen med nullverdi før den går ned til ca. minus

15 – 17 N før lasten øker. Siden de startet med riktig nullnivå er det antatt at tilleggslasten er riktig, men på grunn av at det ikke ble utført andre forsøk av andre i denne perioden bør man være forsiktig å bruke disse tre forsøkene i videre arbeid uten å ha tatt stilling til rådataen og det egentlige deviatoriske spenningsforholdet.

Forsøk CAD428 og CAU734 ble utført på det nye apparatet etter den ble flyttet ned i kjølerommet. Figur 6-18 viser totalspenningsstien til CAD428 og en bruddlinje beregnet ved å bruke attraksjon og friksjonsvinkel fra CAU734 med ligning (6-2).



**Figur 6-18: Resultatene fra CAD428 med rød bruddlinje beregnet fra CAU734.**

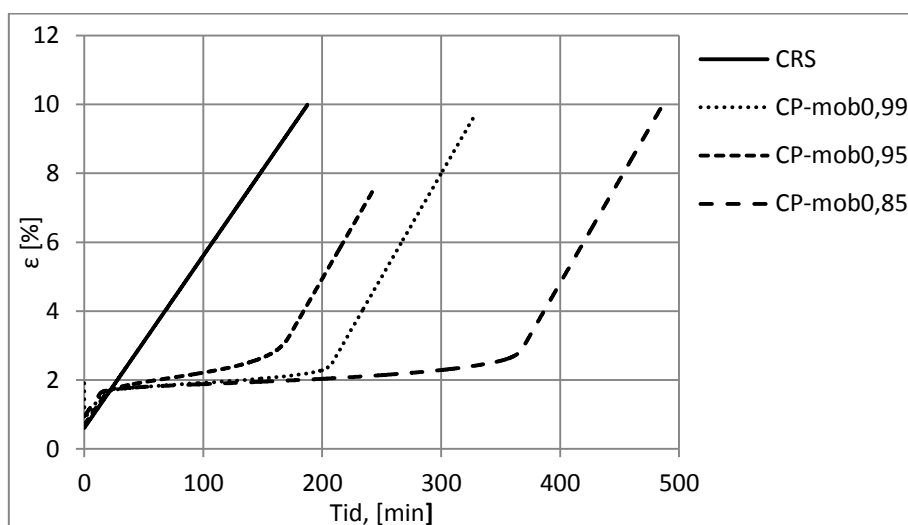
Figur 6-18 viser at bruddlinjen krysser totalspenningsstien til CAD428 ved q ca. lik 165 kPa. men at forsøket gikk til brudd ved q lik 170 kPa. Med tanke på at prøvene er hentet fra 4,28 og 7,34 m dybde stemmer prøvene resultatene veldig godt overens.





## 7 Skjærkrypforsøk på blokkprøve

Det har ikke blitt tatt opp ferske blokkprøver hittil i prosjektet. For å teste det treaksiale krypparatet som har blitt klargjort for dette prosjektet, ble en gammel blokkprøve fra Møllenberg Trondheim åpnet. I tillegg til testforsøkene og treaksialforsøkene fra hull NTNU2, CAD-428 og CAU-734, er det derfor også utført en forsøksserie med skjærkryp. Forsøksserien består av et CAU -forsøk, med konstant hastighet, etterfulgt av tre skjærkrypforsøk. Forsøksopplegget som er presentert tidligere i oppgaven er lagt til grunn for valg av forsøk som ble utført på blokkprøven.

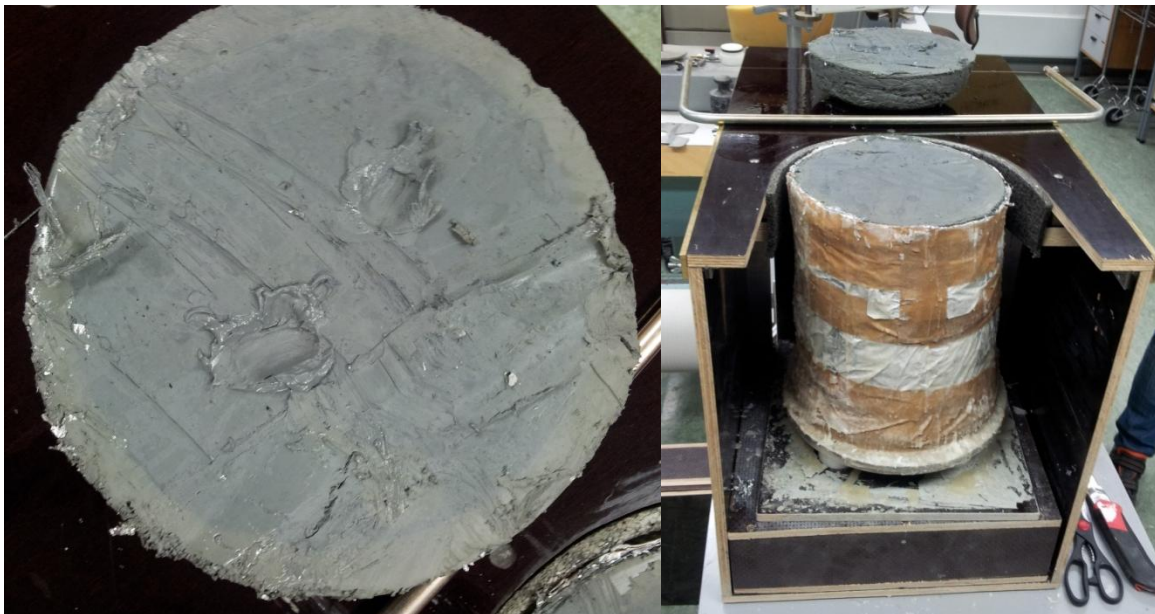


Figur 7-1: Utviklingen av vertikal tøyning under forsøkene.

Figur 7-1 viser utviklingen av vertikal tøyning i treaksialforsøkene som er utført.

## 7.1 Blokkprøven

Blokkprøven ble tatt opp på Møllenberg, Trondheim 21. august 2011, og har siden stått lagret i et kjølerom. Prøvematerialet er hentet fra 9,0 – 9,35 m dybde. Blokkprøven ble tatt opp samtidig med andre blokkprøver. H. Kornbrekke (2011) utførte mer omfattende undersøkelser på en blokk hentet fra samme hull, ved 8,5 – 9,0 m dybde. Blokkprøven var pakket inn med lag av plastfolie, så et lag med aluminiumsfolie og så fullstendig dekket ved voks. Blokkprøven ble åpnet 22. mai 2013 for å undersøke om materialet var hensiktsmessig til å teste skjærkryp. Lokket ble så plassert tilbake på blokkprøven, pakket ned og lagret i kjelleren over natten før den ble delt opp dagen etter. Figur 7-2 viser blokkprøven etter åpning.



**Figur 7-2: Åpning av blokkprøve fra Møllenberg, Trondheim den 22. mai 2013.**

På grunn av den lange lagringstiden, og fordi kjølerommet ikke holder lik relativ fuktighet som leirprøven, har det dannet et ca. 1,5 cm tykk lag med uttørket skorpe på prøven. Det ble ikke utført forsøk på denne ytterste delen av blokkprøven. Bildet venstre viser at leiren fortsatt er sensitiv etter omrøring på deler av topplokket som ble tatt av.

23. mai 2013 ble blokkprøven åpnet igjen. Det ble kuttet av et lag på ca. 4 – 5 cm til å utføre indekstester og et ødometerforsøk. Etter det ble et ca. 11 – 12 cm tykt lag kuttet av til treaksialforsøkene. På grunn av for kort tid til å utføre flere krypforsøk ble resten av blokkprøven pakket inn i plastfolie og plassert tilbake i kjølerommet.

## 7.2 Rutineundersøkelser

Det er utført to bestemmelser av vanninnhold, en bestemmelse av plastisitets- og flytegrense, en bestemmelse av densiteten med liten ring, saltinnhold, korndensitet og uomrørt og omrørt skjærstyrke ved hjelp av konus. Rutineundersøkelsene ble utført på materiale fra 9,07 – 9,11 m dybde. Konus forsøkene ble spredt over hele prøvetverrsnittet for å få en representativt resultat. Resultatene fra indekstestene har blitt sammenlignet

med de utført av H. Kornbrekke for å finne eventuelle endringer forårsaket av lagring. Indekstestene fra 2011 er fra 8,95 – 9,0 m dybde[43].

**Tabell 7-1: Indekstest fra høsten 2011 og våren 2013.**

<b>Egenskaper</b>	<b>8,95 – 9,0 m dybde [43]</b>	<b>9,07 – 9,11 m dybde</b>	<b>[ - ]</b>
Vanninnhold, $w$	39,14 – 40,23	37,4 – 39,1	%
Plastisitetsgrense, $w_p$	18,50	20,2	%
Flytegrense, $w_L$	24,35	27,5	%
Plastisitetsindeks, $I_p$	5,85	7,3	%
Flytindeks, $I_L$	3,64	2,48	-
Saltinnhold, $S$	1,9*	1,5	g/L
Porøsitet, $n$	40,70	51,6	%
Poretall, $e$	0,686	1,06	-
Metningsgrad, $S_t$	Brukt feil formel*	100,3	%
Densitet, $\rho$	2,13	1,87	g/cm <sup>3</sup>
Korndensitet, $\rho_s$	2,57	2,76	g/cm <sup>3</sup>
$s_{u,k}$	30,4 – 38,7	61,5	kPa
$s_{r,k}$	< 0,1	1,25	kPa
$p_{c,v}$	ca. 230	-	kPa

\*Endret verdier i forhold til levert versjon av prosjektoppgaven etter personlig kommunikasjon [44].

Fra tabell 7-1 over kan man se at vanninnholdet har sunket litt. Derimot er målt vanninnhold av materialet brukt til treksialforsøkene variert fra 39,6 – 40,0 %, noe som stemmer bra overens med målingen fra 2011. Materialet har økt både uforstyrret, og omrørt skjærstyrke betraktelig i forhold til 2011. Densiteten mellom de to lagene er noe forskjellig, men gruskorn og sand kan være noe av årsaken til spredningen.

Det ble også forsøkt å utføre et CRS-ødometerforsøk på materialet fra 9,07 – 9,11 m dybde for bestemmelse av prekonsolideringsspenningen, ødometerstivhet, modultall og konsolideringskoeffisienten. Prøven ble ødelagt av store gruskorn. I stedet for å bruke opp et helt nytt lag av materialet som var igjen i blokkprøven, ble det valgt å bruke resultatene fra H. Kornbrekke for en vurdering av overkonsolideringsgraden.

Prekonsolideringsspenningen er ca. 205 – 230 kPa og er hentet fra Oedo004 og Oedo005, ved 8,7 – 8,95 m dybde [43].

### 7.3 Treksialforsøk

Det ble utført treksialforsøk på prøvematerialet fra 9,11 – 9,22 m dybde. Prøven ble delt i fire kakestykker som illustrert i figur 4-1. To av kakestykkene ble pakket inn plastfolie og dekket med vått papir, lagt i plastpose og plassert i kjøleskapet for lagring over natta. En annen ble kun pakket inn i plastfolie og dekket med vått papir til det første forsøket var ferdig. På grunn av at alle prøvene er fra samme blokkprøve tatt opp ved Møllenberg i

Trondheim, har lik refeansedybde og forsøkene er anisotropisk konsoliderte og udrentert kompresjonsforsøk, er det valgt å kalle prøvene etter forsøkstype og mobiliseringsgrad.

Det vist seg å bli vanskelig å trimme prøvene på grunn alle gruskornene. De fleste hullene ble fylt med forstyrret materiale. Figur 7-3 viser bilder tatt ved trimming av prøvestykkene.



**Figur 7-3: Bilder fra trimming av prøver. Venstre: Stort hull etter grustein i CP-mob-0,99. Midten: Snart ferdig trimming av CP-mob-0,85. Høyre: Eksempler av grus funnet ved trimming.**

Innbygging og utbygging er utført i henhold til beskrivelsene i kapittelet som foreslår forsøksopplegget.

### **7.3.1 Konsolidering og mobilisering**

Alle forsøkene ble konsolidert tilnærmet likt. Først ble prøvene isotropisk konsolidert i 10 min som tilsvarer ca. 24,5 [v(s)] slik resultatene er vist i Vedlegg C. Etter ca. 10 min med ca. 54,6 kPa ble en vertikal tilleggsspenning på 23,4 kPa påført. Slik fikk prøvene konsolidere i ytterlige 50 min, som var godt etter poretrykksutjevning. Tabell 7-2 viser en oversikt av valgt konsolideringsspenning og mobiliseringsgrad.

Tabell 7-2: Konsolideringsspenning og mobiliseringsgrad.

Celletrykk (konsolidering)	Vertikal tilleggs- spenning (konsolidering)
53,8 – 54,5 kPa	23,4 kPa
Utførte forsøk	Mobiliseringsgrad i skjærfasen $s_{u,max} = 118,3$ kPa
CRS-mob-1,00	1,00
CP-mob-0,99	0,99
CP-mob-0,95	0,95
CP-mob-0,85	0,85

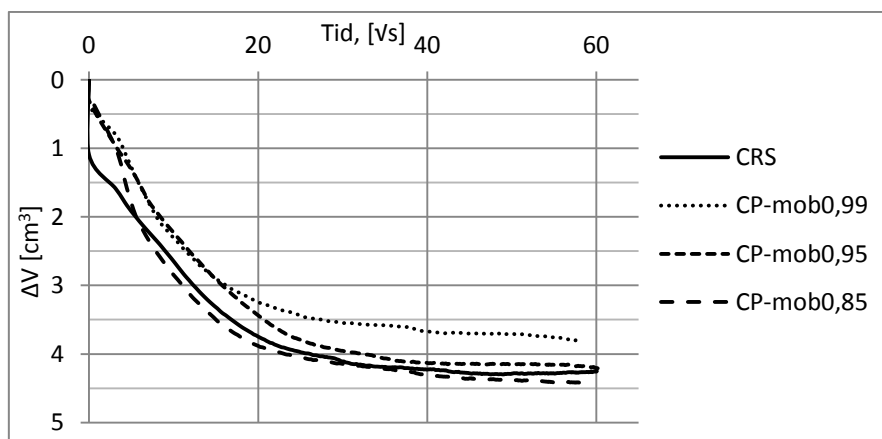
Forsøkene er konsolidert litt under antatt in situ konsolidering og gir forsøkene en *OCR* et sted mellom 2,63 – 2,95.

Med en *OCR* på 2,63 – 2,95 og  $\Delta e/e_0$  fra 0,034 – 0,039, havner alle forsøkene i nest beste prøve kvalitetskategori i henhold til T. Lunne.

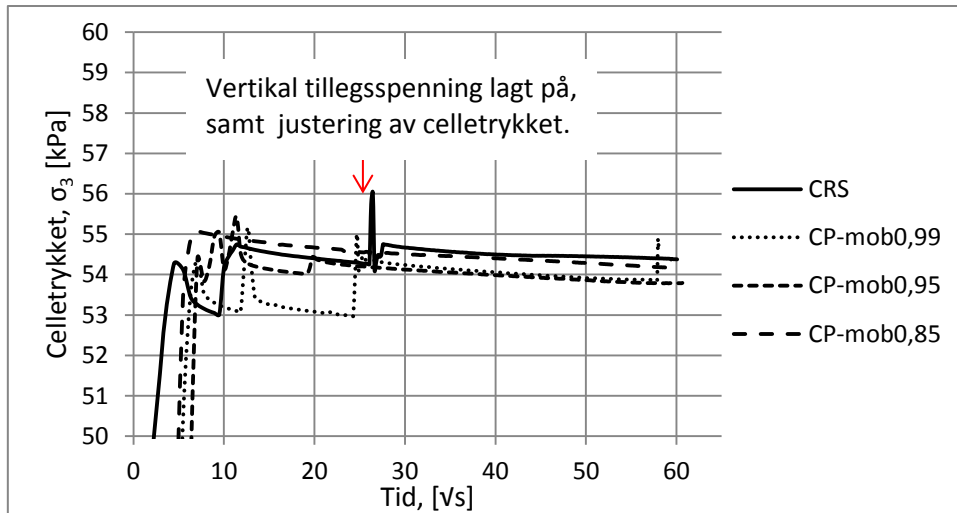
Det ble valgt å redusere skjærspenningen i krepforsøkene mellom 1 – 15 % for å undersøke teorien om anbefalingen av 10 – 15 % reduksjon av peak-verdien på høykvalitets blokkprøver med sprøbruddsmateriale [2].

### 7.3.2 Resultater

Grafer fra de forskjellige treaksialforsøkene ligger i vedlegg C. I dette kapittelet er det trukket inn verdier for å se på likheter og ulikheter mellom de utførte forsøkene. Det er også lagt vekt på funksjonaliteten til apparatet.

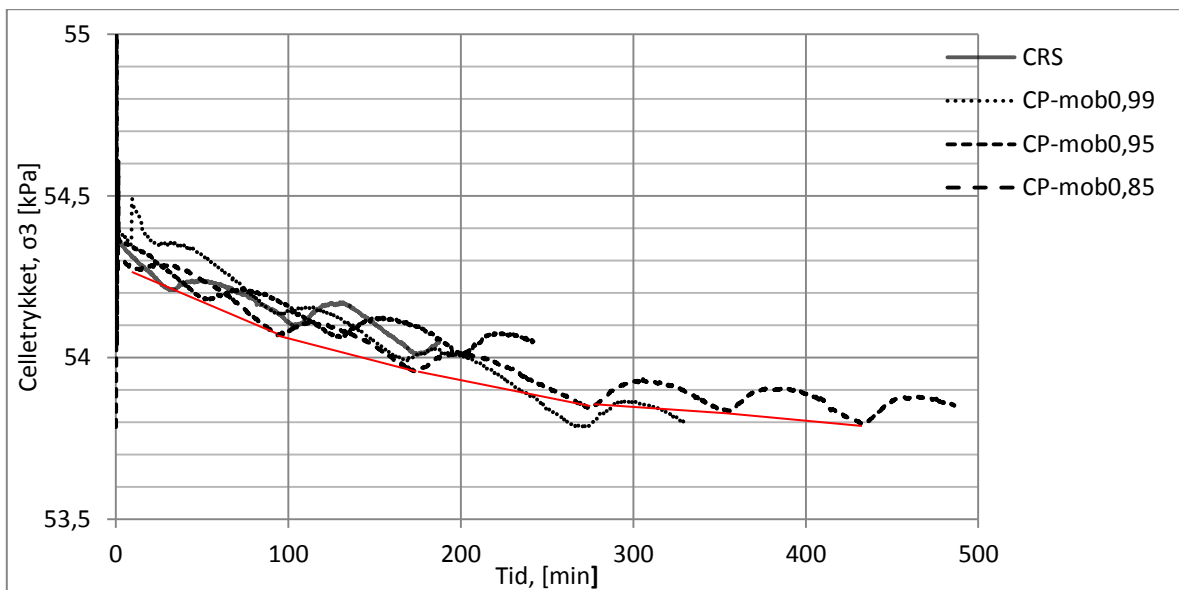


Figur 7-4: Porevannsutpressing under konsolideringsfasen.



**Figur 7-5: Variasjonen av celletrykket i konsolideringsfasen i treaksialforsøkene.**

Figurene over indikerer av at prøvene har ca. lik kvalitet. CP-mob0,99 kan ha mindre utpresset porevann på grunn av noe lavere celletrykk de første 10 min. Ellers virker det som om celletrykket synker med tiden, noe som kan være negativt ved lange forsøk. Figur 7-6 viser reduksjonen av celletrykket i skjærfasen av forsøkene.

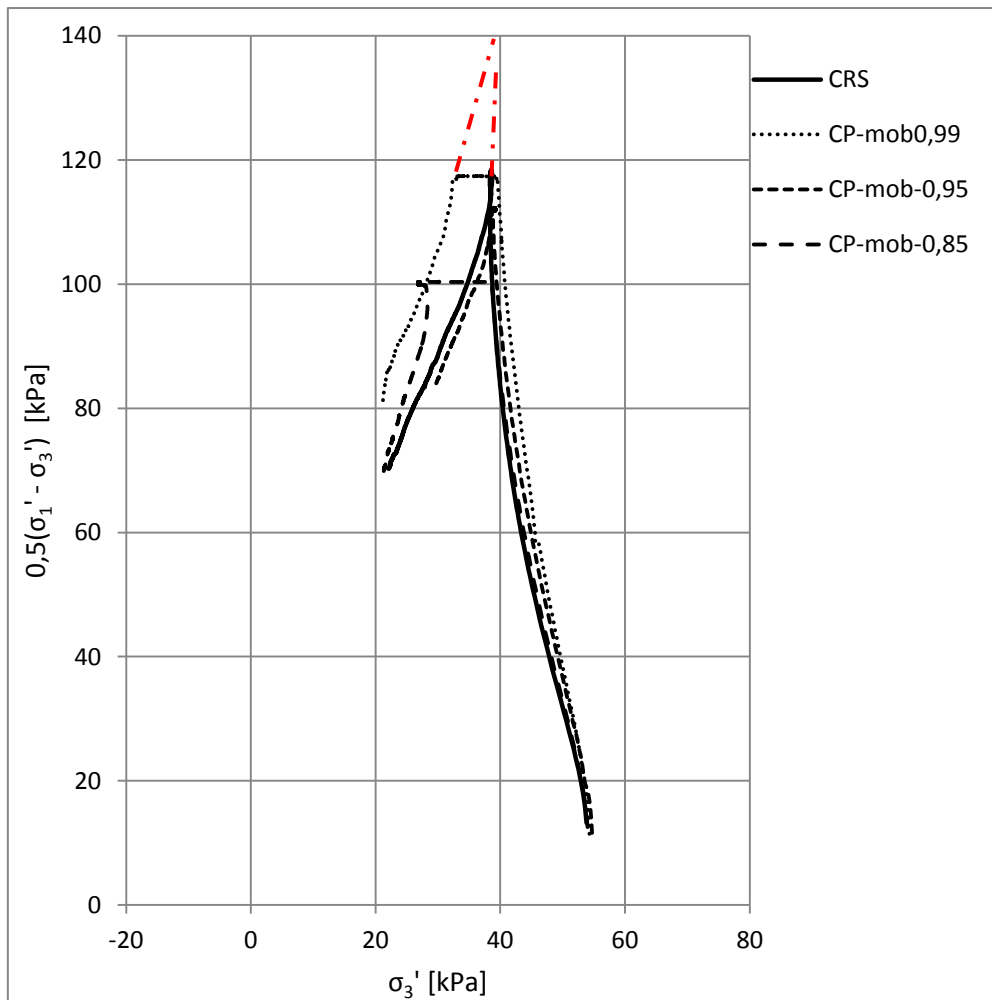


**Figur 7-6: Variasjonen av celletrykket i skjærfasen i treaksialforsøkene**

Resultatene fra CP-mob-0,85 viser at celletrykket synker fra 54,34 kPa til 53,8 kPa i løpet av skjærfasen som varer i ca. 486 min. I tillegg til reduksjon, viser målingene tydelige svingninger. Svingningene kommer sannsynligvis på grunn av ustabil temperatur. Som det er nevnt tidligere er det observert temperatursvingning mellom 10,0 – 12,0 °C i kjølerommet over en periode på to uker. Ved å trekke en linje gjennom bunnpunktene i svingningene fra forsøk CP-mob0,85, kan det se ut som at celletrykket vil stabiliseres. Se rød strek i figur 7-6. Derimot vil svingningene fra temperaturen fortsette så lenge

temperaturrendringene er til stedet. Påvirkningen fra temperatursvingningene utgjør ca. 0,06 kPa.

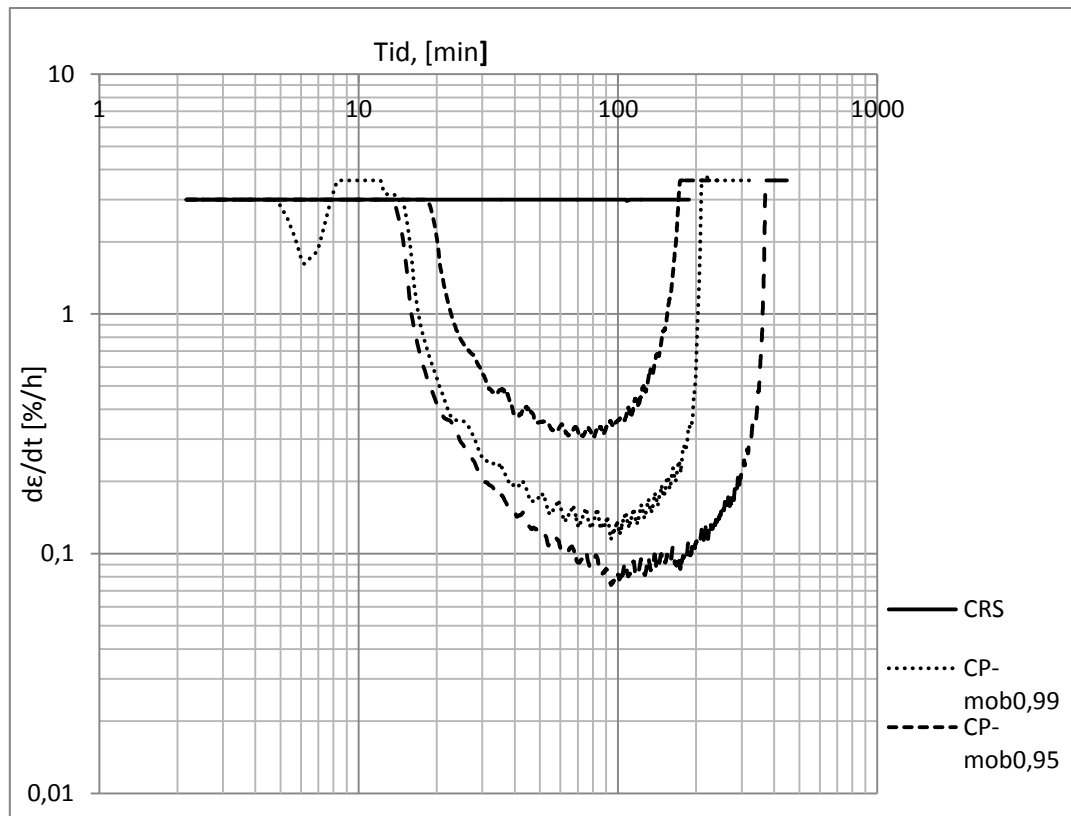
Det første skjærforsøket ble kjørt med konstant tøyningshastighet (CRS, constant rate of strain) på 3 mm/h. Peak-verdien på skjærstyrken funnet fra dette forsøket ble brukt til å velge krypskjærspenning (CP, constant pressure) til resten av forsøkene. Vi har antatt at skjærkrypforsøkene har lik peak-verdi som CRS forsøket, noe som resultatene viser at ikke kan stemme.



**Figur 7-7: NTNU plot. Effektivt celledrykk mot mobilisert skjærspenning.**

Figur 7-1 og 7-7 viser at skjærkrypforsøket CP-mob0,95 virker å stemme bedre overens med mobiliseringen enn CP-mob0,99 og CP-mob0,85, da disse to kryper langt forbi bruddlinjen. I figur 7-7 viser den røde streken en antydnet maksimal skjærpenning for CP-mob0,99 og CP-mob0,85. Figur 7-8 viser hvordan tøyningshastigheten endrer seg i de forskjellige forsøkene. Grafen for CRS-forsøket markerer 3 mm/h.





**Figur 7-8: Tøyningshastigheten gjennom forsøkene.**

Figur 7-8 viser hvordan tøyningshastigheten synker i første del av krepforsøkene, for å så akselerere til brudd. Grafen fra resultatene i figur 7-8 er tolket slik at materialet går til brudd i vendepunkter mellom synkende til økende tøyningshastighet (bunnpunktet). Bruddtøyningen er hentet fra samme tidspunkt. Likt som i figur 7-6, viser figur 7-8 hvordan temperaturendringene i kjølerommet sannsynligvis påvirker tøyningshastigheten.

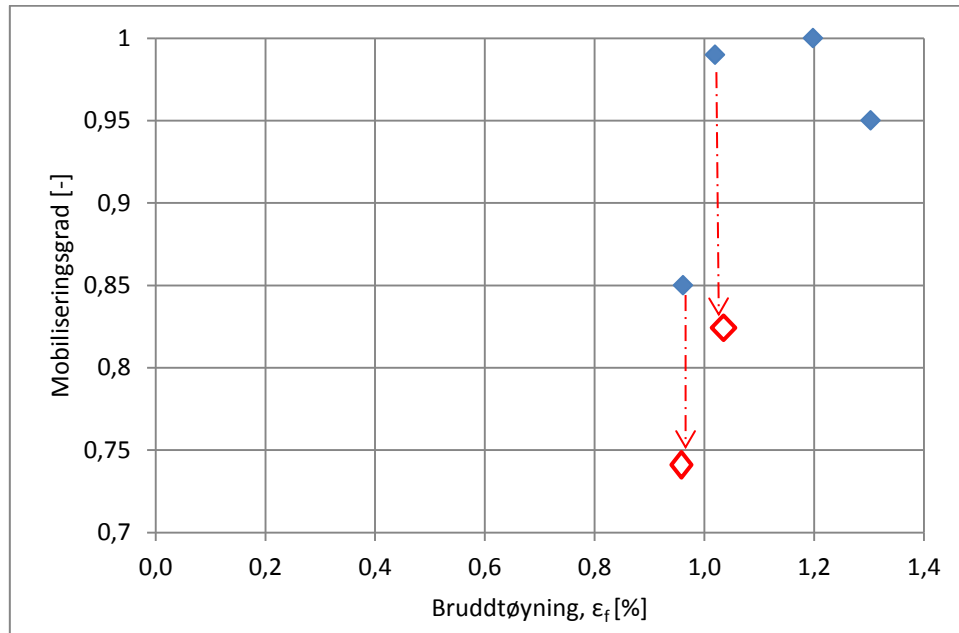
Figur 7-1, 7-7 og 7-8 indikerer at forsøk CP-mob-0,95 faktisk er mobilisert høyere i forhold til egentlig maksimal skjærstyrke enn CP-mob-0,99, da denne bruker kortere tid på å kripe til brudd. Differansen er antagelig grunnet den høyere bruddlinjen til CP-mob-0,99.

Det er brukt et tidsintervall på 2 min for å beregne tøyningshastighet. Større intervaller vil gi glattere kurver. Derimot har det korte intervallet vist av det har oppstått noe feil i fasen med mobilisering av skjærspenning i CP-mob-0,99. I denne fasen skulle alle prøvene ha en deformasjonshastighet på 3 mm/h.

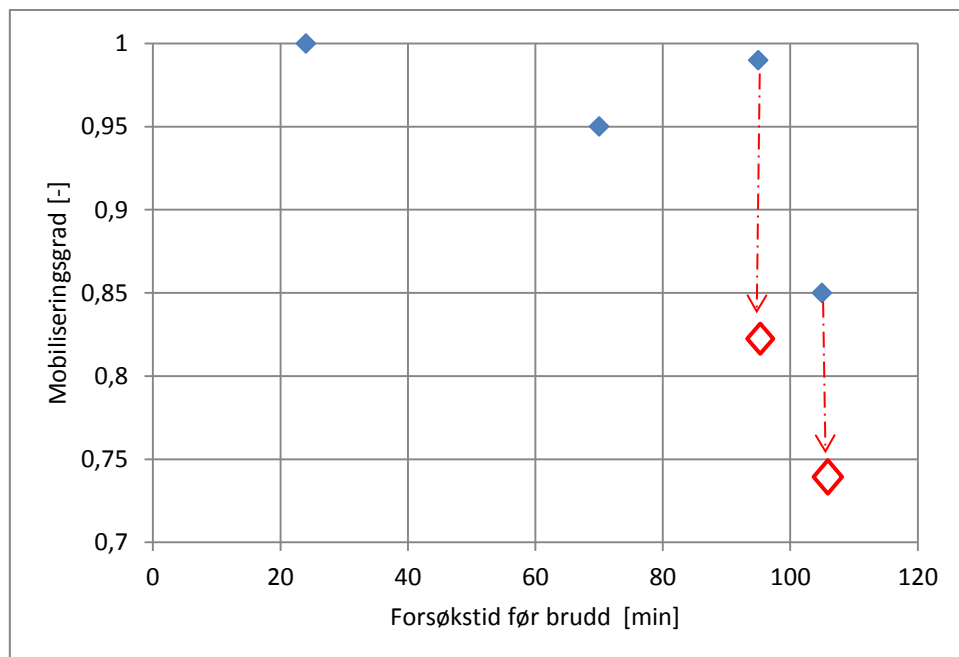
Etter at skjærkrepforsøkene har gått til brudd stabiliserer deformasjonshastigheten på 3,6 mm/h. Det tyder på at det fortsatt er noen feil i programmet, da maksimal deformasjonshastighet i skjærkrepforsøkene, bortsett fra CP-mob-0,85, ble satt til å være 3 mm/h. Forsøket med CP-mob-0,85 startet med en deformasjonshastighet på 3 mm/h, etter at krepfasen hadde startet ble maksimal deformasjonshastighet for etter bruddet økt til 30

mm/h. I figur 7-8 kan man se at deformasjonshastigheten på CP-mob-0,85 også stabiliserer seg på 3,6 mm/h etter brudd.

Figur 7-9 og 7-10 viser hvordan bruddtøyningen og tid før brudd varierer i de forskjellige forsøkene.



**Figur 7-9: Mobiliseringsgrad mot bruddtøyning.**



**Figur 7-10: Mobiliseringsgrad plottet mot tid i skjærfasen før brudd.**

Det er nevnt at den faktiske mobiliseringsgraden til CP-mob-0,99 virker å være lavere enn forsøk CP-mob-0,95, nesten på likt nivå som CP-mob-0,85. En mulig mobiliseringsgrad er derfor indikert i figurene. På grunn av kvaliteten av prøvene etter trimming med mange

gruskorn, er det sannsynlig at bruddtøyningene er noe påvirket. Tatt dette i betraktning, kan det virke som om lavere mobiliseringsgrad gir lengre forsøksstid noe som kan virke logisk. I tillegg virker det som om forsøkene med lavere mobiliseringsgrad har lavere bruddtøyning. Det vil derimot være nødvendig med flere forsøksserier med bedre egnet prøvemateriale for å studere dette nøyere.

## 8 Konklusjon

Noen av problemstillingene i denne oppgaven har dukket opp underveis i prosessen. Enkelte hindringer viste seg ikke å bli løst innenfor den gitte tidsrammen siden progresjonen delvis har vært avhengig av resultatene fra grunnundersøkelsene. Generelt er det forsøkt å dokumentere alt som er gjort siden prosjektet fortsatt er i en fase hvor det gjenstår mye arbeid. Dette kapitlet gir en kortfattet konklusjon fra arbeidet som har blitt utført.

## 8.1 Mulighetsstudiet for blokkprøvetaking

Etter å ha gjennomført samtlige laboratorieundersøkelser fra NTNU1101 ble det bestemt at prøvematerialet ikke var ideelt for prosjektet. Selv om kvikkleire ble påvist ved ca. 10 – 11 m dybde og løsmassene besto av homogen leire, sett bort fra det ene siltlaget ved ca. 6,3 m dybde ble det funnet veldig mange gruskorn og skjellrester som noen ganger viste seg å være fylt med vann. Kvikkleirelaget var også noe dypere enn ønskelig med tanke på prøve kvaliteten. Konklusjonen er at materialet tatt opp i NTNU1101 ikke oppfyller de kriteriene som er valgt for prøvemateriale i dette prosjektet. Det ble derfor valgt å undersøke et annet profil som kan egne seg bedre til formålet.

Laboratorieundersøkelsene fra hull NTNU 2 viser at profilet består av homogen siltig leire uten nevneverdig gruskorn eller skjellrester. Kvikkleire er påvist ved 7 – 8 og 10 – 11 m dybde. Dette gjør at profilet er egner seg for opptak av blokkprøver for å undersøke skjærkryp i kvikkleire. Prøverørene er spredt over profilet. Ved å sammenligne sonderingene utført ved NTNU 2 med sonderingene fra NTNU 1101 og tidligere utførte grunnundersøkelser, kan det virke som at hele profilet består av sensitivt materiale.

I motsetning til meget enkel framkommelighet til borpunkt NTNU 1101, har det vist seg å være kostbart å komme til borpunkt NTNU 2 etter at isen og frosten har smeltet. Oppdemmet bekk, bratte bekkedaler og ustabile skredmasser er årsaken. Det er derfor valgt å vente med å ta blokkprøver til etter at en allerede planlagt gårdsvei er ferdig bygd. Erfaringen gjort ved åpningen av blokkprøven fra Møllenberg har bekreftet at et materiale uten særlig gruskorn og skjellrester vil være en stor fordel når prøvematerialet skal trimmes.

## 8.2 Apparat

Testforsøkene som ble utført før apparatet ble flyttet, avslørte enkelte feil ved apparatet. Programvaren har blitt endret slik at forsøkene kan bli utsatt for konstant skjærspenning og at monitoren viser diagram for overvåking av forsøket. Etter at apparatet ble flyttet inn i kjølerommet i kjelleren er det utført 6 treaksialforsøk. Resultatene viser at apparatet kan kjøre drenerte og udrenerte forsøk, samt krypforsøk med konstant skjærspenning. Målingene av de tre treaksiale skjærkrypforsøkene avslørte at et par justeringer bør gjøres før det utføres skjærkrypforsøk på kvikkleire.

Resultater fra den utførte krypserien viser at temperaturforskjellen mellom 10,0 – 12,0 °C har en mindre innflytelse i forhold til hvor mye celletrykket synker i løpet av forsøkestiden. Reduksjon av celletrykk fører til høyere skjærspenning, mens temperatursvingningene fører til svingninger av skjærspenningen. Begge observasjonene bør vurderes å bli forandret i forkant av nye forsøk da de påvirker resultatet. Før LVDT kan brukes for måling av vertikal deformasjon, må en riktig nullstilling av sensoren og faktorisering på -1 implementeres i programvaren, slik at beregnet arealendring under skjærfasen blir riktig. Per dags dato mangler programmet en nullstilling for LVDT.

### 8.3 Krypforsøk

Prøvematerialet som er brukt i krypforsøkene er ikke ideelt med hensyn på formålet med prosjektet. Materialet er ikke definert som kvikkleire og inneholdt veldig mange gruskorn som skapte problemer under trimming. Sammenligninger med tidligere utførte grunnundersøkelser tyder likevel på at materialet har holdt seg godt etter over halvannet år på kjølelager.

Resultatene fra krypforsøkene viser at prøvene fra samme dybde med veldig liten avstand mellom hadde tydelig forskjellig maksimal skjærkapasitet, selv om det ikke ble registrert noen lagskille. Effektivspenningsstien til krypforsøkene med antatt mobiliseringsgrad på 0,99 og 0,85, antyder en mye høyere peak-verdi enn hva det første skjærforsøket indikerte. Det er antydning at forskjellen er ca. 20 kPa. Dette betyr at mobiliseringsgraden bør bli justert i etterkant, siden forsøkene tydeligvis ikke kan ha lik skjærkapasitet som først antatt. For forsøkene som ble utført i denne oppgaven tilsvarer 20 kPa en reduksjon av mobiliseringsgraden fra 0,99 til 0,83 og fra 0,85 til 0,74. Om dette er reelt antyder resultatene at lavere mobiliseringsgrad gir lavere bruddtøyning og lengere kryptid.



## 9 Videre arbeid

Det er flere aspekter i denne oppgaven som det må arbeides videre med, men dette må jeg overlate til andre. Det videre arbeidet vil føre til bedre forståelse av materialoppførselen til kvikkleire ved udrenert skjærkryp.



## 9.1 Mulighetsstudiet

Det er noen arbeidsoppgaver som gjenstår før alt er klart for opptak av blokkprøver på Esp, Byneset ved borpunkt NTNU 2. Grunnvannstanden vil variere over tid, men har blitt antatt å være ved ca. 1 m dybde hittil. Ved videre arbeid kan det være lurt å kartlegge dette grundigere, siden målinger utført i andre prosjekt tyder på lavere grunnvannstand. Selv om leire har lav permeabilitet, vil den nye topografien føre til endret grunnvannsstrømning i området. I tillegg vil det være fordelaktig å ta opp blokkprøvene lenger unna skredkanten enn hvor borpunkt NTNU2 er plassert.

Videre oppfølging av byggeprosessen av gårdsveien over til borpunktet vil være fordelaktig slik at borrhøgen kan rigges opp og ta opp blokkprøvene med en gang det er mulighet for det.

## 9.2 Apparatet

Celletrykket har vist seg å synke litt under forsøks tiden. Resultatene fra krypforsøkene viser at celletrykket stabiliserer seg etter hvert. Årsaken kan være trykkregulatoren. Mulighetene for å redusere dette trykktapet bør undersøkes nærmere da det vil gi uønsket utslag på forsøkene.

I tillegg bør det utføres en loggføring av temperaturen i kjølerommet for å se hvor lav temperatur kjøleanlegget klarer å holde og hvordan temperaturen endrer seg over tid. I etterkant bør det gjøres en vurdering på akseptabel toleransegrense for temperatursvingningene i rommet når skjærkrypforsøkene skal kjøres.

Forsøksserien på blokkprøven med udrenert treaksialt skjærkryp var veldig høyt mobilisert. Det bør kjøres lengre forsøk med lavere mobiliseringsgrad for å se om apparatet klarer å måle små tøyninger, og for å teste stabiliteten til sensorene og programvaren.

Deler av forsøksapparatet er gammelt. Celleklokka er angivelig fra 60-tallet. Om den byttes ut, vil det bli mulig å benytte baktrykk under forsøk. Utbyttet fra å benytte baktrykk i forsøkene kan vurderes mot anskaffelse av en ny celleklokke.

## 9.3 Krypforsøk

Det videre arbeidet vil bestå av opptak av ferske blokkprøver og undersøkelse av treaksiale skjærkrypforsøk på egnet prøvemateriale. Etter at et tilstrekkelig antall forsøk er utført, vil det kanskje være mulig å finne effekten av prosentvis reduksjon av maksimal skjærstyrke til prøvene bestående av sprøbruddsmaterialer som er tatt opp med høykvalitets blokkprøver.

Det kan også være interessant å studere sammenhengen mellom mobiliseringsgrad og bruddtøyning.

# 10 Referanseliste

1. Vikas Thakur, F.O., Tonje Eide Helle, Toril Wiig, Einar Lyche, May-Britt Sæter, Arnulf Robsrud, *NATURFARE - Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS) Delprosjekt 6: Kvikkleire*, N.o.J. SVV, Editor 2012.
2. NVE, *Vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper*. 2011: p. 24.
3. Vegvesen, S., *Håndbok 016 - Geoteknikk i vegbygging*, in *Bruddgrensetilstand2010*, Statens vegvesen: [www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no).
4. Løken, T., *Kvikkleiredannelse og kjemisk forvitring i norske leirer*. NGI Publikasjon 1968. **nr. 75**: p. 8.
5. King, J., *Vurdering av leirer fra Esp, Byneset*, in *Institutt for bygg, anlegg og transport2012*, NTNU: NTNU.
6. Janbu, N., *Grunnlag i geoteknikk*. 1970, [Trondheim]: Tapir. VII, 426 s. : ill.
7. NGF, *Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk*, in *melding*.
8. Claesson, P., *Long term settlements in soft clays*, 2003, Chalmers University of Technology.
9. Holzer, T.L., K. Höeg, and K. Arulanandan, *Excess pore pressures during undrained clay creep*. Canadian Geotechnical Journal, 1973. **10**(1): p. 12-24.
10. Bjerrum, L., *Engineering Geology of Norwegian Normally-Consolidated Marine Clays as Related to Settlements of Buildings*. NGI Publikasjon, 1967. **71**(71): p. 38.
11. Bentley, S.P., N.J. Clark, and I.J. Smalley, *Mineralogy of a Norwegian postglacial clay and some geotechnical implications*. The Canadian Mineralogist, 1980. **18**(4): p. 535-547.
12. Mitchell, J.K. and K. Soga, *Fundamentals of soil behavior*. 2005, Hoboken, N.J.: Wiley. XIII, 577 s. : ill.
13. Vaid, Y.P. and R.G. Campanella, *Time-dependent behavior of undisturbed clay*. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1977. **103**(7): p. 693-709.
14. Tavenas, F., et al., *Creep behaviour of an undisturbed lightly overconsolidated clay*. Canadian Geotechnical Journal, 1978. **15**(3): p. 402-423.
15. Mitchell, J.K., R.G. Campanella, and A. Singh, *Soil creep as a rate process*. 1968.
16. Mitchell, R.J. and W. Eden, *Measured movements of clay slopes in the Ottawa area*. Canadian Journal of Earth Sciences, 1972. **9**(8): p. 1001-1013.
17. SGI, *Basic Behaviour of Scandinavian soft clays*, 1977, SGI: Linkøping 1977.
18. Lefebvre, G., *Soft sensitive clays*. Landslides: investigation and mitigation, 1996: p. 607-619.
19. Leroueil, S., *Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms*. Geotechnique, 2001. **51**(3): p. 197-243.
20. Mathijssen, F., F. Molenkamp, and N. Boylan. *Long term stability of slopes and embankments on soft soils*. in *Proceedings 4th Canadian Conference on Geohazards*. 2008.
21. Fredriksen, F.J., *Undersøkelser av en leires krypegenskaper under drenerte og udrenerte forhold*, in *Institutt for Geoteknikk og fundamenteringslære*1983, Norges Tekniske Høgskole (NTH): Trondheim. p. 154.

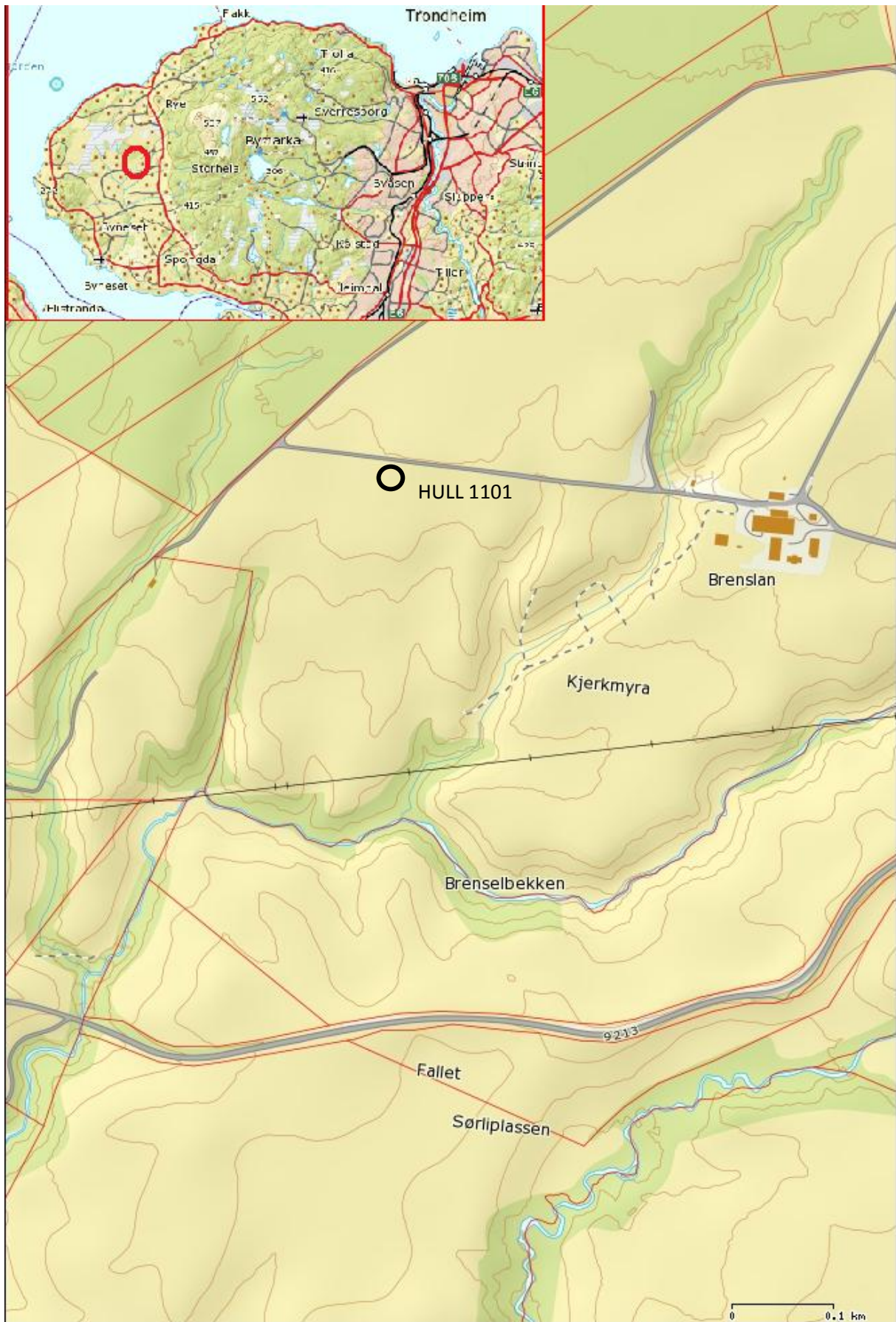
22. Lefebvre, G. and C. Poulin, *A new method of sampling in sensitive clay*. Canadian Geotechnical Journal, 1979. **16**(1): p. 226-233.
23. Lefebvre, S.L.T.B.G., *NGI publication*. 1986. **163**(1): p. 1-6.
24. Lunne, T., et al., *Effects of sample disturbance and consolidation procedures on measured shear strength of soft marine Norwegian clays*. Canadian Geotechnical Journal, 2006. **43**(7): p. 726-750.
25. Østenes, P., *Personlig kommunikasjon*, 2013.
26. Standard, N., *Geoteknisk prøving, laboratoriemetoder, vanninnhold*. 1982, Lysaker: Standard Norge. 2 s.
27. Standard, N., *Geoteknisk prøving, laboratoriemetoder, bestemmelse av udrenert skjærstyrke ved konusprøving*. 1988, Lysaker: Standard Norge. 11 s.
28. Standard, N., *Geoteknisk prøving, Laboratoriemetoder, Densitet*. 1982, Lysaker: Standard Norge. 4 s.
29. Vegvesen, S., *Håndbok 014: Laboratorieundersøkelser*. 2005.
30. Standard, N., *Geoteknisk prøving, laboratoriemetoder, korndensitet*. 1982, Lysaker: Standard Norge. 4 s.
31. Standard, N., *Geoteknisk prøving, Laboratoriemetoder, Plastisitetsgrensen*. 1982, Lysaker: Standard Norge. 2 s.
32. *Database for geologiske enheter*, 2013, NGU:  
[http://aps.ngu.no/pls/oradb/geoenhet\\_SokiDb.Vis\\_enhet?p\\_id=147603&p\\_spraak=N](http://aps.ngu.no/pls/oradb/geoenhet_SokiDb.Vis_enhet?p_id=147603&p_spraak=N).
33. Heim, M., *Hovedtrekk av berggrunn i deler av kartblad Leksvik 1622-3*. Rapport, 1993. **93.062**: p. 12.
34. Skilbrei, M.A.S.J.R., *Tolknin av helikoptergeofysikk fra kartbladene, med hovedvekt på mineralprospektering*. Rapport, 1992. **92.265**: p. 31.
35. NGI, *Evaluering av risiko for kvikkleireskred i Trondheim kommune*, in *Program for økt sikkerhet mot leirskred2005*:  
<http://www.nve.no/pagefiles/4224/trondheim%20kommune01b.pdf?epslanguage=no>
36. NVE, *Kvikkleire-faregrad*, 2013, NVE:  
[http://arcus.nve.no/website/tema/nve\\_kvikkleire\\_faregrad.html](http://arcus.nve.no/website/tema/nve_kvikkleire_faregrad.html).
37. NVE, *Kvikkleireskred ved Esp på Byneset i Trondheim*, 2012, NVE:  
<http://www.nve.no/Global/Publikasjoner/Publikasjoner%202012/Forel%C3%B8pig%20rapport%201-2012%20Kvikkleireskredet%20p%C3%A5%20Esp%20kl%2016.pdf>.
38. Trondheim, k., *Esp-Byneset, Kivkkleireskred*, 2012, Trondheim kommune:  
[www.trondheim.kommune.no/content/1117723652/Geotekniske-rapporter](http://www.trondheim.kommune.no/content/1117723652/Geotekniske-rapporter).
39. NGU, *Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging ved skredgrop på Byneset, Sør-Trøndelag.*, 2012, NGU:  
[http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2012/2012\\_004.pdf](http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2012/2012_004.pdf).
40. Thrakur, V., *Datarapport fra Kvikkleireskred i Esp ved Byneset i januar 2012*, 2012, Norges vassdrags- og energidirektorat, Statens vegvesen og Jernbaneverket.
41. Lyche, E., *Kvikkleireskredet ved Esp på Byneset i 2012*, in *Teknologidagene-2012*, E. Lyche, Editor 2012, NIFS: Trondheim.
42. Robertson, P., *Soil classification using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical Journal, 1990. **27**(1): p. 151-158.
43. Kornbrekke, H.A., *Laboratry tests on high-quality Sherbrooke block sample from Møllenberg, Trondheim*, in *Department of Civil and Transport Engineering, NTNU2011*, Norwegian University of Science and Technology: NTNU.
44. Kornbrekke, H.A., *Personlig kommunikasjon, møte*, 2013.

## **Vedlegg A**

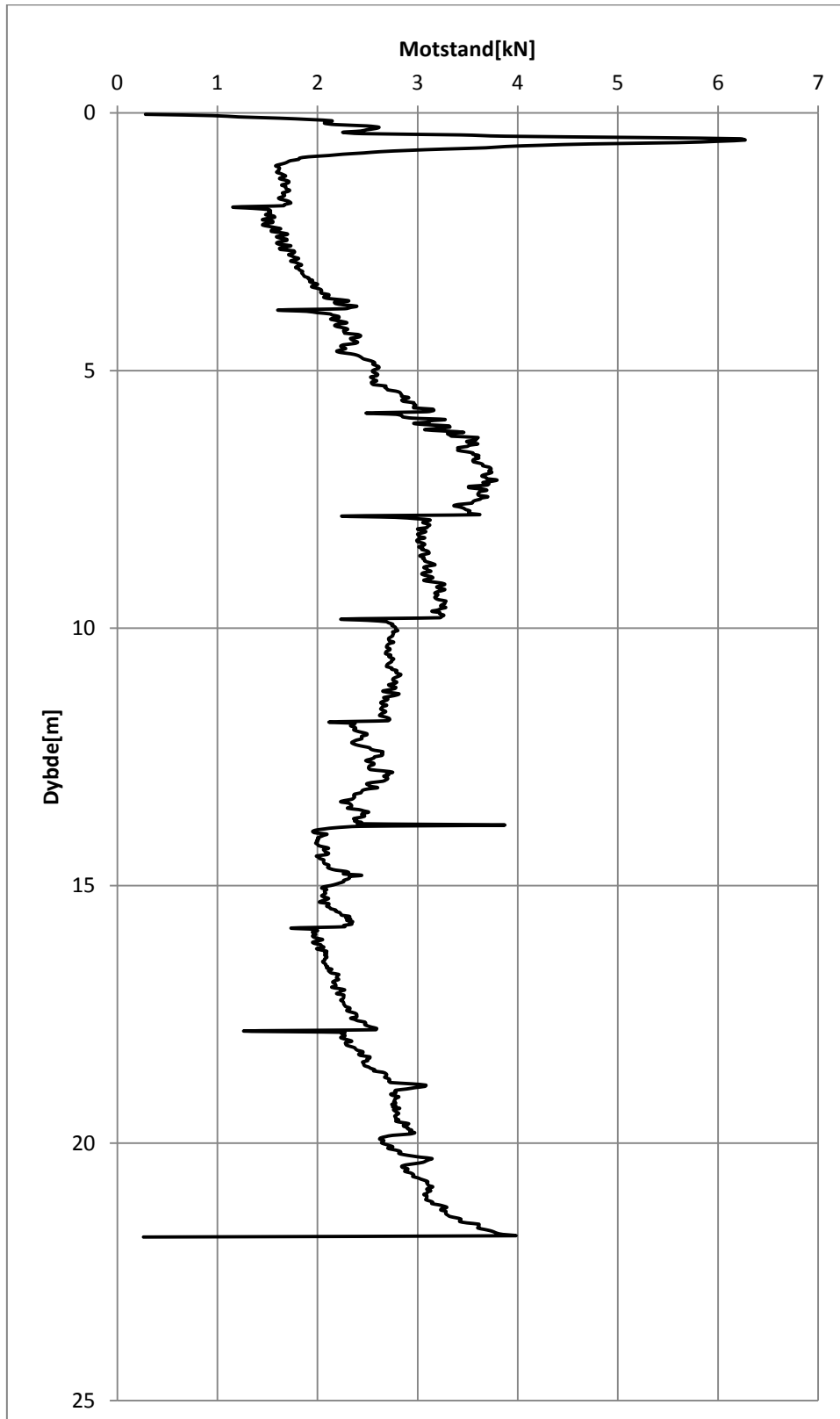
**Felt- og laboratorieundersøkelser fra borpunkt NTNU 1101**

**Esp, Byneset**

**A.1 Oversiktskart** hentet fra [www.norgeskartet.no](http://www.norgeskartet.no) den 17.12.2012

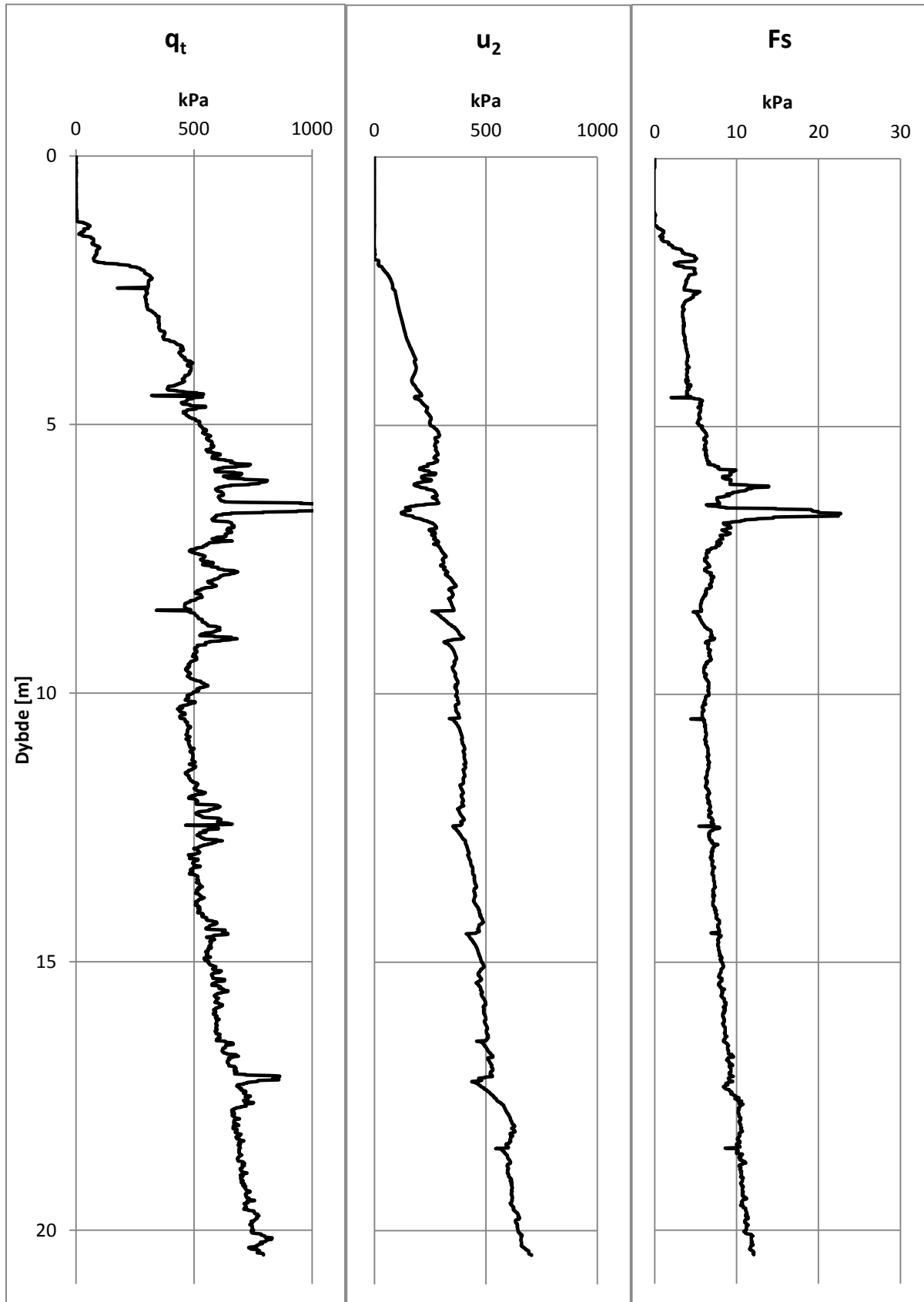


## A.2 Totalsondering, utført 22.10. 2012



Esp, Byneset	Hull NTNU-1101	Prøvetaking:	30.10 og 26.11 i 2012	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	31.10.12 – 21.01.13	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU

## A.3 CPTU, utført 22.10 2012



Esp, Byneset Hull NTNU-1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

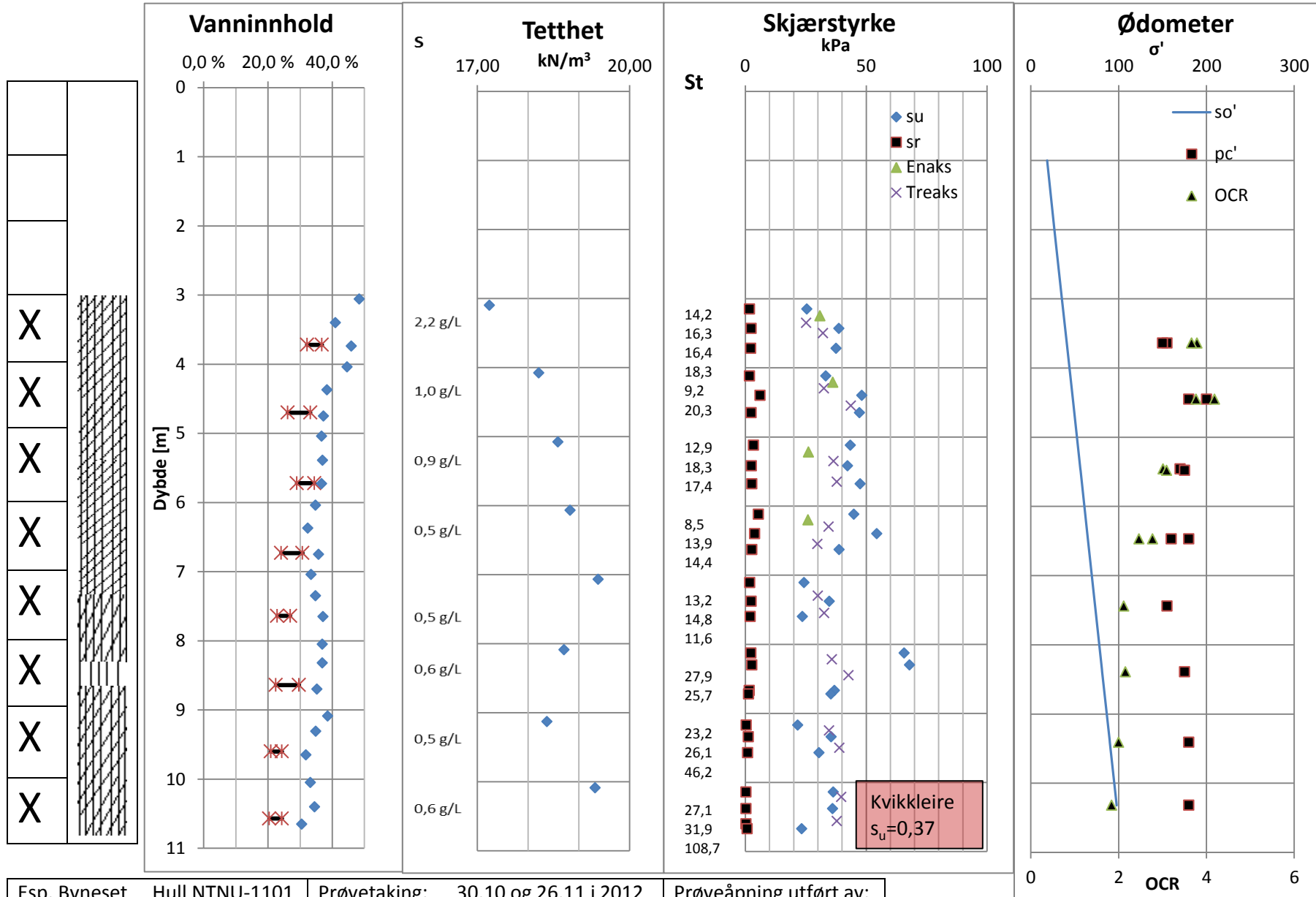
Prøvetaking: 30.10 og 26.11 i 2012  
 Prøveåpning: 31.10.12 – 21.01.13  
 Prøvetaker: 54 mm stålsylinder

Prøveåpning utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

## A.4 Resultater fra laboratorieundersøkelser

Esp, Byneset	Hull NTNU-1101	Prøvetaking:	30.10 og 26.11 i 2012	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	31.10.12 – 21.01.13	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU



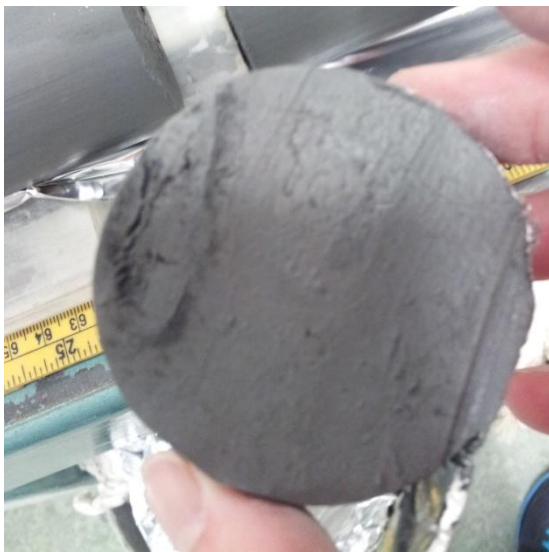


Esp, Byneset	Hull NTNU-1101	Prøvetaking: 30.10 og 26.11 i 2012	Prøveåpning utført av:
Koordinater: ca: 7030140,3 (UTM)	0557004,3	Prøveåpning: 31.10.12 – 21.01.13	Jeremy Raymond King,
		Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	ved NTNU

<b>Rutineundersøkelser</b>											
<b>Dato prøvataking</b>		30.10.12		<b>Dato prøveåpning</b>			31.10.12		<b>Generell klassifisering</b>		
Borested		ESP		Operatør			Jeremy King		Siltig leire med enkelte siltlommer, gruskorn og skjellrester		
Utført av:		GW, ASG		Lengde av prøve, L			79	cm			
Hullnr		1101		Volum av prøve, 23.2*L			1832,8	cm <sup>3</sup>			
Dybde		3,0-3,8	m	Masse av sylinder m/prøve			5019,8	g			
Grunnvannstand		1	m	Masse av tom sylinder			1734,3	g			
					Masse av prøve			3285,5			g
					Midlere densitet			1,79			g/cm <sup>3</sup>
					Tyngdetetthet			17,59			kN/m <sup>3</sup>
<b>Vanninnhold</b>			Prøve1	Prøve 2	Prøve 3	wl	wp	<b>Densitet, liten pr.</b>		Ring	Skål
Skål nr.			108	124	39	111	57	Ring/skålnr.		II	74
Total masse våt		g	98,57	51,75	71,48	39,97	30,36	Tot masse våt		g	91,52
Total masse tørr		g	73,55	43,7	56,19	35,29	29,17	Tot masse tørr		g	125,6
Masse vann		g	25,02	8,05	15,29	4,68	1,19	Masse ring/skål		g	31,08
Masse skål		g	21,89	24,07	22,91	22,57	24,98	Masse våt prøve		g	60,44
Masse tørr prøve		g	51,66	19,63	33,28	12,72	4,19	Masse tørr prøve		g	39,56
Vanninnhold		%	48,4	41,0	45,9	36,8	28,4	Volum		cm <sup>3</sup>	34,4
Midlere vanninnhold (prøve 1,2 og 3)						45,1 %		Densitet, $\rho$		g/cm <sup>3</sup>	1,76
<b>Korndesitet fra pyknometermåling</b>					<b>Konuforsøk</b>				<b>Enaksielt trykk</b>		
Masse pyknometer+vann			147,43	g	Prøve	Su	Sr	St	Trykk	$\epsilon$	Su
Masse pykn.+prøve+vann			152,93	g	nr.	kPa	kPa	-	kg	%	kPa
Total masse tørr			310,33	g	1	25,5	1,8	14,17	15	2,5	30,92
Masse skål			302,81	g	2	38,7	2,4	16,13			
Masse tørr			7,52	g	3	37,6	2,3	16,35			
Korndesitet			3,72	g/cm <sup>3</sup>							
<b>Oppdeling av prøve</b>						<b>Oppsummering Rutineparametere</b>					
fra - til [m]		Forsøk				Plastisitetsindeks, $I_p$		8,4	%		
5	7	Vanninnhold, $w_1$				Flyteindeks, $I_L$		2,8	-		
7	12	Densitet liten ring, $\rho$				Porøsitet, $n$		58,9	%		
12	17	Konus 1				Poretall, $e$		1,43			
17	28	Enaks				Metningsgrad, $S_r$		100,98	%		
28	39	Treaks 1, CAU334				Saltinnhold		2,2	g/l		
39	40	Vanninnhold, $w_2$				Densitet, $\rho$		1,76	g/cm <sup>3</sup>		
40	45	Konus 2				Antatt korndensitet, $\rho_s$		2,80	g/cm <sup>3</sup>		
45	56	Treaks 2, CAU350				Vanninnhold		45,1	%		
58	66	Ødometer, CRS364-1 og CRS364-2				Su (enaks)		30,9	kPa		
66	68	Korndensitet, $\rho_s$ og kornfordeling				Su (konus)		33,9	kPa		
68	73	Konus 3 og flytegrenser, $w_p$ og $w_L$				Sensitivitet, $S_t$		15,6			
73	74	Vanninnhold, $w_3$									
74	78	Saltinnhold									
Esp, Byneset		Hull 1101		Prøvetaking: 30.10.12			Prøveåpning utført av:				
Koordinater:		ca: 7030140,3		Prøveåpning: 31.10.12			Jeremy Raymond King,				
(UTM)		0557004,3		Prøvetaker: 54 mm stålsylinder			ved NTNU				



Prøverør L-19: 3,0 – 3,8 m dybde.



Sår i prøven ved ca. 3,60 m dybde.



En stor grusstein i CRS364-1.



Grusstein og noen skjellrester i CAU334.



Noen rester fra hydrometer (ca 0,44 g).

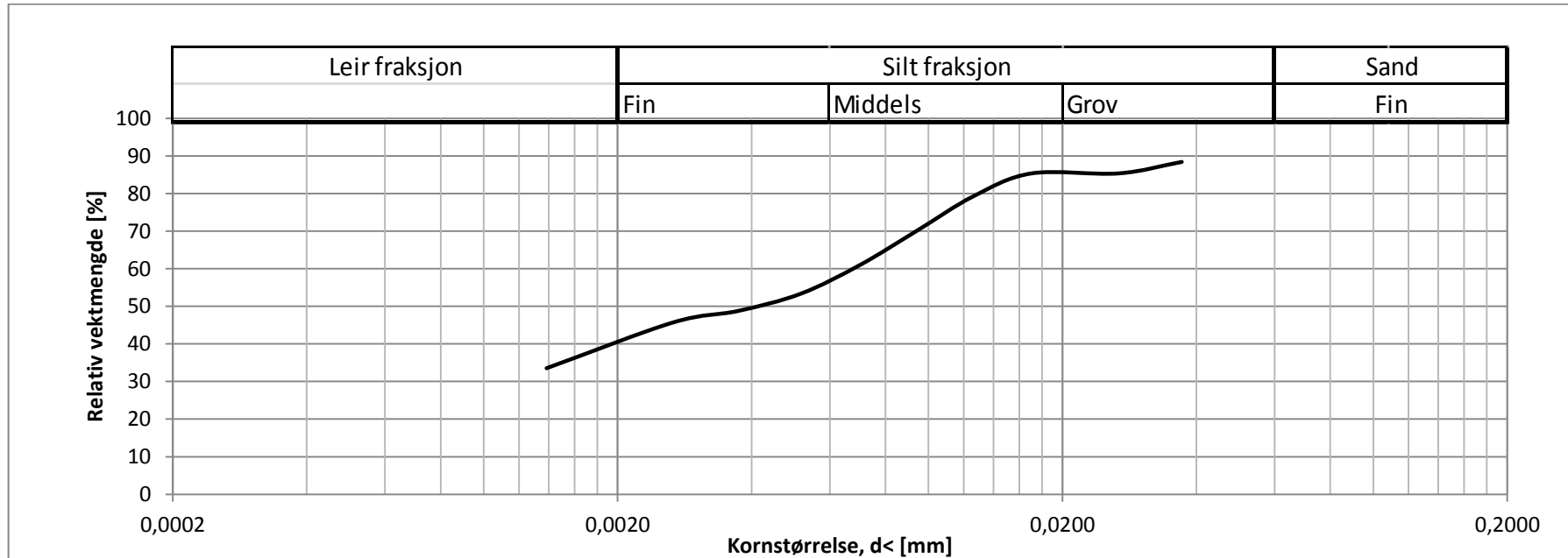
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	31.10.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 01.11.2012  
 Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 1101 - 54 mm stålsylinder  
 Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0,44 g

Dybde: 3,66 m  
 $\rho_s$ : 2,8 gr/cm<sup>3</sup>

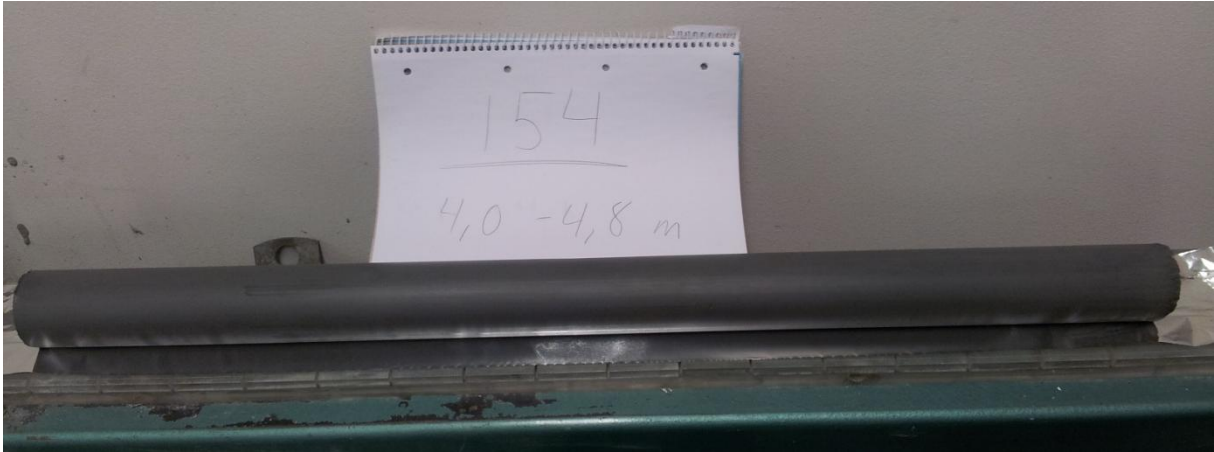


Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	41	Siltig leire
Silt	58	
$d > 75 \mu\text{m}$	1	

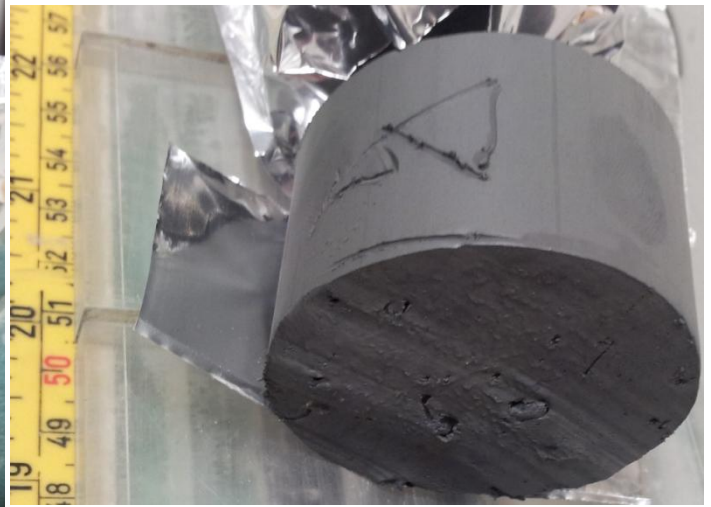
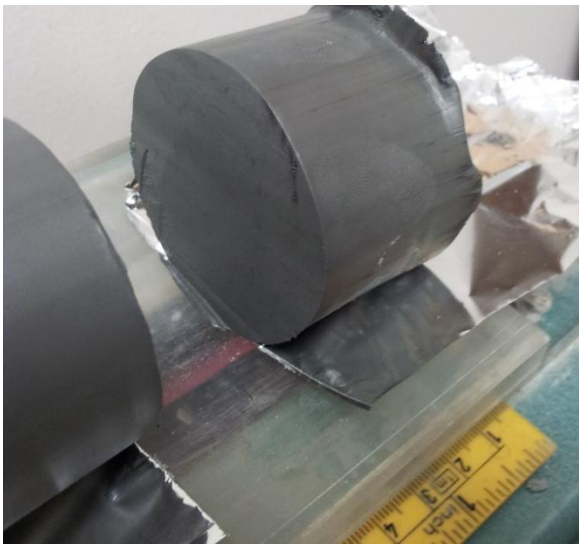
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking: 30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning: 31.10.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	ved NTNU

## Rutineundersøkelser

Dato prøvataking		30.10.12		Dato prøveåpning		06.11.12		Generell klassifisering			
Borested		ESP		Operatør		Jeremy King		Siltig leire med siltlommer ca. midt på prøven og generelt mye skjellrester			
Utført av:		GW ASG		Lengde av prøve, L		79,4 cm					
Hullnr		1101		Volum av prøve, 23.2*L		1842,1 cm <sup>3</sup>					
Dybde		4,0-4,8 m		Masse av sylinder m/prøve		5107,3 g					
Grunnvannstand		1 m		Masse av tom sylinder		1715,7 g					
				Masse av prøve		3391,6 g					
				Midlere densitet		1,84 g/cm <sup>3</sup>					
				Tyngdetetthet		18,06 kN/m <sup>3</sup>					
Vanninnhold		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	wl	wp	Densitet, liten pr.		Ring	Skål	
Skål nr.		60	228	54	239	227	Ring/skålnr.		II	74	
Total masse våt	g	125,32	105,00	133,90	59,62	40,10	Tot masse våt		g	94,94	
Total masse tørr	g	93,43	83,39	104,40	50,44	37,35	Tot masse tørr		g	131,02	
Masse vann	g	31,89	21,61	29,52	9,18	2,75	Masse ring/skål		g	31,08	
Masse skål	g	21,97	27,03	25,22	22,77	26,83	Masse våt prøve		g	63,86	
Masse tørr prøve	g	71,46	56,36	79,17	27,67	10,52	Masse tørr prøve		g	44,99	
Vanninnhold	%	44,7	38,3	37,3	33,2	26,1	Volum		cm <sup>3</sup>	34,4	
Midlere vanninnhold (prøve 1,2 og 3)					40,1 %		Densitet, $\rho$		g/cm <sup>3</sup>	1,856	
Korndensitet fra pyknometermåling					Konusforsøk				Enaksielt trykk		
Masse pyknometer+vann			148,78 g		Prøve	Su	Sr	St	Trykk	$\epsilon$	Su
Masse pykn.+prøve+vann			156,81 g		nr.	kPa	kPa	-	kg	%	kPa
Total masse tørr			123,38 g		1	33,3	1,8	18,50	17,5	2,0	36,26
Masse skål			110,88 g		2	48,2	6,1	7,90			
Masse tørr			12,50 g		3	47,3	2,4	19,71			
Korndensitet			2,80 g/cm <sup>3</sup>								
Oppdeling av prøve					Oppsummering Rutineparametere						
fra	-	til [m]	Forsøk		Plastisitetsindeks, $I_p$			7,0 %			
2		4	Vanninnhold, $w_1$		Flyteindeks, $I_L$			198,2 %			
4		10	Densitet liten ring, $\rho$		Porøsitet, $n$			53,3 %			
10		15	Konus 1		Poretall, $e$			1,1			
15		26	Enaks		Metningsgrad, $S_r$			100,9 %			
26		37	Treaks 1, CAU430		Saltinnhold			1,0 g/l			
37		38	Vanninnhold, $w_2$		Densitet, $\rho$			1,86 g/cm <sup>3</sup>			
38		43	Konus 2 og kornfordeling		Korndensitet, $\rho_s$			2,80 g/cm <sup>3</sup>			
43		50	Ødometer, CRS445-1 og CRS445-2		Vanninnhold			40,1 %			
50		60	Treaks 2, CAU455		Su (enaks)			36,3 kPa			
60		63	Saltinnhold		Su (konus)			42,9 kPa			
63		68	Konus 3 og korndensitet		Sensitivitet, $S_t$			15,4			
68		72	Flytgrenser, $w_p$ og $w_L$								
72		74	Vanninnhold, $w_3$								
Esp, Byneset	Hull 1101		Prøvetaking: 30.10.12			Prøveåpning utført av:					
Koordinater:	ca: 7030140,3		Prøveåpning: 06.11.12			Jeremy Raymond King,					
(UTM)	0557004,3		Prøvetaker: 54 mm stålsylinder			ved NTNU					



Prøverør 1543, 4,0 – 4,8 m dybde. Få synlige forstyrrelser.



Antydning til siltskjitt (ventre). Grus korn og skjellrester i prøven ved ca. 4,5m (konus 2). Lukket skjell fyller av vann.



Mange skjellrester i generelt i prøven Her fra konus 1, 2 og 3, endestykkene og CAU450 (høyre).

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	06.11.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 12.11.2012  
Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 1101 - 54 mm stålsylinder  
Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0 g

Dybde: 4,40 m  
 $\rho_s$ : 2,8 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	34	Siltig leire
Silt	66	
$d > 75 \mu\text{m}$		

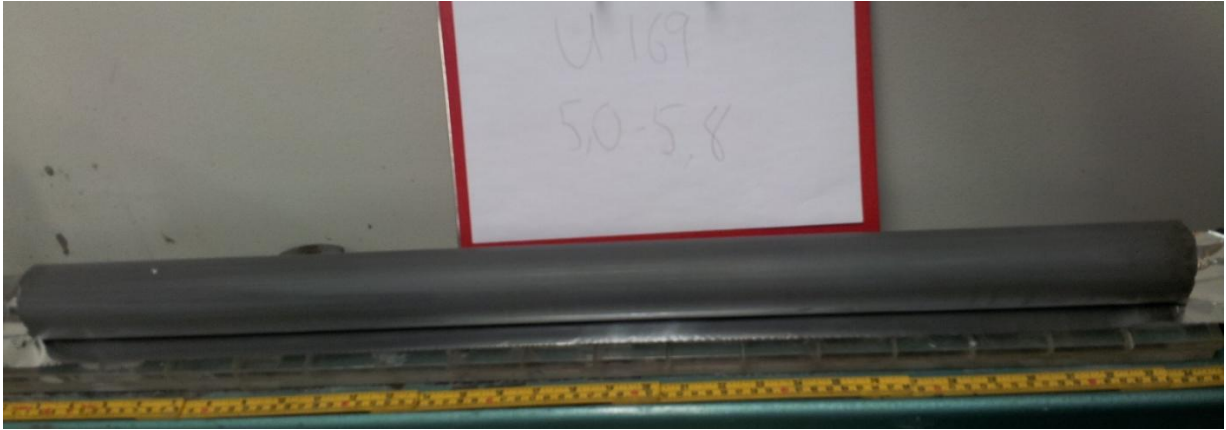
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking: 30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning: 06.11.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	ved NTNU

## Rutineundersøkelser

Dato prøvotaking	30.10.12	Dato prøveåpning	08.11.12	Generell klassifisering						
Borested	ESP	Operatør	Jeremy King	Siltig leire med noen siltlommer og enkelte gruskorn						
Utført av:	GW ASG	Lengde av prøve, L	79,2 cm							
Hullnr	1101	Volum av prøve, 23.2*L	1837,4 cm <sup>3</sup>							
Dybde	5,0-5,8 m	Masse av sylinder m/prøve	5183,9 g							
Grunnvannstand	1 m	Masse av tom sylinder	1726,9 g							
		Masse av prøve	3457,0 g							
		Midlere densitet	1,88 g/cm <sup>3</sup>							
		Tyngdetetthet	18,46 kN/m <sup>3</sup>							
Vanninnhold	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	wl	wp	Densitet, liten pr.	Ring	Skål		
Skål nr.	238	216	104	60	111	Ring/skålnr.	II	110,88		
Total masse våt g	85,79	96,07	133,18	59,15	43,21	Tot masse våt g	96,26			
Total masse tørr g	70,28	77,37	103,34	49,63	38,57	Tot masse tørr g		158,19		
Masse vann g	15,51	18,70	29,84	9,52	4,64	Masse ring/skål g	31,08	110,88		
Masse skål g	28,01	26,80	22,03	21,97	22,57	Masse våt prøve g	65,18			
Masse tørr prøve g	42,27	50,57	81,31	27,66	16,00	Masse tørr prøve g	47,31	47,31		
Vanninnhold %	36,7	37,0	36,7	34,4	29,0	Volum cm <sup>3</sup>	34,4	34,4		
Midlere vanninnhold (prøve 1,2 og 3)				36,8		Densitet, ρ g/cm <sup>3</sup>	1,89			
Korndesitet fra pyknometermåling				Konusforsøk				Enaksielt trykk		
Masse pyknometer+vann		148,93 g		Prøve	Su	Sr	St	Trykk	ε	Su
Masse pykn.+prøve+vann		161,94 g		nr.	kPa	kPa	-	kg	%	kPa
Total masse tørr		323,16 g		1	43,5	3,4	12,7	13	4,5	26,2
Masse skål		302,81 g		2	42,3	2,6	16,5			
Masse tørr		20,35 g		3	47,6	2,8	17,2			
Korndesitet		2,77 g/cm <sup>3</sup>								
Oppdeling av prøve						Oppsummering Rutineparametere				
fra	-	til [m]	Forsøk			Plastisitetsindeks, I <sub>p</sub>		5,4 %		
3,5		5	Vanninnhold, w <sub>1</sub>			Flyteindeks, I <sub>L</sub>		143,8 %		
5		10	Densitet liten ring, ρ			Porøsitet, n		50,4 %		
10		15	Konus 1			Poretall, e		1,0		
15		26	Enaks			Metningsgrad, S <sub>r</sub>		101,1 %		
26		37	Treaks 1, CIU535			Saltinnhold		0,9 g/l		
37		39	Vanninnhold, w <sub>2</sub>			Densitet, ρ		1,89 g/cm <sup>3</sup>		
39		44	Konus 2, korndensitet og kornfordeling			Korndensitet, ρ <sub>s</sub>		2,77 g/cm <sup>3</sup>		
44		51	Ødometer, CRS546-1 og CRS548-2			Vanninnhold		36,8 %		
51		62	Treaks 2, CAU565			c <sub>u</sub> (enaks)		26,2 kPa		
62		66	Saltinnhold			c <sub>u,k</sub> (konus)		44,5 kPa		
66		71	Konus 3			Sensitivitet, S <sub>t</sub>		15,5		
71		73	Flytgrense w <sub>p</sub> og w <sub>L</sub>							
73		74	Vanninnhold, w <sub>3</sub>							

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	08.11.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU





Prøverør U169, 5,0 – 5,8 m dybde. Få synlige forstyrrelser.



Lukket skjell fyllt med vann funnet i prøven, her fra konus 3 (venstre bilde). Enkelte skjellrester ellers i prøven (høyre).

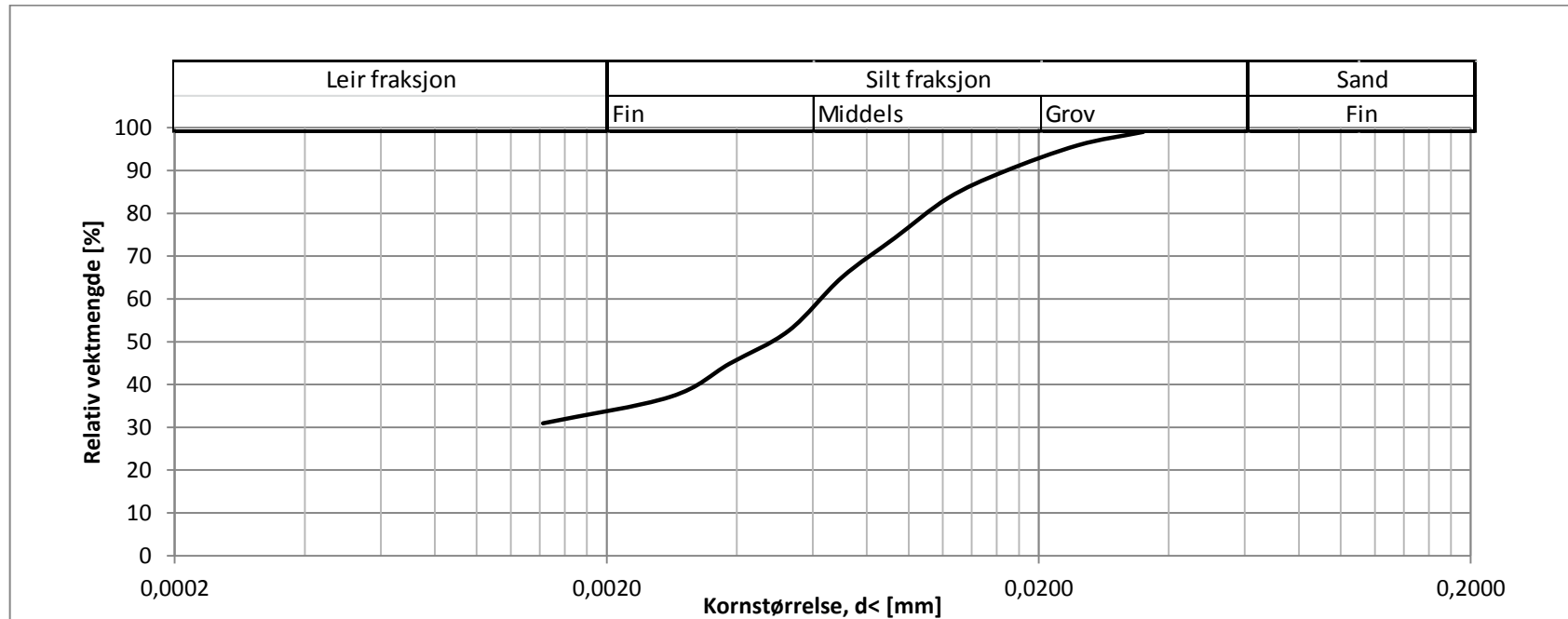
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	08.11.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 12.11.2012  
 Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 1101 - 54 mm stålsylinder  
 Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0,39 g

Dybde: 5,42 M  
 $\rho_s$ : 2,77 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	34	Leire
Silt	65	
$d > 75 \mu\text{m}$	1	

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking: 30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning: 08.11.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	ved NTNU

<b>Rutineundersøkelser</b>											
<b>Dato prøvataking</b>	30.10.12		<b>Dato prøveåpning</b>			09.11.12		<b>Generell klassifisering</b>			
Borested	ESP		Operatør			Jeremy King		Siltig leire med enkelte siltlommer og spredte skjellrester			
Utført av:	GW ASG		Lengde av prøve, L			79,7 cm					
Hullnr	1101		Volum av prøve, 23.2*L			1849 cm <sup>3</sup>					
Dybde	6,0-6,8 m		Masse av sylinder m/prøve			5244,6 g					
Grunnvannstand	1 m		Masse av tom sylinder			1729,2 g					
			Masse av prøve			3515,4 g					
			Midlere densitet			1,90 g/cm <sup>3</sup>					
			Tyngdetetthet			18,65 kN/m <sup>3</sup>					
<b>Vanninnhold</b>	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	wl	wp	<b>Densitet, liten pr.</b>		Ring	Skål		
Skål nr.	47	32	226	218	236	Ring/skålnr.		II	110,88		
Total masse våt g	99,93	92,42	84,86	49,23	44,21	Tot masse våt g		97,10			
Total masse tørr g	79,86	75,44	69,67	42,91	40,40	Tot masse tørr g			159,84		
Masse vann g	20,07	16,98	15,19	6,32	3,81	Masse ring/skål g		31,08	110,88		
Masse skål g	22,23	23,08	27,17	22,35	24,61	Masse våt prøve g		66,02			
Masse tørr prøve g	57,63	52,36	42,50	20,56	15,79	Masse tørr prøve g			48,96		
Vanninnhold %	34,8	32,4	35,7	30,7	24,1	Volum cm <sup>3</sup>		34,4	34,4		
Midlere vanninnhold (prøve 1,2 og 3)				34,3%		Densitet, $\rho$ g/cm <sup>3</sup>		1,919			
<b>Korndesitet fra pyknometermåling</b>				<b>Konusforsøk</b>				<b>Enaksielt trykk</b>			
Masse pyknometer+vann		148,47 g		Prøve	Su	Sr	St	Trykk	$\epsilon$	Su	
Masse pykn.+prøve+vann		159,73 g		nr.	kPa	kPa	-	kg	%	kPa	
Total masse tørr		230,07 g			1	45,0	5,4	8,3	14	12	26,0
Masse skål		212,49 g			2	54,4	3,9	13,8			
Masse tørr		17,58 g			3	38,9	2,7	14,2			
Korndesitet		2,78 g/cm <sup>3</sup>									
<b>Oppdeling av prøve</b>						<b>Oppsummering Rutineparametere</b>					
fra	-	til [m]	Forsøk			Plastisitetsindeks, $I_p$		6,61 %			
3		5	Vanninnhold, $w_1$			Flyteindeks, $I_L$		154,4 %			
5		10	Densitet liten ring, $\rho$			Porøsitet, n		48,83 %			
10		15	Konus 1			Poretall, e		0,95			
15		26	Enaks			Metningsgrad, $S_r$		99,56 %			
26		37	Treaks 1, CAU630			Saltinnhold		0,5 g/l			
37		38	Vanninnhold, $w_2$			Densitet, $\rho$		1,92 g/cm <sup>3</sup>			
38		43	Konus 2, korndensitet og kornfordeling			Korndensitet, $\rho_s$		2,78 g/cm <sup>3</sup>			
43		50	Ødometer, CRS647-1 og CRS647-2			Vanninnhold, w		34,3 %			
50		61	Treaks 2, CAU655			Su (enaks)		26,0 kPa			
61		66	Konus 3			Su (konus)		46,1 kPa			
66		70	Saltinnhold			Sensitivitet, $S_t$		12,1 -			
70		73	Flytegrenser, $w_p$ og $w_L$								
73		74	Vanninnhold, $w_3$								

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	09.11.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU



Prøverør T21, 6,0 – 6,8 m dybde. Synlig forstyrrelse ved 6,8 dybde. Ellers ingen synlige forstyrrelser.



Tydelig forstyrrelse de siste 5- 10 cm (venstre). Litt skjev innbygging av CAU630 (høyre).

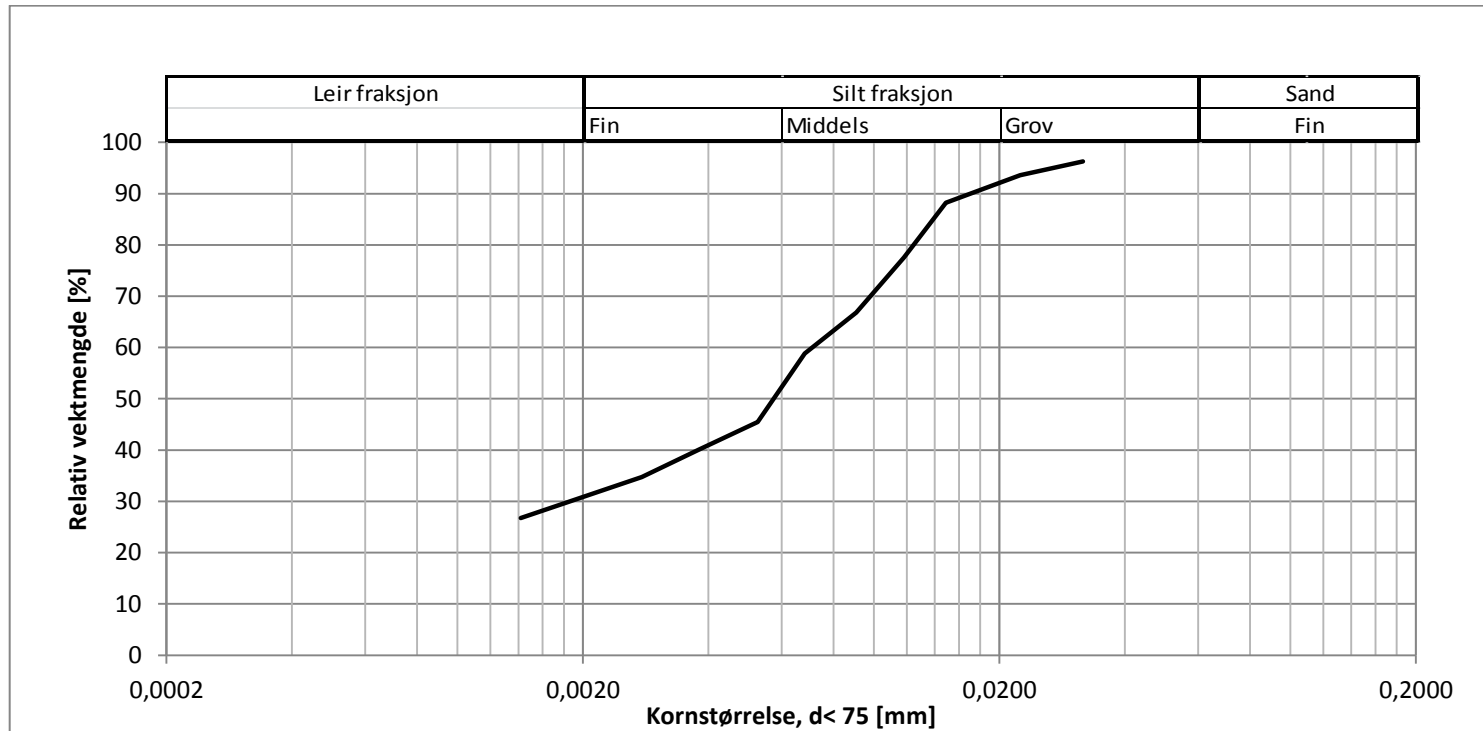
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	09.11.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 12.11.2012  
Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 1101 - 54 mm stålsylinder  
Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0,0 g

Dybde: 6,40 m  
 $\rho_s$ : 2,78 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	32	Siltig leire
Silt	68	
$d > 75 \mu\text{m}$	0	

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	30.10.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	09.11.12	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU

Rutineundersøkelser										
<b>Borested</b>		ESP			<b>Gruppe</b>			Jeremy Raymond King		
Hullnr		1			Dato prøvotaking			26.11.12		
Dybde		7,0-7,8 m			Dato prøveåpning			09.01.12		
Grunnvannstand		1 m			<b>Korndesitet fra pyknometermåling</b>					
Lengde av prøve, L		79,4 m			Masse pyknometer+vann		148,47 g			
Volum av prøve, 23.2*L		1842,08 cm <sup>3</sup>			Masse pykn.+prøve+vann		161,33 g			
Masse av sylinder m/prøve		5194,9 g			Total masse tørr		127,91 g			
Masse av tom sylinder		FEIL	g		Masse skål		107,36 g			
Masse av prøve		#VALUE!	g		Masse tørr		20,55 g			
Midlere densitet		#VALUE!	g/cm <sup>3</sup>		Korndesitet		2,67 g/cm <sup>3</sup>			
Tyngdetetthet		#VALUE!	kN/m <sup>3</sup>							
<b>Oppdeling av prøve</b>				<b>Generell klassifisering</b>			<b>Rutineparametere</b>			
4	5	Vanninnhold, w <sub>1</sub>		Siltig leire.			Pl.indeks		4,04 %	
5	9	Densitet liten ring, ρ		Forholdsvis homogen			Flyteindeks		303 %	
9	14	Konus, V <sub>1</sub>		Noen sand og gruskorn midt i prøven			Porøsitet		44,31 %	
14	24	Mineralogi					Poretall		0,80	
24	35	Treaks					Metningsgrad		107,8 %	
35	36	Vanninnhold, w <sub>2</sub>					Saltinnhold		0,6 g/l	
36	40	Konus, V <sub>2</sub> , Korndesitet, ps		<b>Konuforsøk</b>			<b>Densitet liten prøve</b>			
40	48	Ødometer		Prøve	Su	Sr	St	Ring	Skål	
48	59	Treaks		nr.	kPa	kPa		Ring/skålnr.	II	
59	63	Konus, V <sub>3</sub>		1	24,33	1,87	13,23	Tot masse våt	99,03 g	
63	65	w <sub>L</sub> -w <sub>p</sub>		2	34,83	2,47	14,83	Tot masse tørr	g	
65	66	Vanninnhold, w <sub>3</sub>		3	23,70	2,10	11,55	Masse ring/skål	31,08 g	
66	72	Saltinnhold, S, kornfordelin						Masse våt prøve	67,95 g	
72	78	Mineralogi						Masse tørr prøve	51,19 g	
<b>Vanninnhold</b>		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	Volum	34,4 cm <sup>3</sup>	34,4 cm <sup>3</sup>	
Skål nr.		104	59	242	247	216	Densitet ρ	1,98 g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	
Total masse våt	g	90,25	65,01	87,38	58,51	53,82				
Total masse tørr	g	73,16	54,78	71,19	50,96	48,79				
Masse vann	g	17,09	10,23	16,19	7,55	5,03				
Masse skål	g	22,03	25,41	27,57	22,91	26,8				
Masse tørr prøve	g	51,13	29,37	43,62	28,05	21,99				
Vanninnhold	%	33,4 %	34,8 %	37,1 %	26,9 %	22,9 %				



Etter prøveåpningen. Fra ca 7,65 – 7,80 m dybde. Stor stein og skjell funnet i sylindren.

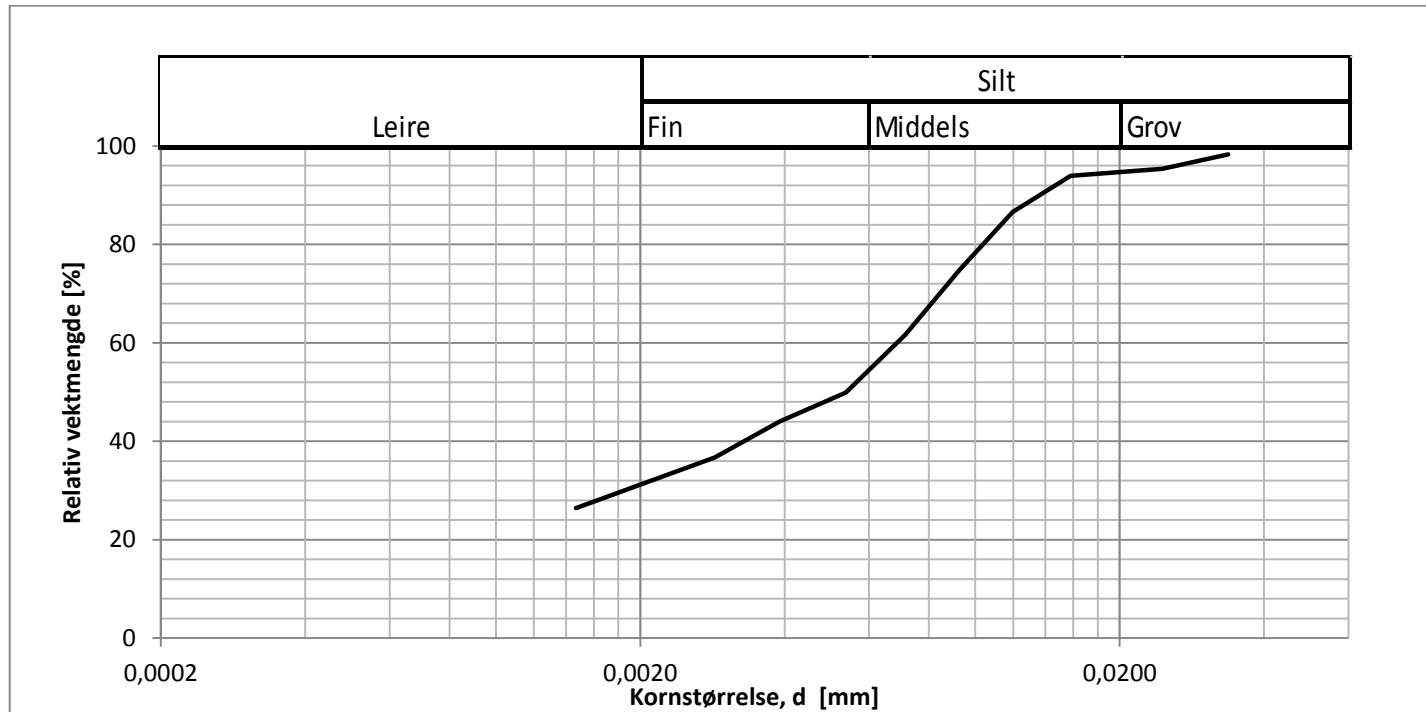
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	26.11.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	09.01.13	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	ved NTNU

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 21.11.2013  
 Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 1101 - 54 mm stålsylinder  
 Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0,08 g

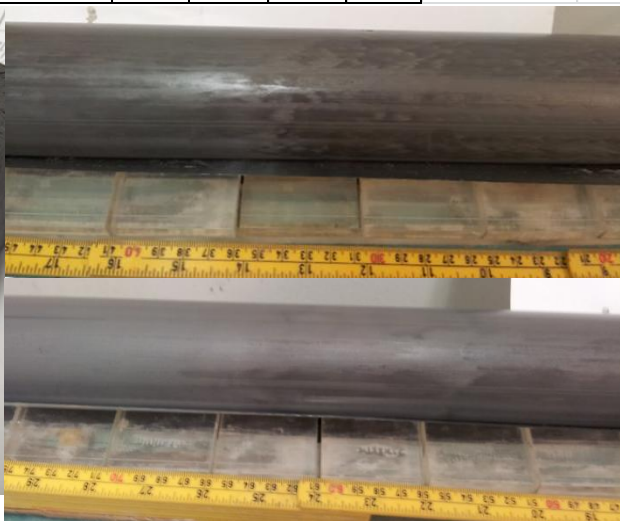
Dybde: 7,70 m  
 $\rho_s$ : 2,67 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	31	Leire, siltig
Silt	69	
$d > 75 \mu\text{m}$		

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking: 26.11.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning: 09.01.13	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	ved NTNU

Rutineundersøkelser									
Borested	ESP			Gruppe			Jeremy Raymond King		
Hullnr	1101			Dato prøvotaking			26.11.12		
Dybde	8,0-8,8 m			Dato prøveåpning			10.01.13		
Grunnvannstand	1 m			Korndesitet fra pyknometermåling					
Lengde av prøve, L	79,8 cm			Masse pyknometer+van			148,35 g		
Volum av prøve, 23.2*L	1851,36 cm <sup>3</sup>			Masse pykn.+prøve+van			163,67 g		
Masse av sylinder m/prøve	5234,5 g			Total masse tørr			234,74 g		
Masse av tom sylinder	1739,3 g			Masse skål			210,53 g		
Masse av prøve	3495,2 g			Masse tørr			24,21 g		
Midlere densitet	1,89 g/cm <sup>3</sup>			Korndesitet			2,72 g/cm <sup>3</sup>		
Tyngdetetthet	18,52 kN/m <sup>3</sup>								
Oppdeling av prøve				Generell klassifisering				Rutineparametere	
0	5	Mineralogi		Siltig leire.				Pl.indeks	7,21 %
5	6	Vanninnhold, w <sub>1</sub>		Forholdsvis homogen.				Flyteindeks	193 %
6	11	Densitet liten ring, ρ		Noen skjellrester gruskorn.				Porøsitet	48,70 %
11	15	Konus, ∇ <sub>1</sub>		Mulig lagskille ved 8,6 m dybde				Poretall	0,95
15	26	Treaks						Metningsgrad	102,6 %
26	31	Konus, ∇ <sub>2</sub>						Saltinnhold	0,6 g/l
31	32	Vanninnhold, w <sub>2</sub>		Konusforsøk				Densitet liten prøve	
32	40	Ødometer		Prøve	Su	Sr	St	Ring	Skål
40	51	Treaks		nr.	kPa	kPa		Ring/skålnr.	II
51	56	Saltinnhold, S, Korndesitet, ps		1	65,73	2,40	27,89	Tot masse våt	96,68 g
56	61	Mineralogi		2	68,00	2,80	25,70	Tot masse tørr	g
61	64	w <sub>L</sub> -w <sub>p</sub>		3	36,93	1,67	23,19	Masse ring/skål	31,08 g
64	69	Konus, ∇ <sub>3</sub> , Kornfordeling		4	35,47	1,37	26,11	Masse våt prøve	65,6 g
69	70	Vanninnhold, w <sub>3</sub>						Masse tørr prøv	48,06 g
70	74	Konus, ∇ <sub>4</sub>						Volum	34,4 cm <sup>3</sup>
74	79	Mineralogi						Densitet ρ	1,91 g/cm <sup>3</sup>
Vanninnhold		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>			
Skål nr.		219	242	49	241	67			
Total masse våt	g	79,12	72,89	97,32	65,59	43,79			
Total masse tørr	g	64,22	60,67	78,61	56,09	39,91			
Masse vann	g	14,9	12,22	18,71	9,5	3,88			
Masse skål	g	23,88	27,57	25,48	24,06	22,63			
Masse tørr prøve	g	40,34	33,1	53,13	32,03	17,28			
Vanninnhold	%	36,9 %	36,9 %	35,2 %	29,7 %	22,5 %			



Tydelig lagskille mellom ved ca. 8,30-8,65 m dybde.

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	26.11.12	Prøveåpning utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	10.01.13	ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder		

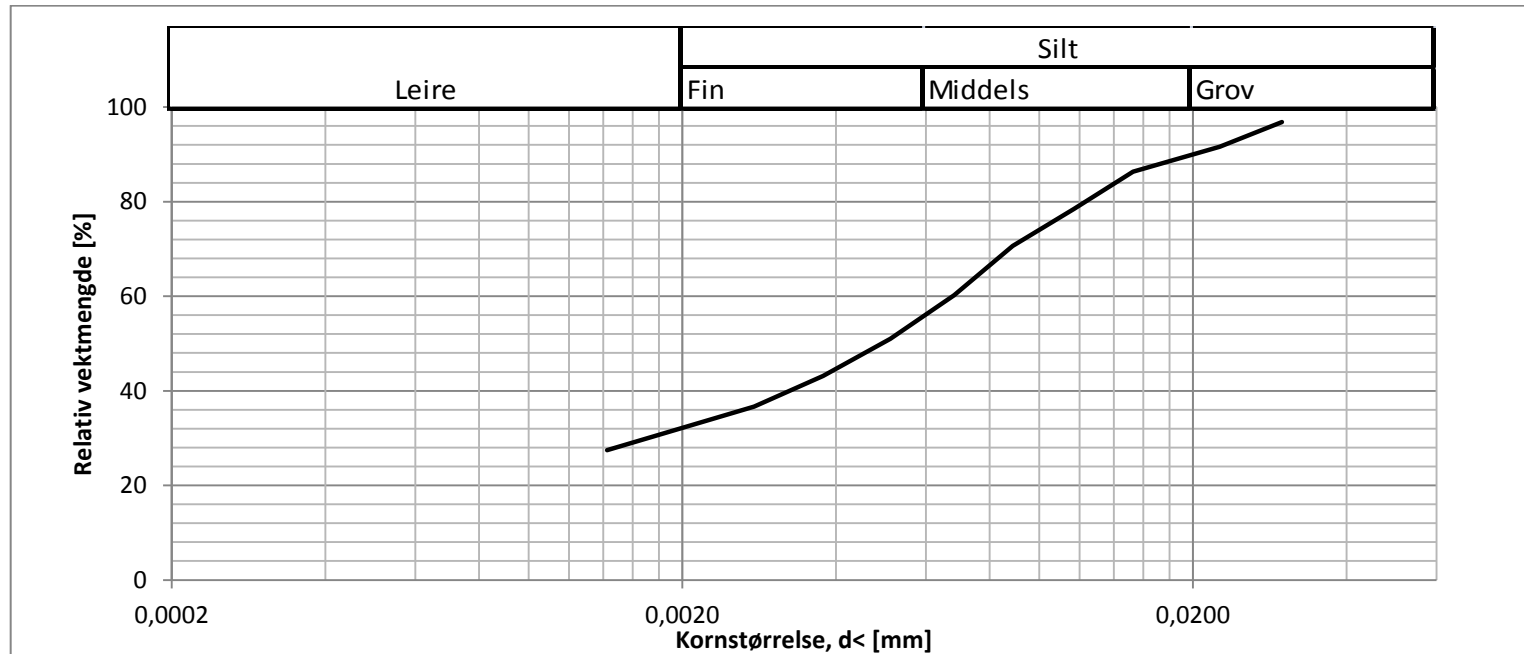


## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 21.11.2013  
 Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 1101 - 54 mm stålsylinder  
 Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0,55 g

Dybde: 8,65 m  
 $\rho_s$ : 2,72 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	32	Leire, siltig
Silt	67	
d > 75 $\mu\text{m}$	~1	

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking: 26.11.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning: 10.01.13	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	ved NTNU

Rutineundersøkelser										
<b>Borested</b>		ESP		<b>Gruppe</b>		Jeremy Raymond King				
Hullnr	1101			Dato prøvetaking		26.11.12				
Dybde	9,0-9,8		m	Dato prøveåpning		11.01.13				
Grunnvannstand		1 m		<b>Korndesitet fra pyknometermåling</b>						
Lengde av prøve, L	79,3		cm	Masse pyknometer+vann		148,35 g				
Volum av prøve, 23.2*L	1839,76		cm <sup>3</sup>	Masse pykn.+prøve+vann		163,19 g				
Masse av sylinder m/prøve	FEIL	g		Total masse tørr		132,28 g				
Masse av tom sylinder	1439,2		g	Masse skål		108,85 g				
Masse av prøve	#VALUE!		g	Masse tørr		23,43 g				
Midlere densitet	#VALUE!		g/cm <sup>3</sup>	Korndesitet		2,73 g/cm <sup>3</sup>				
Tyngdetetthet	#VALUE!		kN/m <sup>3</sup>							
<b>Oppdeling av prøve</b>			<b>Generell Klassifisering</b>			<b>Rutineparametere</b>				
0	9	Mineralogi		Siltig leire.		Pl.indeks		3 %		
9	10	Vanninnhold, w <sub>1</sub>		Forholdsvis homogen.		Flyteindeks		414 %		
10	15	Densitet liten ring, ρ		Noen skjellrester gruskorn.		Porøsitet		51,04 %		
15	20	Konus, ∇ <sub>1</sub>		Mulig lagskille ved 8,6 m dybde.		Poretall		1,04		
20	31	Treaks				Metningsgrad		103,2 %		
31	32	Vanninnhold, w <sub>2</sub>		Glemte å veie sylinder m/prøve		Saltinnhold		0,5 g/l		
32	36	Konus, ∇ <sub>2</sub>		<b>Konusforsøk</b>			<b>Densitet liten prøve</b>			
36	44	Ødometer		Prøve	Su	Sr	St		Ring	Skål
44	55	Treaks		nr	kPa	kPa	-	Ring/skålnr.	II	238
55	59	Konus, ∇ <sub>3</sub> , Korndesitet, ps		1	21,73	0,49	46,19	Tot m våt	g	95,5
59	61	w <sub>L</sub> -w <sub>p</sub>		2	35,60	1,33	27,06	Tot m tørr	g	73,95
61	65	Saltinnhold, S, Kornfordeling		3	30,57	0,99	31,88	Masse ring/skål	g	31,08 28,01
65	66	Vanninnhold, w <sub>3</sub>						Masse våt prøve	g	64,42 64,42
66	78	Mineralogi						Masse tørr prøve	g	45,94 45,94
<b>Vanninnhold</b>		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	wl	wp	Volum		cm <sup>3</sup>	34,4 34,4
Skål nr.		233	247	245	54	39	Densitet ρ		g/cm <sup>3</sup>	1,87
Total masse våt	g	89,59	69,57	79,43	73	70,7				
Total masse tørr	g	72,21	57,5	66,84	63,65	62,44				
Masse vann	g	17,38	12,07	12,59	9,35	8,26				
Masse skål	g	27,17	22,91	27,31	25,22	22,91				
Masse tørr prøve	g	45,04	34,59	39,53	38,43	39,53				
Vanninnhold	%	38,6 %	34,9 %	31,8 %	24,3 %	20,9 %				



Relativ homogen og sensitiv ved prøveåpning. Funnet skjellrester ved innbygging av CAU925.

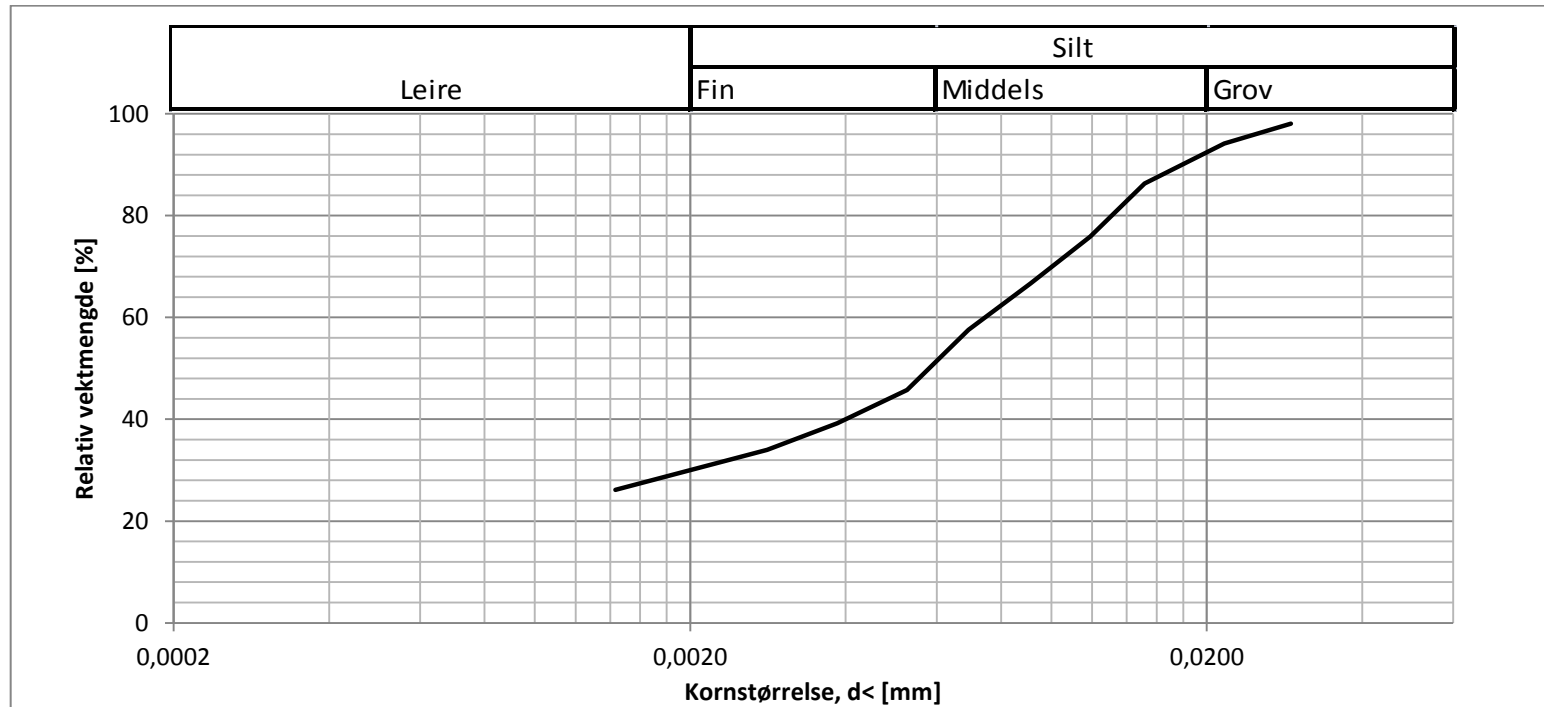
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking:	26.11.12	Prøveåpning utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning:	11.01.13	ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder		

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 21.11.2013  
 Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 1101 - 54 mm stålsylinder  
 Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0,04 g

Dybde: 9,57 m  
 $\rho_s$ : 2,73 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	30	Leire, siltig
Silt	70	
$d > 75 \mu\text{m}$		

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaking: 26.11.12	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøveåpning: 11.01.13	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	ved NTNU

Rutineundersøkelser									
Borested		ESP		Gruppe	Jeremy Raymond King				
Hullnr			1101	Dato prøvotaking	26.11.12				
Dybde			10,0-10,8 m	Dato prøveåpning	21.01.13				
Grunnvannstand			1 m	<b>Korndesitet fra pyknometermåling</b>					
Lengde av prøve, L			80 cm	Masse pyknometer+van	148,35 g				
Volum av prøve, 23.2*L			1856 cm <sup>3</sup>	Masse pykn.+prøve+van	156,71 g				
Masse av sylinder m/prøve			5324 g	Total masse tørr	119,5 g				
Masse av tom sylinder			1744,8 g	Masse skål	106,1 g				
Masse av prøve			3579,2 g	Masse tørr	13,4 g				
Midlere densitet			1,93 g/cm <sup>3</sup>	Korndesitet	2,66 g/cm <sup>3</sup>				
Tyngdetetthet			18,92 kN/m <sup>3</sup>						
<b>Oppdeling av prøve</b>			<b>Generell klassifisering</b>			<b>Rutineparametere</b>			
0	6	Mineralogi	Siltig leire.			Pl.indeks	3,92 %		
6	7	Vanninnhold, w <sub>1</sub>	Homogen.			Flyteindeks	314 %		
7	11	Densitet liten ring, ρ	Enkelte sår.			Porøsitet	44,1 %		
11	15	Konus, ∇ <sub>1</sub>	Forstyrret: 10,0-10,1 og 10,7-->			Poretall	0,79		
15	26	Treaks				Metningsgrad	107,5 %		
26	35	Ødometer				Saltinnhold	0,6 g/l		
35	39	Konus, ∇ <sub>2</sub>	<b>Konusforsøk</b>			<b>Densitet liten prøve</b>			
39	40	Vanninnhold, w <sub>2</sub>	Prøve	Su	Sr	St		Ring	Skål
40	51	Treaks	nr.	kPa	kPa		Ring/skålnr.	II	104
51	56	Saltinnhold, S, Korndfordeling	1	36,40	0,37	108,72	Tot masse våt	g	98,83
56	59	w <sub>L</sub> - w <sub>p</sub>	2	36,15	0,39	100,80	Tot masse tørr	g	73,1
59	63	Konus, ∇ <sub>3</sub>	3		0,39		Masse ring/skål	g	31,08
63	64	Vanninnhold, w <sub>3</sub>	4	23,37	0,83	28,47	Masse våt prøve	g	67,75
64	68	Konus, ∇ <sub>4</sub> , Korndesitet, ps					Masse tørr prøve	g	51,11
68	79	Mineralogi					Volum	cm <sup>3</sup>	34,4
<b>Vanninnhold</b>		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	Densitet ρ	g/cm <sup>3</sup>	1,97
Skål nr.		62	235	59	113	61			
Total masse våt	g	73,61	70,85	87,1	62,01	34,8			
Total masse tørr	g	60,79	59,4	72,69	54,29	33,05			
Masse vann	g	12,82	11,45	14,41	7,72	1,75			
Masse skål	g	22,17	26,23	25,41	22,57	24,48			
Masse tørr prøve	g	38,62	33,17	47,28	31,72	8,57			
Vanninnhold	%	33,2 %	34,5 %	30,5 %	24,3 %	20,4 %			



Enkelte sår etter utskyving. Tydelig sensitiv. Vanskelig å utføre uforstyrret konusforsøk.

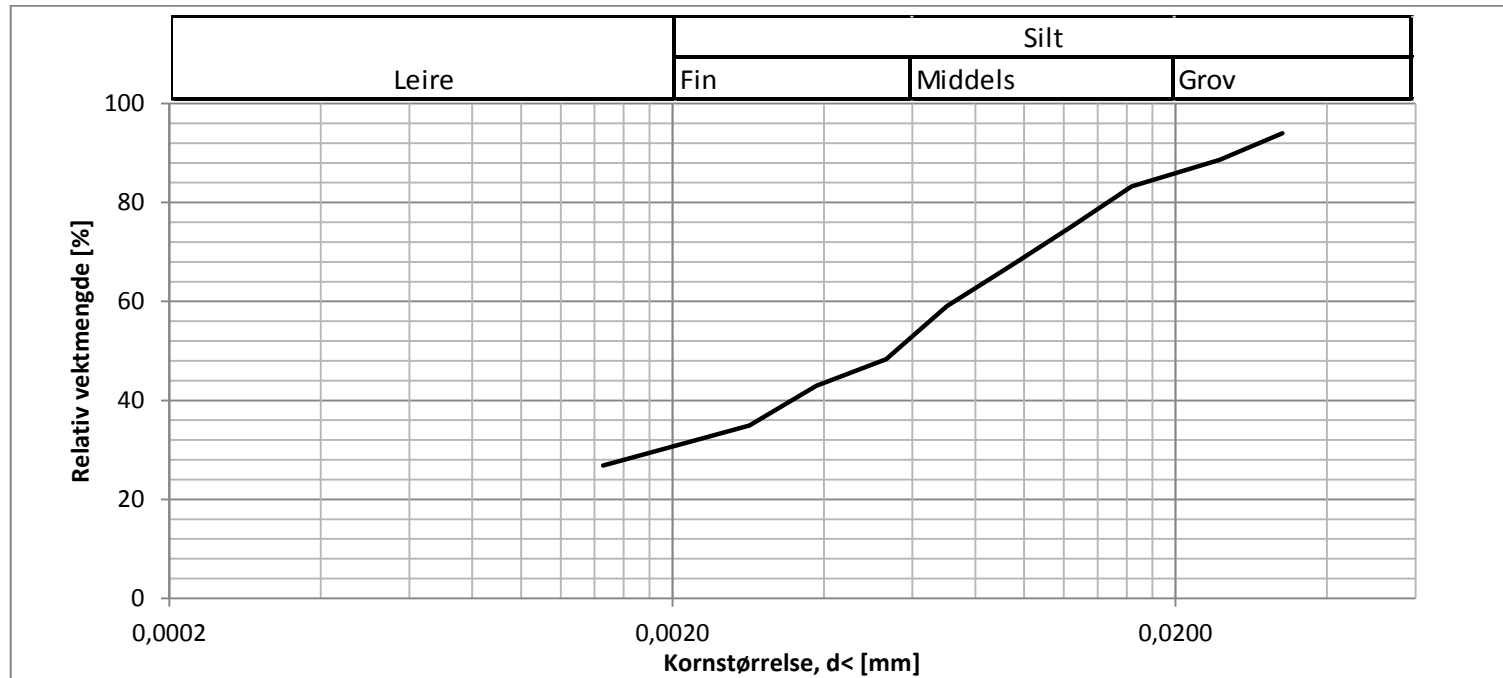
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøvetaking:	26.11.2012	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøveåpning:	21.01.2013	ved NTNU

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 21.01.2013  
 Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 1101 - 54 mm stålsylinder  
 Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 1,29 g

Dybde: 10,53 m  
 $\rho_s$ : 2,66 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	30	Leire, siltig
Silt	67	
$d > 75 \mu\text{m}$	3	

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøvetaking: 26.11.2012	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøveåpning: 21.01.2013	ved NTNU

Tabell: Oppsummering av resultater fra ødometerforsøk

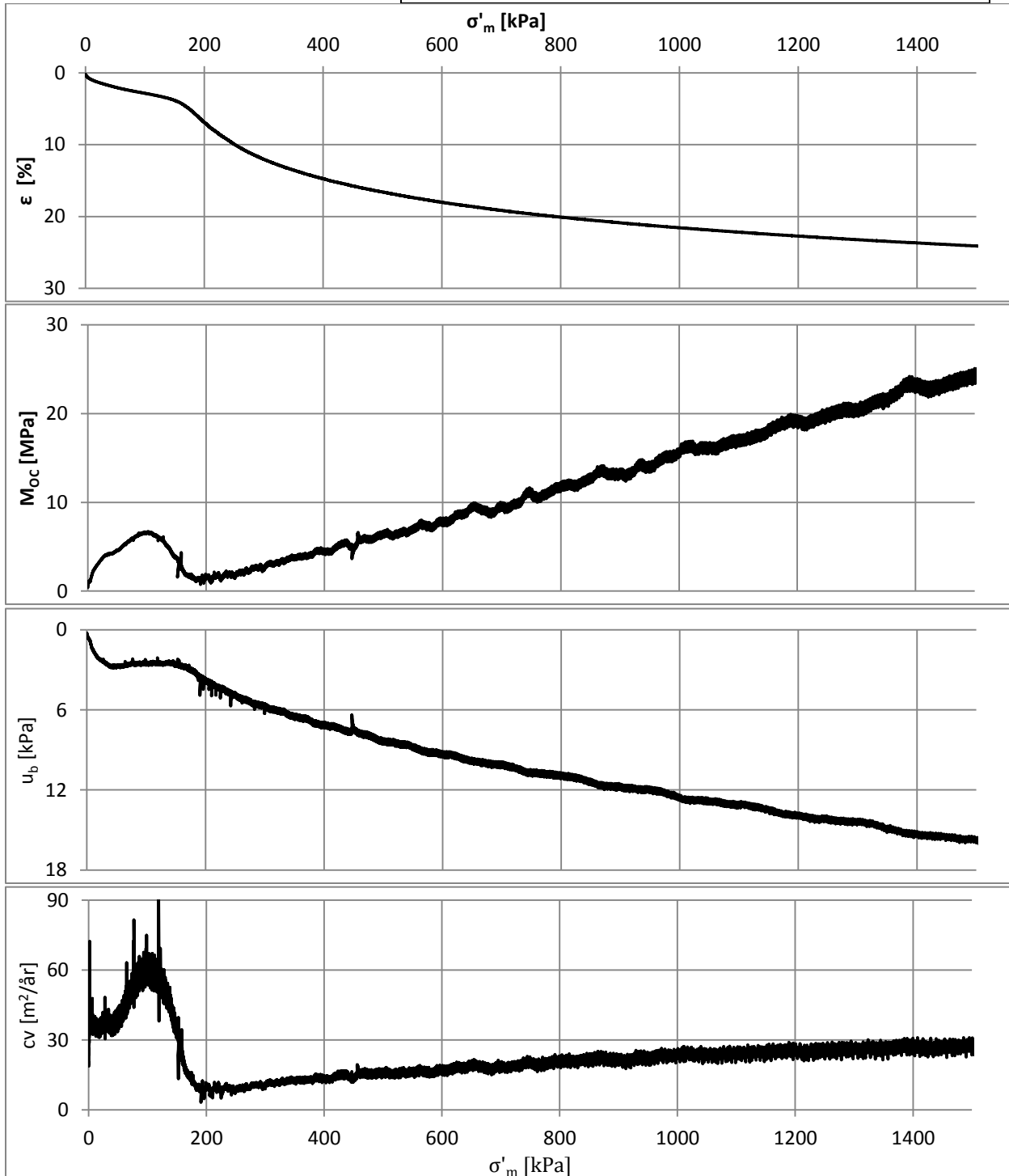
Hull	Forsøk	dybde [m]	Forsøks- hastighet [mm/min]	$\sigma_{v0}'$ [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	w [%]	$\sigma_{c,0}'$ [kPa]	OCR [-]	M <sub>OC</sub> [MPa]	m [-]	c <sub>v</sub> (OC) [m <sup>2</sup> /år]	r <sub>s</sub> ( $\sigma_{c,0}'$ ) [-]	$\Delta e/e_0$ [-]
NTNU 1101	CRS_346_1	3,46	0,005	40,9	17,87	44,0	155	3,79	5	16	45	-	0,55
NTNU 1101	CRS_346_2	3,46	0,005	40,9	17,77	44,0	150	3,67	5	18	40	-	0,56
NTNU 1101	CRS_445_1	4,45	0,005	47,8	18,41	37,8	180	3,76	6	18	100	-	0,52
NTNU 1101	CRS_445_2	4,45	0,005	47,8	18,42	38,0	200	4,18	6	18	75	-	0,53
NTNU 1101	CRS_546_1	5,46	0,005	56,4	18,67	35,6	170	3,01	5	20	40	-	0,52
NTNU 1101	CRS_548_2	5,48	0,005	56,6	18,32	38,1	175	3,09	6	19	45	-	0,55
NTNU 1101	CRS_647_1	6,47	0,005	65,0	19,14	31,4	180	2,77	6	19	35	-	0,47
NTNU 1101	CRS_647_2	6,47	0,005	65,0	19,29	31,4	160	2,46	5	15	45	-	0,52
NTNU 1101	IL_741	7,41	IL	73,0	18,44	37,8	-	-	4,5	19	28	200	0,41
NTNU 1101	CRS_745	7,45	0,005	73,3	18,60	36,4	160	2,2	4	17	8	-	0,55
NTNU 1101	IL_835	8,35	IL	81,0	18,5	38,0	-	-	6,5	8	60	235	0,55
NTNU 1101	CRS_839	8,39	0,005	81,3	18,62	36,2	180	2,2	5	18	30	-	0,58
NTNU 1101	IL_937	9,37	IL	89,7	18,74	35,7	-	-	4	18	40	250	0,41
NTNU 1101	CRS_941	9,41	0,005	90,0	19,06	31,8	180	2,0	4	18	10	-	0,55
NTNU 1101	IL_1028	10,28	IL	97,4	19,09	33,3	-	-	4,4	15	20	194	0,47
NTNU 1101	CRS_1032	10,32	0,005	97,7	19,08	33,5	180	1,8	4	18	5	-	0,55
NTNU 2	CRS_438	4,38	0,005	47,2	18,72	38,2	170	3,6	4	16	30	-	0,51
NTNU 2	CRS_743	7,43	0,005	73,3	18,41	38,5	160	2,2	3,5	17	10	-	0,61
NTNU 2	CRS_1040	10,40	0,005	98,4	18,47	36,9	-	-	-	19	-	-	0,63

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Prøveåpning utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Prøvetaking:	26.11.2012	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	Prøveåpning:	21.01.2013	ved NTNU

**CRS 364-1, Hull 1101, 54 mm**

Dybde: 3,64 m  
 Prøvetakingsdato: 30.10.2012  
 Forsøksdato: 31.10.2012  
 Tøyningshastighet: 5  $\mu\text{m}/\text{min}$

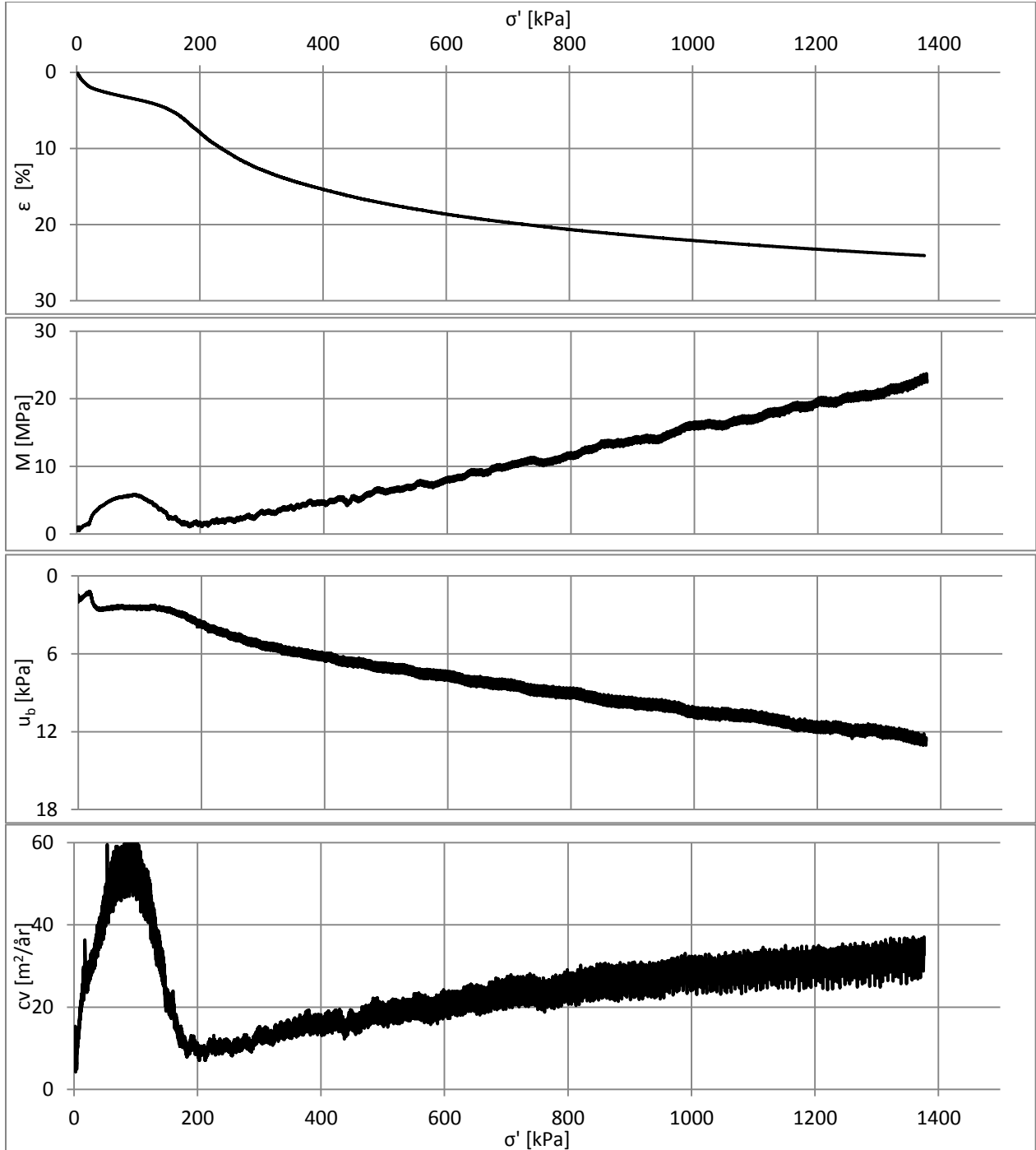
$\sigma'_{v0}$ = 40,9 kPa	$\sigma'_c$ = 155 kPa
w = 44,0 %	$M_{oc}$ = 5 MPa
$\gamma$ = 17,87 kN/m <sup>3</sup>	m = 16
OCR = 3,79	cv = 45 m <sup>2</sup> /år
$\Delta e/e_0$ = 0,55	

**CRS 364-2, Hull 1101, 54 mm**

Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, prosjektoppgave	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3		ved NTNU

Dybde: 3,64 m  
 Prøvetakingsdato: 30.10.2012  
 Forsøksdato: 01.11.2012  
 Tøyningshastighet: 5 µm/min

$\sigma'_{v0}$ = 40,9 kPa	$\sigma'_c$ = 150 kPa
w = 44,0 %	$M_{OC}$ = 5 MPa
$\gamma$ = 17,77 kN/m <sup>3</sup>	m = 18
OCR = 3,67	cv = 40 m <sup>2</sup> /år
$\Delta e/e_0$ = 0,56	



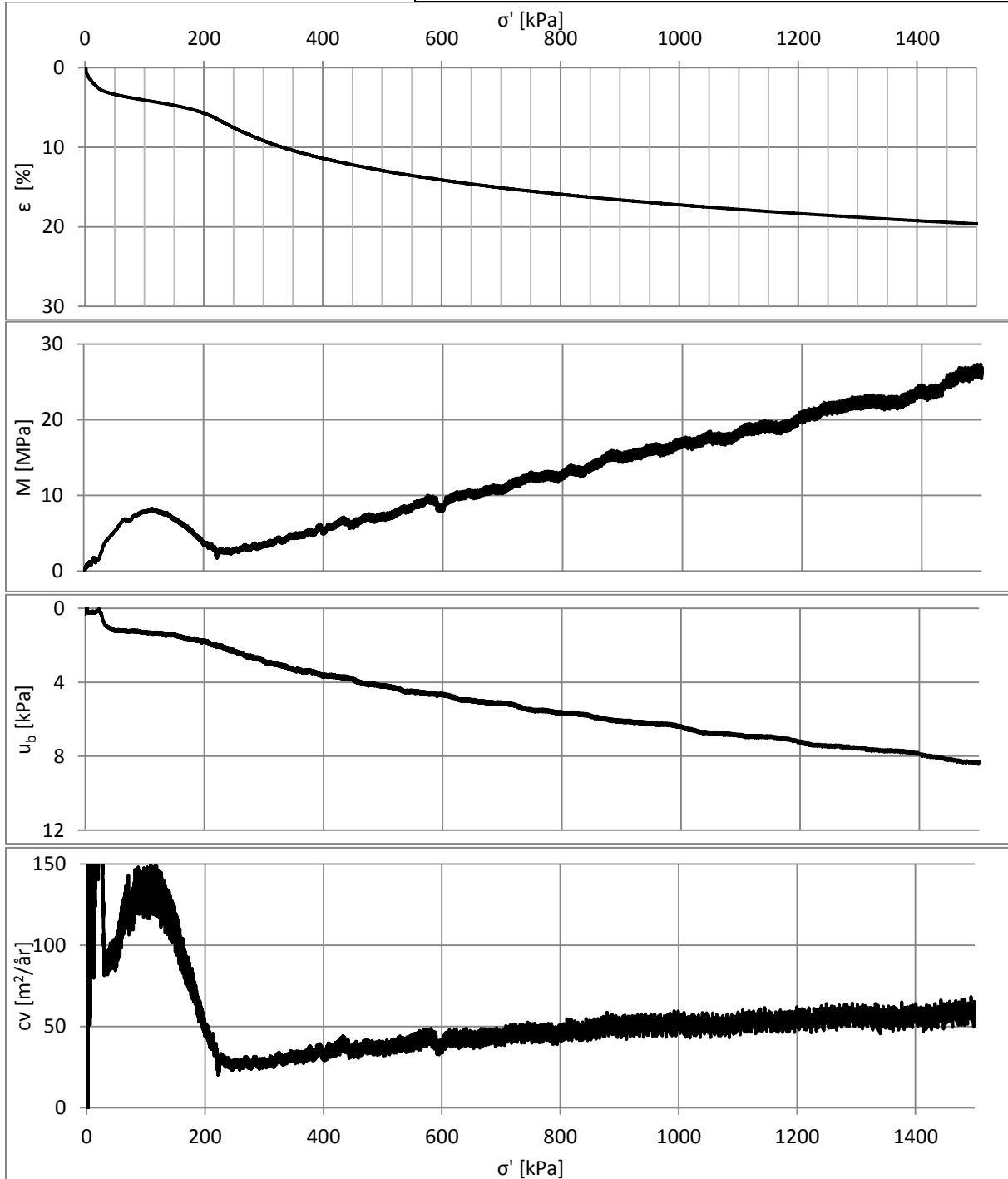
**CRS 445-1, Hull 1101, 54 mm**

Esp, Byneset Koordinater: (UTM)	Hull 1101 ca: 7030140,3 0557004,3	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder Utført høsten 2012, prosjektoppgave	Forsøk utført av: Jeremy Raymond King, ved NTNU
---------------------------------------	---	---	---



Dybde: 4,45 m  
 Prøvetakingsdato: 30.10.2012  
 Forsøksdato: 06.11.2012  
 Tøyningshastighet: 5  $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{v0}$	= 47,8	kPa	$\sigma'_c$	= 180	kPa
w	= 37,8	%	$M_{OC}$	= 6	MPa
$\gamma$	= 18,41	$\text{kN}/\text{m}^3$	m	= 18	
OCR	= 3,76		cv	= 100	$\text{m}^2/\text{år}$
$\Delta e/e_0$	= 0,52				



Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

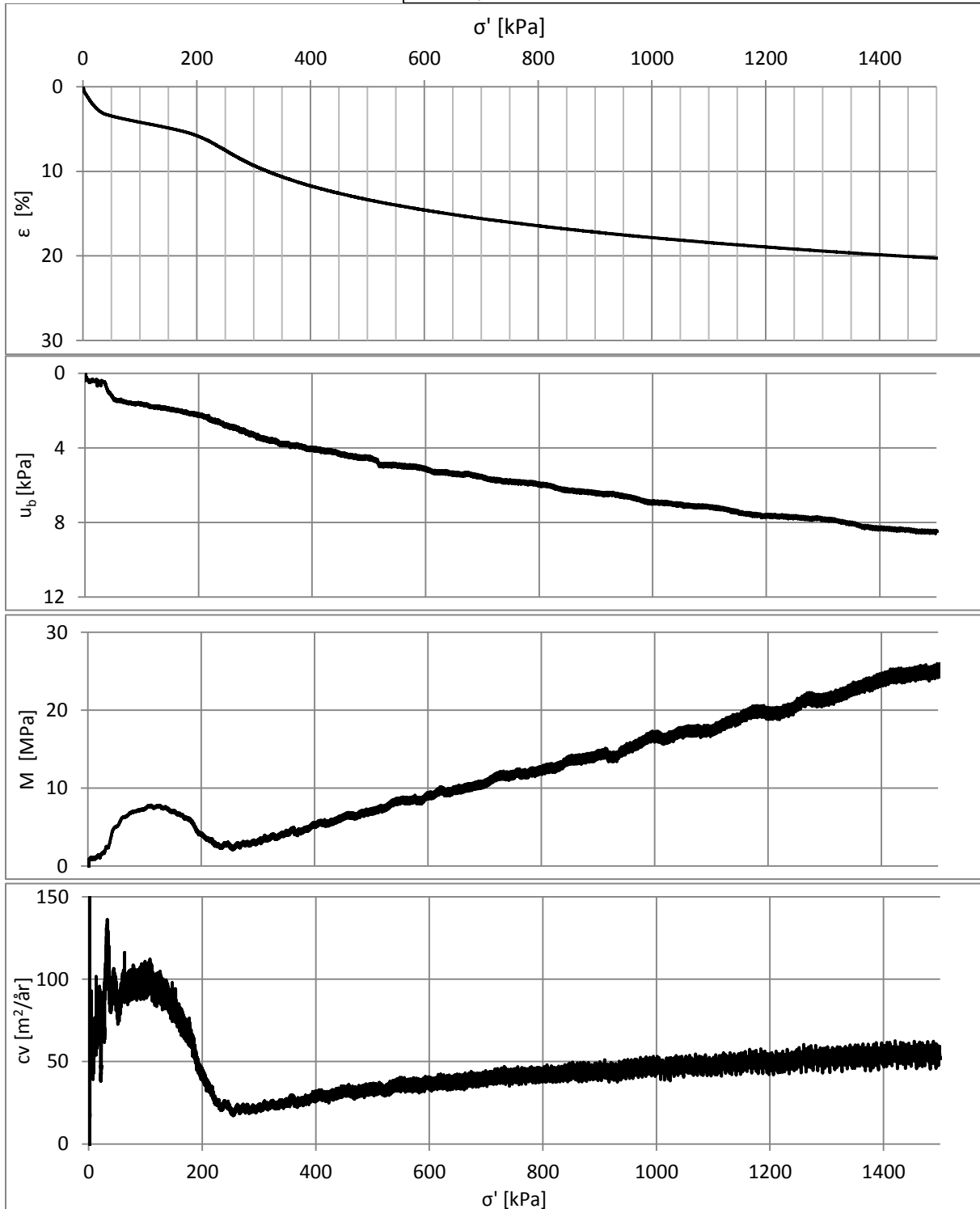
Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført høsten 2012, prosjektoppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

**CRS 445-2, Hull 1101, 54 mm**

Dybde: 4,45 m  
 Prøvetakingsdato: 30.10.2012  
 Forsøksdato: 07.11.2012  
 Tøyningshastighet: 5  $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{v0}$ = 47,8 kPa	$\sigma'_c$ = 200 kPa
w = 38,0 %	$M_{OC}$ = 6 MPa
$\gamma$ = 18,42 kN/m <sup>3</sup>	m = 18
OCR = 4,18	cv = 75 m <sup>2</sup> /år
$\Delta e/e_0$ = 0,53	



Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

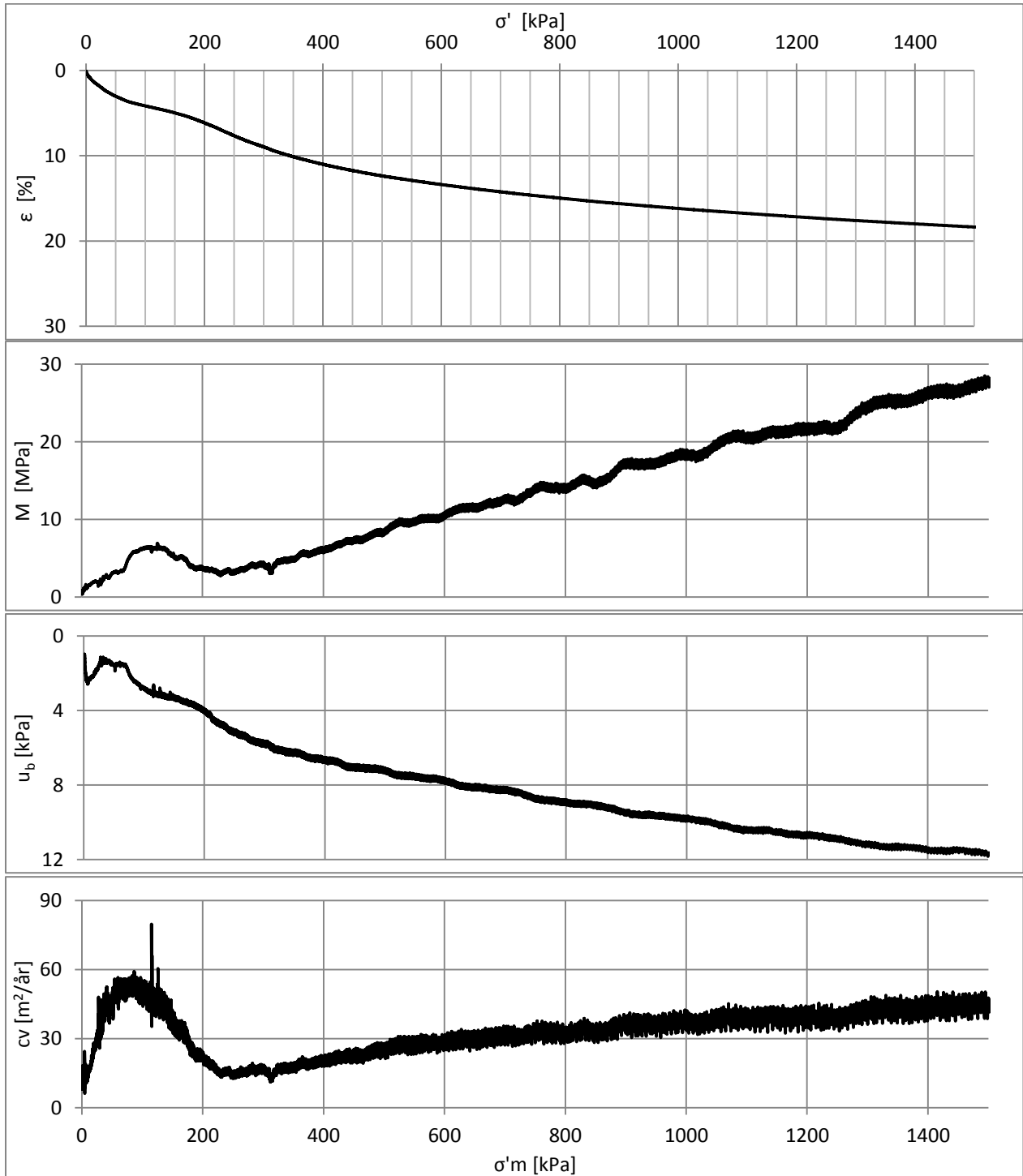
Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført høsten 2012, prosjektoppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

**CRS 546-1, Hull 1101, 54 mm**

Dybde: 5,46 m  
 Prøvetakingsdato: 30.10.2012  
 Forsøksdato: 08.11.2012  
 Tøyningshastighet: 5  $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{v0}$	= 56,4	kPa	$\sigma'_c$	= 170	kPa
w	= 35,6	%	$M_{OC}$	= 5	MPa
$\gamma$	= 18,67	$\text{kN}/\text{m}^3$	m	= 20	
OCR	= 3,01		cv	= 40	$\text{m}^2/\text{år}$
$\Delta e/e_0$	= 0,52				



Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

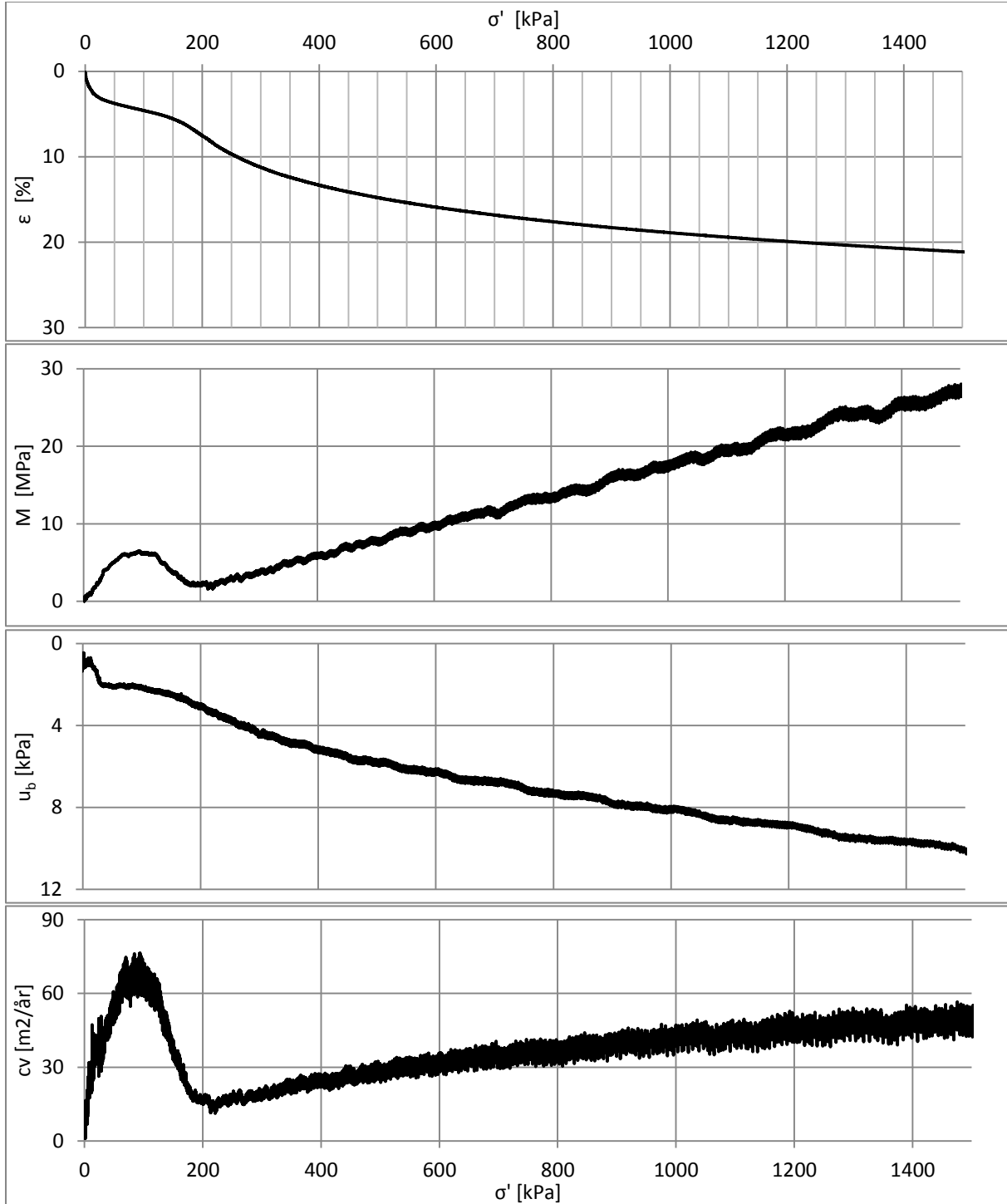
Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført høsten 2012, prosjektoppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

**CRS 548-2, Hull 1101, 54 mm**

Dybde: 5,48 m  
 Prøvetakingsdato: 30.10.2012  
 Forsøksdato: 09.11.2012  
 Tøyningshastighet: 5  $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{v0}$ = 56,6 kPa	$\sigma'_c$ = 175 kPa
w = 38,1 %	$M_{OC}$ = 6 MPa
$\gamma$ = 18,32 kN/m <sup>3</sup>	m = 19
OCR = 3,09	cv = 45 m <sup>2</sup> /år
$\Delta e/e_0$ = 0,55	



Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

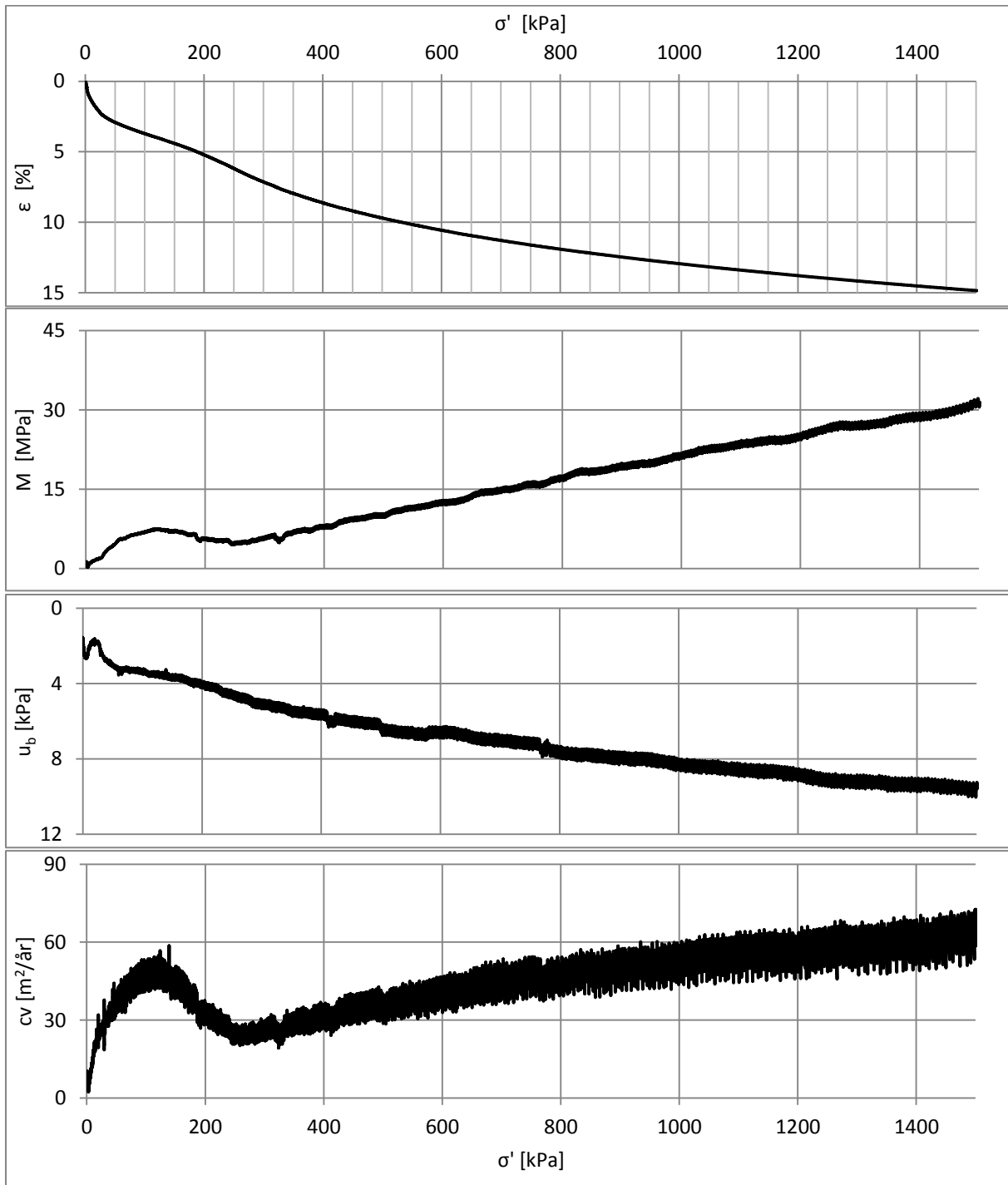
Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført høsten 2012, prosjektoppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

**CRS 647-1, Hull 1101, 54 mm**

Dybde: 6,47 m  
 Prøvetakingsdato: 30.10.2012  
 Forsøksdato: 12.11.2012  
 Tøyningshastighet: 5  $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{v0}$	= 65,0	kPa	$\sigma'_c$	= 180	kPa
w	= 31,4	%	$M_{OC}$	= 6	MPa
$\gamma$	= 19,14	$\text{kN}/\text{m}^3$	m	= 19	
OCR	= 2,77		cv	= 35	$\text{m}^2/\text{år}$
$\Delta e/e_0$	= 0,47				



Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

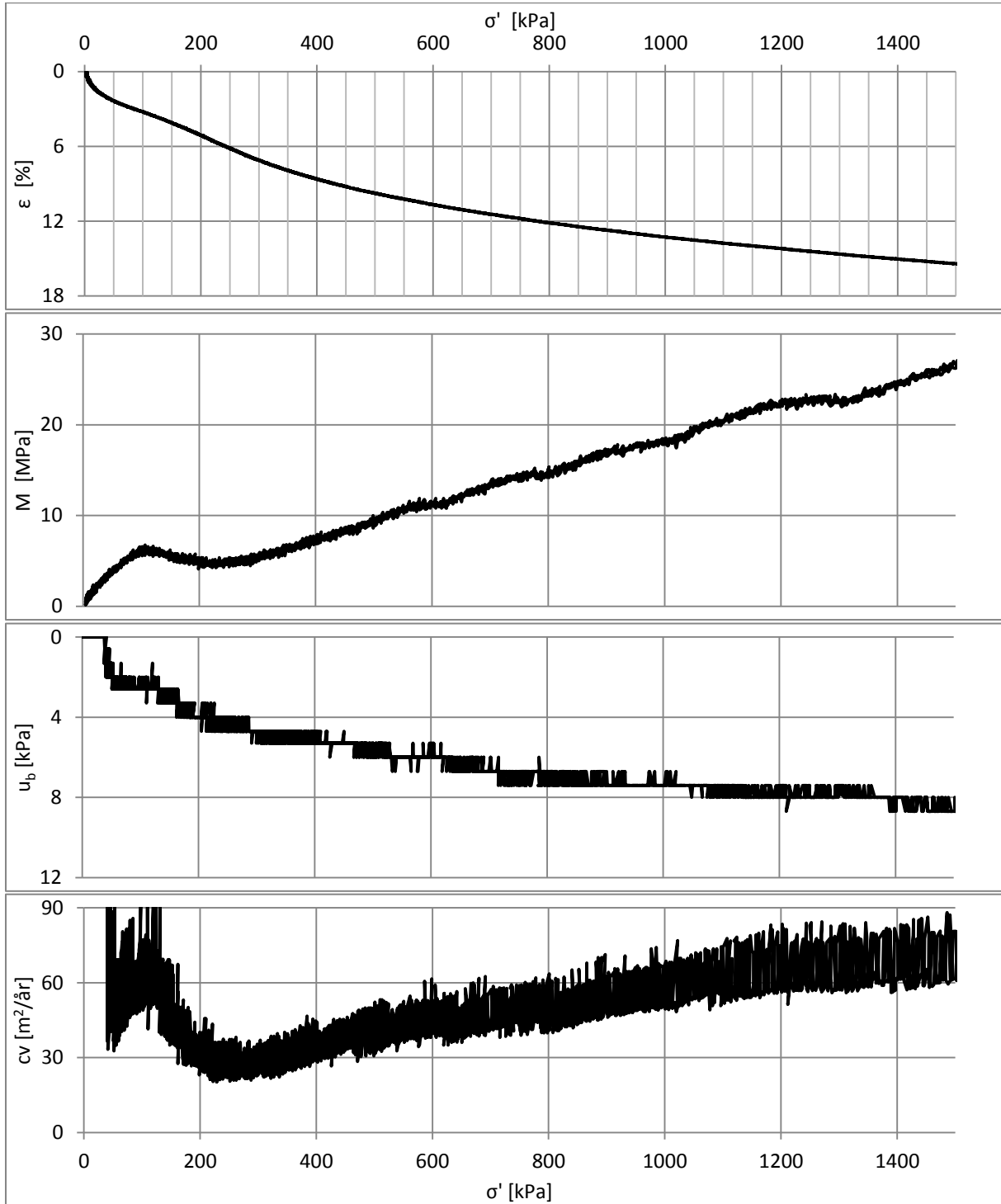
Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført høsten 2012, prosjektoppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

**CRS 647-2, Hull 1101, 54 mm**

Dybde: 6,47 m  
 Prøvetakingsdato: 30.10.2012  
 Forsøksdato: 12.11.2012  
 Tøyningshastighet: 5  $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{v0}$ = 65 kPa	$\sigma'_c$ = 160 kPa
w = 31,4 %	$M_{OC}$ = 5 MPa
$\gamma$ = 19,29 kN/m <sup>3</sup>	m = 15
OCR = 2,46	
$\Delta e/e_0$ = 0,52	cv = 45 m <sup>2</sup> /år



Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført høsten 2012, prosjektoppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

**CRS\_745**

Dybde: [m] 7,45

Prøvetaksdato: 26.11.2012

Forsøksdato: 09.01.2012

Tøyningshastighet: 0,005

 $\sigma'_{v0}$  = 73,33 kPa

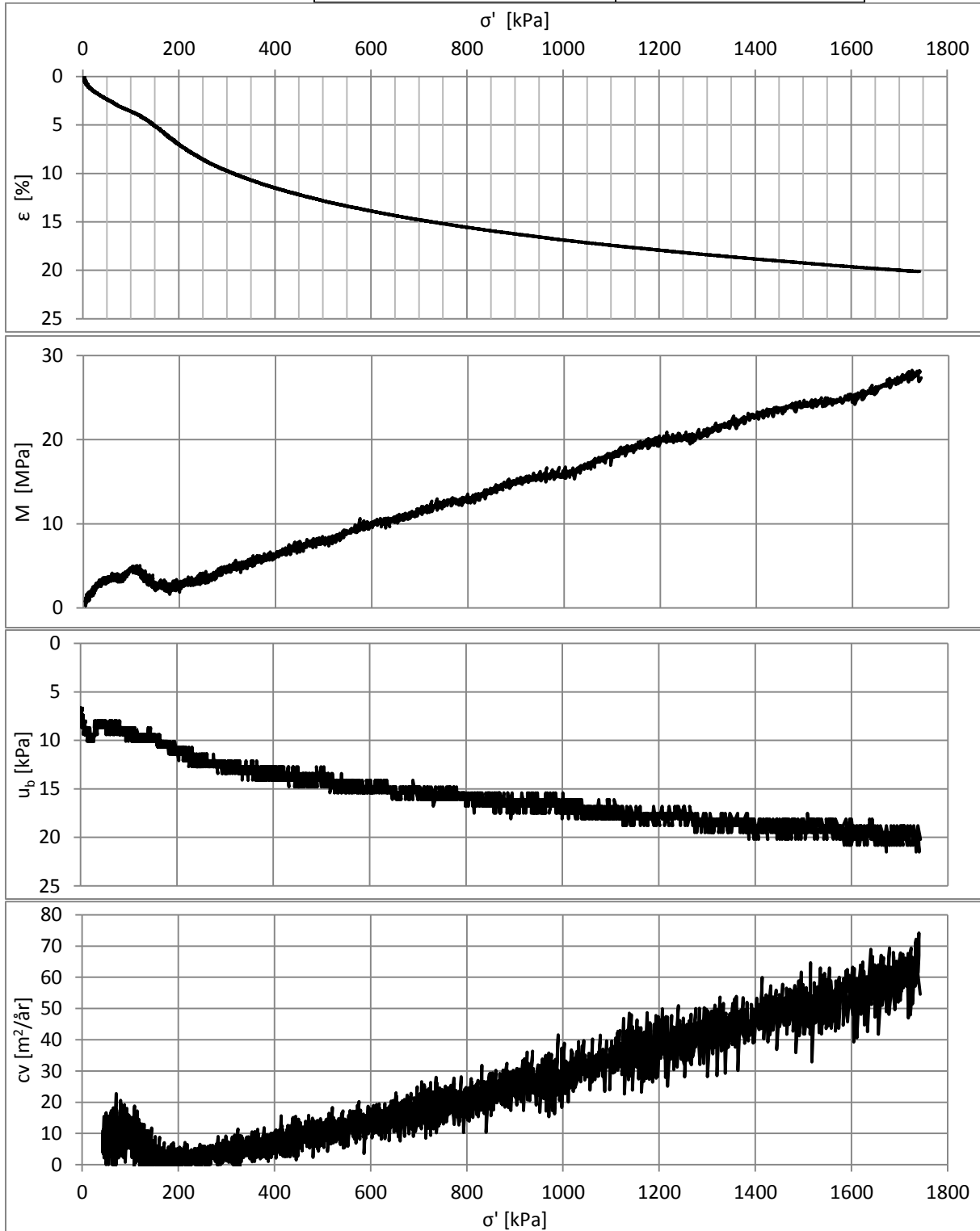
w = 36,4 %

 $\gamma$  = 18,60 kN/m<sup>3</sup>

OCR = 2,2 -

 $\Delta e/e_0$  = 2,03 $\sigma'_c$  = 160 kPa $M_{OC}$  = 4 MPa

m = 16,7

cv = 8 m<sup>2</sup>/år

Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

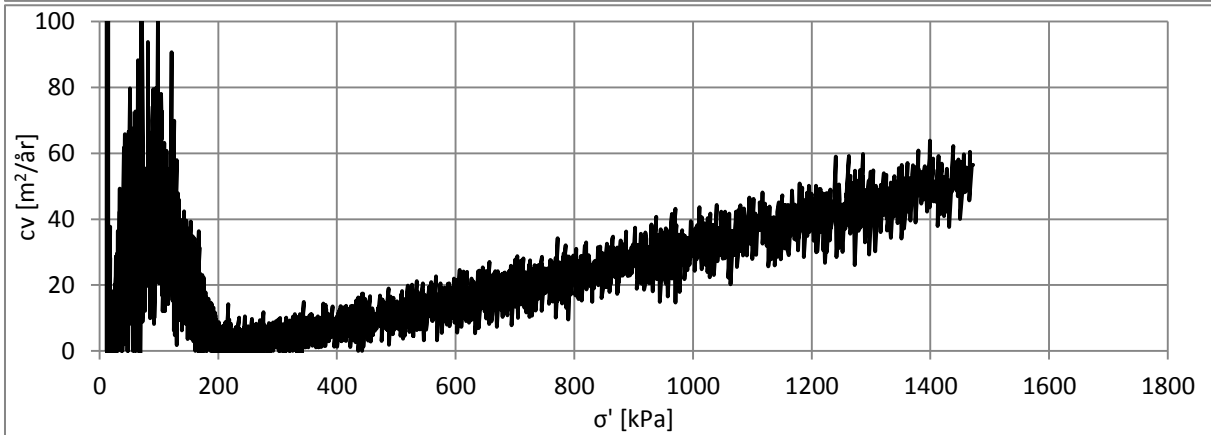
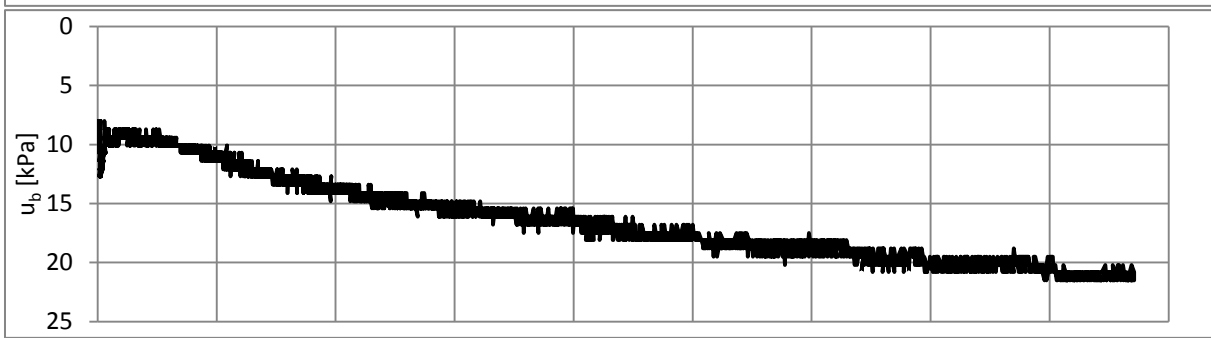
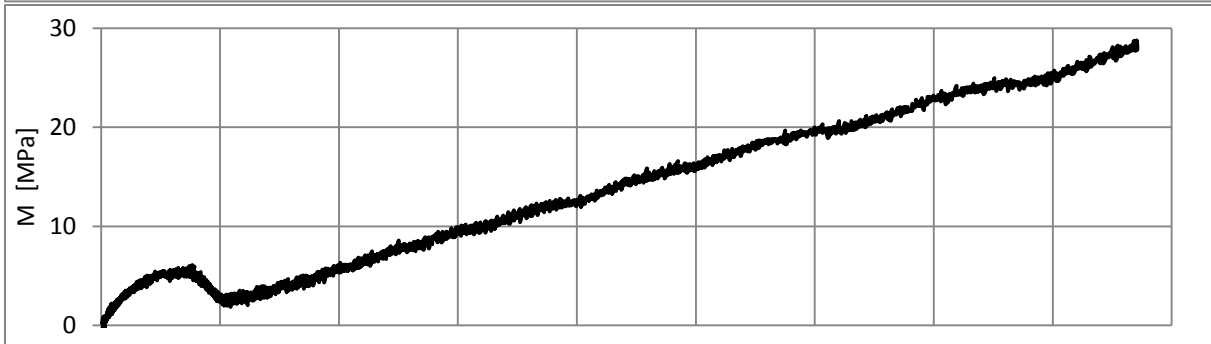
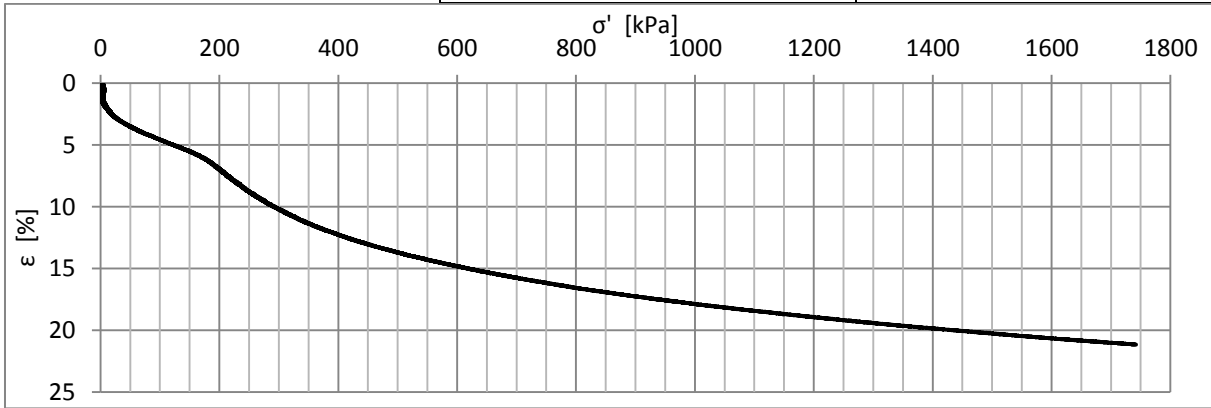
Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført våren 2013, i forbindelse med  
 masteroppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

**CRS\_839**

Dybde: [m] 8,39  
 Prøvetaksdato: 26.11.2012  
 Forsøksdato: 10.01.2012  
 Tøyningshastighet: 0,005

$\sigma'_{v0}$	=	81,32	kPa	$\sigma'_c$	=	180-190	kPa
w	=	36,2	%	$M_{OC}$	=	5	MPa
$\gamma$	=	18,62	kN/m <sup>3</sup>	m	=	18,2	-
OCR	=	2,2-2,3	-	cv	=	30	m <sup>2</sup> /år
$\Delta e/e_0$	=	1,77	-				

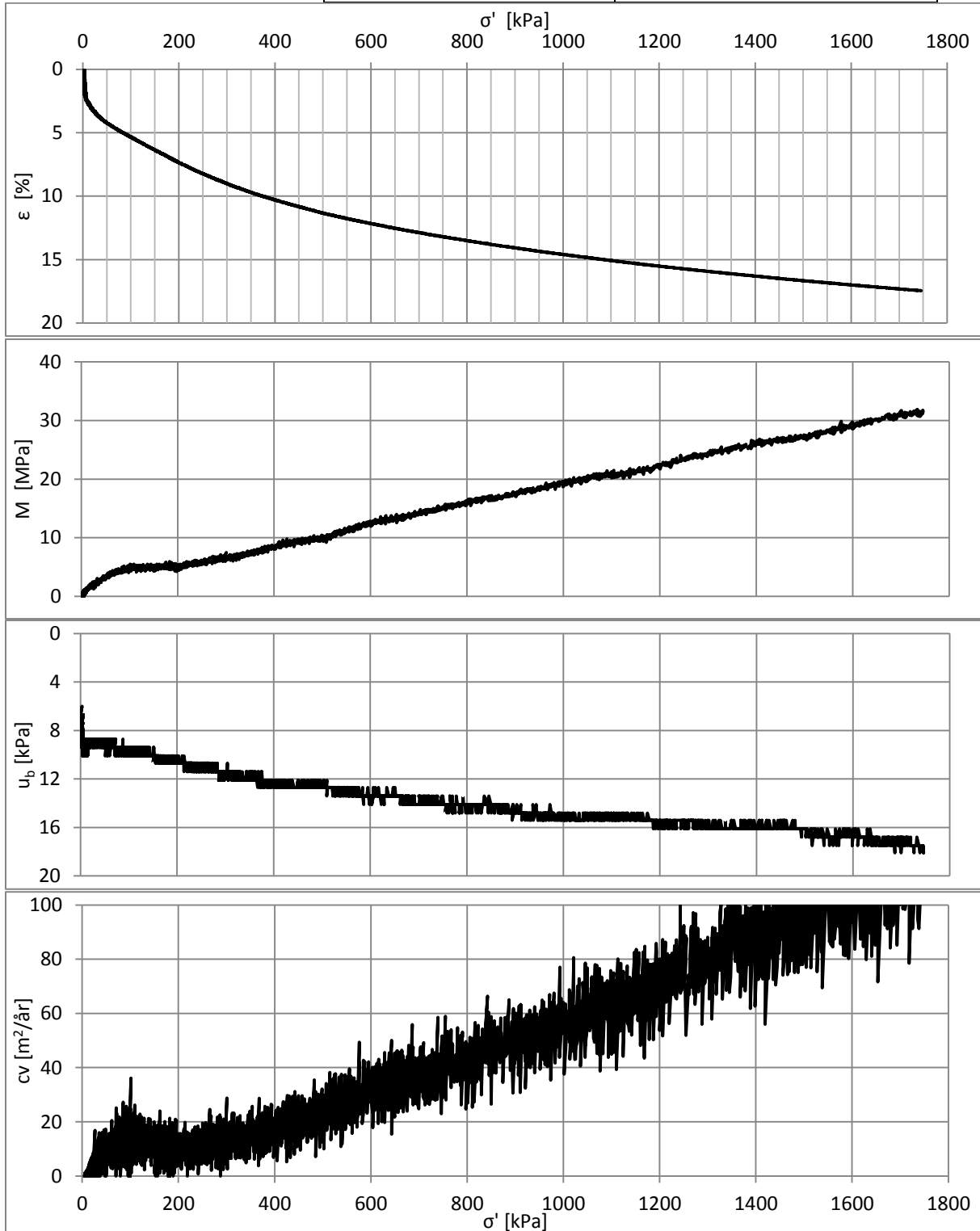


Esp, Byneset Koordinater: (UTM)	Hull 1101 ca: 7030140,3 0557004,3	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Forsøk utført av: Jeremy Raymond King, ved NTNU
---------------------------------------	---	---	---



**CRS\_941**

Dybde: [m]	9,41	$\sigma'_{v0}$ = 89,99 kPa	$\sigma'_c$ = 150-200 kPa
Prøvetakingsdato: 26.11.2012		w = 31,8 %	$M_{OC}$ = 4-5 MPa
Forsøksdato: 11.01.2012		$\gamma$ = 19,06 kN/m <sup>3</sup>	m = 18,2
Tøyningshastighet: 0,005		OCR = 0,00	cv = 10 m <sup>2</sup> /år
		$\Delta e/e_0$ = 1,68	



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	masteroppgave	ved NTNU

**CRS\_1032**

Dybde: [m] 10,32

Prøvetakingsdato: 26.11.2012

Forsøksdato: 21.01.2013

Tøyningshastighet: 0,005

 $\sigma'_{v0}$  = 97,72 kPa

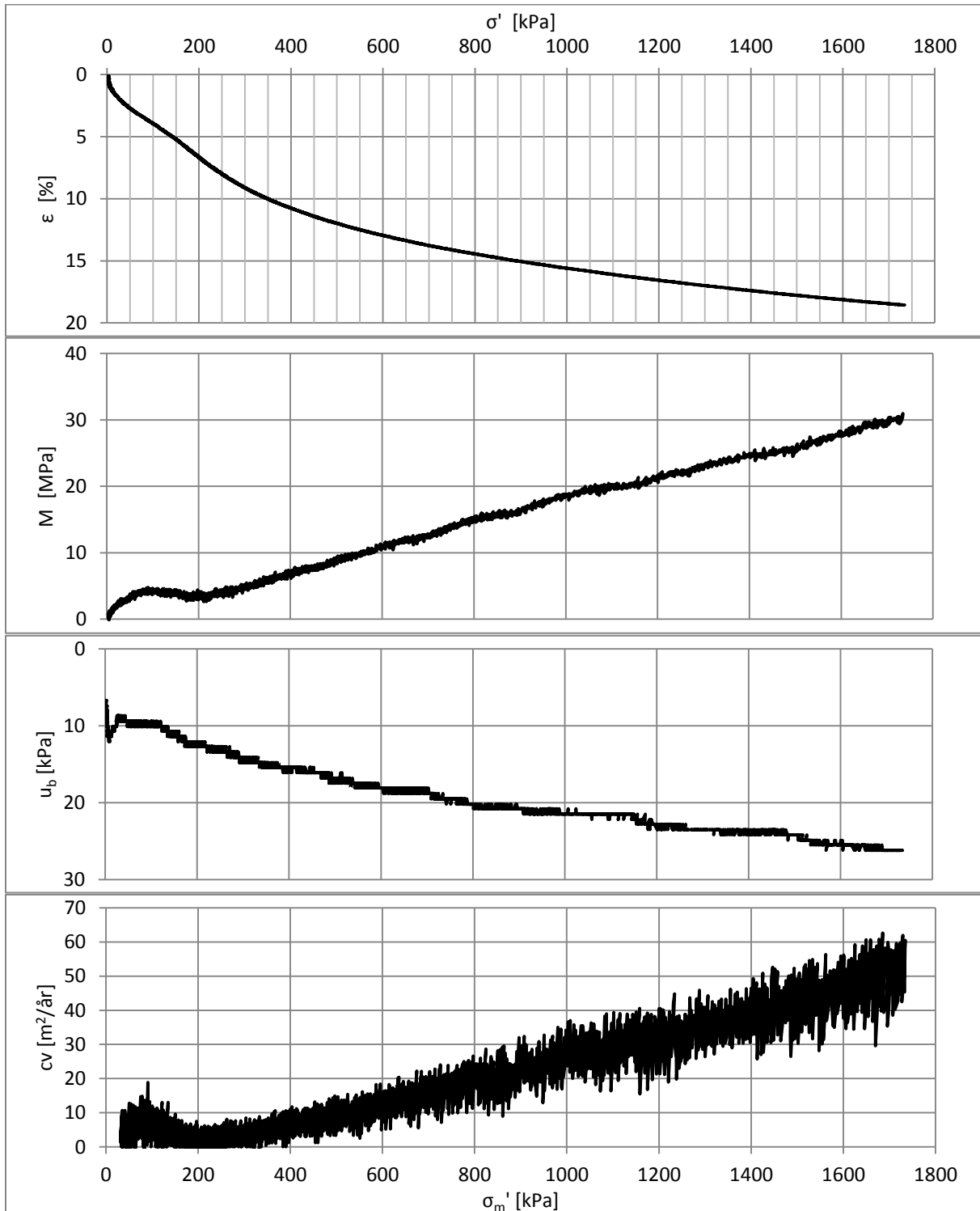
w = 33,5 %

 $\gamma$  = 19,08 kN/m<sup>3</sup>

OCR = 1,5-2,0

 $\Delta e/e_0$  = 2,91 $\sigma'_c$  = 150-200 kPa $M_{OC}$  = 4 MPa

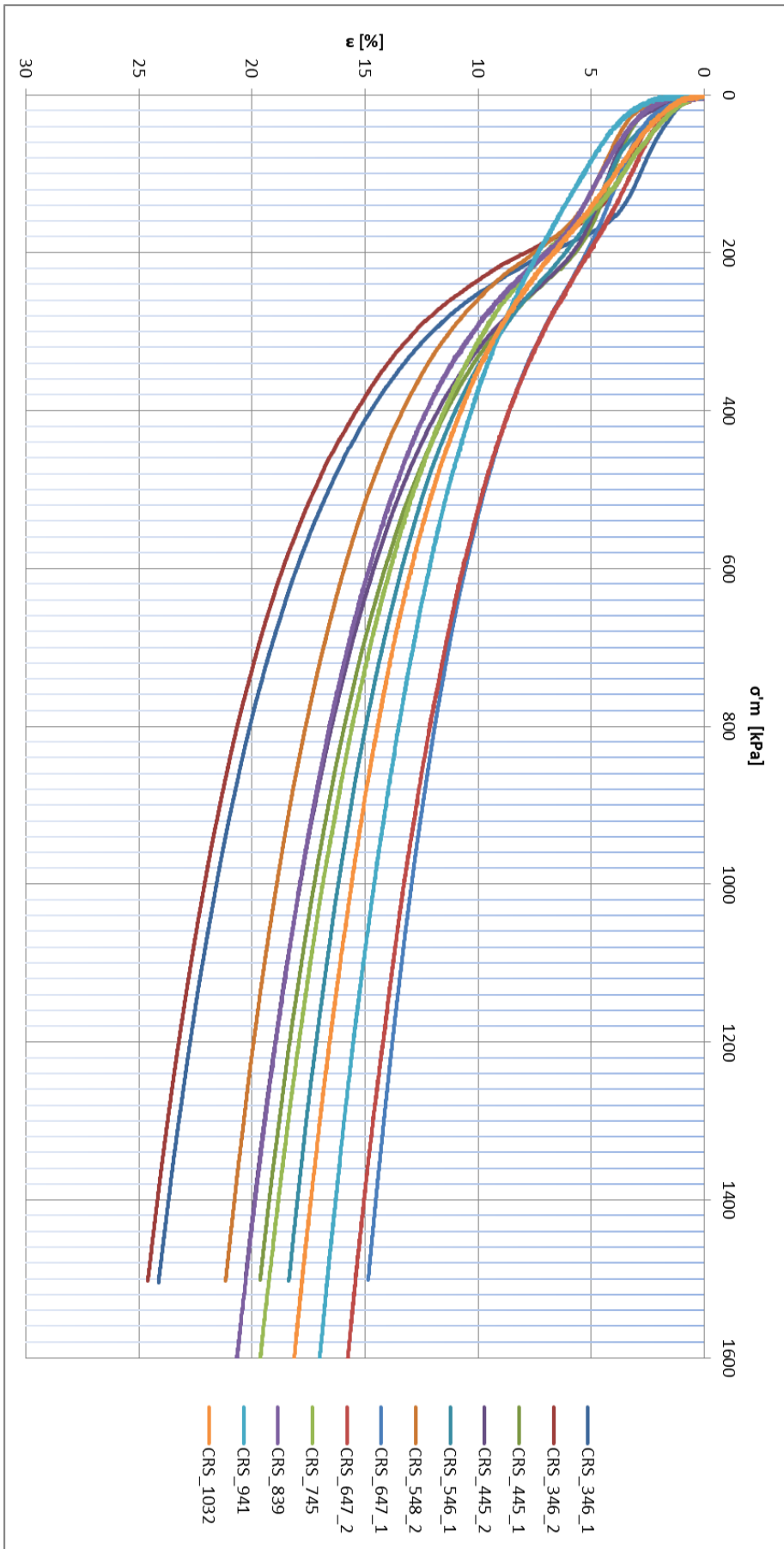
m = 17,6

cv = 5 m<sup>2</sup>/år

Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført våren 2013, i forbindelse med  
 masteroppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU



Esp, Byneset  
Koordinater:  
(UTM)

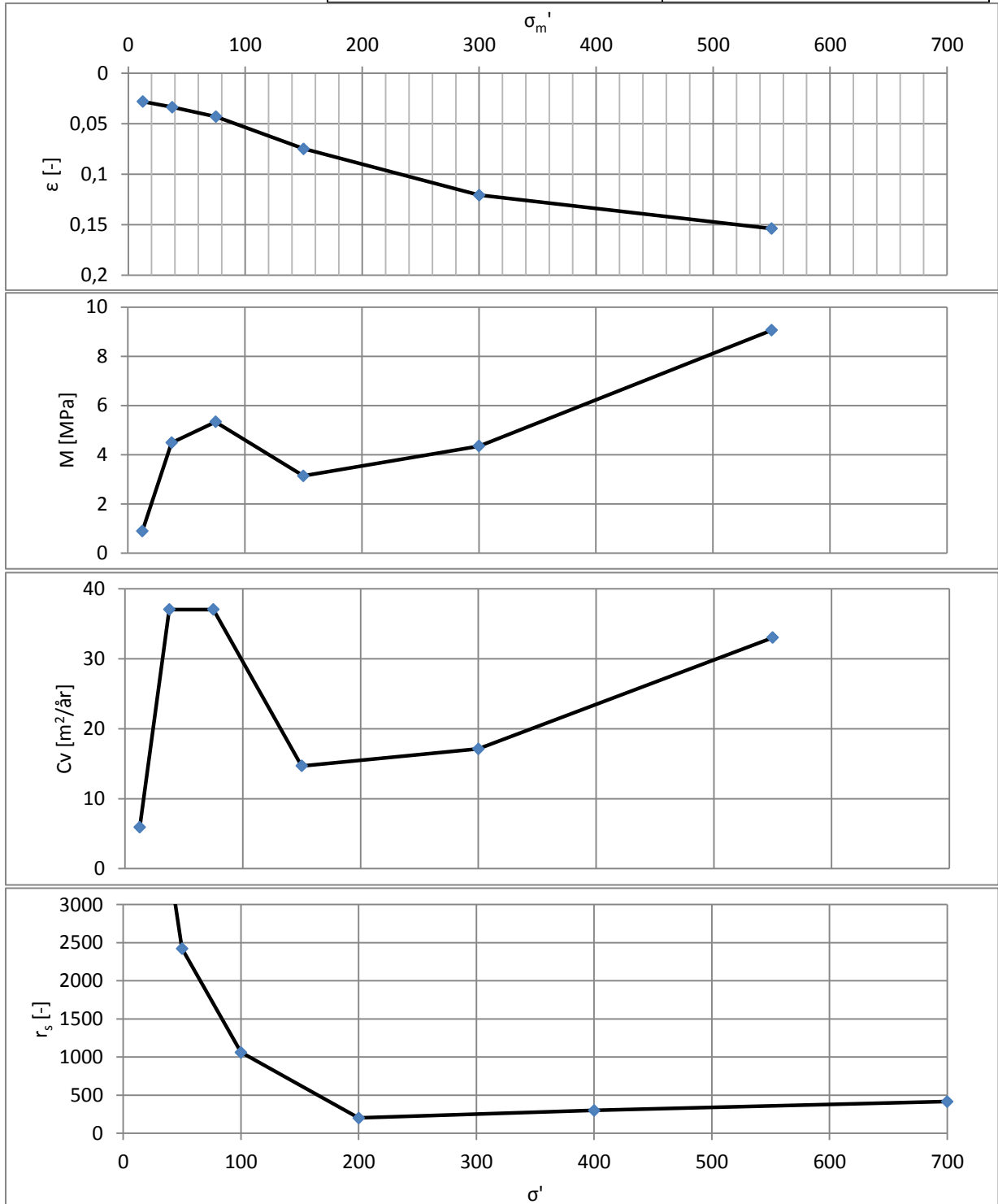
Hull 1101  
ca: 7030140,3  
0557004,3

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
Utført våren 2013, i forbindelse med  
masteroppgave

Forsøk utført av:  
Jeremy Raymond King,  
ved NTNU

## IL\_741

Dybde: [m]	7,41	$\sigma'_{v0}$ = 72,99 kPa	$\sigma'_c$ = 150-200 kPa
Prøvetakingsdato:	26.11.2012	w = 37,8 %	$M_{OC}$ = 4,5 MPa
Forsøksdato:	09.01.2013	$\gamma$ = 18,44 kN/m <sup>3</sup>	m = 18,8 -
Tøyningshastighet:	[steps]	OCR = 2,60	cv = 28 m <sup>2</sup> /år
		$\Delta e/e_0$ = 0,41	rs = 200 -



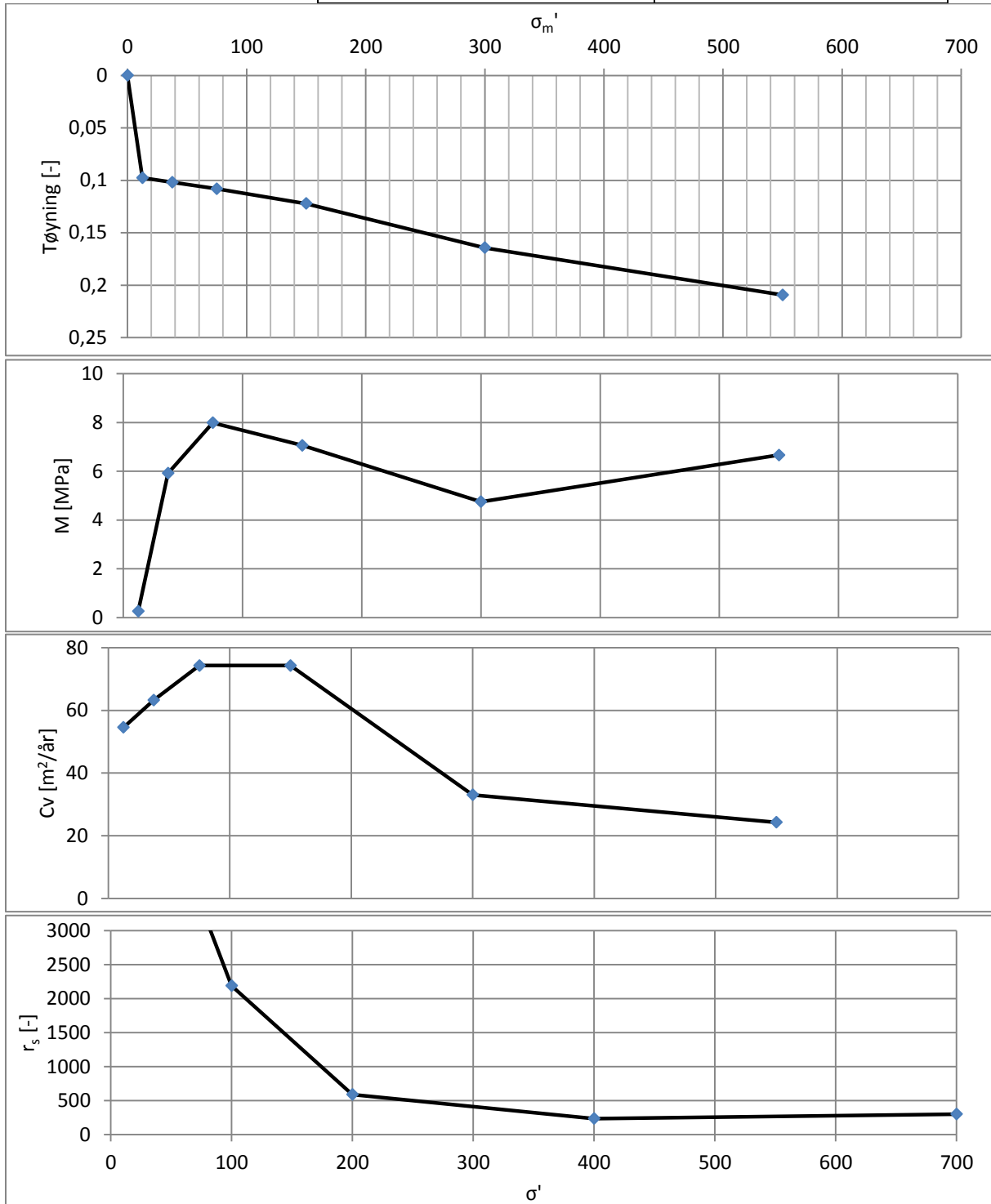
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	masteroppgave	ved NTNU

## IL\_835

Dybde: [m] 8,35  
 Prøvetaksdato: 26.11.2012  
 Forsøksdato: 10.01.2013  
 Tøyningshastighet: [steps]

$\sigma'_{v0}$  = 80,98 kPa  
 $w$  = 38,0 %  
 $\gamma$  = 18,54 kN/m<sup>3</sup>  
 OCR = 1,85-3,7  
 $\Delta e/e_0$  = 0,55

$\sigma'_c$  = 150-300 kPa  
 $M_{OC}$  = 6,5 MPa  
 $m$  = 7,7 -  
 $c_v$  = 60 m<sup>2</sup>/år  
 $r_s$  = 235 -



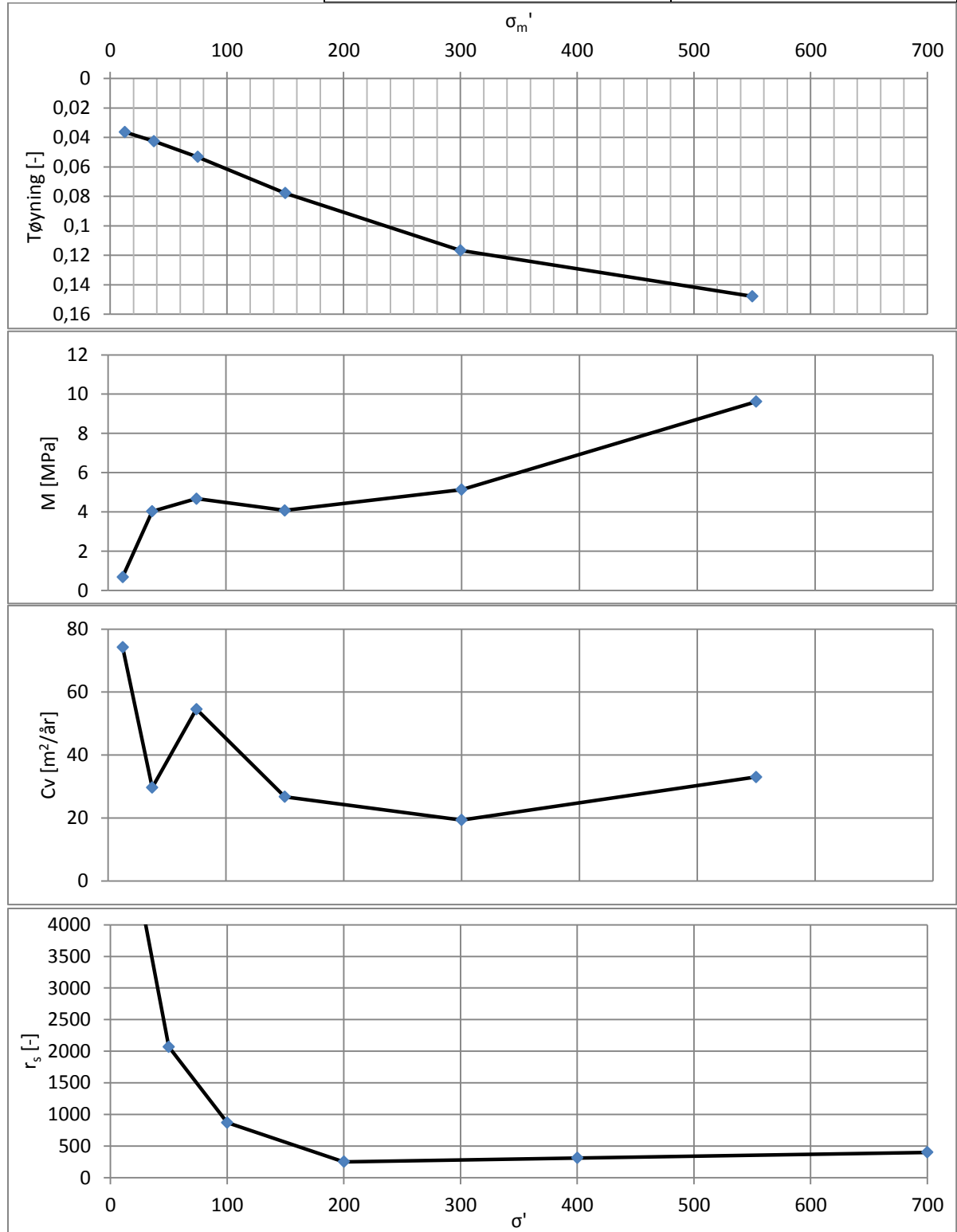
Esp, Byneset Hull 1101  
 Koordinater: ca: 7030140,3  
 (UTM) 0557004,3

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført våren 2013, i forbindelse med  
 masteroppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

## IL\_937

Dybde: [m]	9,37	$\sigma'_{v0}$ = 89,65 kPa	$\sigma'_c$ = 75-200 kPa
Prøvetakingsdato:	26.11.2012	w = 35,7 %	$M_{OC}$ = 4 MPa
Forsøksdato:	11.01.2013	$\gamma$ = 18,74 kN/m <sup>3</sup>	m = 17,9
Tøyningshastighet:	[steps]	OCR =	cv = 40 m <sup>2</sup> /år
		$\Delta e/e_0$ = 0,41	rs = 250



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	masteroppgave	ved NTNU

## IL\_1028

Dybde: [m] 10,28

Prøvetakingsdato: 26.11.2012

Forsøksdato: 21.01.2013

Tøyningshastighet: [steps]

 $\sigma'_{v0}$  = 97,38 kPa

w = 33,3 %

 $\gamma$  = 19,09 kN/m<sup>3</sup>

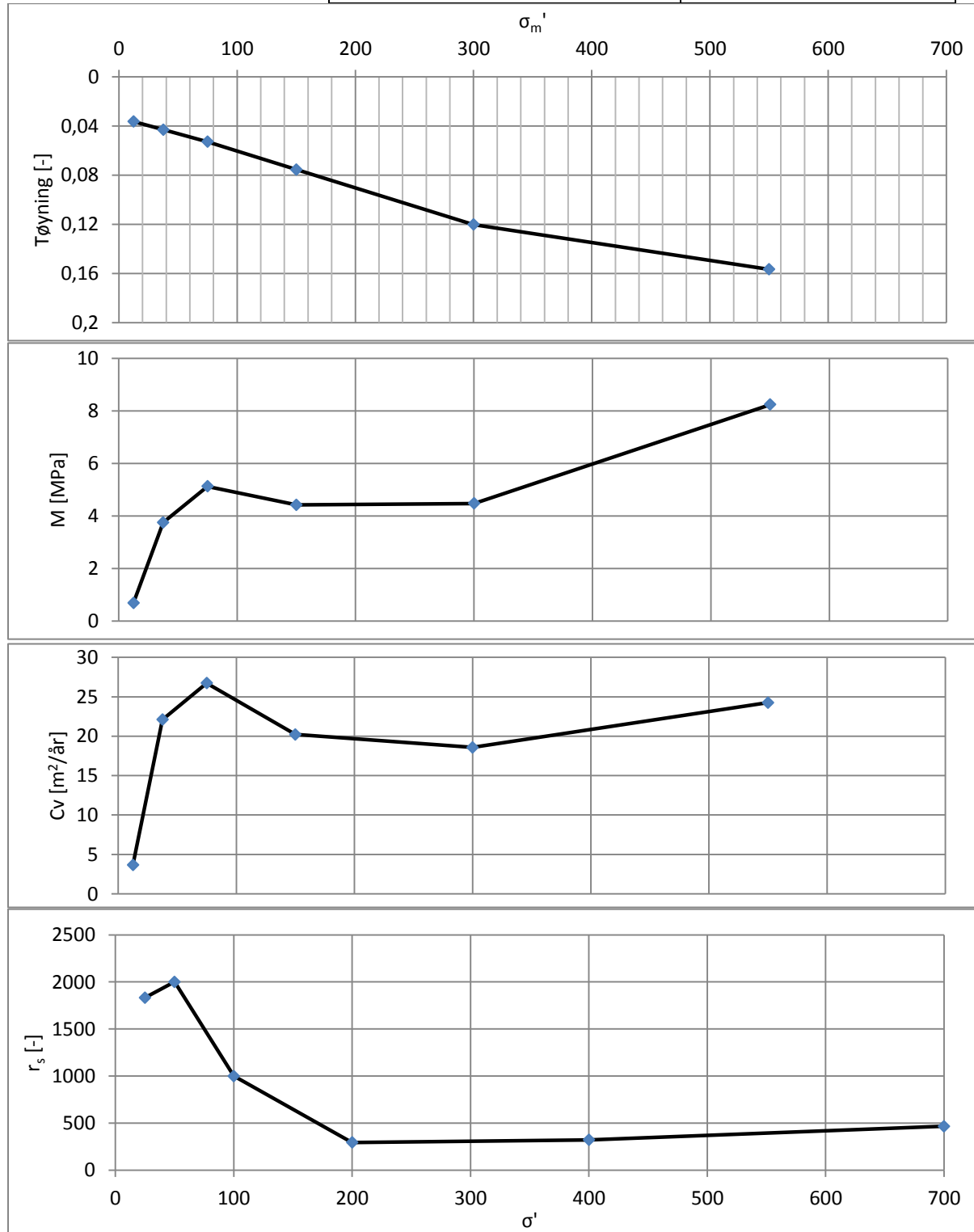
OCR = 1,03-2,05 -

 $\Delta e/e_0$  = 0,47 - $\sigma'_c$  = 100-200 kPa $M_{OC}$  = 4,4 MPa

m = 15 -

cv = 20 m<sup>2</sup>/år

rs = 194 -

Esp, Byneset Hull 1101  
Koordinater: ca: 7030140,3  
(UTM) 0557004,3Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
Utført våren 2013, i forbindelse med  
masteroppgaveForsøk utført av:  
Jeremy Raymond King,  
ved NTNU

## A-45

NTNU-Hull	Forsøk	dybd m	Forsøks- hastigh. [mm/h]	$K_0'$ [-]	$\sigma_{vc}'$ kPa	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	w [%]	$S_{u,aktiv}$ kPa	$\tan\phi$ [-]	a kPa	$E_{50}$ MPa	D [-]	$\epsilon_f$ [%]	$\Delta V$ cm <sup>3</sup>	$\epsilon_v$ [%]	$\sigma_{c0}'$ fra $\phi$ kPa	OCR [-]	$\frac{\Delta e}{e_0}$ [-]	Prøve- Kvalitet (T. Lunne)
1101	CAU334	3,34	1	0,7	38,4	17,90	47,6	25,2	0,79	0	8,4	0,12	0,8	1,97	0,86	160	4,16	0,02	Veldig bra
1101	CAU350	3,50	1	0,78	62,7	17,81	47,6	32,2	0,67	6	17,7	-0,12	0,8	3,54	1,54	160	4,03	0,03	Veldig bra
1101	CAU430	4,30	2	0,7	46,6	18,17	40,4	32,6	0,67	0	8,2	0,128	1,1	2,48	1,08	180	3,87	0,02	Veldig bra
1101	CAU455	4,55	2	0,7	58,4	18,61	37,3	43,7	0,71	0	14,3	0,143	0,7	0,99	0,43	200	3,16	0,01	Veldig bra
1101	CIU535	5,35	3	1,0	38,8	18,55	37,4	36,5	0,74	0	5,0	-0,109	1,7	1,28	0,56	170	3,06	0,01	Veldig bra
1101	CAU565	5,65	2	0,7	58,0	18,36	39,0	37,9	0,63	6	20,6	0,087	0,5	1,39	0,61	175	3,02	0,01	Veldig bra
1101	CAU630	6,30	2	0,7	63,6	19,00	37,3	34,5	0,65	0	-	0,0	1,4	2,74	1,20	170	2,67	0,02	Veldig bra
1101	CAU655	6,55	2	0,7	65,7	19,08	32,7	29,9	0,58	0	-	-0,035	0,8	3,02	1,32	170	2,59	0,03	Veldig bra
1101	CAU728	7,28	3	0,7	71,9	18,89	37,8	30,1	0,39	20	-	-0,04	1,0	5,03	2,2			0,05	Dårlig
1101	CAU755	7,55	3	0,76	74,2	18,95	36,4	32,7	0,38	22	-	-0,16	0,8	3,18	1,39			0,03	Veldig bra
1101	CAU822	8,22	3	0,7	79,9	18,89	38,7	35,9	0,46	15	-	-0,16	1,5	2,7	1,18			0,02	Veldig bra
1101	CAU847	8,47	3	0,60	75,1	18,80	35,2	42,7	0,53	15	0,91	-0,06	1,25	3,83	1,67			0,03	Bra
1101	CAU925	9,25	3	0,63	88,2	18,85	36,5	34,7	0,47	20	-	-	0,8	6,59	2,88			0,06	Dårlig
1101	CAU950	9,50	3	0,7	90,6	19,57	30,9	39,0	0,56	-	-	-	0,9	8,50	3,71			0,08	Dårlig
1101	CAU1020	10,20	3	0,7	95,2	18,91	34,4	39,7	0,50	15	0,52	-0,26	1,4	5,74	2,5			0,05	Bra
1101	CAU1045	10,45	3	0,7	98,6	18,57	35,1	37,8	0,50	15	1,0	-0,24	1,2	7,20	3,14			0,07	Dårlig
2	CAD428	4,28	3	0,7	66,2	18,64	35,8	85,0	-	-	0,09	0,33	2,5	5,23	2,31			0,05	Bra
2	CAU734	7,34	3	0,7	91,8	18,60	37,6	61	0,81	5	0,22	-0,11	2,0	7,7	3,36			0,07	Dårlig

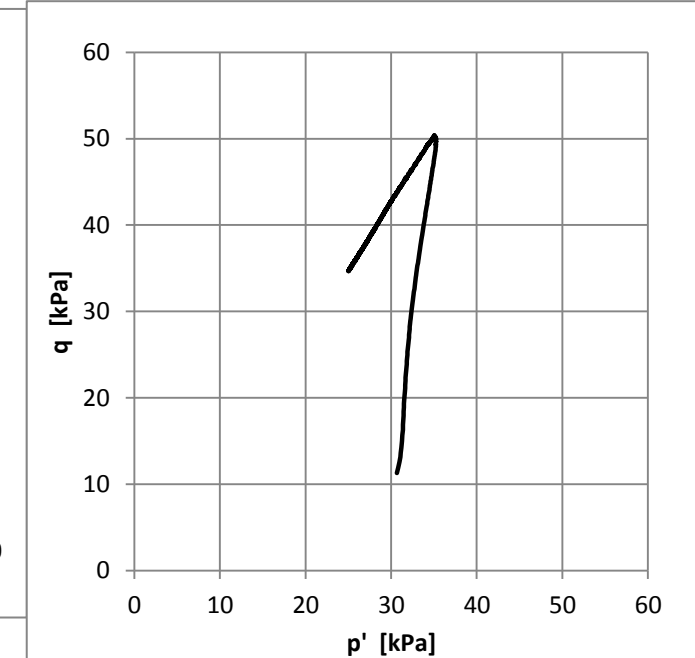
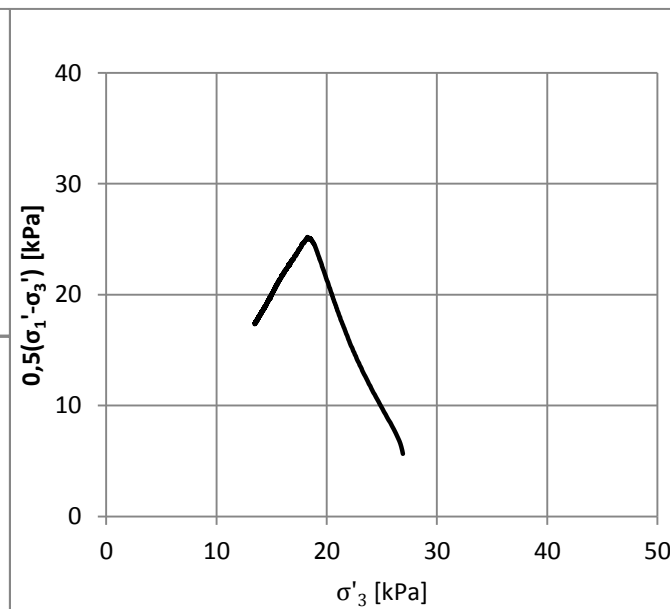
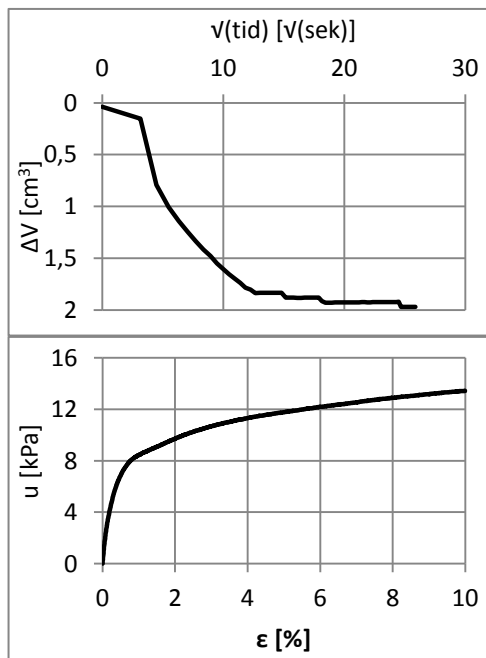
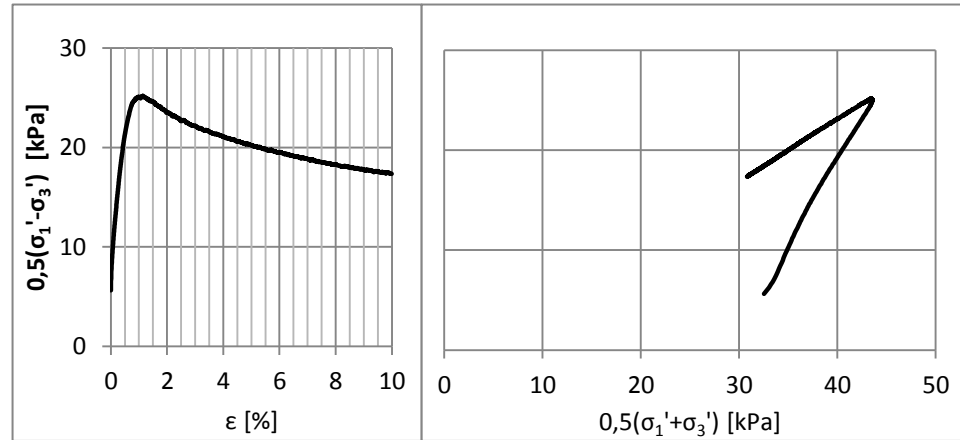
Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med	Jeremy Raymond King,
(UTM)	0557004,3	masteroppgave	ved NTNU



**Hull nr. 1101, CAU334**

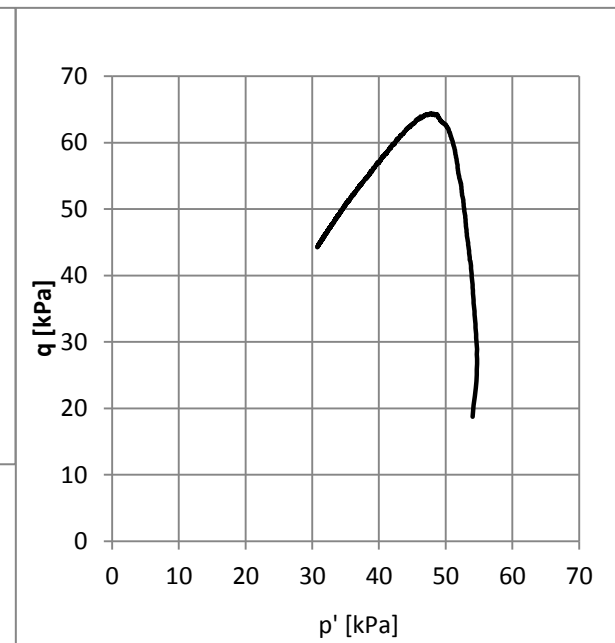
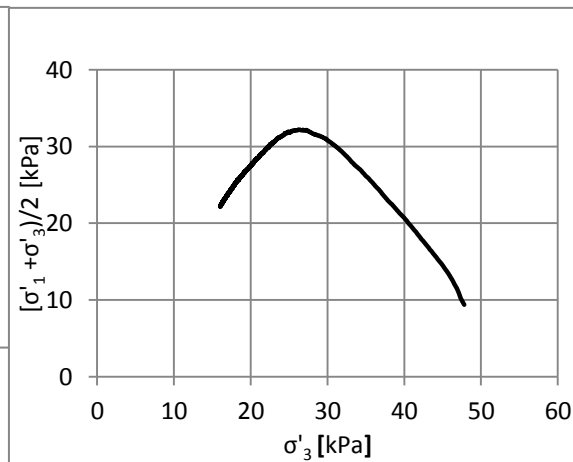
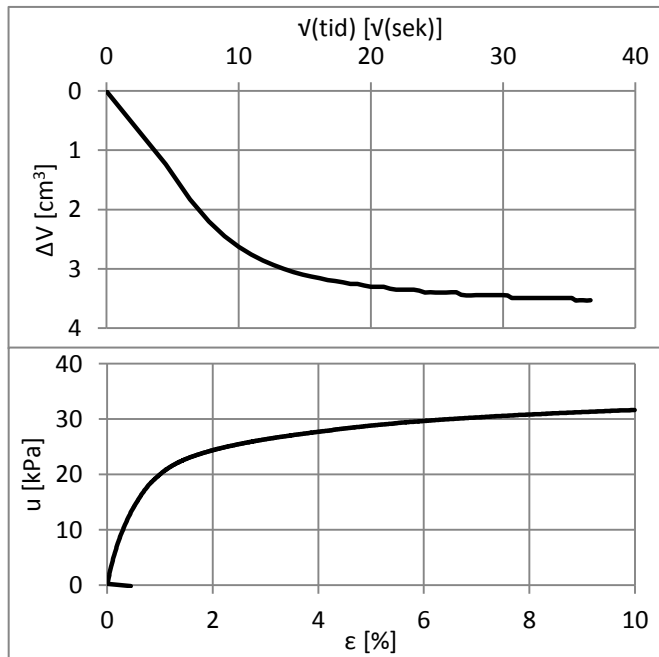
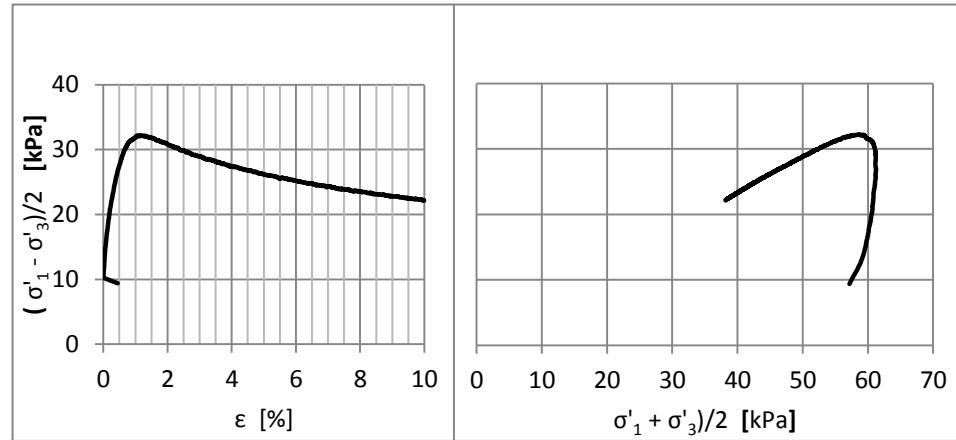
Åpning av prøven:	31.10.2012	Dybde [m]:	3,34
Forsøksdato:	31.10.2012	Prøvetakingsdato:	30.10.2012
Tøyningshastighet:	1 mm/h	Prøvetakningsutstyr:	54 mm stålsylinder

$\sigma'_{v0}$	=	38,4	kPa	$K_0'$	=	0,7
w	=	42,9	%	D	=	0,12
$\gamma$	=	17,9	kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	=	0,77
$\Delta V$	=	1,97	cm <sup>3</sup>	$\varphi$	=	37,8
$\varepsilon_v$	=	0,86	%	a	=	0
$\Delta e/e_0$	=	0,02		$s_u$	=	25,2
$\varepsilon_f$	=	0,8	%	$E_0$	=	8,4



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	prosjektoppgave			

Hull nr. 1101, CAU350			
Åpning av prøven:	31.10.2012	Dybde [m]:	3,50
Forsøksdato:	01.11.2012	Prøvetakingsdato:	30.10.2012
Tøyningshastighet:	1 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$	= 48,2 kPa	$K_{\sigma'}$	= 0,78 -
w	= 47,6 %	D	= -0,12 -
$\gamma$	= 17,9 kN/m <sup>3</sup>	tan $\varphi$	= 0,58 -
$\Delta V$	= 3,54 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	= 30,0 o
$\varepsilon_v$	= 1,54 %	a	= 10 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,028	$s_u$	= 32,2 kPa
$\varepsilon_f$	= 1,1 %	$E_0$	= MPa

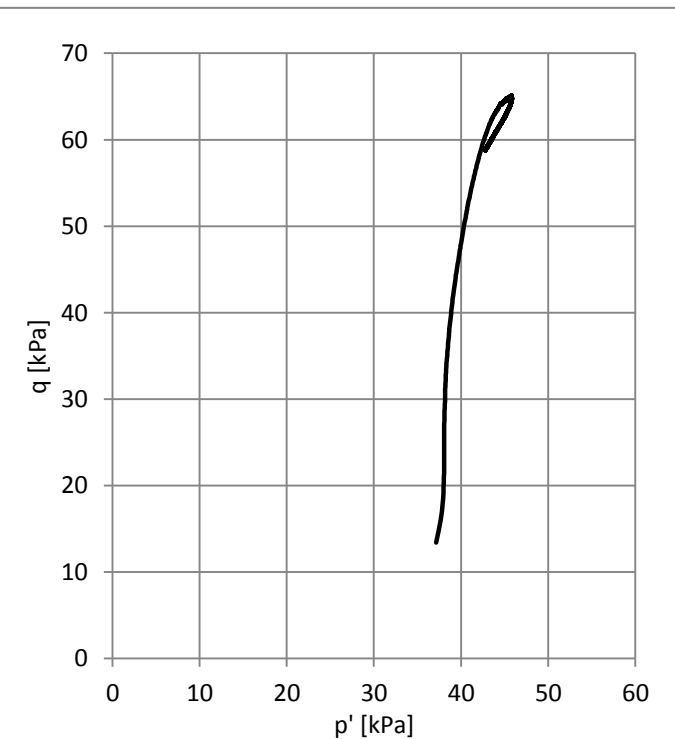
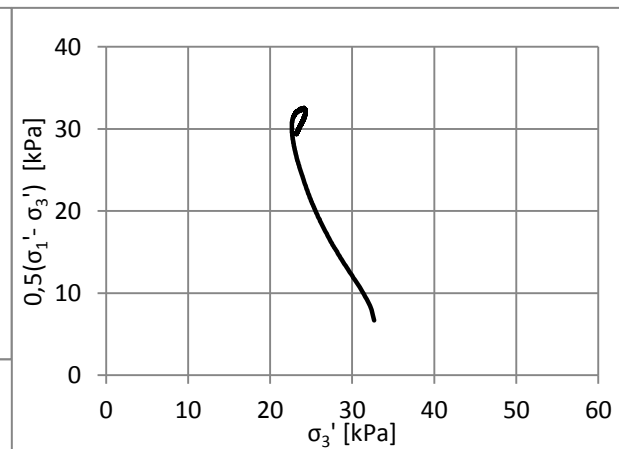
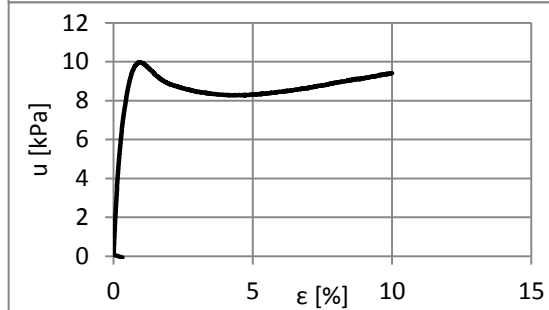
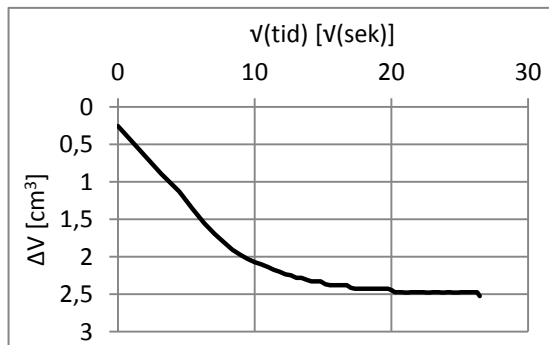
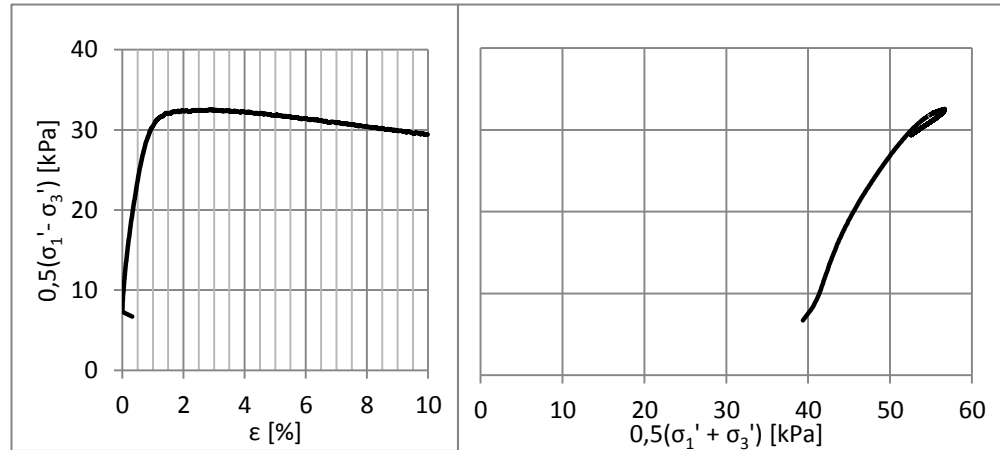


Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, i forbindelse med	prosjektoppgave	ved NTNU	
(UTM)	0557004,3				

**Hull nr. 1101, CAU430**

Åpning av prøven:	06.11.2012	Dybde [m]:	4,30
Forsøksdato:	06.11.2012	Prøvetakingsdato:	30.10.2012
Tøyningshastighet:	2 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder

$\sigma'_{vc}$	=	46,6 kPa	$K_0'$	=	0,7 -
w	=	40,4 %	D	=	0,13 -
$\gamma$	=	18,17 kN/m <sup>3</sup>	tan $\varphi$	=	0,53 -
$\Delta V$	=	2,48 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	=	28,0 o
$\varepsilon_v$	=	1,08 %	a	=	10 kPa
$\Delta e/e_0$	=	0,02	$s_u$	=	30,0 kPa
$\varepsilon_f$	=	1,5 %	$E_0$	=	MPa

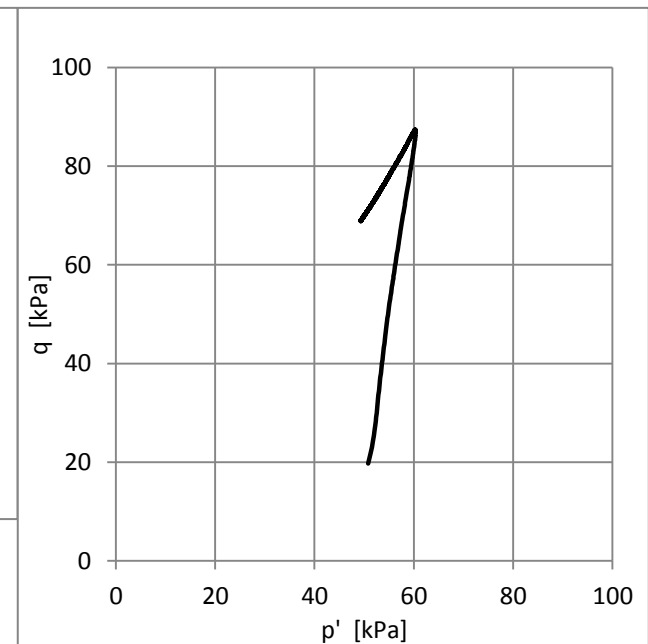
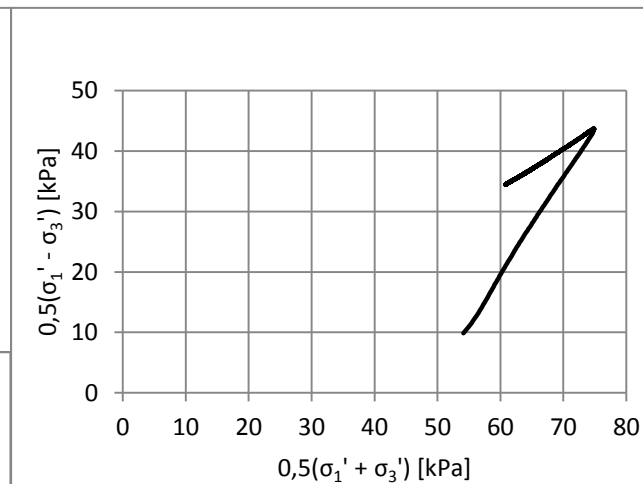
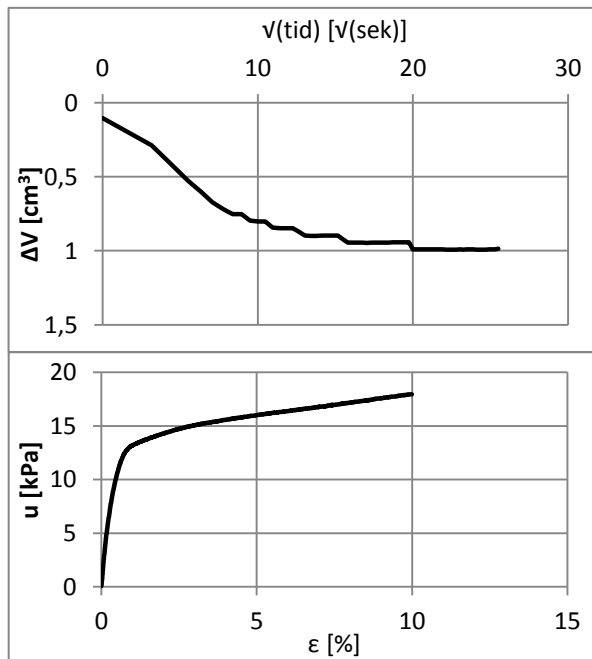
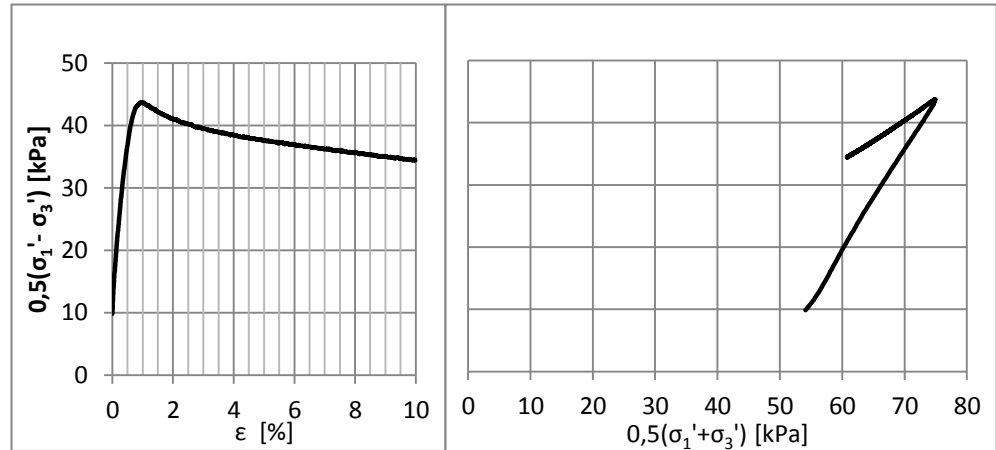


Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	prosjektoppgave			

**Hull nr. 1101, CAU455**

Åpning av prøven:	06.11.2012	Dybde [m]:	4,55
Forsøksdato:	07.11.2012	Prøvetakingsdato:	30.10.2012
Tøyningshastighet:	2 mm/h	Prøvetakningsutstyr:	54 mm stålsylinder

$\sigma'_{vc}$	=	63,3	kPa	$K_0'$	=	0,7	-
w	=	37,3	%	D	=	0,14	-
$\gamma$	=	18,61	kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	=	0,65	-
$\Delta V$	=	0,99	cm <sup>3</sup>	$\varphi$	=	33,1	o
$\varepsilon_v$	=	0,43	%	a	=	10	kPa
$\Delta e/e_0$	=	0,008		$s_u$	=	43,7	kPa
$\varepsilon_f$	=	0,9	%	$E_0$	=		MPa

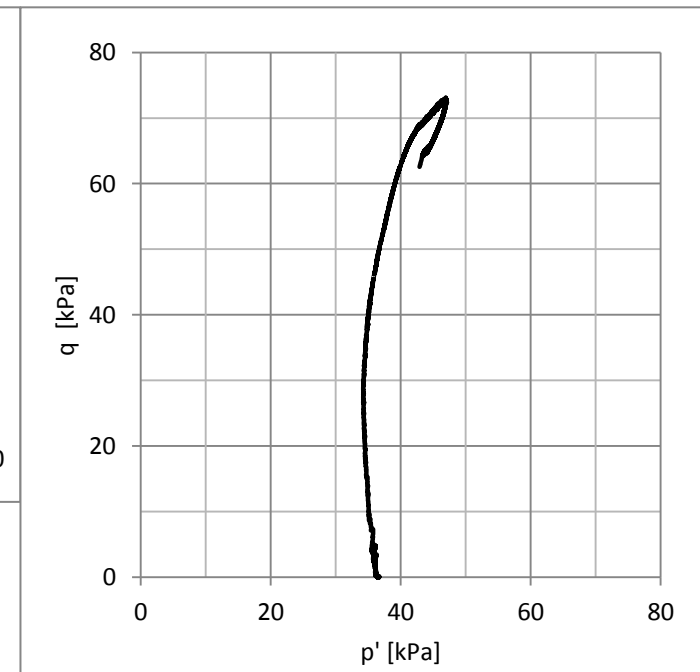
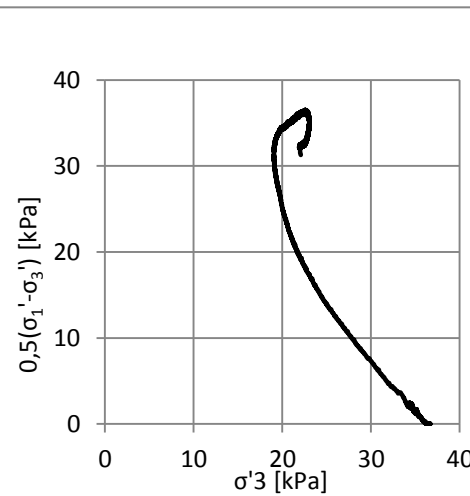
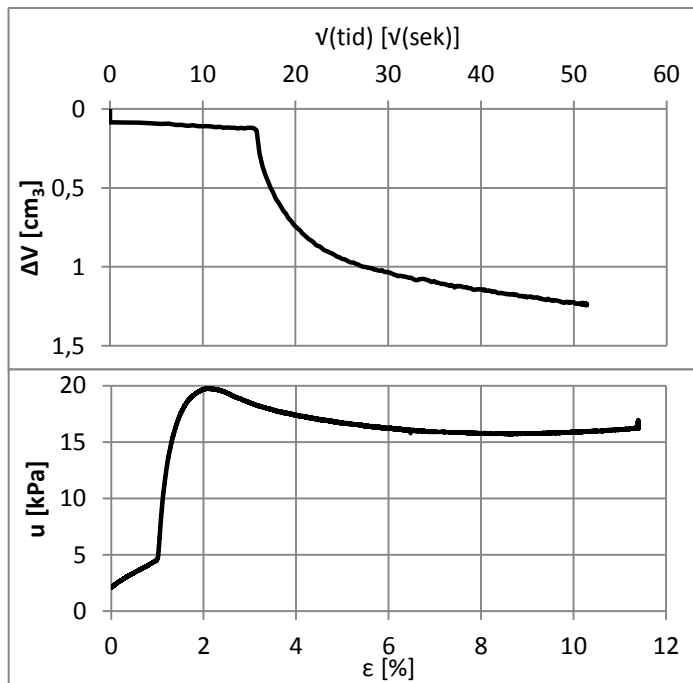
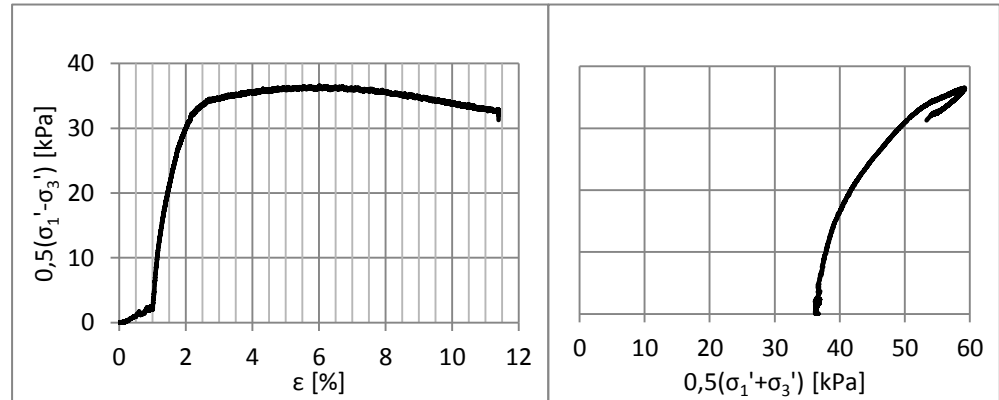


Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	prosjektoppgave			

## Hull nr. 1101, CIU535

Åpning av prøven:	08.11.2012	Dybde [m]:	5,35
Forsøksdato:	08.11.2012	Prøvetakingsdato:	30.10.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder

$\sigma'_{vc}$	=	38,8	kPa	$K_0'$	=	1	-
w	=	37,4	%	D	=	-0,11	-
$\gamma$	=	18,55	kN/m <sup>3</sup>	tan $\varphi$	=	0,58	-
$\Delta V$	=	1,28	cm <sup>3</sup>	$\varphi$	=	30,0	o
$\varepsilon_v$	=	0,56	%	a	=	10	kPa
$\Delta e/e_0$	=	0,011		$s_u$	=	29,0	kPa
$\varepsilon_f$	=	2,8	%	$E_0$	=	5	MPa

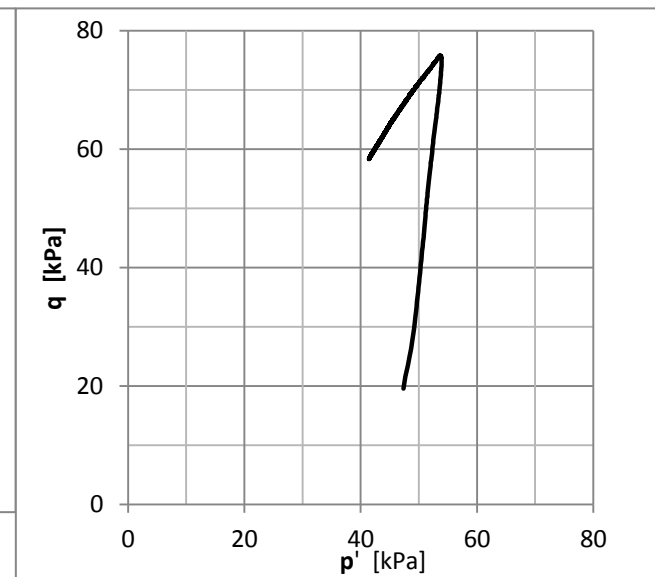
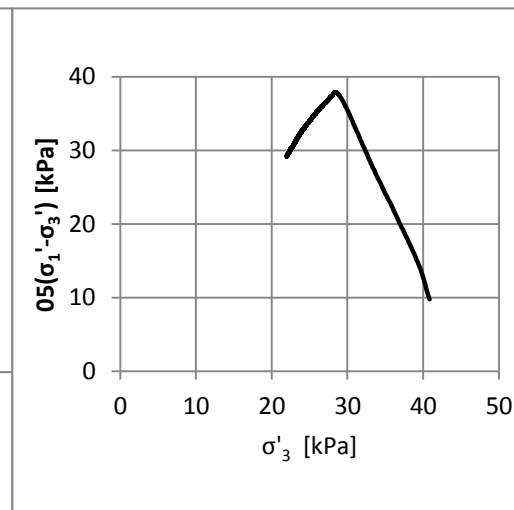
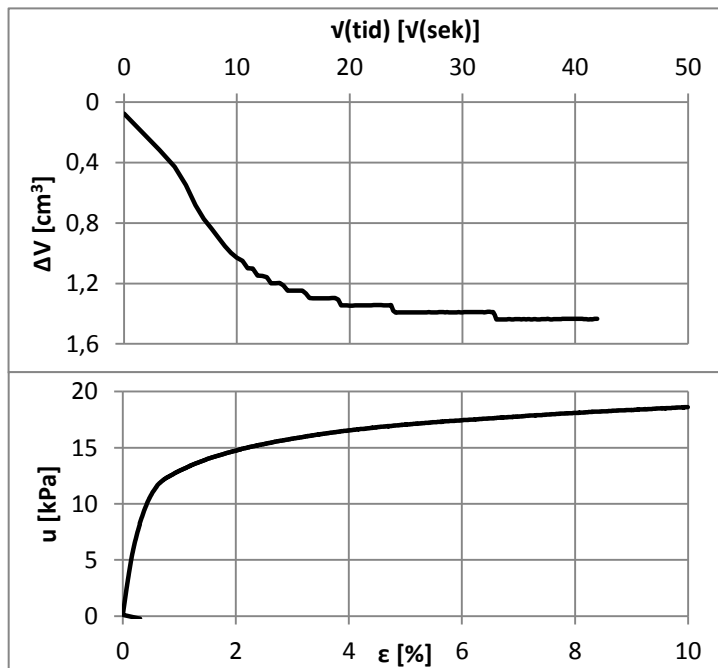
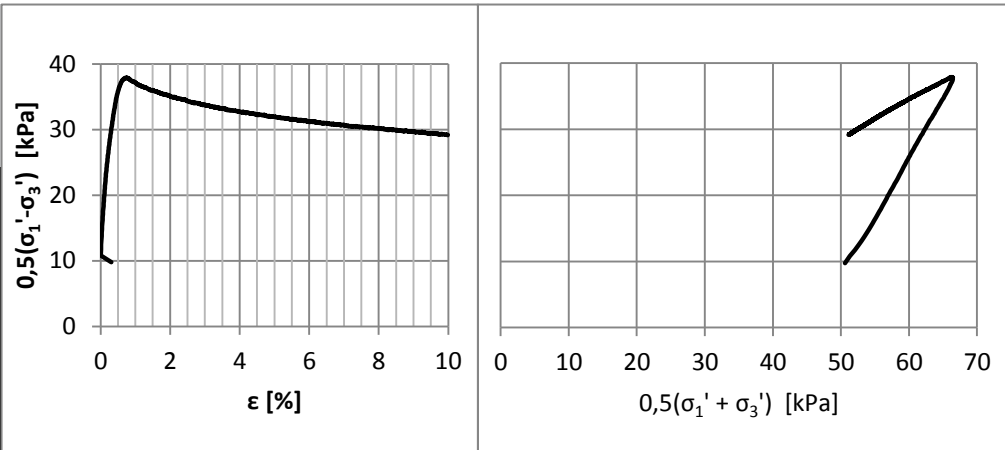


Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	prosjektoppgave			

## Hull nr. 1101, CAU565

Åpning av prøven:	08.11.2012	Dybde [m]:	5,65
Forsøksdato:	08.11.2012	Prøvetakingsdato:	30.10.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder

$\sigma'_{vc}$	=	58,0	kPa	$K_0'$	=	0,7	-
w	=	39,0	%	D	=	0,09	-
$\gamma$	=	18,35	kN/m <sup>3</sup>	tan $\varphi$	=	0,69	-
$\Delta V$	=	1,39	cm <sup>3</sup>	$\varphi$	=	34,6	o
$\varepsilon_v$	=	0,61	%	a	=	10	kPa
$\Delta e/e_0$	=	0,012		$s_u$	=	37,9	kPa
$\varepsilon_f$	=	0,7	%	$E_0$	=		MPa

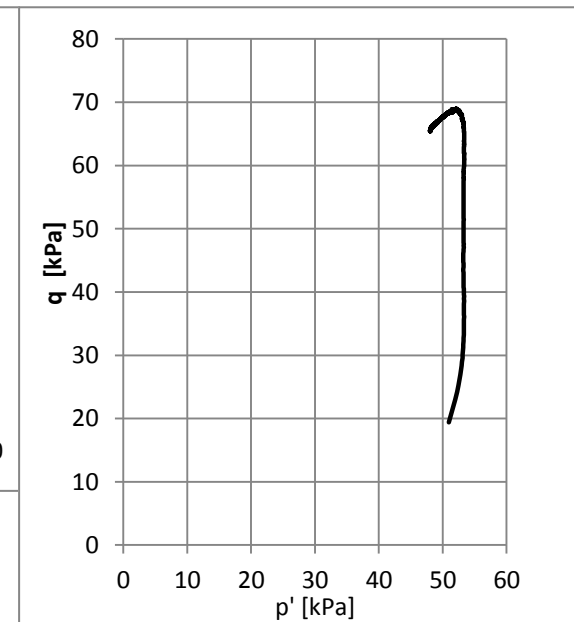
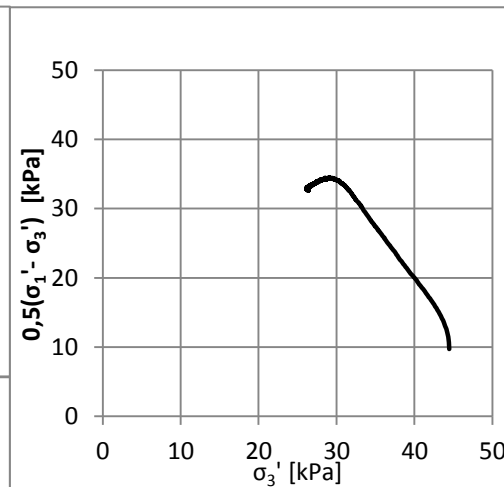
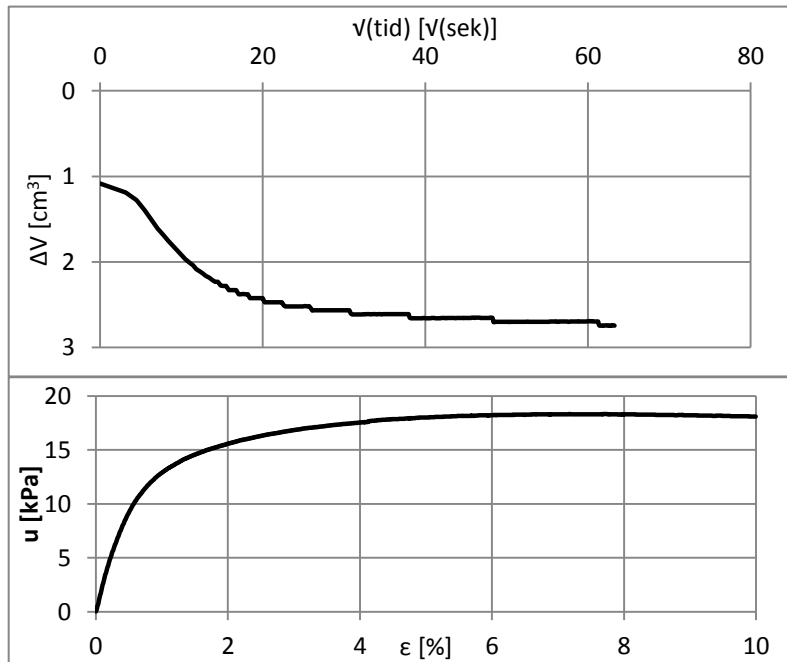
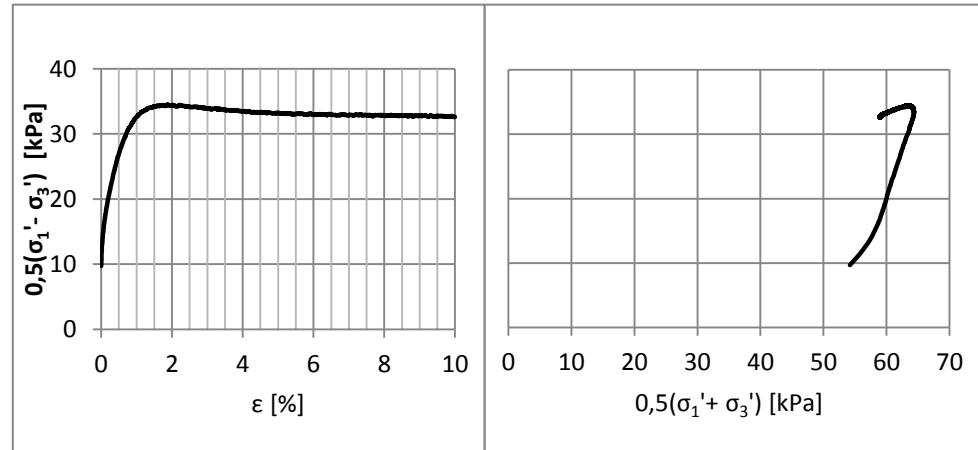


Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	prosjektoppgave			

**Hull nr. 1101, CAU630**

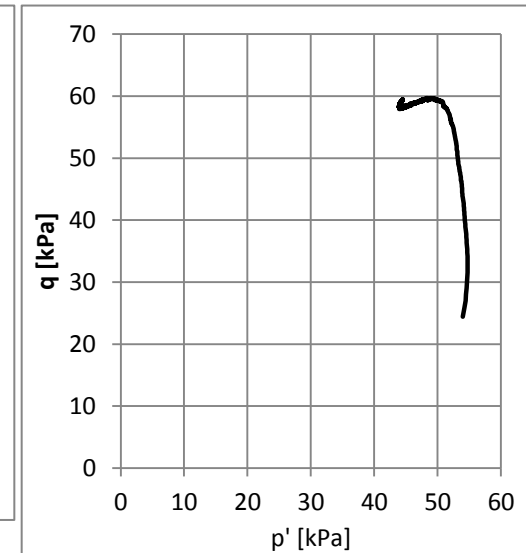
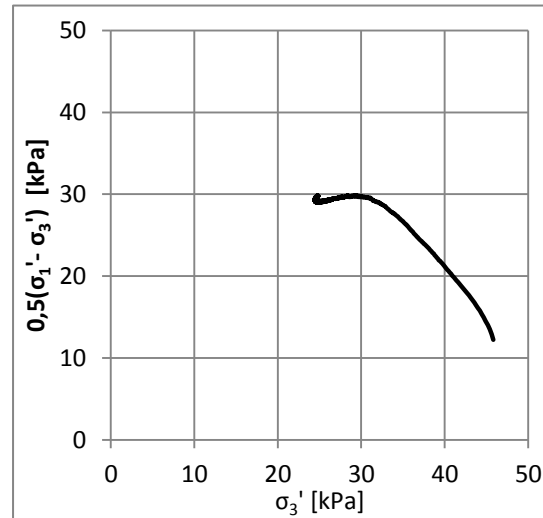
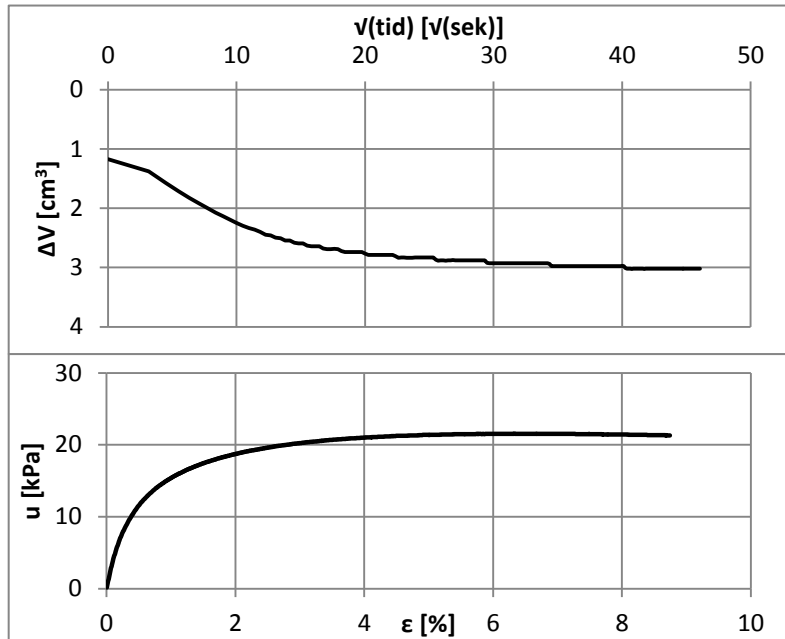
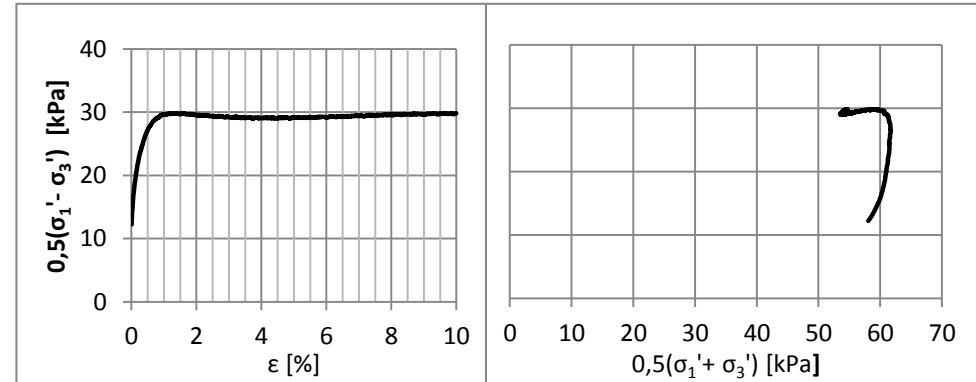
Åpning av prøven:	09.11.2012	Dybde [m]:	6,30
Forsøksdato:	09.11.2012	Prøvetakingsdato:	30.10.2012
Tøyningshastighet:	2 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder

$\sigma'_{vc}$	=	63,6	kPa	$K_0'$	=	0,7	-
w	=	37,3	%	D	=	0,05	-
$\gamma$	=	19,00	kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	=	0,53	-
$\Delta V$	=	2,74	cm <sup>3</sup>	$\varphi$	=	28,0	o
$\varepsilon_v$	=	1,20	%	a	=	10	kPa
$\Delta e/e_0$	=	0,024		$s_u$	=	34,5	kPa
$\varepsilon_f$	=	1,4	%	$E_0$	=		MPa



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	prosjektoppgave			

Hull nr. 1101, CAU655			
Åpning av prøven:	09.11.2012	Dybde [m]:	6,55
Forsøksdato:	12.11.2012	Prøvetakingsdato:	30.10.2012
Tøyningshastighet:	2 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$	= 65,7 kPa	$K0'$	= 0,7 -
w	= 32,7 %	D	= -0,04 -
$\gamma$	= 19,08 kN/m <sup>3</sup>	tan $\phi$	= 0,47 -
$\Delta V$	= 3,02 cm <sup>3</sup>	$\phi$	= 25,4 o
$\epsilon_v$	= 1,32 %	a	= 10 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,028	$s_u$	= 29,8 kPa
$\epsilon_f$	= 1,0 %	$E_0$	= MPa

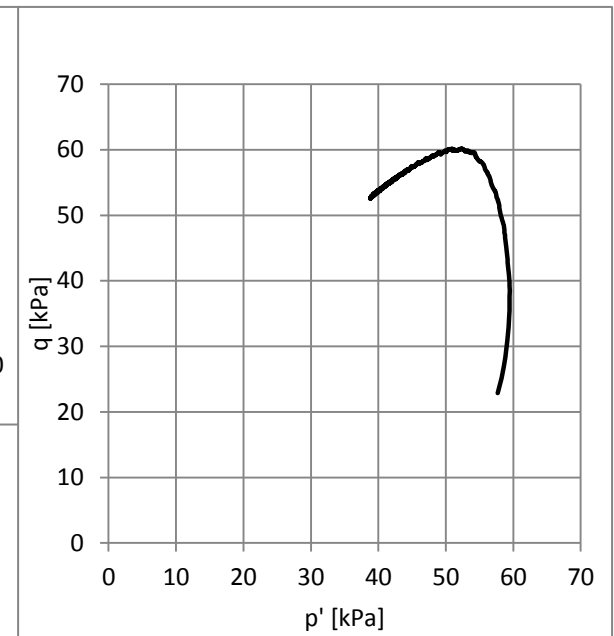
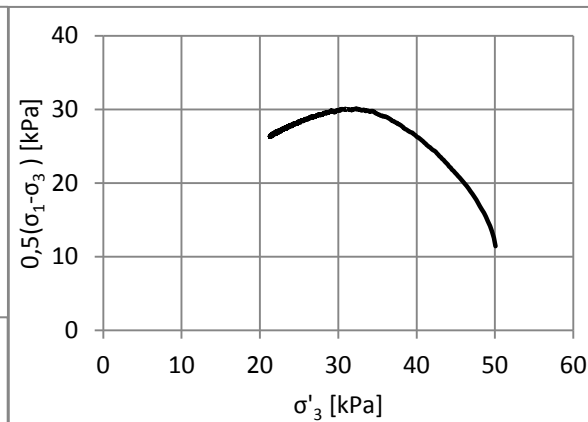
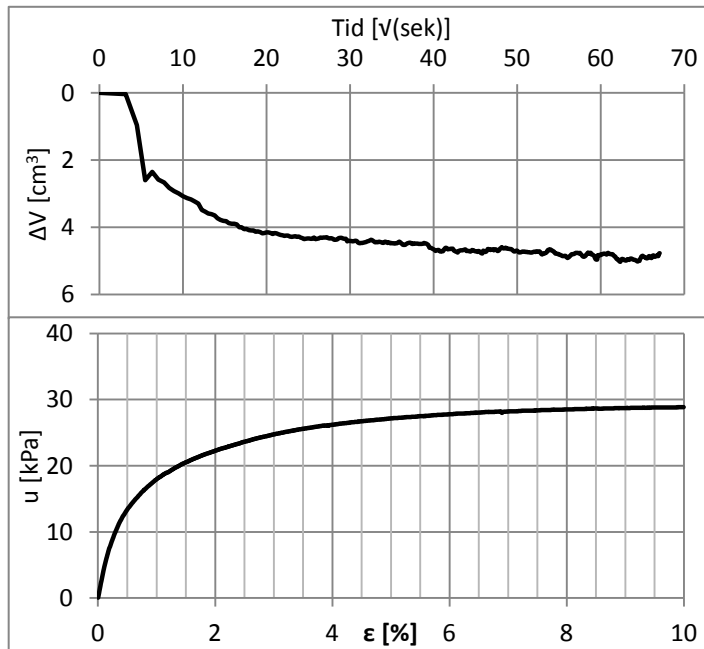
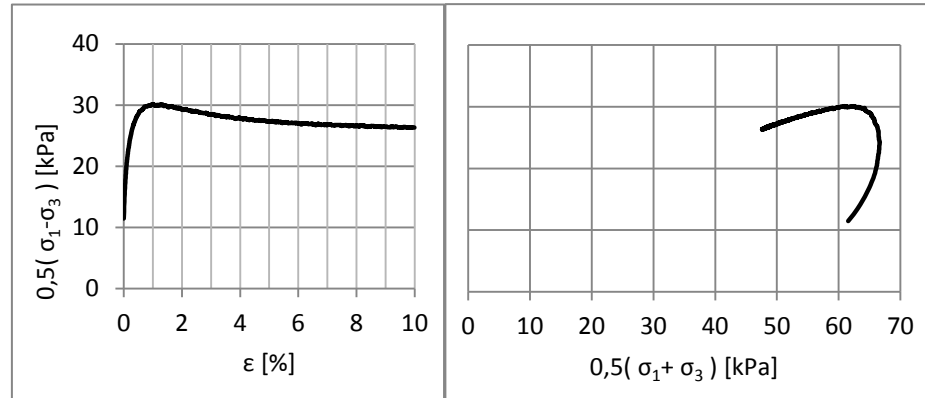


Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført høsten 2012, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	prosjektoppgave			



**Hull nr. 1101, CAU728**

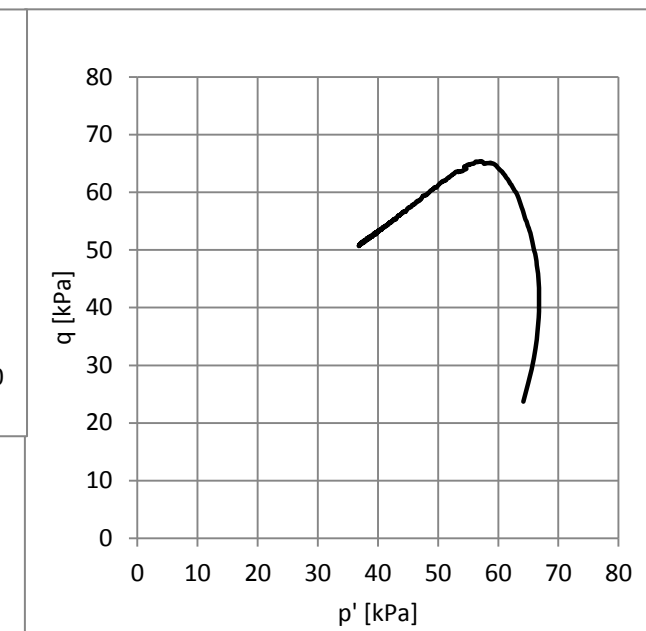
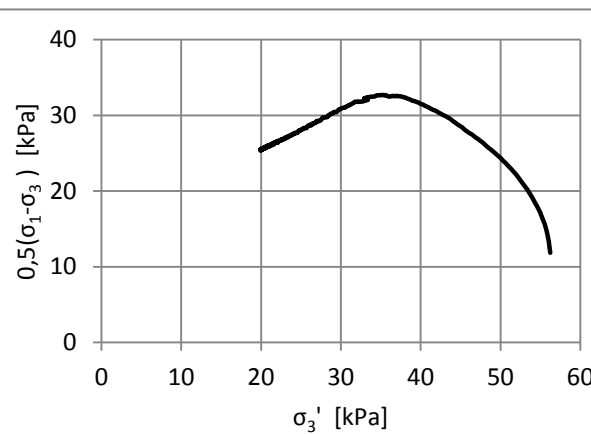
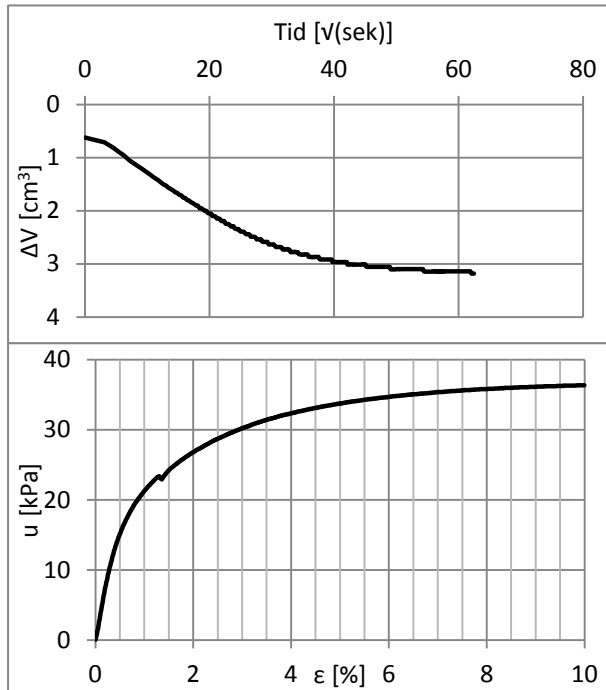
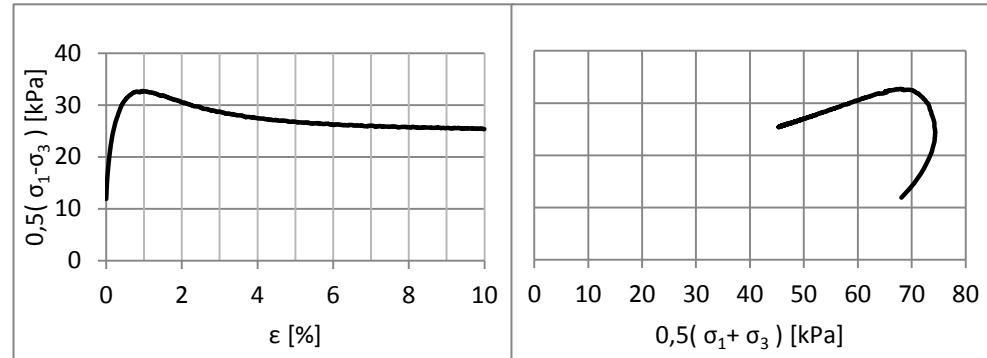
Åpning av prøven:	09.01.2013	Dybde [m]:	7,28
Forsøksdato:	09.01.2013	Prøvetakingsdato:	26.11.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$	= 71,6 kPa	$K_0'$	= 0,7
w	= 37,8 %	D	= -0,04 -
$\gamma$	= 18,89 kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	= 0,40 -
$\Delta V$	= 5,03 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	= 22,0 o
$\epsilon_v$	= 2,2 %	a	= 17 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,05	$s_u$	= 30,1 kPa
$\epsilon_f$	= 1,0 %	$E_0$	= MPa



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med	masteroppgave	ved NTNU	
(UTM)	0557004,3				

**Hull nr. 1101, CAU755**

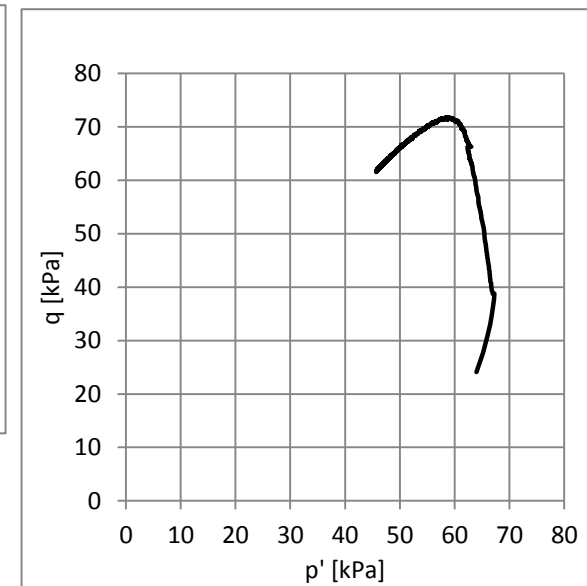
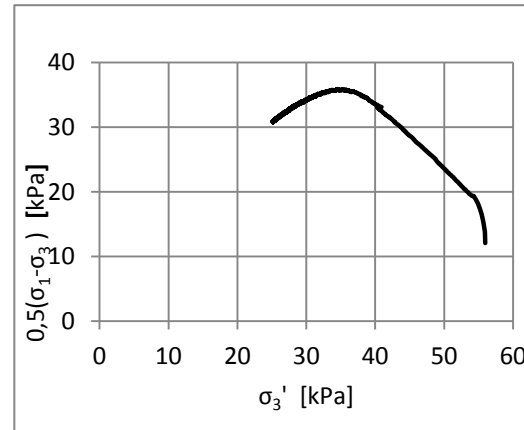
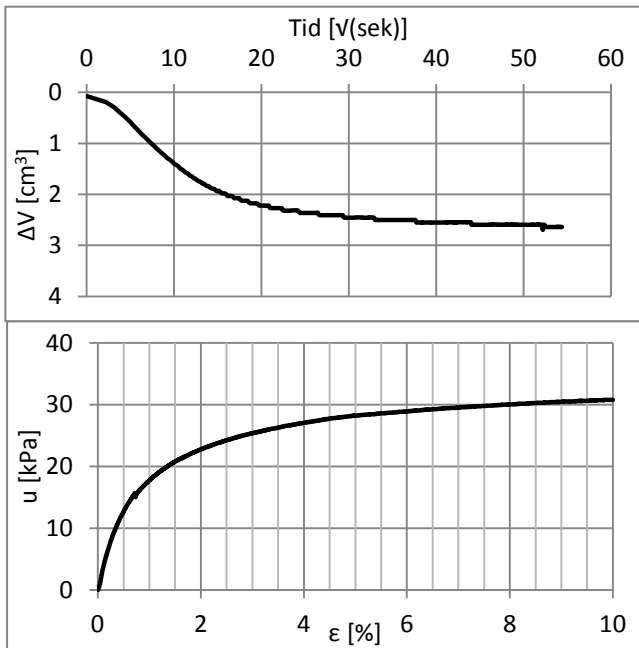
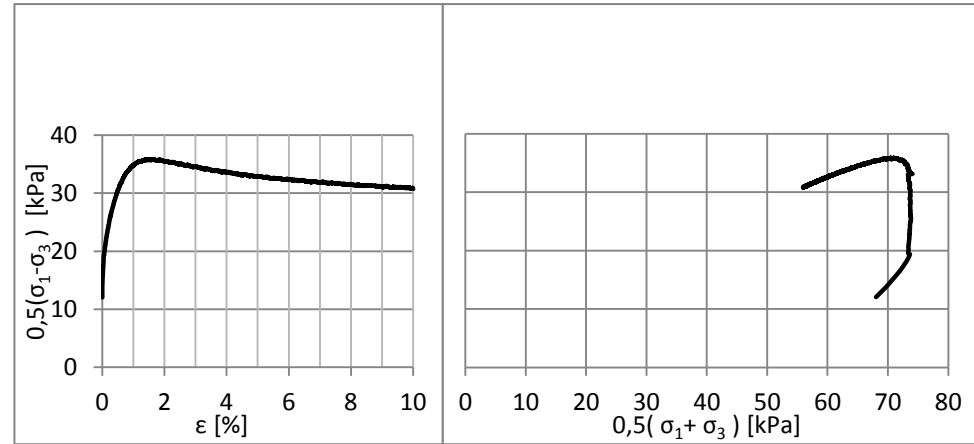
Åpning av prøven:	09.01.2013	Dybde [m]:	7,55
Forsøksdato:	10.01.2013	Prøvetakingsdato:	26.11.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$	= 80,4 kPa	$K_0'$	= 0,76
w	= 36,4 %	D	= -
$\gamma$	= 18,95 kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	= 0,40 -
$\Delta V$	= 3,18 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	= 22,0 °
$\epsilon_v$	= 1,39 %	a	= 20 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,03	$s_u$	= 32,7 kPa
$\epsilon_f$	= 0,8 %	$E_0$	= MPa



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	masteroppgave			

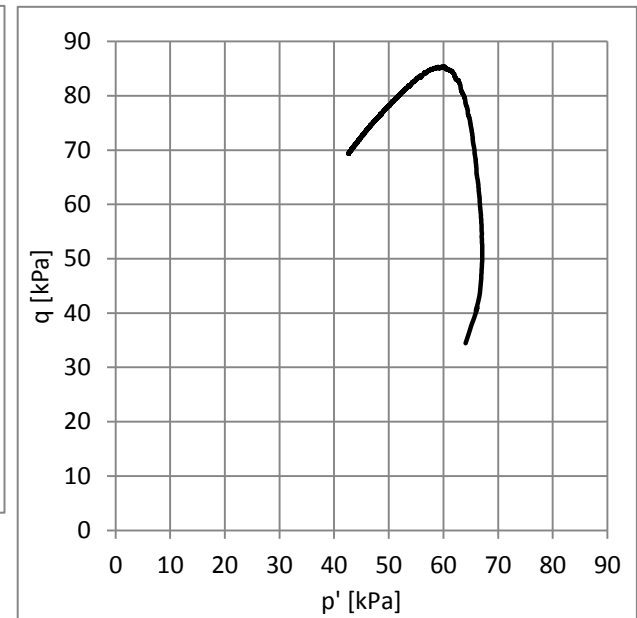
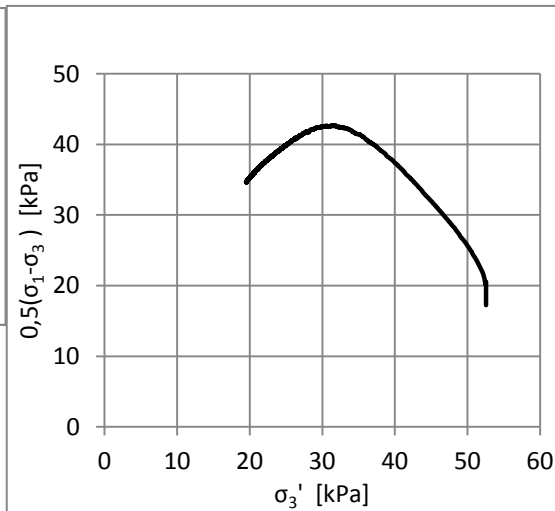
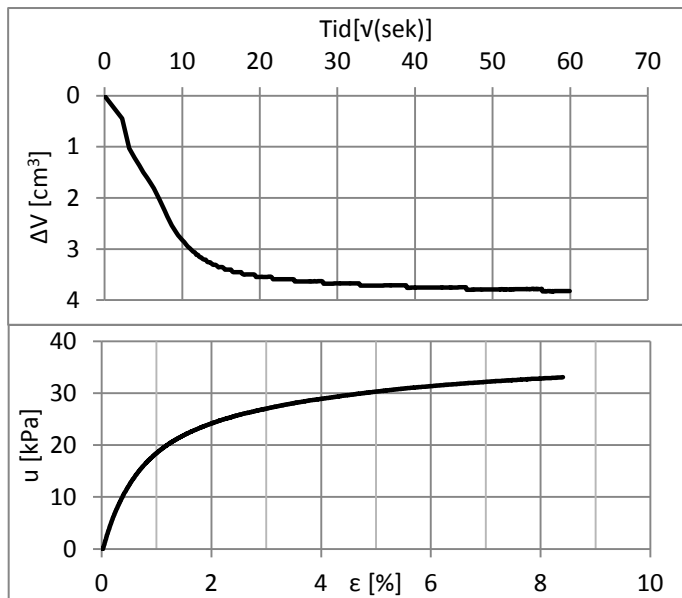
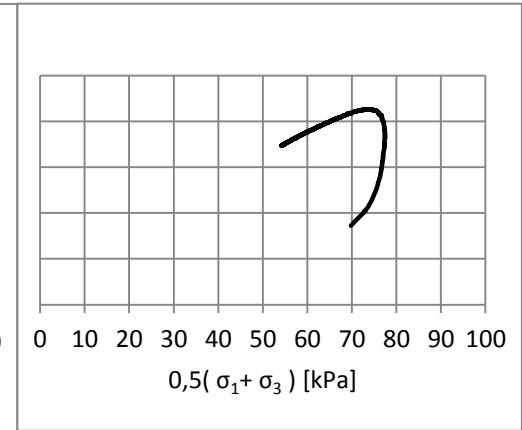
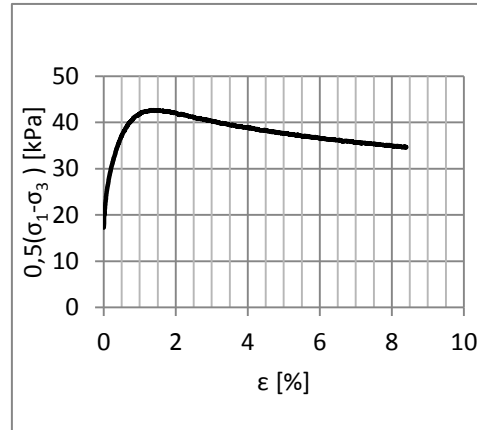
**Hull nr. 1101, CAU822**

Åpning av prøven:	10.01.2013	Dybde [m]:	8,22
Forsøksdato:	11.01.2013	Prøvetakingsdato:	26.11.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$	= 79,9 kPa	$K_0'$	= 0,7 -
w	= 38,7 %	D	= 0,16 -
$\gamma$	= 18,89 kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	= 0,50 -
$\Delta V$	= 2,7 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	= 26,7 °
$\varepsilon_v$	= 1,18 %	a	= 18 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,024	$s_u$	= 35,9 kPa
$\varepsilon_f$	= 1,5 %	$E_0$	= MPa



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med	masteroppgave	ved NTNU	
(UTM)	0557004,3				

Hull nr. 1101, CAU847			
Åpning av prøven:	10.01.2013	Dybde [m]:	8,47
Forsøksdato:	29.01.2013	Prøvetakingsdato:	26.11.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$ =	75,09 kPa	$K_0'$ =	0,7 -
w =	35,2 %	D =	0,1
$\gamma$ =	18,75 kN/m <sup>3</sup>	tan $\varphi$ =	0,60
$\Delta V$ =	3,829 cm <sup>3</sup>	$\varphi$ =	31,1 o
$\epsilon_v$ =	1,67 %	a =	10 kPa
$\Delta e/e_0$ =	0,035	$s_u$ =	42,7 kPa
$\epsilon_f$ =	1,25 %	$E_0$ =	MPa

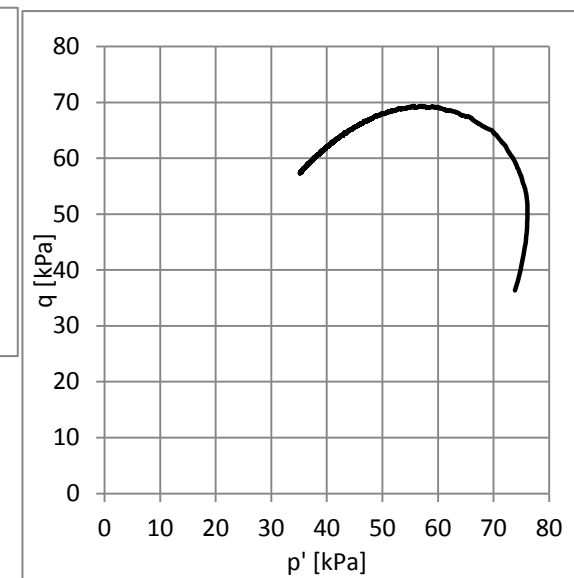
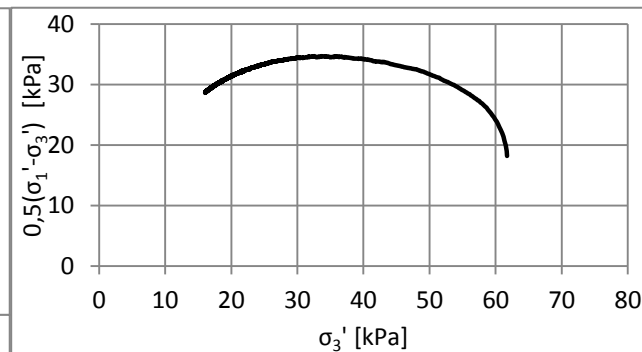
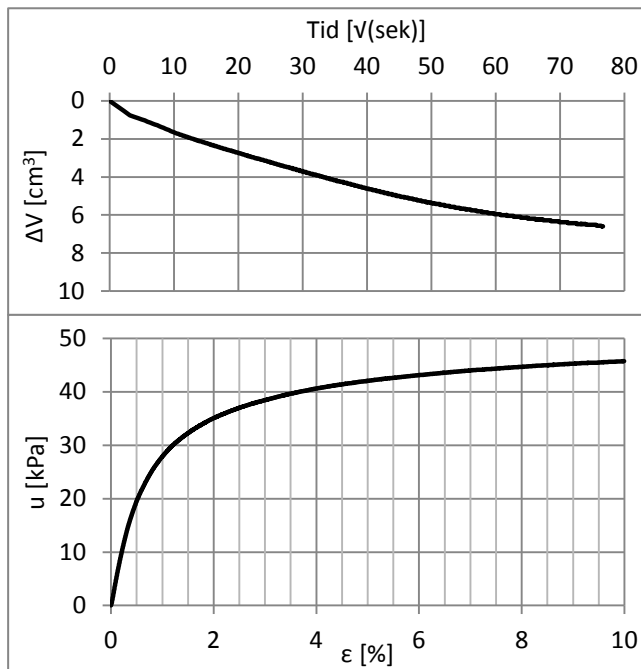
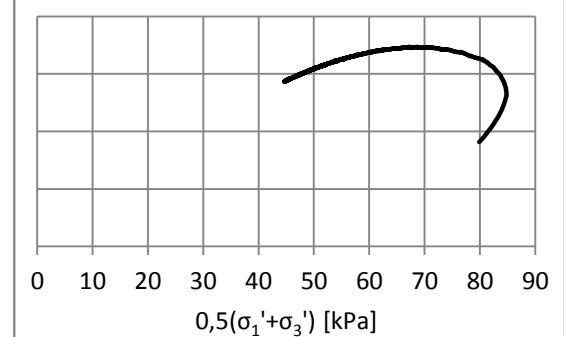
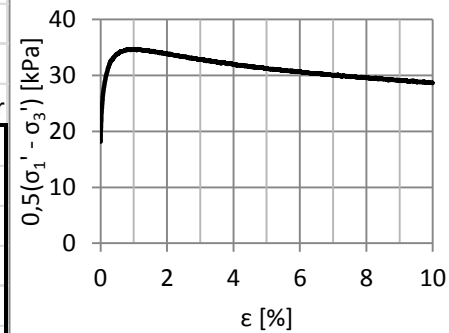


Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	masteroppgave			

**Hull nr. 1101, CAU925**

Åpning av prøven:	11.01.2013	Dybde [m]:	9,25
Forsøksdato:	29.01.2013	Prøvetakingsdato:	26.11.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder

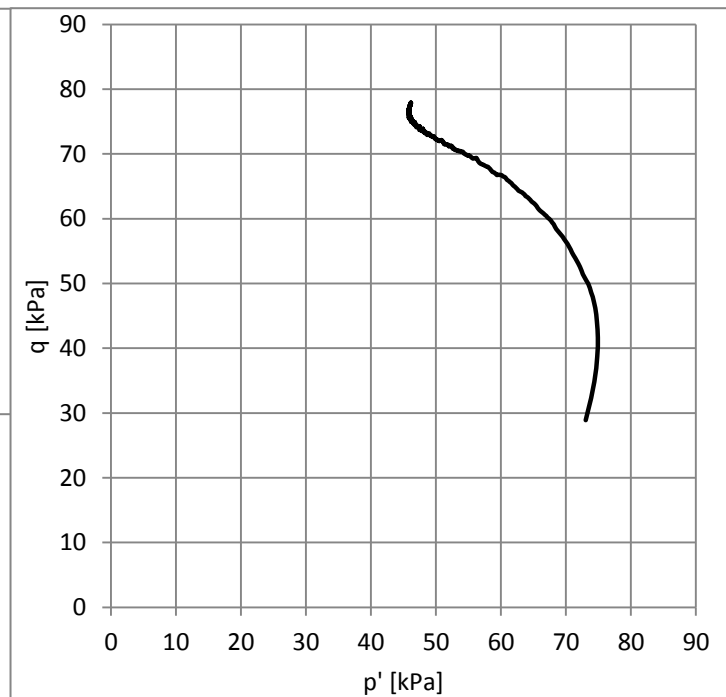
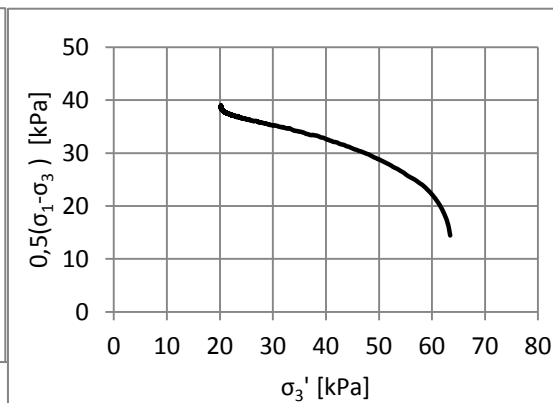
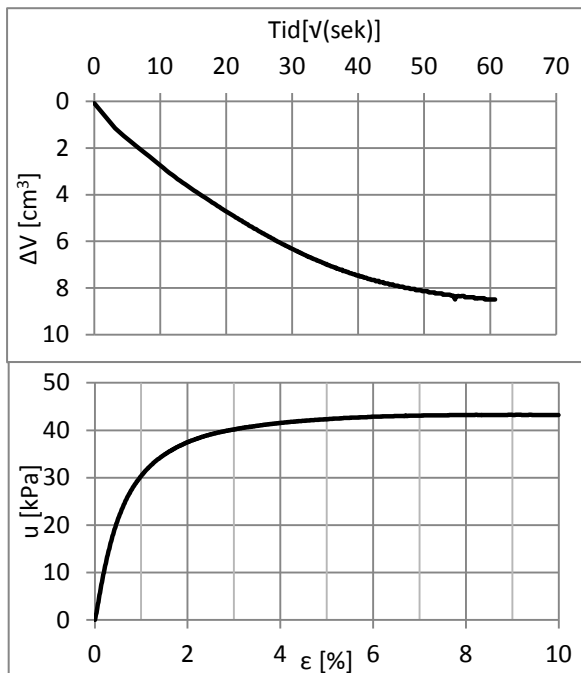
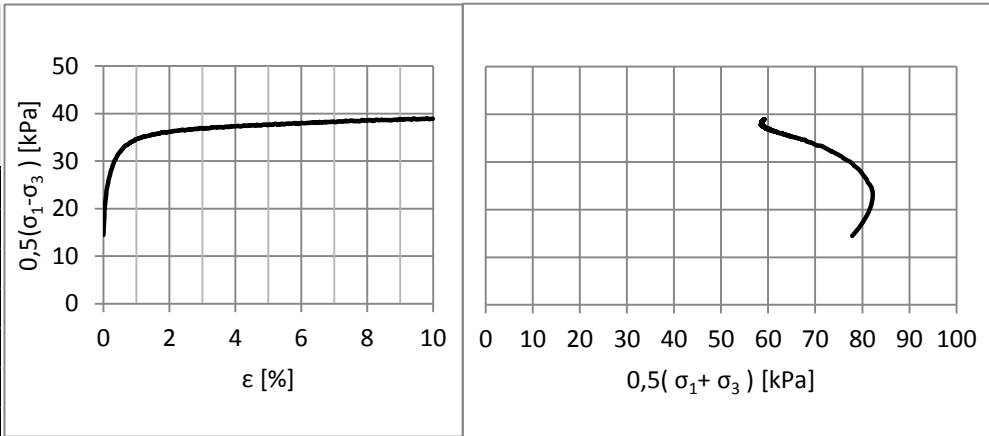
$\sigma'_{vc}$	=	88,21 kPa	$K_0'$	=	0,7 -
w	=	36,51 %	D	=	-
$\gamma$	=	18,85 kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	=	0,44 -
$\Delta V$	=	6,59 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	=	23,8 °
$\varepsilon_v$	=	2,88 %	a	=	15 kPa
$\Delta e/e_0$	=	0,059	$s_u$	=	34,7 kPa
$\varepsilon_f$	=	0,8 %	$E_0$	=	MPa



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	masteroppgave			

**Hull nr. 1101, CAU950**

Åpning av prøven:	11.01.2013	Dybde [m]:	9,50
Forsøksdato:	30.01.2013	Prøvetakingsdato:	26.11.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$ =	90,62 kPa	$K_0'$ =	0,7 -
w =	30,9 %	D =	-
$\gamma$ =	19,57 kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$ =	0,60 -
$\Delta V$ =	8,50 cm <sup>3</sup>	$\varphi$ =	31,1 o
$\varepsilon_v$ =	3,71 %	a =	10 kPa
$\Delta e/e_0$ =	0,084	$s_u$ =	37,0 kPa
$\varepsilon_f$ =	1,0 %	$E_0$ =	MPa



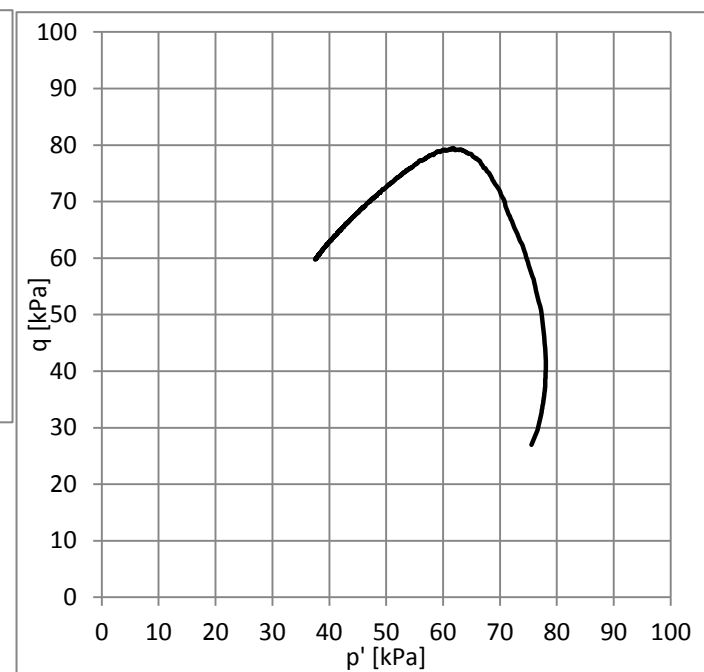
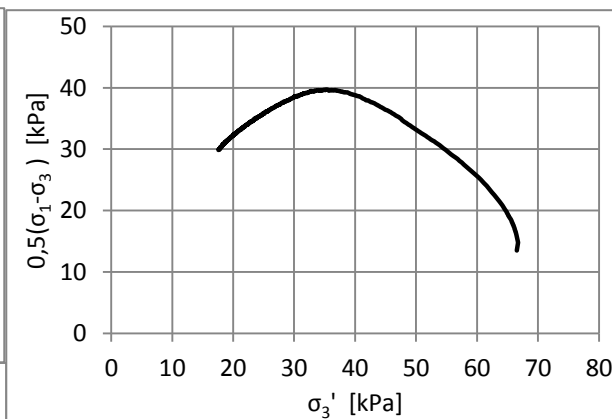
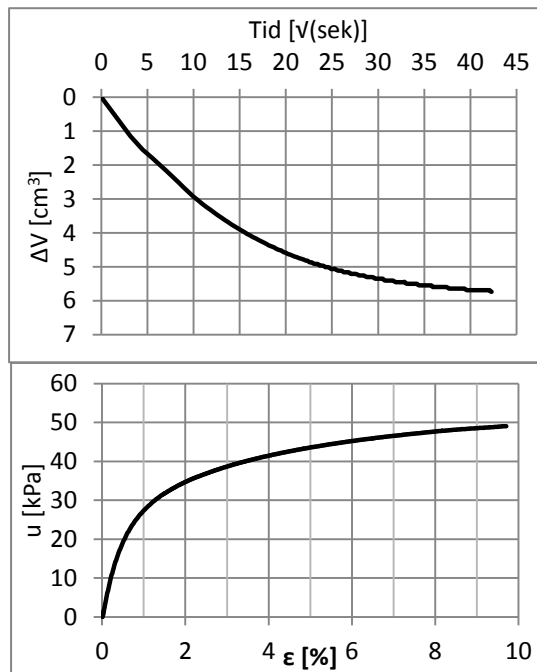
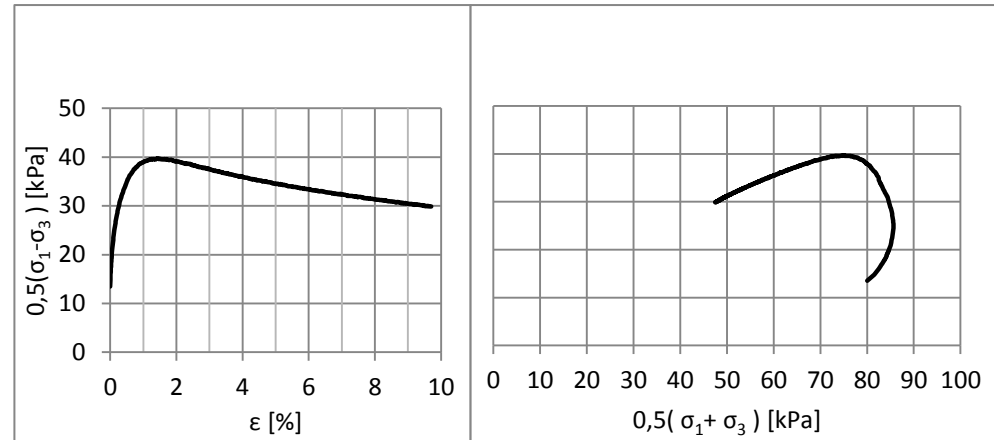
Esp, Byneset Hull 1101  
Koordinater: ca: 7030140,3  
(UTM) 0557004,3

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
Utført våren 2013, i forbindelse med  
masteroppgave

Forsøk utført av:  
Jeremy Raymond King,  
ved NTNU

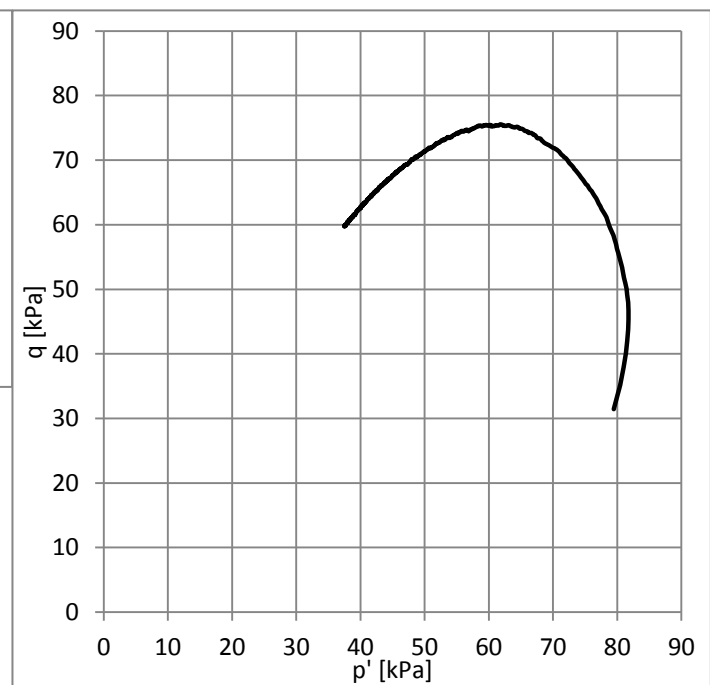
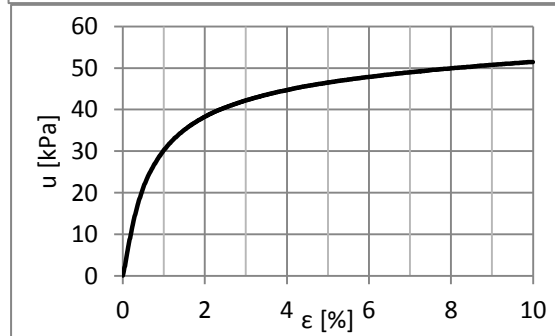
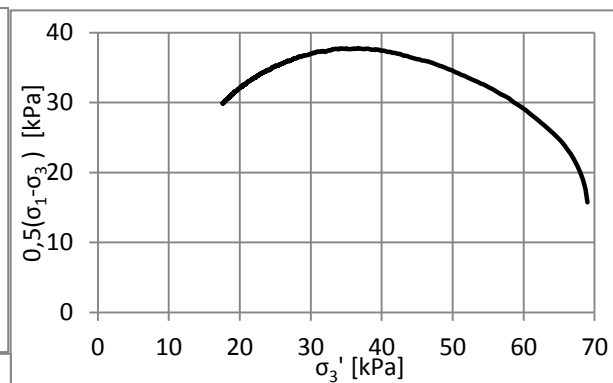
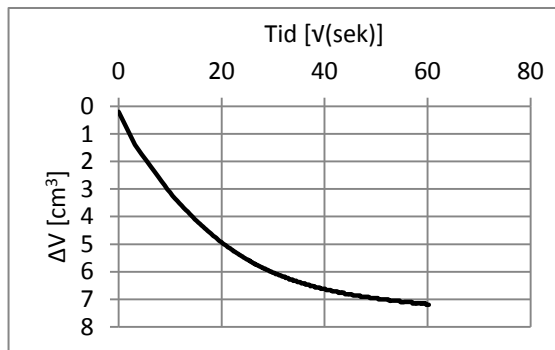
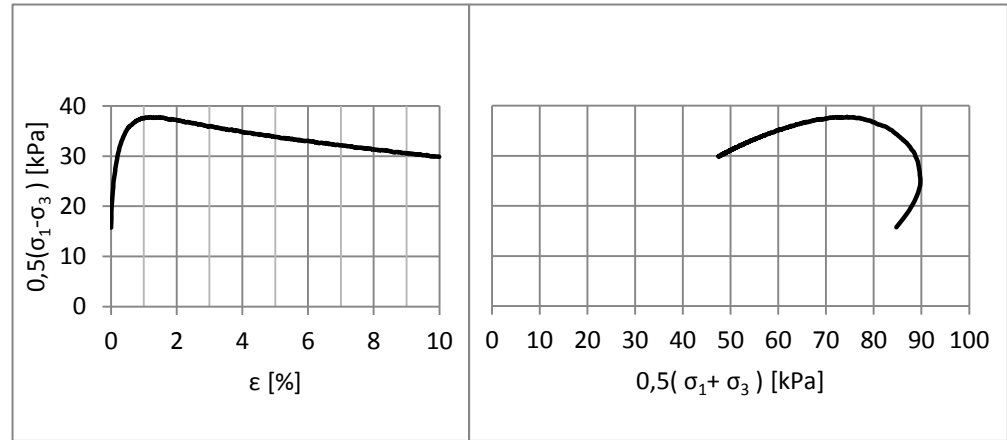
**Hull nr. 1101, CAU1020**

Åpning av prøven:	21.01.2013	Dybde [m]:	10,20
Forsøksdato:	30.01.2013	Prøvetakingsdato:	26.11.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$	= 95,2 kPa	$K_0'$	= 0,7 -
w	= 34,4 %	D	= -
$\gamma$	= 18,91 kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	= 0,51 -
$\Delta V$	= 5,736 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	= 26,9 o
$\varepsilon_v$	= 2,5 %	a	= 15 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,054	$s_u$	= 39,7 kPa
$\varepsilon_f$	= 1,3 %	$E_0$	= MPa



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	masteroppgave			

Hull nr. 1101, CAU1045			
Åpning av prøven:	21.01.2013	Dybde [m]:	10,45
Forsøksdato:	31.01.2013	Prøvetakingsdato:	26.11.2012
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54 mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$	= 98,6 kPa	$K_0'$	= 0,7 -
w	= 35,1 %	D	= -
$\gamma$	= 18,57 kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	= 0,5 -
$\Delta V$	= 7,20 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	= 26,4 °
$\epsilon_v$	= 3,14 %	a	= 15 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,07	$s_u$	= 37,8 kPa
$\epsilon_f$	= 1,1 %	$E_0$	= MPa



Esp, Byneset	Hull 1101	Prøvetaker:	54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:	Jeremy Raymond King,
Koordinater:	ca: 7030140,3	Utført våren 2013, i forbindelse med		ved NTNU	
(UTM)	0557004,3	masteroppgave			



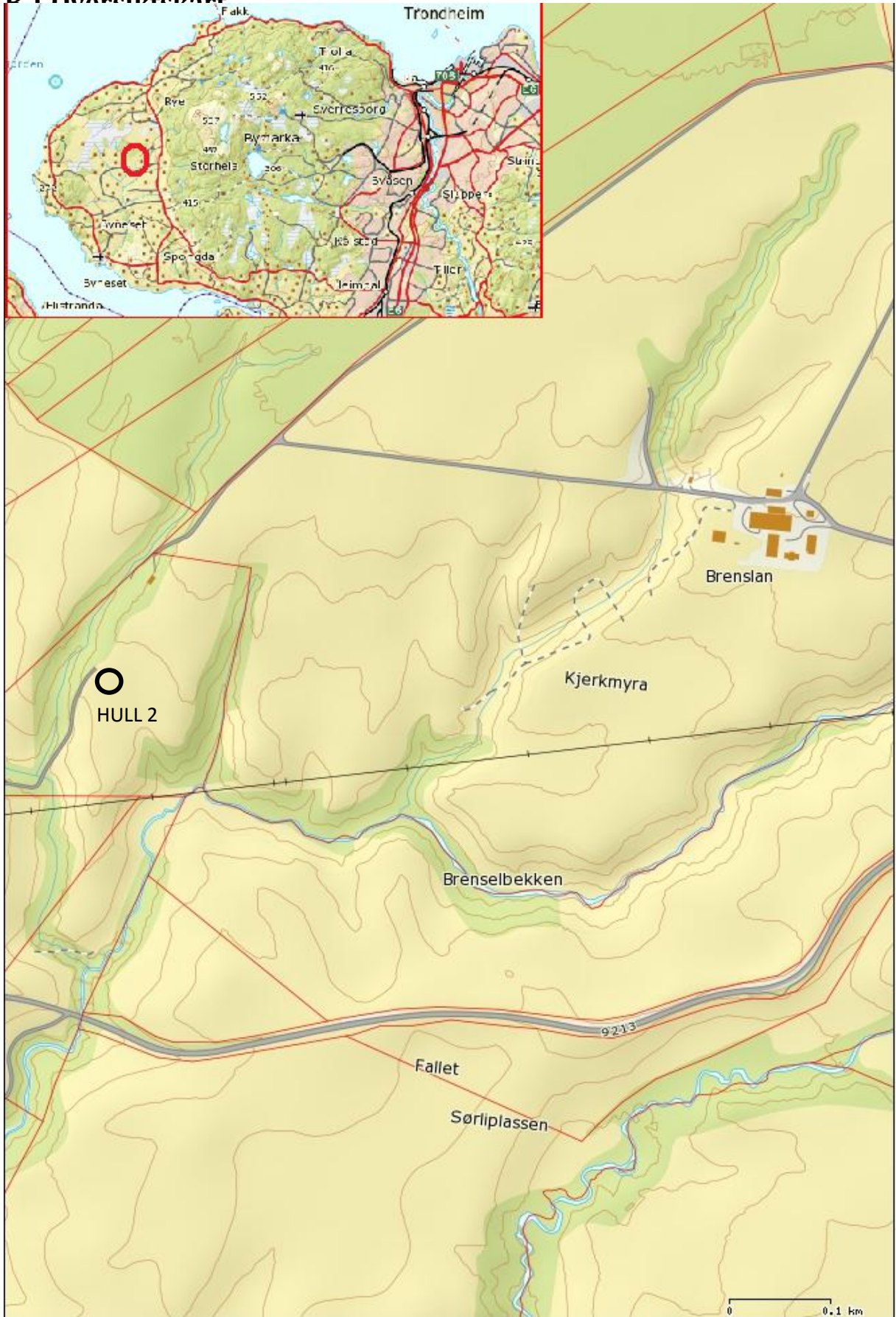


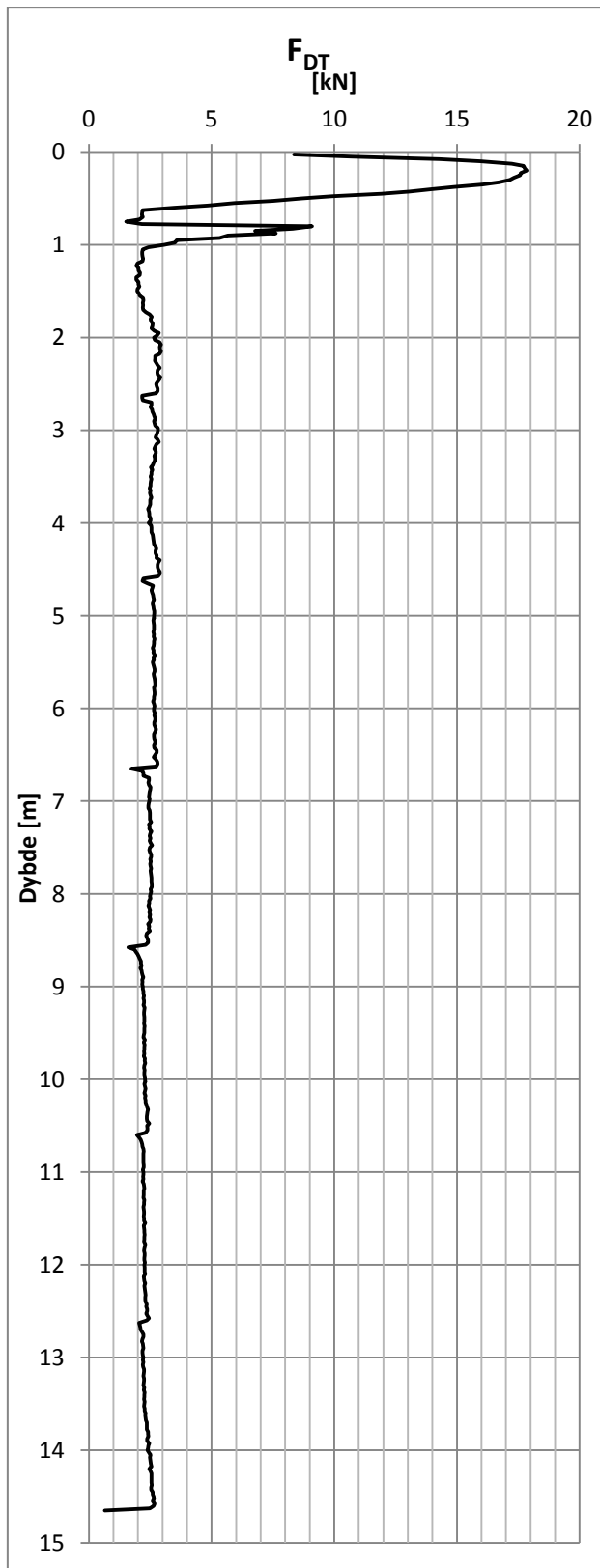
## **Vedlegg B**

**Felt- og laboratorieundersøkelser fra borpunkt NTNU 2**

**Esp, Byneset,**

**B 1 Oversiktkart**

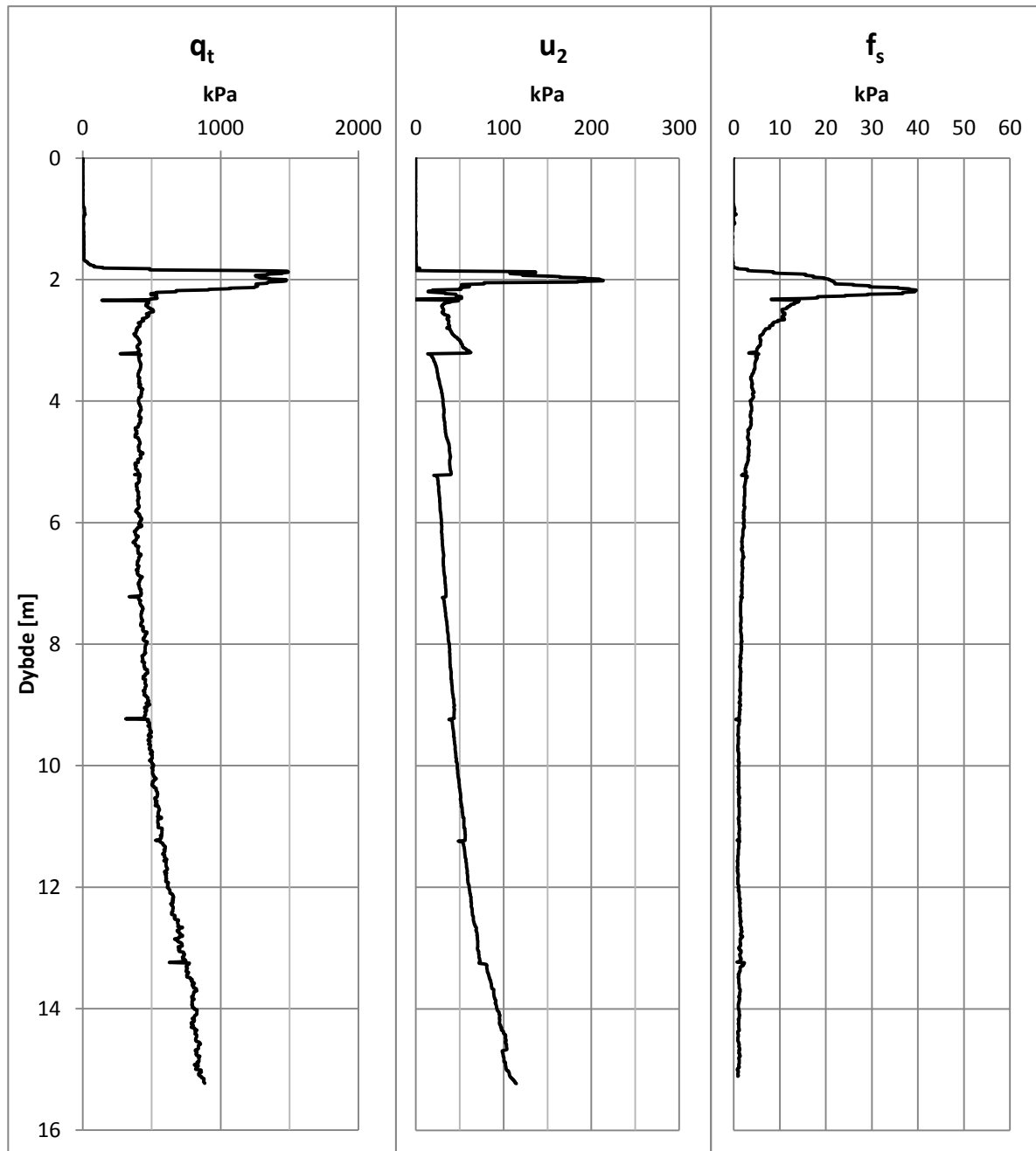


**B.2 Dreietrykksondering, utført 05.04.2013**

Esp, Byneset Hull NTNU 2  
Koordinater: 7029902,  
556787 (UTM)

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
Utført våren 2013, i forbindelse  
med masteroppgave

Forsøk utført av:  
Jeremy Raymond King,  
ved NTNU

**B.3 CPTU utført 05.04 2013**

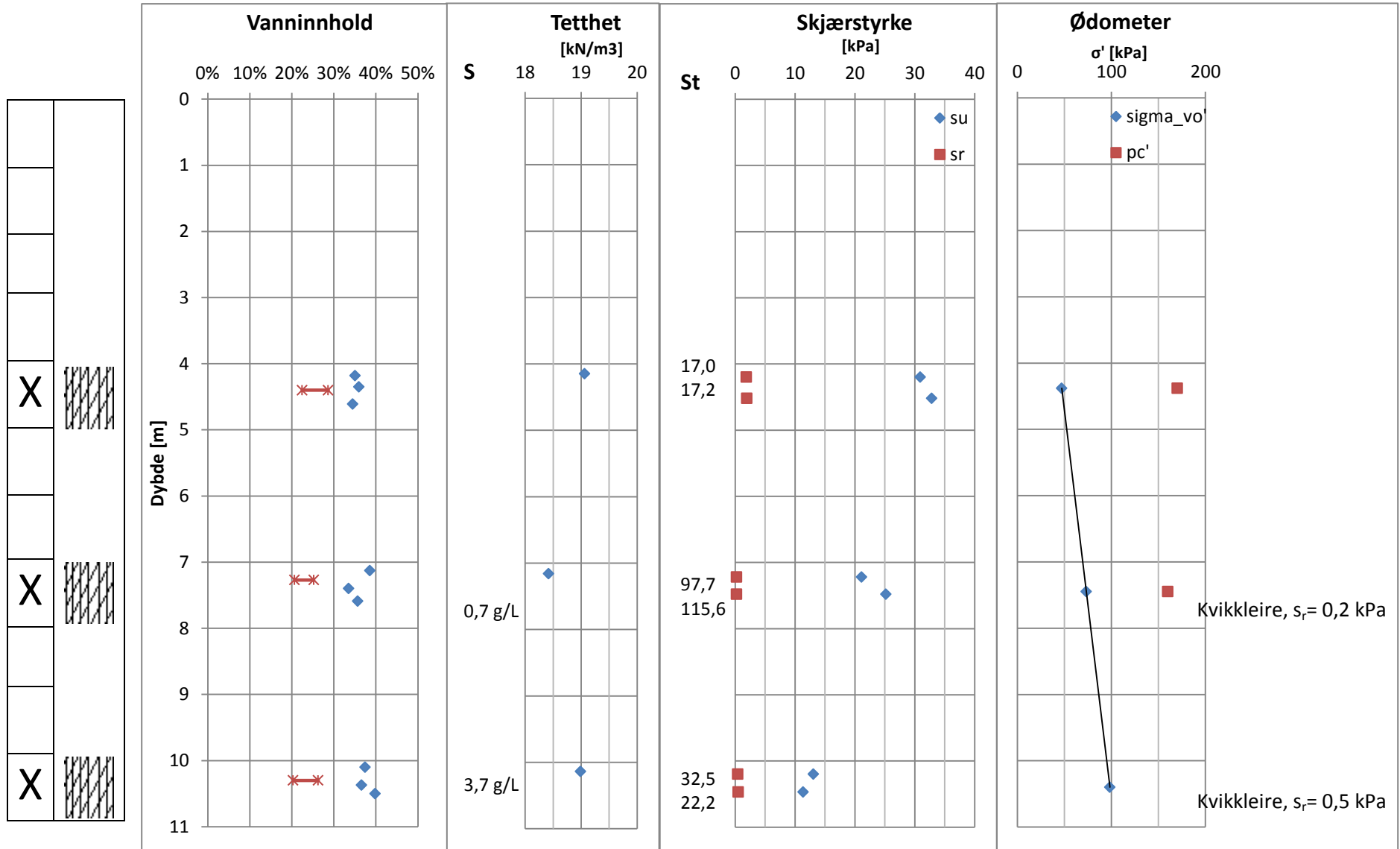
Esp, Byneset Hull NTNU 2  
Koordinater: 7029902,  
556787 (UTM)

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
Utført våren 2013, i forbindelse  
med masteroppgave

Forsøk utført av:  
Jeremy Raymond King,  
ved NTNU

## B.4 Resultater fra laboratorieundersøkelser

Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902,	Utført våren 2013, i forbindelse	Jeremy Raymond King,
	556787 (UTM)	med masteroppgave	ved NTNU



Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU

Rutineundersøkelser										
Borested		ESP			Gruppe		Jeremy Raymond King			
Hullnr		2			Dato prøvataking		09.04.13			
Dybde		4,0-4,8 m			Dato prøveåpning		10.04.13			
Grunnvannstand		1 m			Korndesitet fra pyknometermåling					
Lengde av prøve, L		81,6 cm			Masse pyknometer+vann		148,35 g			
Volum av prøve, 23.2*L		1893,12 cm <sup>3</sup>			Masse pykn.+prøve+vann		162,44 g			
Masse av sylinder m/prøve		5188,5 g			Total masse tørr		232,92 g			
Masse av tom sylinder		1755,4 g			Masse skål		210,53 g			
Masse av prøve		3433,1 g			Masse tørr		22,39 g			
Midlere densitet		1,81 g/cm <sup>3</sup>			Korndesitet		2,70 g/cm <sup>3</sup>			
Tyngdetetthet		17,79 kN/m <sup>3</sup>								
Oppdeling av prøve				Generell klassifisering				Rutineparametere		
0	12	Mineralogi		Homogen siltig leire.				Pl.indeks		6,24 %
12	17	Densitet liten ring, $\rho$		Ikke 81,6 cm lang				Flyteindeks		204 %
17	19	Vanninnhold, $w_1$		Strekt i toppen				Porøsitet		45,9 %
19	24	Konus, $\nabla_1$		Stort sår i prøven i bunn				Poretall		0,85
24	35	Treaks						Metningsgrad		103,2 %
35	36	Vanninnhold, $w_2$						Saltinnhold		0,6 g/l
36	40	Ødometer		Konusforsøk				Densitet liten prøve		
40	44	$w_L - w_p$ , Kornfordeling		Prøve nr.	Su kPa	Sr kPa	St		Ring	Skål
44	50	Rest		nr.	kPa	kPa		Ring/skålnr.	II	113
50	55	Konus, $\nabla_2$		1	30,90	1,85	17,02	Tot masse våt	g	97,92
55	60	Saltinnhold, ps		2	32,83	1,95	17,15	Tot masse tørr	g	72,79
60	62	Vanninnhold, $w_3$						Masse ring/skål	g	31,08
62	80	Mineralogi						Masse våt prøve	g	66,84
Vanninnhold		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	wl	wp		Masse tørr prøve	g	50,22
Skål nr.		238	208	124	219	67		Volum	cm <sup>3</sup>	34,4
Total masse våt	g	103,75	84,8	91,43	75,52	41,4		Densitet $\rho$	g/cm <sup>3</sup>	1,94
Total masse tørr	g	84,09	69,16	74,15	64,01	37,96				
Masse vann	g	19,66	15,64	17,28	11,51	3,44				
Masse skål	g	28,01	25,71	24,07	23,88	22,63				
Masse tørr prøve	g	56,08	43,45	50,08	40,13	15,33				
Vanninnhold	%	35,1 %	36,0 %	34,5 %	28,7 %	22,4 %				

Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU

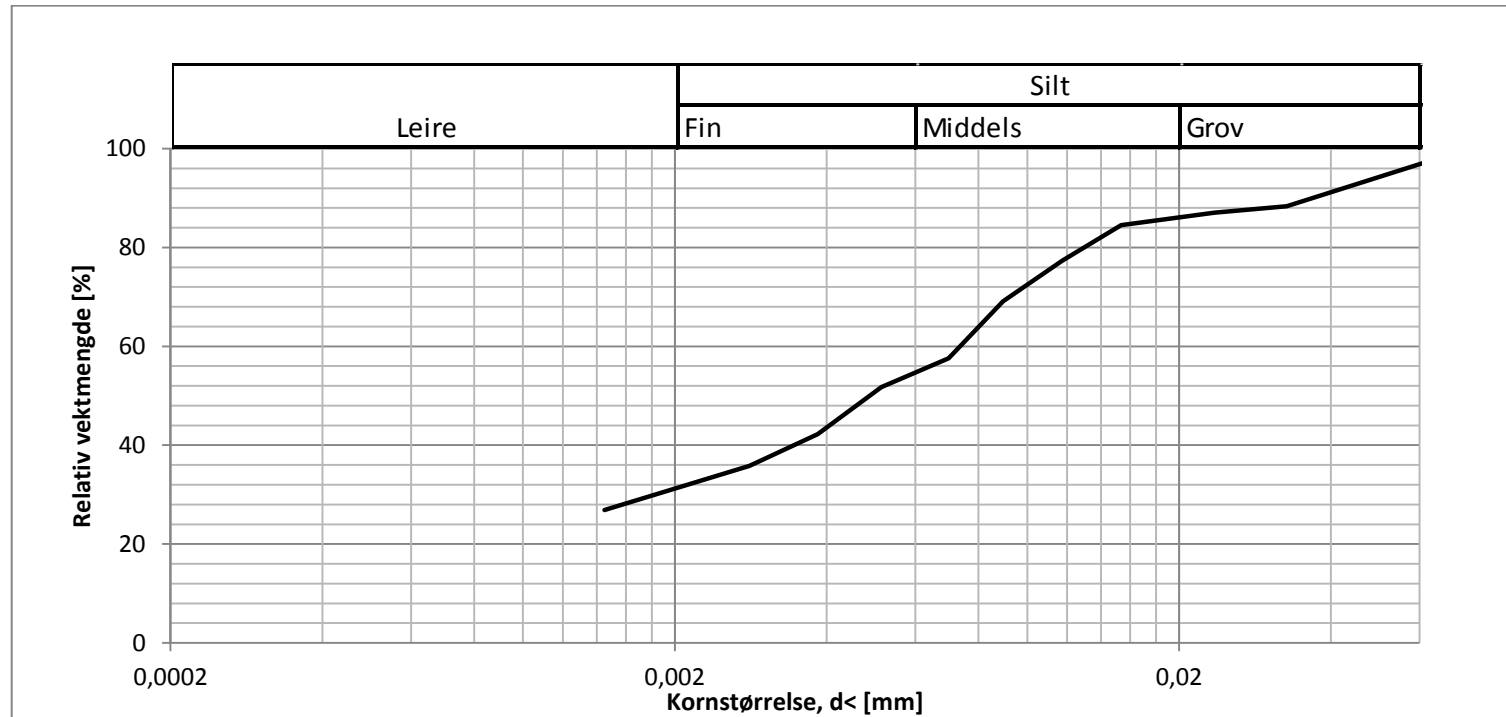


## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 15.04.2013  
 Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 2 - 54 mm stålsylinder  
 Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0 g

Dybde: 4,40 m  
 $\rho_s$ : 2,70 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	31	Leire, siltig
Silt	69	
$d > 75 \mu\text{m}$	-	

Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU

Rutineundersøkelser											
Borestad		ESP			Gruppe			Jeremy Raymond King			
Hullnr		2			Dato prøvotaking			09.04.13			
Dybde		7,0-7,8 m			Dato prøveåpning			11.04.13			
Grunnvannstand		1 m			Korndesitet fra pyknometermåling						
Lengde av prøve, L		78,9 cm			Masse pyknometer+vann			148,35 g			
Volum av prøve, 23.2*L		1830,48 cm <sup>3</sup>			Masse pykn.+prøve+vann			166,2 g			
Masse av sylinder m/prøve		5118,7 g			Total masse tørr			239,65 g			
Masse av tom sylinder		1663,1 g			Masse skål			211,42 g			
Masse av prøve		3455,6 g			Masse tørr			28,23 g			
Midlere densitet		1,89 g/cm <sup>3</sup>			Korndesitet			2,72 g/cm <sup>3</sup>			
Tyngdetetthet		18,52 kN/m <sup>3</sup>									
Oppdeling av prøve				Generell klassifisering				Rutineparametere			
0	12	Mineralogi		Homogen siltig leire.				Pl.indeks	4,58 %		
12	13	Densitet liten ring, $\rho$						Flyteindeks	334 %		
13	18	Vanninnhold, $w_1$		Forstyrret i topp og bunn				Porøsitet	50,1 %		
18	23	Konus, $V_1$						Poretall	1,01		
23	28	$w_L - w_p$		Sår i prøven i bunn etter utskyvning				Metningsgrad	102,0 %		
28	39	Treaks						Saltinnhold	0,7 g/l		
39	41	Vanninnhold, $w_2$		Konusforsøk				Densitet liten prøve			
41	46	Ødometer		Prøve	Su	Sr	St		Ring	Skål	
46	50	Konus, $V_2$		nr.	kPa	kPa		Ring/skålnr.	II	236	
50	55	Saltinnhold, $ps$		1	21,10	0,22	97,70	Tot masse våt	g	95,67	
55	58	$ps$ , kornfordeling		2	25,17	0,22	115,61	Tot masse tørr	g	71,26	
58	60	Vanninnhold, $w_3$						Masse ring/skål	g	31,08	24,61
60	80	Mineralogi						Masse våt prøve	g	64,59	64,59
Vanninnhold		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	wl	wp	Masse tørr prøve				
Skål nr.		235	39	61	63	245	Volum	cm <sup>3</sup>	34,4	34,4	
Total masse våt	g	97,51	81,31	110,84	75,65	59,26	Densitet $\rho$	g/cm <sup>3</sup>	1,88		
Total masse tørr	g	77,52	66,65	88,13	64,86	53,79					
Masse vann	g	19,99	14,66	22,71	10,79	5,47					
Masse skål	g	25,7	22,91	24,48	22,1	27,31					
Masse tørr prøve	g	51,82	43,74	63,65	42,76	26,48					
Vanninnhold	%	38,6 %	33,5 %	35,7 %	25,2 %	20,7 %					

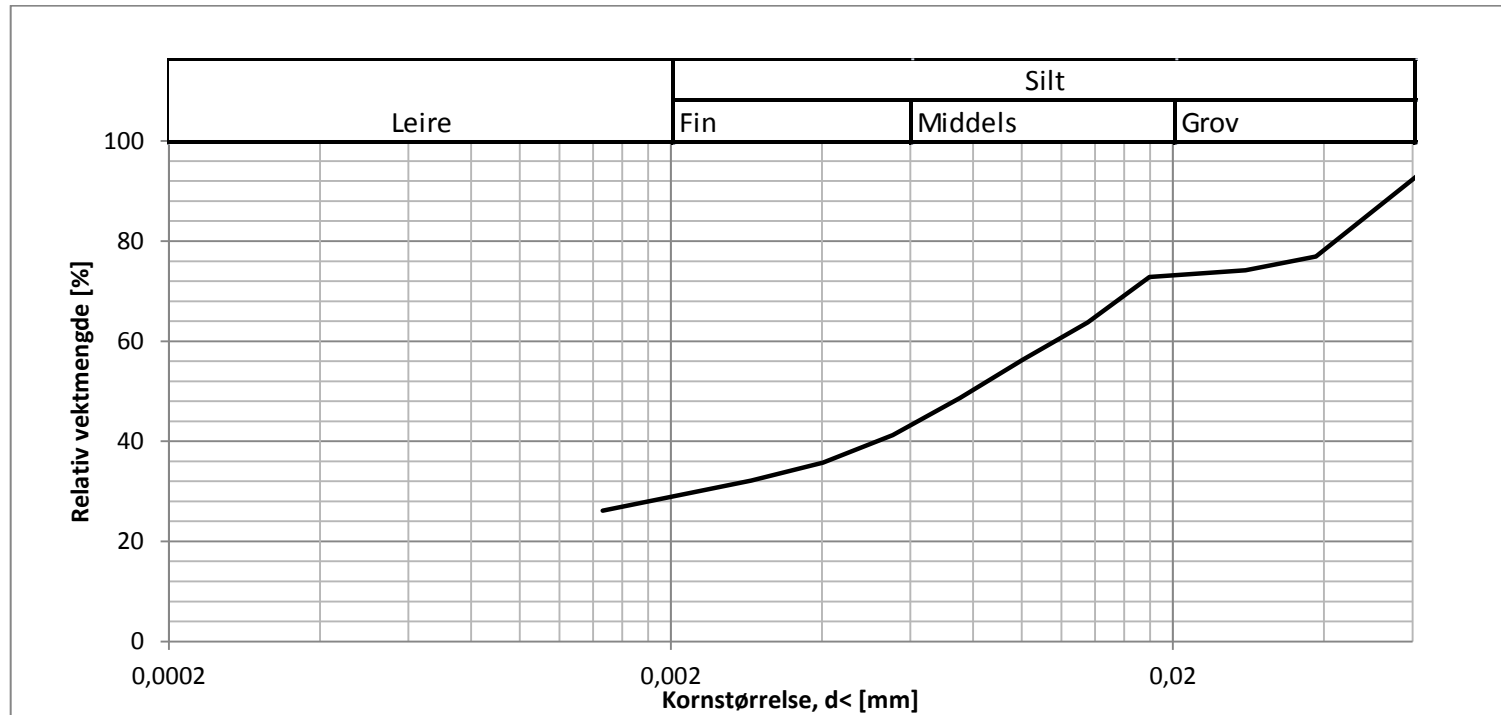
Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 15.04.2013  
Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 2 - 54 mm stålsylinder  
Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0 g

Dybde: 7,56 m  
 $\rho_s$ : 2,72 gr/cm<sup>3</sup>



Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	29	Leire, siltig
Silt	71	
$d > 75 \mu\text{m}$	-	

Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU

Rutineundersøkelser									
Borested		ESP		Gruppe		Jeremy Raymond King			
Hullnr		2		Dato prøvataking		09.04.13			
Dybde		10,0-10,8 m		Dato prøveåpning		12.04.13			
Grunnvannstand		1 m		<b>Korndesitet fra pyknometermåling</b>					
Lengde av prøve, L		82,7 cm		Masse pyknometer+vann		148,35 g			
Volum av prøve, 23.2*L		1918,64 cm <sup>3</sup>		Masse pykn.+prøve+vann		162,47 g			
Masse av sylinder m/prøve		4883,4 g		Total masse tørr		232,86 g			
Masse av tom sylinder		1528,7 g		Masse skål		210,53 g			
Masse av prøve		3354,7 g		Masse tørr		22,33 g			
Midlere densitet		1,75 g/cm <sup>3</sup>		Korndesitet		2,72 g/cm <sup>3</sup>			
Tyngdetetthet		17,15 kN/m <sup>3</sup>							
<b>Oppdeling av prøve</b>			<b>Generell Klassifisering</b>			<b>Rutineparametere</b>			
0	10	Mineralogi	Homogen siltig leire.			Pl.indeks		5,93 %	%
10	12	Vanninnhold, w <sub>1</sub>	Forstyrret i begge ender, og sår langs hele prøven etter utskyvning.			Flyteindeks		297 %	%
12	17	Densitet liten ring, ρ				Porøsitet		47,0 %	
17	22	Konus, V <sub>1</sub>				Poretall		0,89	
22	27	Saltinnhold, ps				Metningsgrad		103,2 %	
27	31	w <sub>L</sub> - w <sub>p</sub>				Saltinnhold		3,7 g/l	
31	36	ps, kornfordeling	<b>Konusrørsøk</b>			<b>Densitet liten prøve</b>			
36	38	Vanninnhold, w <sub>2</sub>	Prøve nr.	Su kPa	Sr kPa	St		Ring II	Skål 238
38	44	Ødometer	1	13,07	0,41	32,54	Ring/skålnr.		
44	49	Konus, V <sub>2</sub>	2	11,33	0,52	22,16	Tot masse våt	g	97,67
49	51	Vanninnhold, w <sub>3</sub>					Tot masse tørr	g	77,57
51	80	Mineralogi					Masse ring/skål	g	31,08 28,01
<b>Vanninnhold</b>		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	Masse våt prøve	g	66,59 66,59
Skål nr.		208	124	67	219	113	Masse tørr prøve	g	49,56 49,56
Total masse våt	g	95,84	105,62	90	70,12	50,5	Volum	cm <sup>3</sup>	34,4 34,4
Total masse tørr	g	76,73	83,76	70,8	60,5	45,78	Densitet ρ	g/cm <sup>3</sup>	1,94
Masse vann	g	19,11	21,86	19,2	9,62	4,72			
Masse skål	g	25,71	24,07	22,63	23,88	22,57			
Masse tørr prøve	g	51,02	59,69	48,17	36,62	23,21			
Vanninnhold	%	37,5 %	36,6 %	39,9 %	26,3 %	20,3 %			

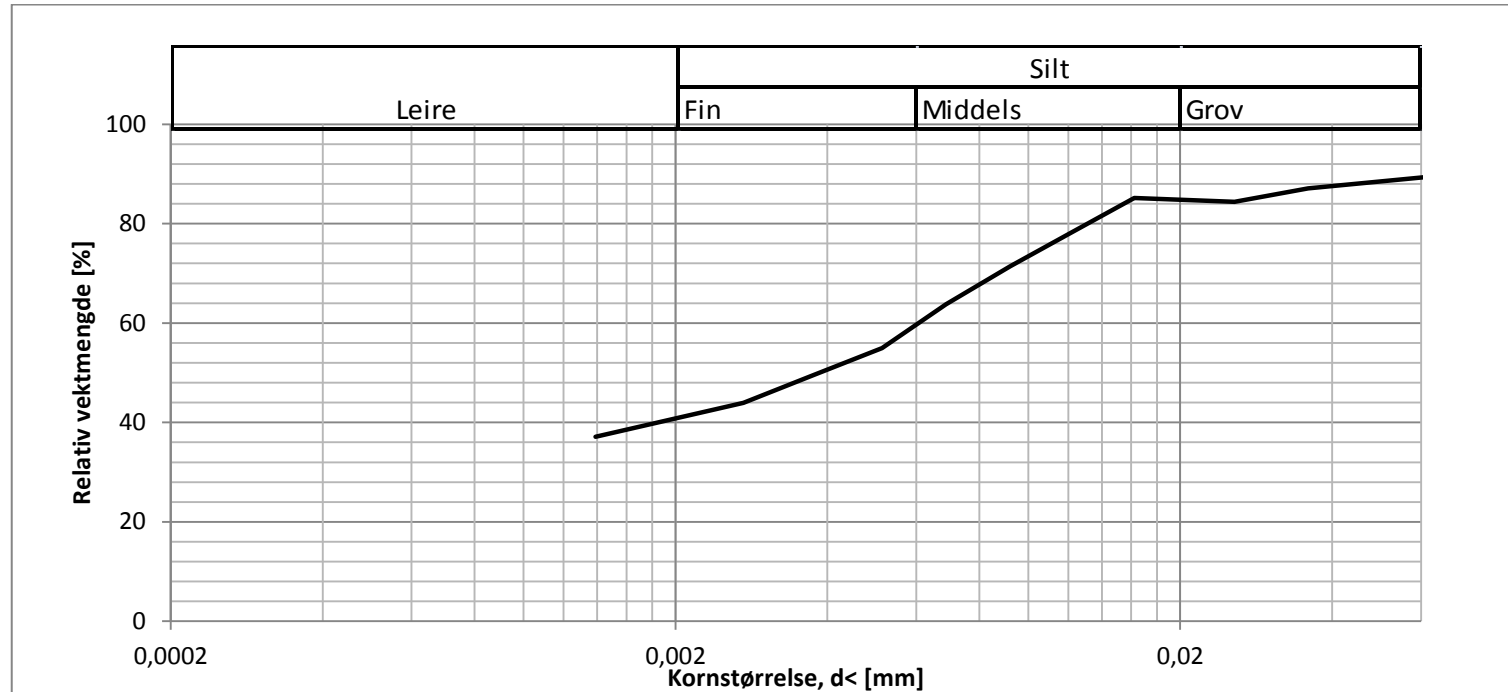
Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU

## HYDROMETER ANALYSE

Dato: 15.04.2013  
 Prøvested: Esp, Byneset

Hullnummer: 2 - 54 mm stålsylinder  
 Vekt med  $d > 75 \mu\text{m}$  = 0 g

Dybde: 10,34 m  
 $\rho_s$ : 2,72 gr/cm<sup>3</sup>



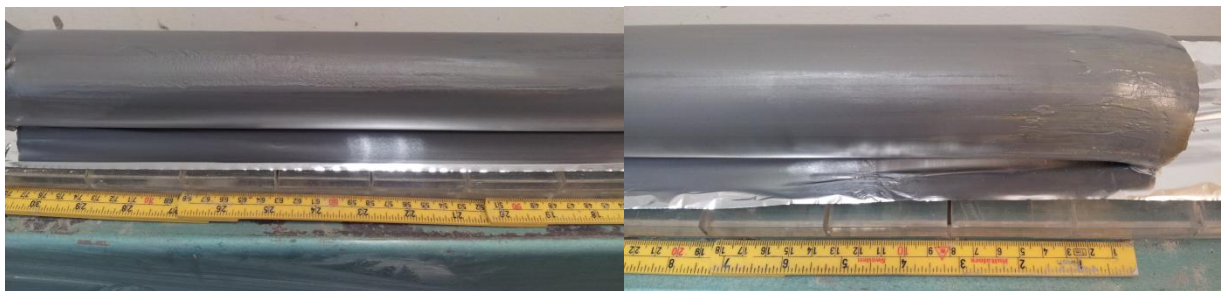
Fraksjon	% - andel	Materialbetegnelse:
Leire	41	Leire, siltig
Silt	59	
$d > 75 \mu\text{m}$	-	

Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU

**Bilder: 4,0-4,8**



**Bilder: 7,0-7,8**



**Bilder: 10,0-10,8**



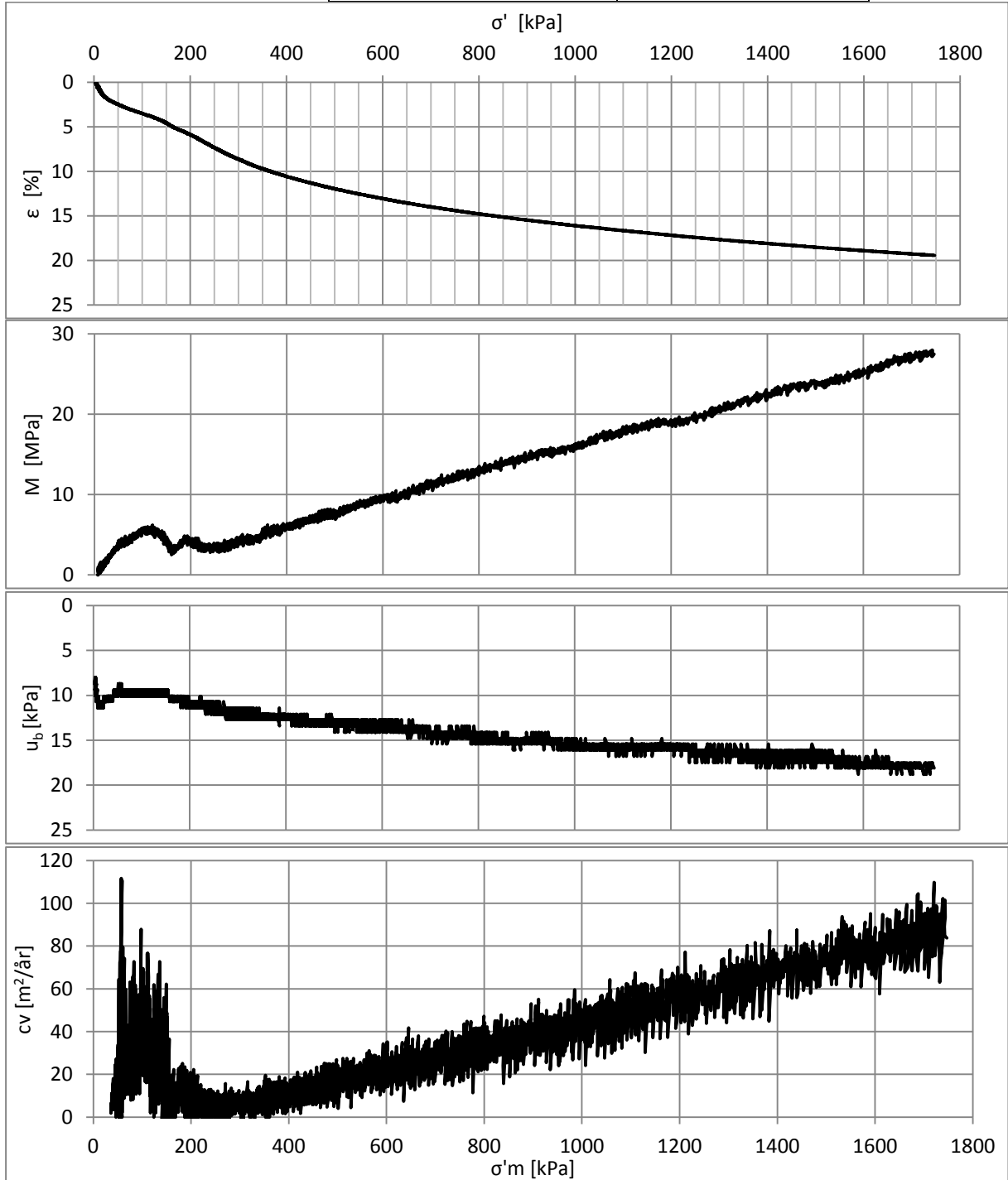
Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902,	Utført våren 2013, i forbindelse	Jeremy Raymond King,
	556787 (UTM)	med masteroppgave	ved NTNU

**CRS\_438**

Dybde: [m] 4,38  
 Prøvetakingsdato: 09.04.2013  
 Forsøksdato: 10.04.2013  
 Tøyningshastighet: 0,005

$\sigma'_{v0}$  = 47,23 kPa  
 $w$  = 38,2 %  
 $\gamma$  = 18,72 kN/m<sup>3</sup>  
 OCR = 3,60  
 $\Delta e/e_0$  = 1,32

$\sigma'_c$  = 170 kPa  
 $M_{OC}$  = 4 MPa  
 $m$  = 16,3  
 $c_v$  = 30 m<sup>2</sup>/år



Esp, Byneset Hull NTNU 2  
 Koordinater: 7029902,  
 556787 (UTM)

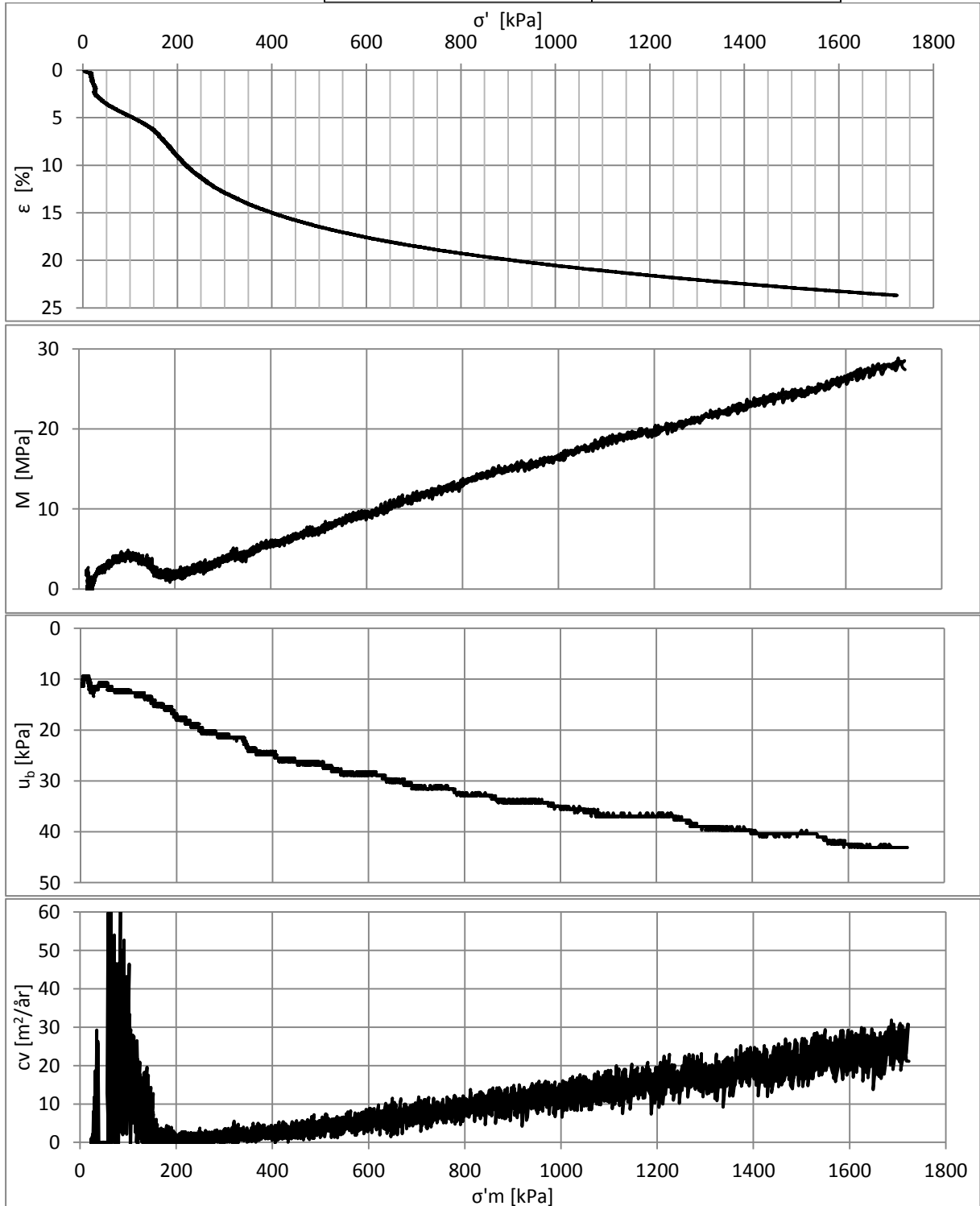
Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført våren 2013, i forbindelse  
 med masteroppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

**CRS\_745**

Dybde: [m] 7,45  
 Prøvetakingsdato: 09.04.2013  
 Forsøksdato: 11.04.2013  
 Tøyningshastighet: 0,005

$\sigma'_{v0}$	=	73,33	kPa	$\sigma'_c$	=	160	kPa
w	=	38,5	%	$M_{OC}$	=	3,5	MPa
$\gamma$	=	18,41	kN/m <sup>3</sup>	m	=	17,4	
OCR	=	2,18		cv	=	10	m <sup>2</sup> /år
$\Delta e/e_0$	=	4,11					



Esp, Byneset Hull NTNU 2  
 Koordinater: 7029902,  
 556787 (UTM)

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført våren 2013, i forbindelse  
 med masteroppgave

Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU

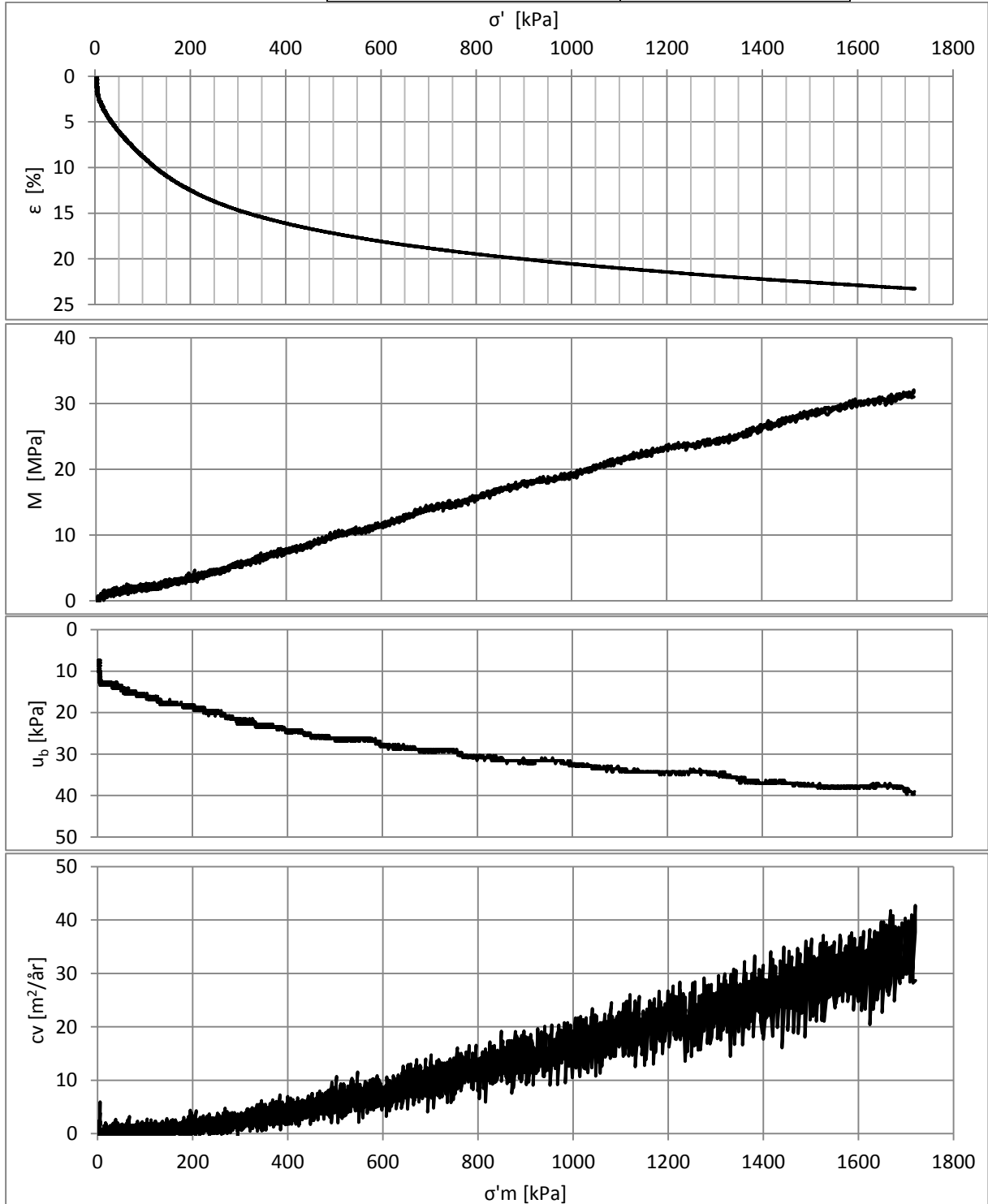


**CRS\_1040**

Dybde: [m] 10,40  
 Prøvetakingsdato: 09.04.2013  
 Forsøksdato: 12.04.2013  
 Tøyningshastighet: 0,005

$\sigma'_{v0}$  = 98,40 kPa  
 $w$  = 36,9 %  
 $\gamma$  = 18,47 kN/m<sup>3</sup>  
 OCR = -  
 $\Delta e/e_0$  = 4,30

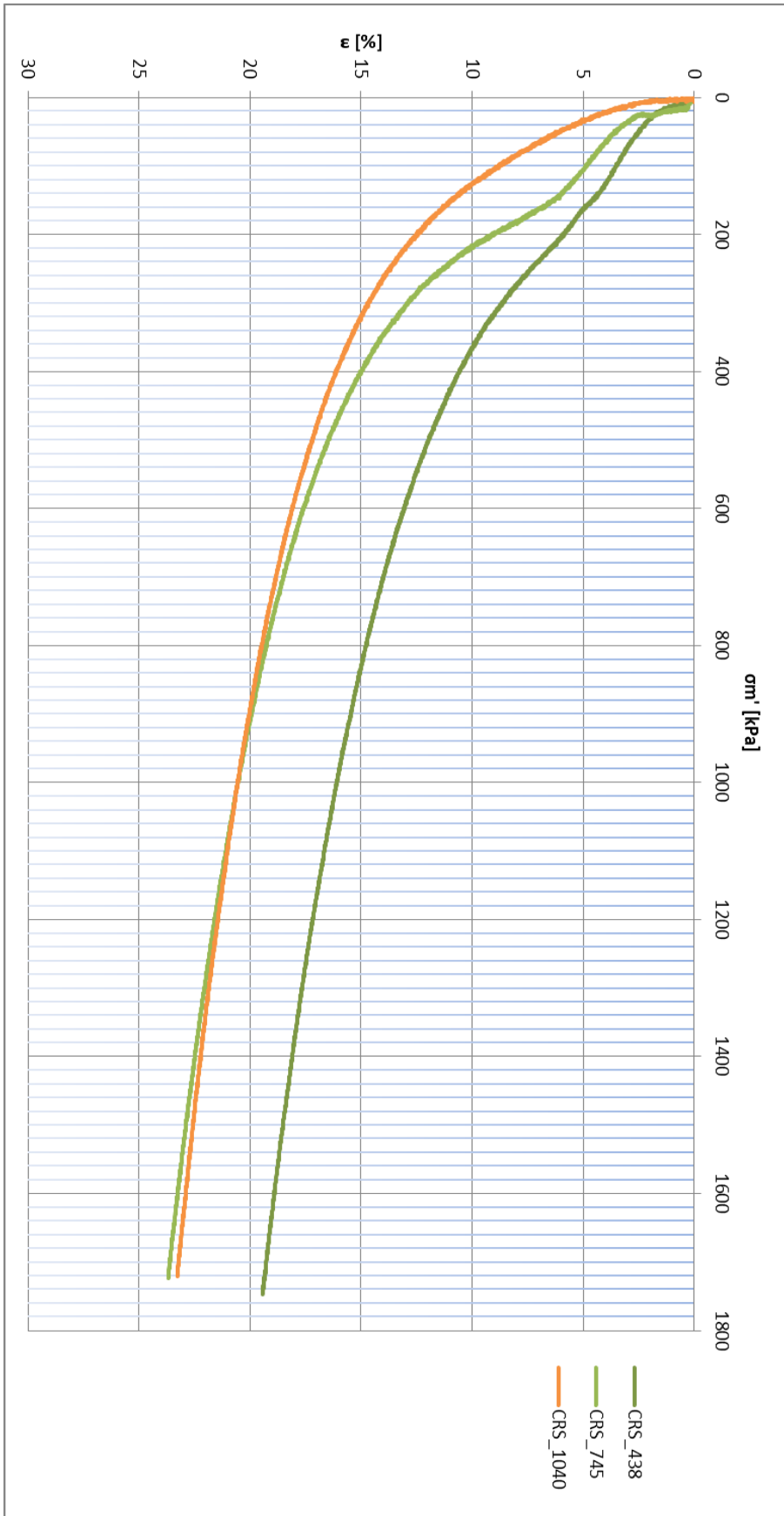
$\sigma'_c$  = - kPa  
 $M_{OC}$  = - MPa  
 $m$  = 18,9



Esp, Byneset Hull NTNU 2  
 Koordinater: 7029902,  
 556787 (UTM)

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført våren 2013, i forbindelse  
 med masteroppgave

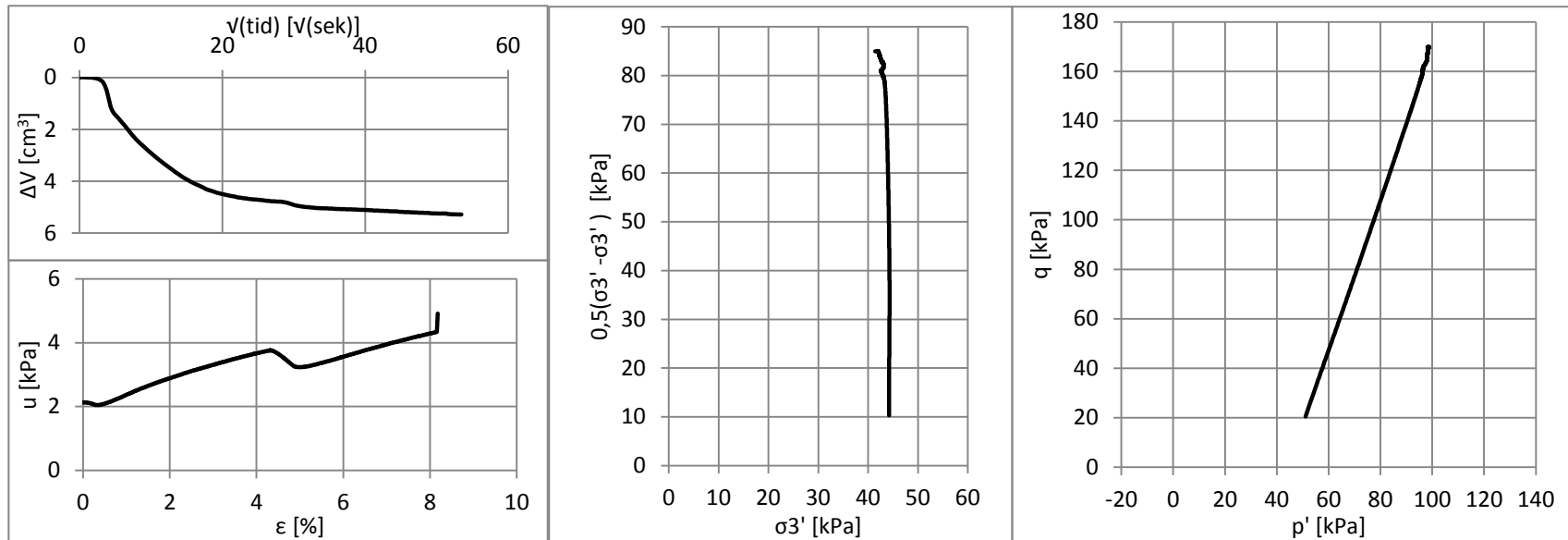
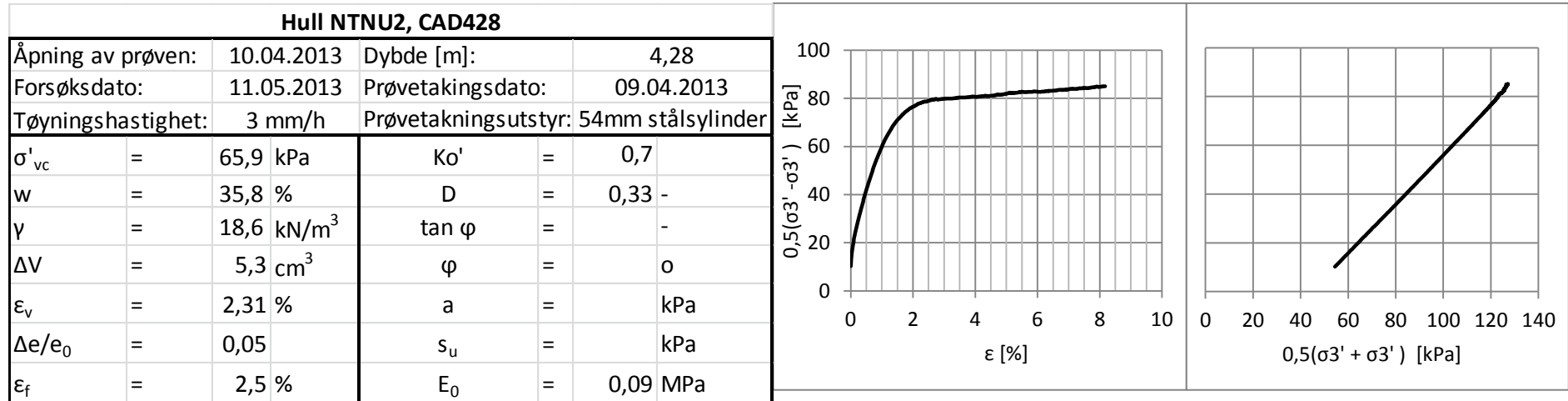
Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU



Esp, Byneset Hull NTNU 2  
 Koordinater: 7029902,  
 556787 (UTM)

Prøvetaker: 54 mm stålsylinder  
 Utført våren 2013, i forbindelse  
 med masteroppgave

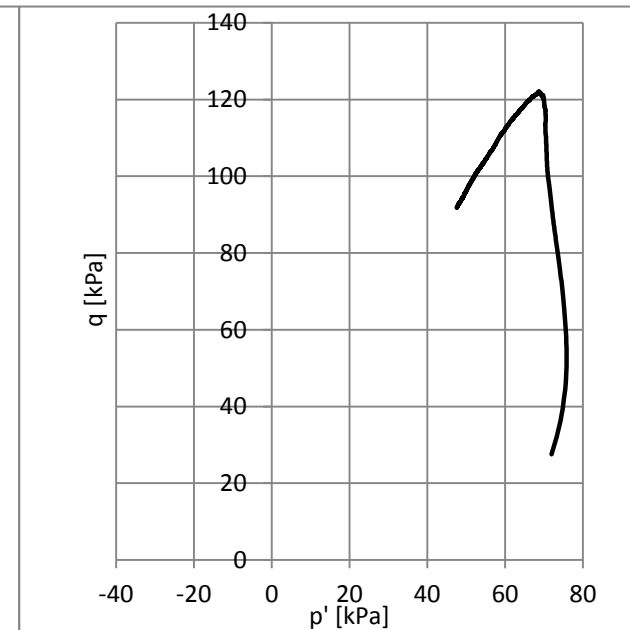
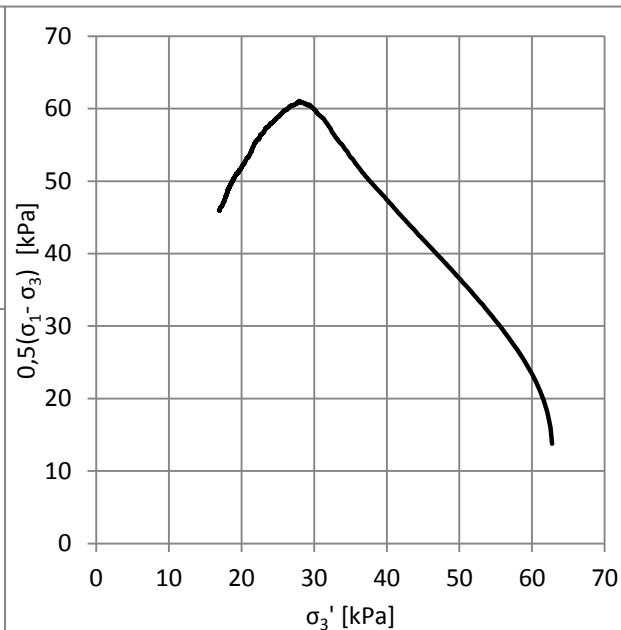
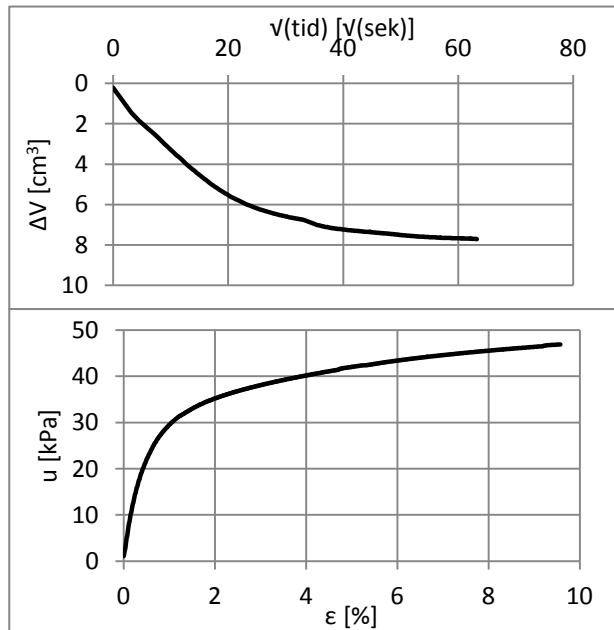
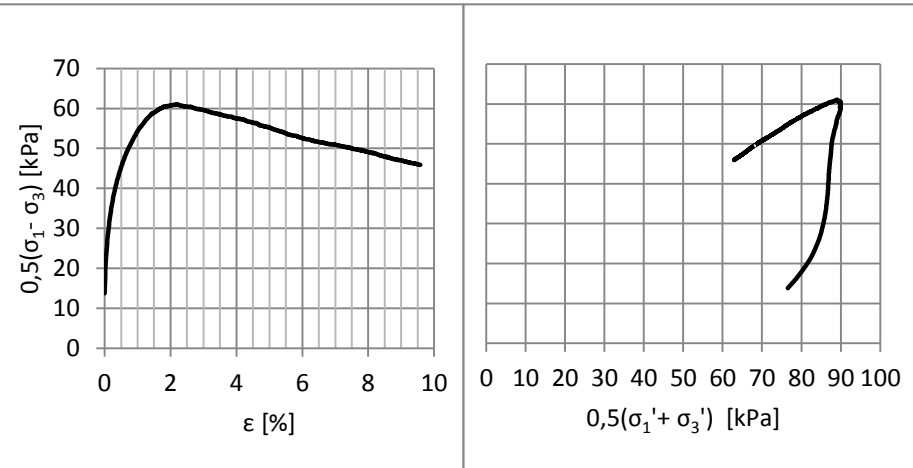
Forsøk utført av:  
 Jeremy Raymond King,  
 ved NTNU



Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU

## Hull NTNU2, CAU734

Åpning av prøven:	11.04.2013	Dybde [m]:	7,34
Forsøksdato:	12.05.2013	Prøvetakingsdato:	09.04.2013
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	54mm stålsylinder
$\sigma'_{vc}$	= 91,8 kPa	$Ko'$	= 0,7
w	= 37,6 %	D	= -0,11 -
$\gamma$	= 18,6 kN/m <sup>3</sup>	$\tan \varphi$	= 0,81 -
$\Delta V$	= 7,7 cm <sup>3</sup>	$\varphi$	= 39,2 o
$\epsilon_v$	= 3,36 %	a	= 5 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,07	$s_u$	= 61,0 kPa
$\epsilon_f$	= 2,0 %	$E_0$	= 229 kPa



Esp, Byneset	Hull NTNU 2	Prøvetaker: 54 mm stålsylinder	Forsøk utført av:
Koordinater:	7029902, 556787 (UTM)	Utført våren 2013, i forbindelse med masteroppgave	Jeremy Raymond King, ved NTNU



## **Vedlegg C**

**Treaksialt skjærkrypforsøk på leire fra Møllenberg, tatt opp med  
NTNU sin Sherbrooke blokkprøvetaker.**

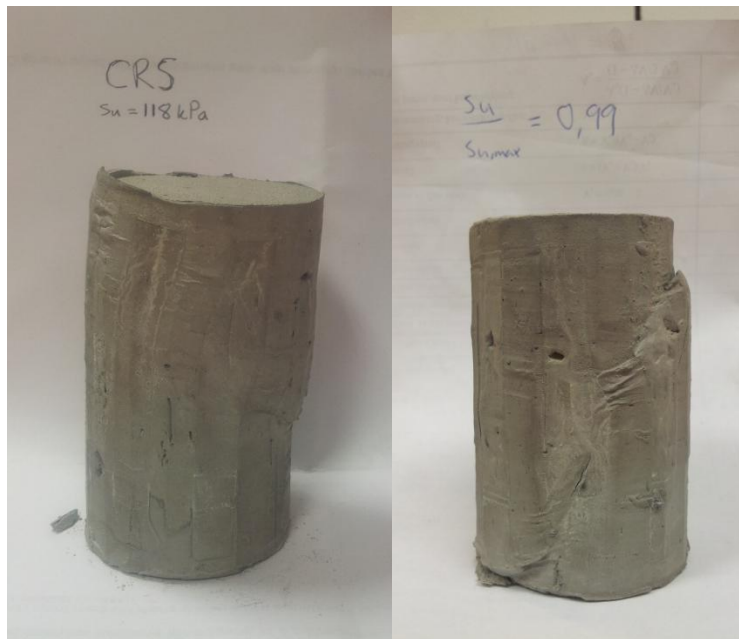
## C.1 Indekstesting

Prøvematerialet ble tatt opp med NTNU sin Sherbrooke blokkprøvetaker 21. august 2011. Prøven har vært lagert i et kjølerom siden.

Rutineundersøkelser										
<b>Borested</b>		Møllenberg	<b>Operatør</b>			Jeremy Raymond King				
Hullnr.			Dato prøvataking			21.08.11				
Dybde		9,0-9,35 m	Dato prøveåpning			22.05.13				
Grunnvannstand		m	Dato forsøk			23.05.2013				
Lengde av prøve, L		35 cm	<b>Korndesitet fra pyknometermåling</b>							
Ca. volum av prøve, A*L		14542 cm <sup>3</sup>	Masse pyknometer+vann			148,35 g				
Masse av sylinder m/prøve		g	Masse pykn.+prøve+vann			158,07 g				
Masse av tom sylinder		g	Total masse tørr			317,11 g				
Masse av prøve		0 g	Masse skål			301,88 g				
Midlere densitet		0,00 g/cm <sup>3</sup>	Masse tørr			15,23 g				
Tyngdetetthet		0,00 kN/m <sup>3</sup>	Korndesitet			2,76 g/cm <sup>3</sup>				
<b>Oppdeling av prøve</b>			<b>Generell klassifisering</b>				<b>Rutineparametere</b>			
0	7	Uttørket lokk, ikke brukt	Siltig leire med mange gruskorn og noe sand. Relativt homogen. Et ca. 1,5 cm tykt lag er tørket ut rundt hele prøven.				Pl.indeks		7,3 %	%
7	11	Densitet liten ring, vanninnhold w <sub>2</sub> og w <sub>1</sub> , konus, w <sub>L</sub> -w <sub>P</sub> , saltinnhold, p <sub>s</sub>					Flyteindeks		248 %	%
							Porøsitet		51,6 %	
							Poretall		1,06	
							Metningsgrad		100,3 %	
			Saltinnhold		1,5 g/l					
11	22	4 treaks forsøk; en CAU-CRS tre CAU-CP	<b>Konusforsøk</b>			<b>Densitet liten prøve</b>				
			Prøve nr.	Su kPa	Sr kPa	St	Ring/skålnr.	Ring	Skål	
			1	61,45	1,25	51,90		II	229	
22	35	Ikke brukt. Pakket inn igjen og satt i kjølerom.				Tot masse våt	g	95,28		
						Tot masse tørr	g	72,08		
						Masse ring/skål	g	31,08	26,02	
<b>Vanninnhold</b>		Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	Masse våt prøve	g	64,2	64,2
Skål nr.		64	232		67	248	Masse tørr prøve	g	46,06	46,06
Total masse våt	g	60,65	48,92		46,76	56,82	Volum	cm <sup>3</sup>	34,4	34,4
Total masse tørr	g	50,6	42,25		42,7	50,48	Densitet ρ	g/cm <sup>3</sup>	1,87	
Masse vann	g	10,05	6,67		4,06	6,34				
Masse skål	g	23,74	25,18		22,63	27,42				
Masse tørr prøve	g	26,86	17,07		20,07	23,06				
Vanninnhold	%	37,4 %	39,1 %		20,2 %	27,5 %				



Venstre: Topplukk med omrørte soner. Høyre: Trimming av CP-mob-0,85.  
Under: Alle treaksialforsøkene.



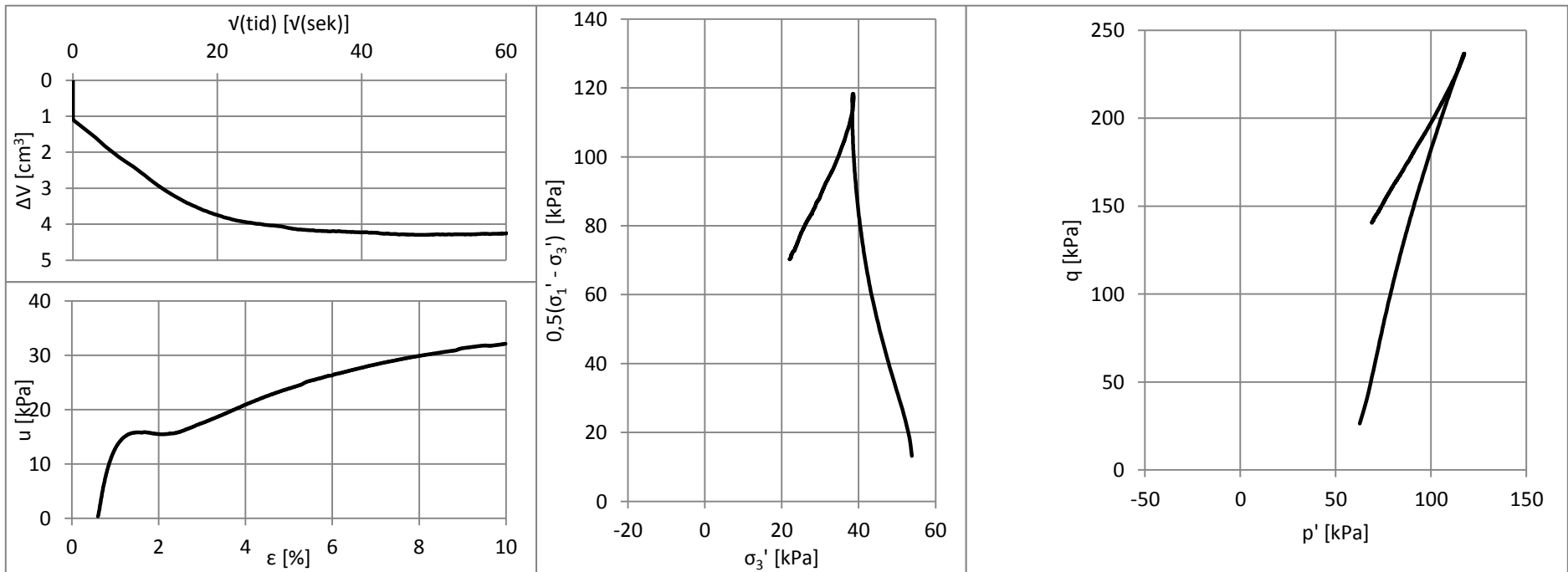
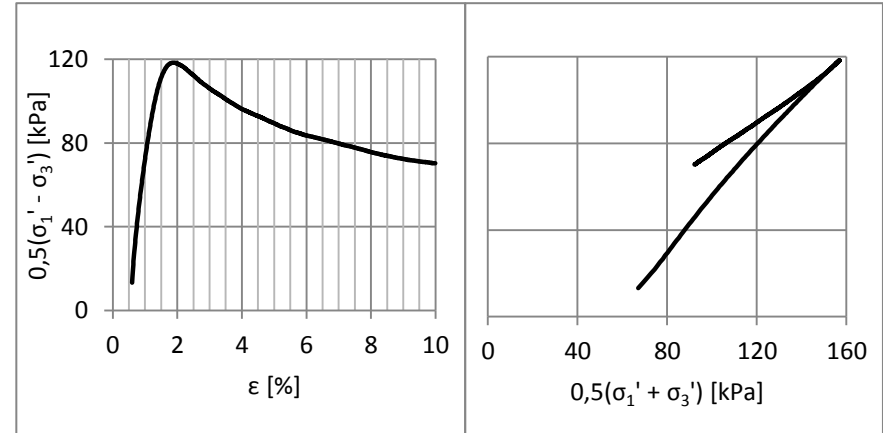


## **C.2 Traksialforsøk**

**Resultater fra udrenerte skjærtrykkforsøk:**

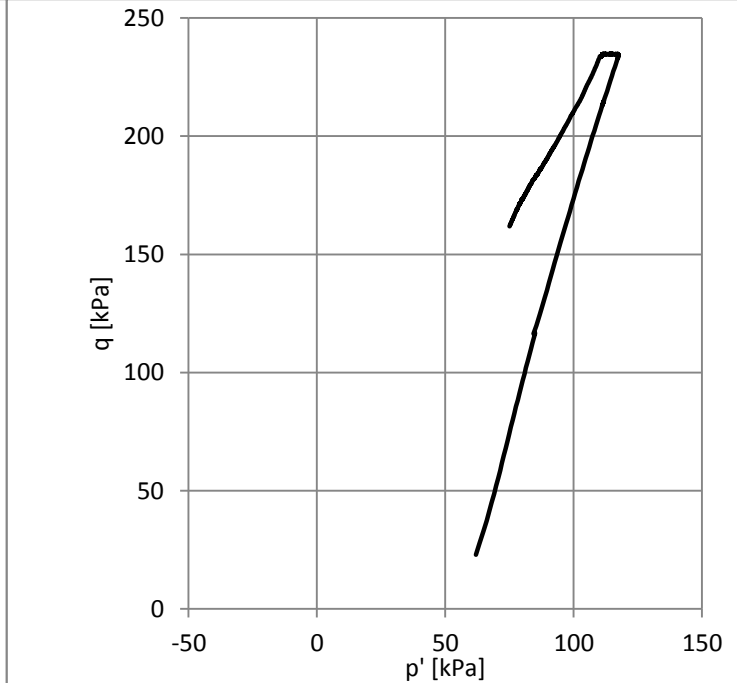
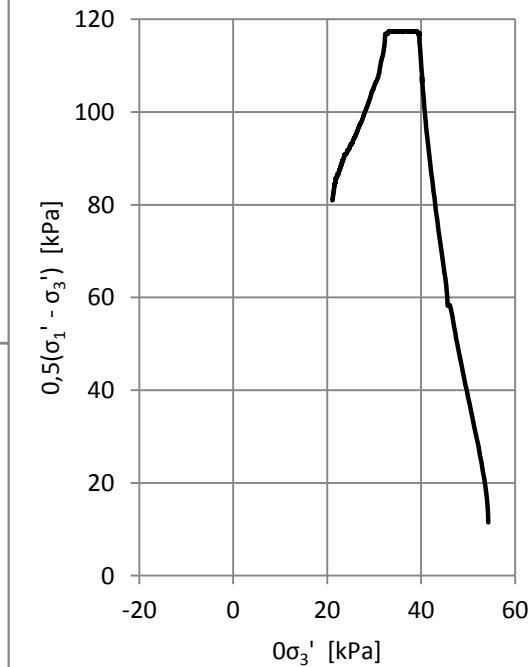
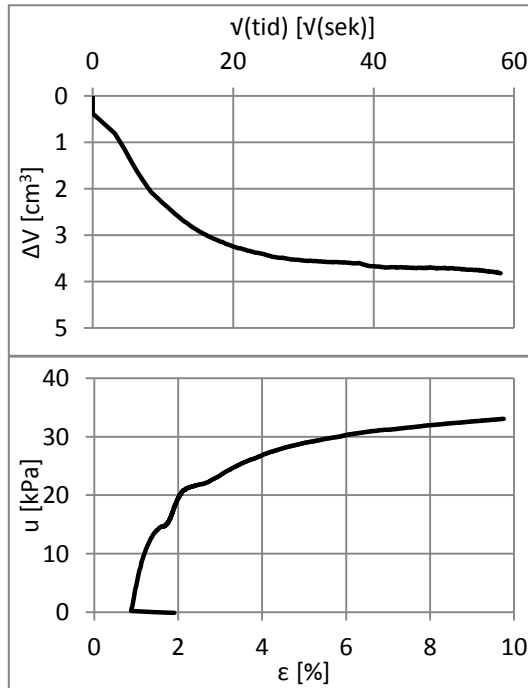
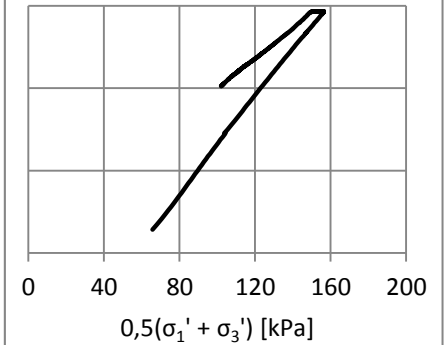
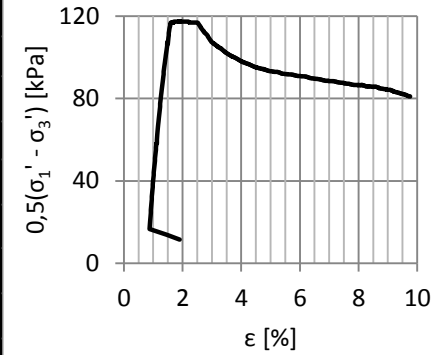
- med konstant tøyningshastighet
- med konstant skjærspenning

Blokkprøve fra Møllenberg CAU-917-CRS			
Åpning av prøven:	22.05.2013	Dybde [m]:	9,17
Forsøksdato:	23.05.2013	Prøvetakingsdato:	21.08.2011
Tøyningshastighet:	3 mm/h	Prøvetakingsutstyr:	Sherbrooke blokkaker
$\sigma'_{vc}$	= 78 kPa	$Ko'$	= 0,7 -
w	= 39,6 %	D	= 0,254 -
$\gamma$	= 18,63 kN/m <sup>3</sup>	tan $\phi$	= 1,0 -
$\Delta V$	= 4,30 cm <sup>3</sup>	$\phi$	= 44,6 o
$\epsilon_v$	= 1,88 %	a	= 10,0 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,037	$s_u$	= 118,3 kPa
$\epsilon_f$	= 1,20 %	$E_0$	= 209 MPa



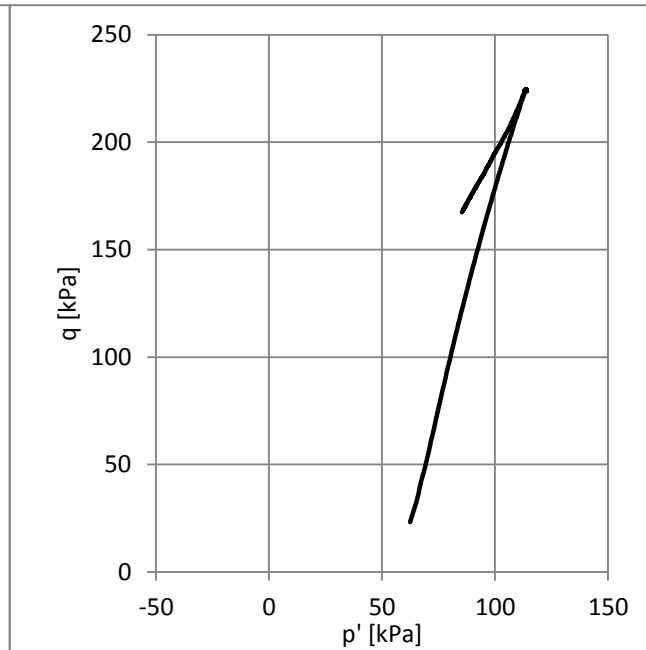
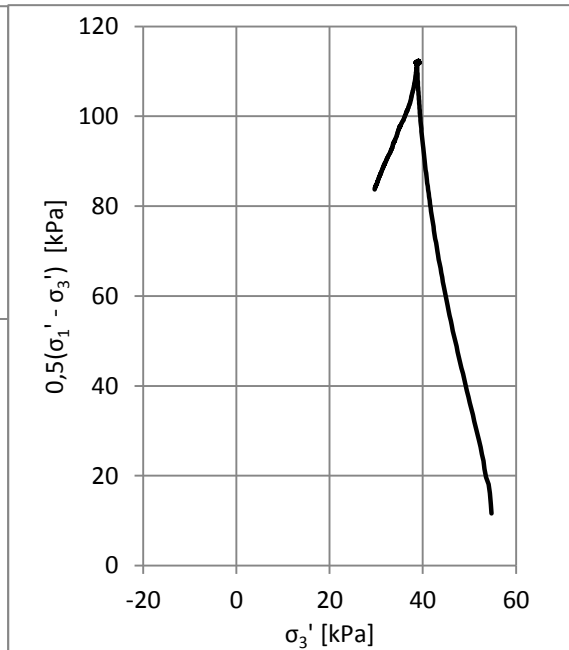
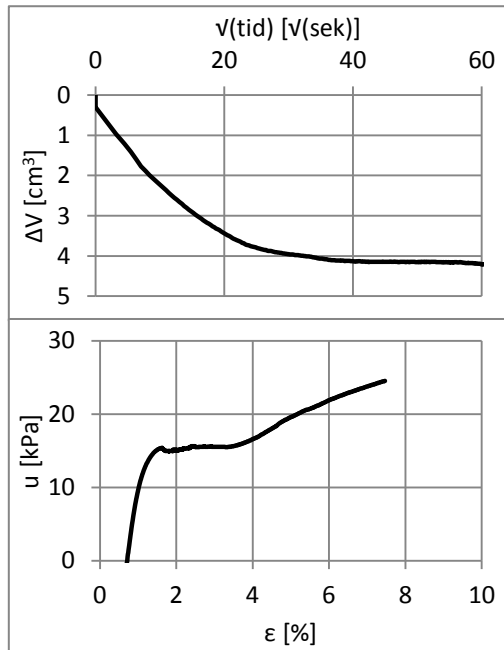
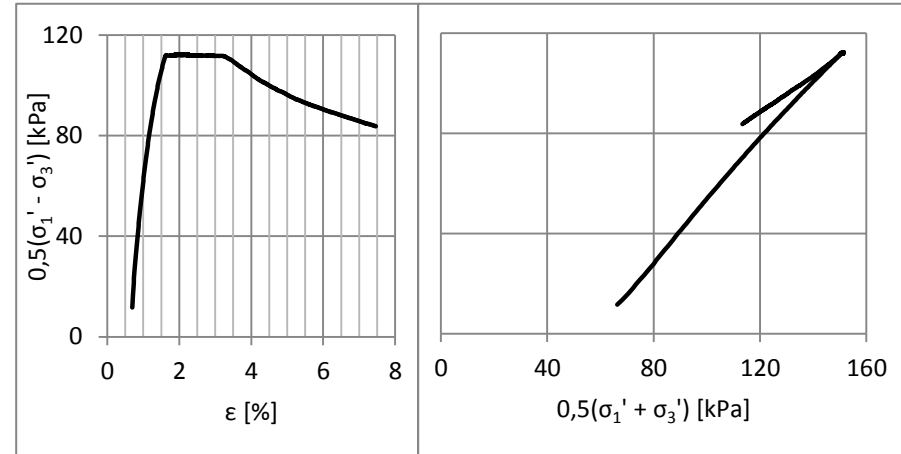
**Blokkprøve fra Møllenberg CAU-917-CP-099mob**

Åpning av prøven:	22.05.2013	Dybde [m]:	9,17
Forsøksdato:	23.05.2013	Prøvetakingsdato:	21.08.2011
Tøyningshastighet:	CP	Prøvetakingsutstyr:	Sherbrooke blokkaker
$\sigma'_{vc}$	= 78 kPa	$Ko'$	= 0,7 -
w	= 40,0 %	D	= 0,264 -
$\gamma$	= 19,06 kN/m <sup>3</sup>	$S_{u,max}$	= 118,3 kPa
$\Delta V$	= 3,82 cm <sup>3</sup>	Mobilisering	= 0,99 -
$\epsilon_v$	= 1,67 %	$S_{u,mob}$	= 117,4 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,034	$E_0$	= 200,0 kPa
$\epsilon_f$	= 1,02 %		



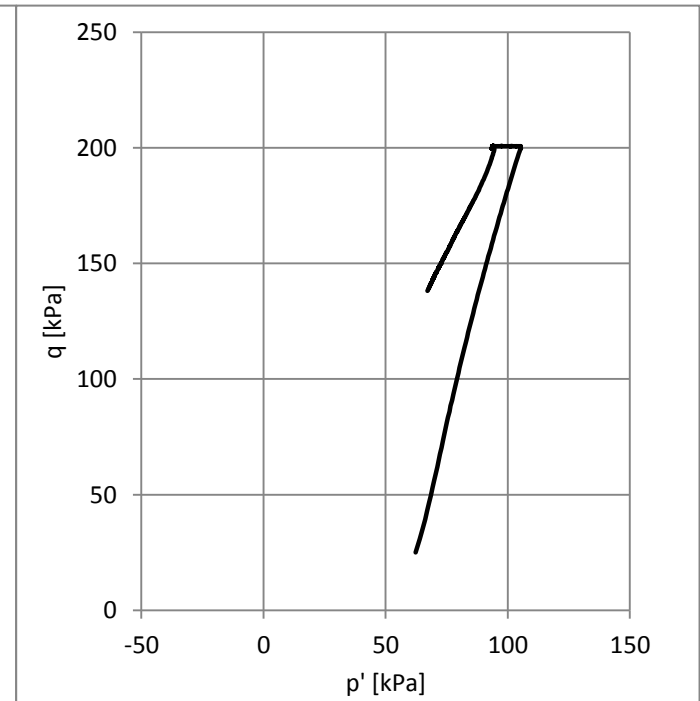
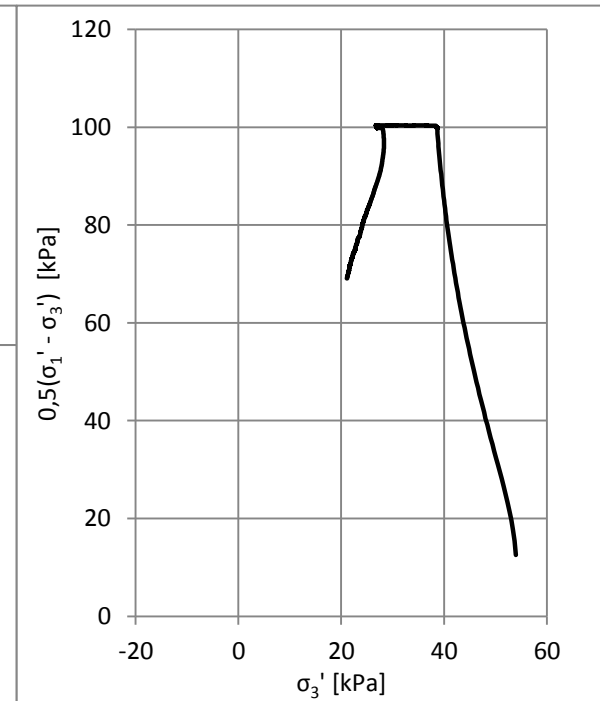
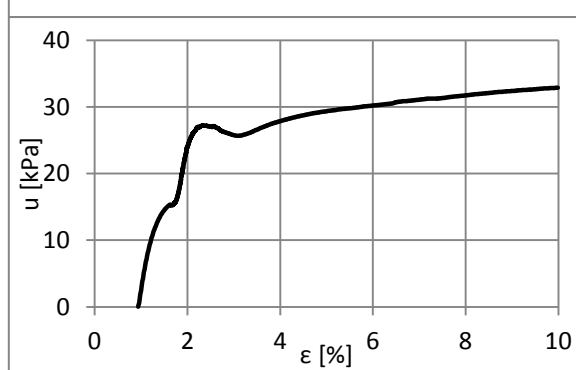
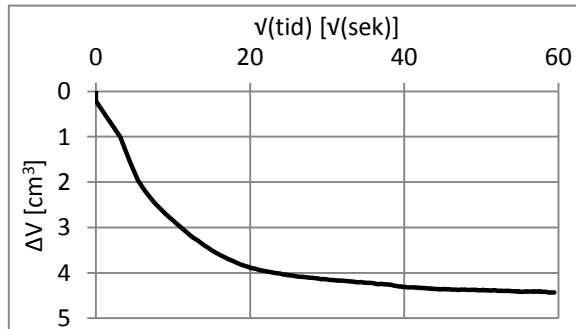
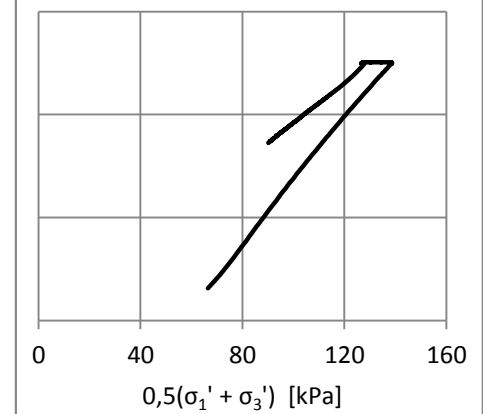
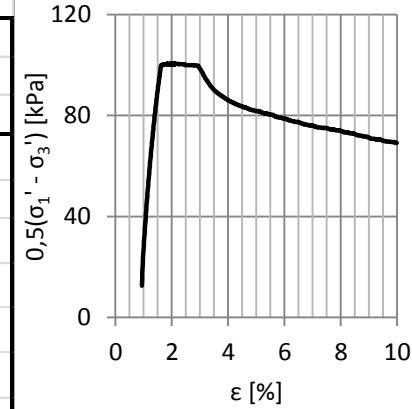
**Blokkprøve fra Møllenberg CAU-917-CP-095mob**

Åpning av prøven:	22.05.2013	Dybde [m]:	9,17
Forsøksdato:	24.05.2013	Prøvetakingsdato:	21.08.2011
Tøyningshastighet:	CP	Prøvetakingsutstyr:	Sherbrooke blokkaker
$\sigma'_{vc}$	= 78 kPa	$Ko'$	= 0,7 -
w	= 39,7 %	D	= 0,232 -
$\gamma$	= 19,02 kN/m <sup>3</sup>	$S_{u,max}$	= 118,3 kPa
$\Delta V$	= 4,21 cm <sup>3</sup>	Mobilisering	= 0,95 -
$\epsilon_v$	= 1,84 %	$S_{u,mob}$	= 112,3 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,037	$E_0$	= 216,7 kPa
$\epsilon_f$	= 1,3 %		



**Blokkprøve fra Møllenberg CAU-917-CP-085mob**

Åpning av prøven:	22.05.2013	Dybde [m]:	9,17
Forsøksdato:	24.05.2013	Prøvetakingsdato:	21.08.2011
Tøyningshastighet:	CP	Prøvetakingsutstyr:	Sherbrooke blokkaker
$\sigma'_{vc}$	= 78 kPa	$Ko'$	= 0,7 -
w	= 39,8 %	D	= 0,227 -
$\gamma$	= 19,05 kN/m <sup>3</sup>	$S_{u,max}$	= 118,3 kPa
$\Delta V$	= 4,44 cm <sup>3</sup>	Mobilisering	= 0,85 -
$\epsilon_v$	= 1,94 %	$S_{u,mob}$	= 100,4 kPa
$\Delta e/e_0$	= 0,039	$E_0$	= 242,1 kPa
$\epsilon_f$	= 1,0 %		



# **Vedlegg D**

**Testforsøk på diverse restmateriale utført på nytt apparat for å undersøke funksjonalitet**

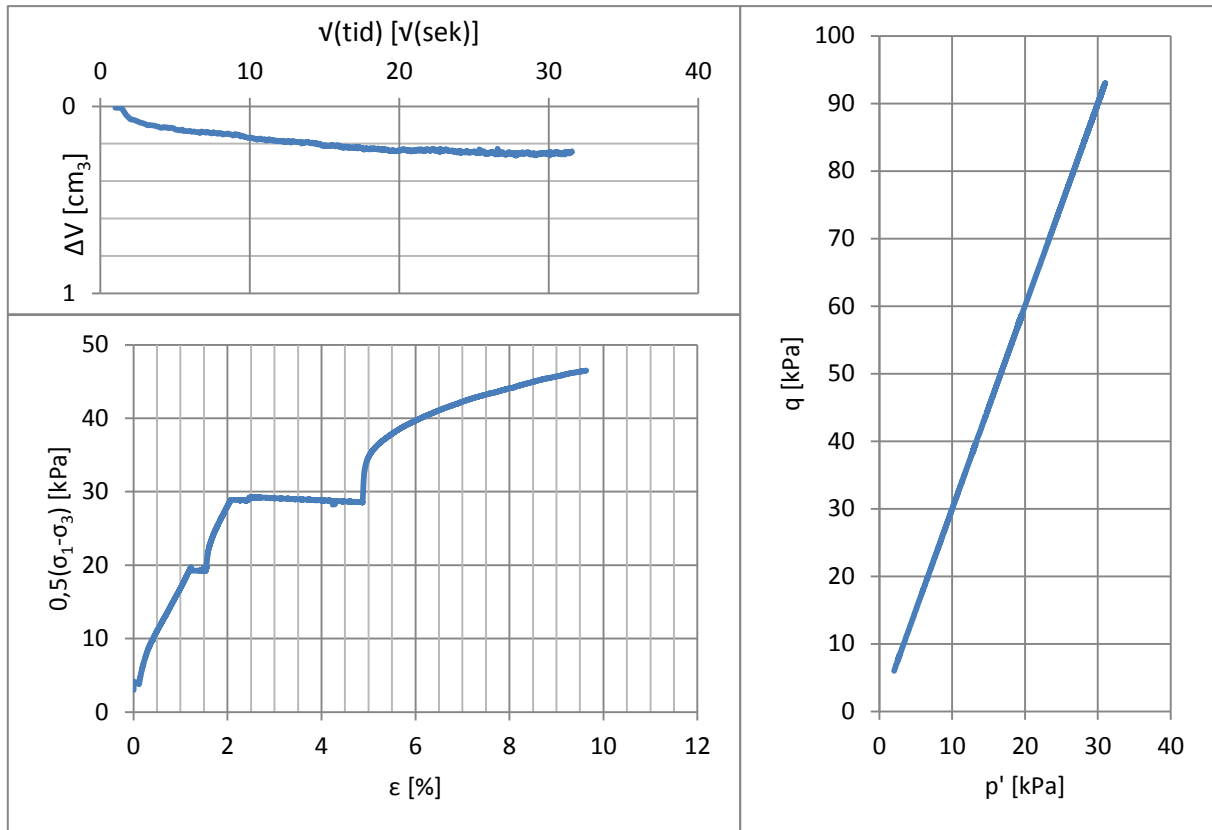
## **D.1 Treaksialforsøk**

## **Forsøk: Granmo-3,60**

Kommentar: Justering av hastigheter, overgang mellom modus med CRS og CP

## Forsøk: Granmo-15,80

Kommentar: Celletrykket var tilnærmet 0.





# Forsøk: Stjørdal- mulig 7

Kommentar:

