

Prøveforstyrrelse: effekt av lagring på siltig leire fra Skien

Ole Johan Quarsten

Geotechnics and Geohazards

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Steinar Nordal, BAT

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

Forord

Masteroppgaven er skrevet i avsluttende semester av det toårige masterstudiet Geotechnics and Geohazards ved Norges Tekniske Naturvitenskapelig Universitet, våren 2016.

Oppgaven ble laget og initiert i samarbeid med Steinar Nordal og Gustav Grimstad og ble utformet basert på mitt ønske om å starte med en oppgave av mest mulig praktisk karakter. I løpet av semesteret har jeg derfor blitt godt kjent med arbeidet som foregår i laboratoriet. Dette har gitt en bedre forståelse av hvilke laboratorieforsøk mange geotekniske vurderinger bygger på.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder Steinar Nordal for gode veiledning og hjelp. Jeg ønsker også å takke geoteknikkens egen ”Reodor Felgen”, Per Asbjørn Østensen, for alt han bidro med av hjelp og kunnskap når utstyret i laboratoriet sviktet. Helene Alexandra Amundsen har også gitt oppmuntring og god veiledning i laboratoriet. Hun bidro også med prøvemateriale og egne data som ble benyttet i denne oppgaven. Takk også til Ashenafi Lulseged Yifru for all støtte og hjelp.

Til sist vil jeg takke mine studiekamerater Bård Arvid Gjengstø og Lars Gudmund Botnen for god stemning og samarbeid i et ellers trangt og kjølig laboratorium i kjelleren på Lerkendalsbygget. De har vært uvurderlige. Ellers takk til alle andre studenter og ansatte ved geoteknikk avdeling for alt av hjelp, stort og smått, gjennom mine to år på NTNU.

God lesning!

Sammendrag

Kontroll på elementer som fører til påvirkning av egenskaper til jordprøver er viktig innen geoteknikk. De fleste geotekniske beregninger og vurderinger baserer seg på parametere fra laboratorieundersøkelser utført på prøver hentet fra områder hvor ulike arbeid er prosjektert. Prøveforstyrrelse i laboratorieprøver kan medføre konservative eller liberale tolkninger av resultater som er usikre. Dette kan resultere i at grunnforholdene blir vurdert å være svakere enn det som er riktig. Ofte kan dette føre til økte kostnader for arbeidene som er prosjektert. I motsatt fall kan beregningen føre til at grunnen er mer usikker enn det som antas. Dette kan ha alvorlige sikkerhetskonsekvenser om arbeider på grunnen feildimensjoneres.

Denne oppgaven ser på effekten av lagring ved ulik temperatur på siltig leire fra Skien. Litteraturstudiet viser at forventet effekt av lagring vil være redusert stivhet i materiale, skjærstyrke, prekonsolideringstrykk, omrørt skjærstyrke og sensitivitet. Årsaker til forringet kvalitet av lagrede prøver er migrasjon av porevæske, inntørking, oksidasjon, andre kjemiske reaksjoner, temperatur og fuktighetsforandringer.

Det har vært benyttet miniblokkprøver i forsøkene. Prøvene er hentet fra ulike dybde i nærliggende boreserier fra Mælagata i Skien. Tre blokker er undersøkt i prosjektet. En har vært lagret i kjølerom (5°C) og to i romtemperatur (20°C). En ekstra blokk ble undersøkt fordi resultatene fra første blokk lagret ved 20°C ikke var tilfredsstillende.

Det har blitt utført **fire** treaksialforsøk (CAUc), **10** ødometerforsøk (CRS), **fem** omrørte konusforsøk, **seks** hydrometeranalyser og Atterbergs grenser er avgjort for **fem** utvalg. Det er i tillegg utført utvidet analyse av vanninnhold i **seks** snitt fra to av blokkene. Diskusjon rundt effekt av lagring ved ulik temperatur og grad av prøveforstyrrelse er basert på de samlede resultatene fra disse forsøkene. Visuell inspeksjon og hydrometeranalyser har vist at materialet i studien var av heterogen karakter. Det ble påvist siltig leire og leirig silt over svært små avstander innad i blokkprøver. Det ble også avdekket område med leire. Stor variasjon i type material har ført til at resultatene fra ødometerforsøk har vist svært ulike oppførsel og derfor er usikre.

Vanninnholdet i den første blokken (oppbevart ved 20°C) var hele 11% lavere enn i blokk nummer to (oppbevart ved 5°C). Dette førte til at prøveresultater i de ulike analyser var lite egnet til sammenligning. Det ble derfor åpnet en ny prøve som var lagret i 20°C.

Vanninnholdet i denne var tilnærmet likt vanninnholdet i blokkprøven lagret i 5°C.

Undersøkelse av disse blokkene kunne benyttes for å vurdere prøveforstyrrelse etter lagring ved ulike temperaturer.

Prøvemateriale lagret ved 5°C viste seg å være lite forstyrret. Treaksialforsøk har gitt en udrenert skjærstyrke på 44,7kPa og en omrørt skjærstyrke fra omrørt konus test på 0,8kPa. Tilsvarende verdier for prøve undersøkt samme dag som prøvetaking var 45,0kPa og 0,3kPa. Noe økning i omrørt skjærstyrke skyldes trolig migrasjon av porevæske. Vellykkede ødometerforsøk fra blokkprøven lagret ved 5°C viser en klar og tydelig p'c-oppførsel og et tydelig fall i ødometermodul i overgangen mellom overkonsolidert og normalkonsolidert område.

Prøvemateriale lagret ved 20°C viser tydelige tegn på prøveforstyrrelse. Klassifisering av prøve kvalitet basert på volumtøyning og poretallsforhold ved konsolidering viser at kvaliteten er forringet. Resultat fra treaksial test viser en reduksjon av udrenert skjærstyrke på hele 30%, og resultater fra ødometerforsøk viser en kraftig reduksjon i prekonsolideringstrykk.

Ødometer med prøve hentet fra øverst i miniblokkprøven viser et materiale med tilnærmet normalkonsolidert oppførsel.

Utvidet analyse av vanninnhold viser at det er stor grad av porevæskemigrasjon uavhengig av lagringstemperatur. Prøve lagret ved 20°C har tørket ut i ytterkant av prøven, mens det er indikasjoner på at porevann migrerer innover i prøven for prøve lagret ved 5°C. Prøvene viser en tendens til høyere vanninnhold midtveis inn til midten av prøven enn i selve sentrum.

Arbeidet viser at lagring av prøve uten kjøling påvirker prøvens egenskaper i tråd med det som er avdekket i litteraturstudier. Lagring av prøve ved 5°C bevarer derimot mye av prøvens opprinnelige materialeegenskaper. Det anbefales derfor å oppbevare prøver kjølig for å få gode prøvesvar etter lagring. Undersøkelsen som ble gjort vurderte prøve som hadde vært lagret i 550 dager. Det er også observert at prøveforstyrrelse er størst i toppen av begge prøvene.

Abstract

Controlling the element influencing on the properties of soil samples is an important focus area in geotechnical engineering. Most geotechnical calculations and evaluations are based on parameters from laboratory tests conducted on soil specimens sampled from areas where projects are planned. Sample disturbance in laboratory tests may conduct conservative interpretation of uncertain data. Consequently, the ground conditions are assessed as being weaker than what is correct often leading to an elevated cost of projects planned. Incorrect calculations may otherwise lead to the conclusion that ground is more secure than true. This may possibly result in serious safety consequences if incorrectly dimensioned project tasks are carried out on the ground.

In this work the effect of storage at different temperature on silty clay from Skien is evaluated. Literature study validates the expected effect of storage to be reduced stiffness in the material, shear strength, preconsolidation pressure, remoulded shear test and sensitivity. Causes for deteriorating the quality of stored samples are pore fluid migration, desiccation, oxidation, other chemical reactions, temperature and humidity changes.

Mini block samples have been used in the experiments. The specimens were collected at different depth from series of drill holes lying in close vicinity of each others in Mælagata in Skien. Three blocks have been investigated in the project. One has been stored in cold room (5°C) and two at room temperature (20°C). A third block was examined because the results obtained from the first block stored at 20°C were not satisfactory.

The laboratory testing includes four triaxial tests (CAUc), 10 oedometer tests (CRS), five remoulded konus tests, six hydrometer analyses and Atterberg limits are determined for five selections. In addition, extended analysis of the water content was carried out in six sections from two of the blocks. Effect of storage temperature on sample disturbance is discussed based on the combined results of these experiments. Visual inspection and hydrometer analyses revealed the material in the study to be of heterogeneous character. It was proven to be both silty clay and silt within a small part of the block samples. Areas of clay was also detected. Considerable variation in type of material resulted in unconfident odometer test results indicating different material behaviour.

The water content of the first block (stored at 20°C) was as much as 11% reduced compared to block number two (stored at 5°C), resulting in test data from several analyses unsuitable for comparison. For that reason, a new sample stored at 20°C was opened. Water content in this block approximately equal the water content in the block specimen stored at 5°C. Assessment of the blocks could thus be used to evaluate sample disturbance after storage at dissimilar temperatures.

Sample material stored at 5°C was proven to be minimally disturbed. Triaxial tests provided undrained shear strength of 44,7kPa and remoulded shear strength from remoulded konus tests of 0,8kPa. Corresponding values for a test sample immediately analysed after sampling were 45,0kPa and 0,3kPa. Slight increase in moulded shear strength is probably explained by migration of pore fluid. Successful oedometer tests in block specimens stored at 5°C demonstrate clear p'c behavior and clear drop in the oedometer module in the shift from the over-consolidated to normally consolidated behaviour.

Sample material stored at 20°C demonstrates clear signs of sample disturbance. Classification of sample quality based on volume strain and void ratio under consolidation demonstrate that quality has deteriorated. Results of triaxial test reveal a reduction of undrained shear strength

of as much as 30%, and results from oedometer tests show a marked reduction in preconsolidation pressure. Oedometer with specimen collected from the top of the mini block demonstrates material with close to normal consolidated behavior.

Extended analysis of water content displays that pore fluid migration occurs regardless of storage temperature. The sample stored at 20°C dried out in the periphery of the specimen, while there are indications of pore water migrating towards the interior of the sample stored at 5°C. The specimens had a tendency of having higher water content midway into the middle of the sample compared to what found in the centre.

This study demonstrates that storage of samples without cooling affect specimen properties in line with what learned from literature studies. Storing a specimen at 5°C preserves most of the initial sample material properties. It is recommended to keep specimens cool until testing in order to achieve high quality test results after storage. Analysing was performed on sample stored for 550 days. It is also observed that the sample disturbance is most profound in the top area of both specimens.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Tabeller	IX
Figurer	XI
Symbolliste	XIII
1 Innledning	1
2 Teori og metode	3
2.1 Prøveforstyrrelse	3
2.2 Effekt av lagring på prøvematerialet	4
2.2.1 Vurdering av prøve kvalitet	5
2.2.2 Konsolidering	6
2.2.3 Treksialforsøk.....	7
2.2.4 Ødometerforsøk	8
2.3 Treksialforsøk	8
2.3.1 Teori	8
2.3.2 Beregninger fra CAUc-forsøk.....	9
2.3.3 Metode	10
2.4 Ødometerforsøk	13
2.4.1 Teori	13
2.4.2 Beregninger fra CRS-forsøk	14
2.4.3 Metode	14
2.5 Index tester	16
2.5.1 Vanninnhold.....	16
2.5.2 Konus forsøk	17
2.5.3 Atterbergs grenser	17
2.5.4 Casagrandes metode.....	18
2.5.5 Bedømming av plastisitetsgrense.....	19
3 Resultat	21
3.1 Rutineundersøkelser	22
3.1.1 Omrørt konus	22
3.1.2 Atterbergs grenser	23
3.1.3 Kornfordeling.....	24
3.2 Treksialforsøk	25
3.3 Ødometerforsøk	25
1.1	26

3.4	Vanninnhold.....	26
4	Diskusjon	31
4.1	Rutineundersøkelser	31
4.2	Vanninnhold.....	32
4.3	Treaksialtester	33
4.3.1	Feilkilder, hindringer og usikkerhet.....	38
4.4	Ødometerforsøk.....	38
4.4.1	Feilkilder, hindringer og usikkerhet.....	41
5	Konklusjon	43
6	Bilag.....	47

Tabeller

Tabell 1. Klassifisering av prøve kvalitet etter volumtøyning. (Kolstad, 1980).....	6
Tabell 2. Klassifisering av prøve kvalitet etter poreallsforhold (T. Lunne, 1997)	6
Tabell 3. Tabell for klassifisering av plastisitet	18
Tabell 4. Resultater fra omrørt konusforsøk	23
Tabell 5. Resultater fra Casagrande forsøk og bedømming av plastisitets grense.....	23
Tabell 6. Resultater fra kornfordeling.....	25
Tabell 7. Resultater fra treaksialtester.....	25
Tabell 8. Resultater fra ødometerforsøk	26
Tabell 9. Tolkning av kvalitet etter Kolstads metode (Kolstad, 1980).....	34
Tabell 10. Poretallsforhold ved konsolidering av treaksialprøver.....	35
Tabell 11. Klassifisering av ødometerforsøk etter poreallsforhold	39

Figurer

Figur 1. Årsaker som påvirker effektivspenningen til prøven (Norges Geotekniske Institutt, 2013)	3
Figur 2. Fuktighetstap mot tid for ulike typer forsegling (Hvorslev, 1949)	5
Figur 3. Spenning-tøyning og spenningskurve fra CAUc tester av Daneciksgate Leire (Tom Lunne, 2006)	8
Figur 4. Illustrasjon av treksialcelle (Statens vegvesen, 2014, s. 223)(t.v.). Montert prøve og celle benyttet i oppgaven (t.h.).....	11
Figur 5. Monteringsrør brukt til å bygge prøven inn i membran	12
Figur 6. Trimming av sylindere til treksialforsøk (t.v.). Ferdig montert prøve i apparat (t.h.)	13
Figur 7. Automatisk ødometersystem (Statens vegvesen, 2014, s. 170)(t.v.). Bilde av et av NTNU sine ødometerapparater (t.h)	15
Figur 8. Snitt som er delt opp for måling av vanninnhold	17
Figur 9. Konusapparat (Statens vegvesen, 2014).....	17
Figur 10. Bilde av Casagrande apparat (Norwegian University of Science and Technology, 2014)	18
Figur 11. Inndeling av en mini-blokkprøve (t.v.). Inndeling av sylindere til treksial- og ødometerforsøk sett ovenifra (t.h.).....	21
Figur 12. Kornfordeling ved hydrometeranalyse.....	24
Figur 13. NTNU-plot av treksialprøver	25
Figur 14. Ødometerresultater plottet i σ' - ε plott.....	26
Figur 15. Inndeling og navngiving av snitt og akser ved presentasjon av vanninnhold i blokkprøvene.....	27
Figur 16. Vanninnhold for blokk 1 lagret i 20°C over X-akse	27
Figur 17. Vanninnhold for blokk 1 lagret i 20°C over Y-akse	28
Figur 18. Vanninnhold for blokk 2 lagret i 5°C over X-akse	28
Figur 19. Vanninnhold for blokk 2 lagret i 5°C over Y-akse	29
Figur 20. Vanninnhold for blokk1 lagret i 20°C over høyden (z-aksen).....	29
Figur 21. Vanninnhold for blokk 2 lagret i 5°C over høyden (z-aksen).....	30
Figur 22. NTNU-plot med treksialtest 1B og 3A.....	31
Figur 23. Atterbergs grenser og plastistets index fra blokkprøver.....	32
Figur 24. Bilde av avkappet toppblokk. Blokk 1(20°C) t.v. Blokk 2(5°C) t.h.	33
Figur 25. Volumtøyning under konsolidering av treksialprøver.....	34
Figur 26. Normalisert q-p'-plott av treksialforsøk	36
Figur 27. Deviatorspenning og poretrykk i treksialforsøk	36

Figur 28. Bilder av treaksialprøve 3A t.v. trimming av prøven før forsøk t.h. delt prøve etter forsøk	37
Figur 29. σ '- ε plott for ødometerforsøk fra blokk 1	39
Figur 30. M- ε plott for ødometerforsøk fra blokk 1	40
Figur 31. σ '- ε plott av utvalgte ødometerforsøk.....	40
Figur 32. M- ε plott for utvalgte ødometerforsøk	41
Figur 33. Ødometerprøve med riss/sprekker	42

Symbolliste

a	Attraksjon
e	Poretall
e_0	Initial porettall
D	Dilatansparameter
H	Dreneringshøyde ødometer
K'_0	Hviletrykkskoeffesient
m	Modultall
M	Ødometermodultall
NC	Normalkonsolidert
OC	Overkonsolidert
OCR	Overkonsolideringsgrad
p'_c	Prekonsoliderinsspenning
σ'_0	Initialspenning
S_u	Udrenert skjærstyrke
S_r	Omrørt skjærstyrke
S_t	Sensitivitet
u	Poretrykk
u_b	Registrert poretrykk ødometer
w	Vanninnhold
ϕ	Friksjonsvinkel
σ	Totalspenning
σ'	Effektivspenning
$\sigma'_m(p')$	Middelspenning
$\sigma'_d(q)$	Deviatorspenning
γ	Tyngdetetthet

τ	Skjærspenning
ε	Tøyning
ε_a	Aksiell tøyning
ε_{vol}	Volumetrisk tøyning
V	Volum
V_0	Initialvolum
CAUc	Anisotropisk konsolidering, udrenert triaksialtest
A_0	Initialareal
A	Areal
Δ	Endring
δ	Deformasjon
h_0	Initialhøyde
σ_v	Vertikalspenning
σ_{cell}	Radiell spenning i triaksialcelle
P	Påført last

1 Innledning

Denne masteroppgave er en del av det toårige masterstudiet ”Geotechnics and Geohazards” ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Oppgaven har gått ut på å studere effekt av lagring ved forskjellige temperaturer på materialelegenskaper i miniblokkprøver. Prøver testet i laboratoriet eller *in situ* vil alltid oppleve noe grad av prøveforstyrrelse. Det er viktig å begrense dette, da prøveforstyrrelse kan føre til konservative og usikre tolkninger av parametere, noe som kan føre til økte kostnader og eventuelle kritiske feil i arbeid som er prosjektert på grunnen. Det er mange effekter som bidrar til prøveforstyrrelse, men lagring er en av de største bidragsyterne til prøveforstyrrelse. Lagring er i mange tilfeller unngåelig da det er ofte begrenset arbeidskraft og kapasitet i laboratoriet. Siden prøvene ofte må oppbevares er det interessant og relevant å vurdere hvilke forhold som innvirker på prøver og i hvilken grad prøvene blir forstyrret.

I denne oppgaven har det blitt benyttet miniblokkprøver hentet fra Mælagata i Skien på 7,6 til 8,65 meters dybde. Prøvene ble hentet opp september 2014 og hadde ved prosjektstart stått lagret i over 550 dager enten i kjølerom på 5°C eller romtemperatur på 20°C. Ut i fra tidligere undersøkelser på materialet i området er det forventet at blokkprøvene består av store deler silt og siltig materiale.

I oppgaven blir det undersøkt hvilken effekt lagring ved forskjellige temperaturer har hatt på miniblokkprøvene. Det har totalt blitt utført fire treaksial forsøk og ti ødometerforsøk. Forsøkene har blitt brukt til å vurdere og sammenligne effekt av lagring mellom prøver lagret i 5°C og 20°C. Verdier målt av en prøve fra samme område som ble analysert rett etter prøvetakning ble brukt som referanse. Det har blitt foretatt en utvidet analyse av vanninnhold i to av blokkprøvene. Vanninnholdet er målt igjennom snitt i topp, midt og bunn av prøven. Intensjonen med denne type analyse er å kunne kartlegge og vurdere porevannmigrasjon i prøvene. I tillegg er indekstestene for Atterbergs grenser, samt omrørt konusforsøk og hydrometeranalyse utført for alle blokkprøver for å kartlegge sammensetning av materialet i prøvene.

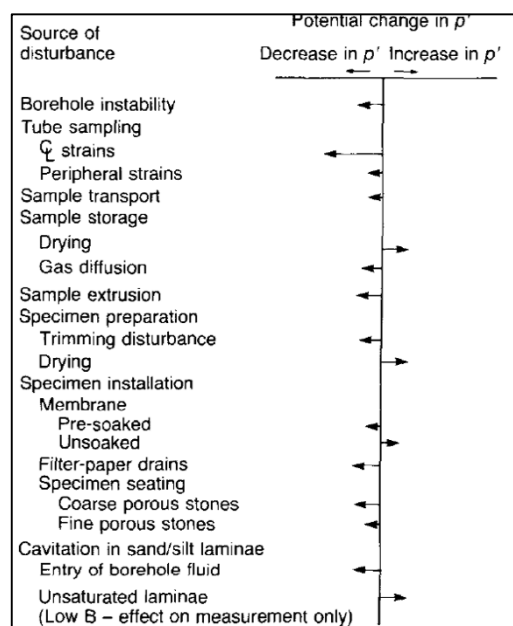
Dette arbeidet innledes med en teoretisk innføring som i hovedsak omfatter prøveforstyrrelse og metoder som benyttes for å karakterisere og bestemme materialelegenskapene til prøvene som skal analyseres. Deretter blir prøvene som undersøkes og resultatene fra forsøk utført i studien presentert. Resultatene blir deretter diskutert og avslutningsvis legges det frem en konklusjon og anbefalinger for videreføring av arbeidet.

2 Teori og metode

2.1 Prøveforstyrrelse

Mikrostrukturen til partikler i et prøvemateriale bestemmer materialets mekaniske egenskaper. Prøveforstyrrelse oppstår når mikrostrukturen i materialet endres som et resultat av påvirkninger etter prøveuttak. Slike endringer vil føre til at laboratorieforsøk viser uriktige egenskaper for materialene testes.. For å få et mest mulig riktig bilde av materialets mekaniske egenskaper er det ønskelig å gjøre forsøk på prøver som har så lik struktur og vanninnhold som den opprinnelig hadde i jordgrunnen. Vanligvis fører prøveforstyrrelse til underestimering av materialenes mekaniske egenskaper. Dette kan være kritisk og føre til unødvendig høye byggekostnader i et prosjekt.

Det vil alltid forekomme prøveforstyrrelse enten et forsøk er utført *in situ* eller i laboratoriet. Det vil være påvirkning som skjer under uttak av prøve, her vil valg av metode ha stor betydning. Uttak av blokkprøver er mer skånsomt for materialet enn uttak av sylinderprøver. Det er derimot mindre kostbart og ressurskrevende å hente ut sylinderprøver. Forhold under transport og oppbevaring vil være viktig for om prøven beholder sin opprinnelige form og sammensetning. I tillegg vil prøven kunne påvirkes ved preparering av et prøvetverrsnitt og når materialet installeres i testsystemet. Prøvens opprinnelige struktur og innhold, som hulrom og siltinnhold, vil avgjøre hvor utsatt den er for forstyrrelser. Endringer i materialets struktur vil kunne måles ved endring i effektivspenningen til en prøve. Figur 1 viser en oversikt over en rekke trinn ved prøvebehandling eller prøvens iboende egenskaper som påvirker effektivspenning til en prøve.



Figur 1. Årsaker som påvirker effektivspenningen til prøven (Norges Geotekniske Institutt, 2013)

I dette arbeidet undersøkes prøveforstyrrelse som følge av lagring. For å få mest mulig informasjon om prøveforstyrrelser ved lagring, så ble det fokusert på å redusere muligheten for prøveforstyrrelser forårsaket av andre faktorer. Det ble benyttet miniblokkprøver fordi disse er mindre utsatt for prøveforstyrrelse under prøvetakning enn sylinderprøver. Det har også vært viktig å prøve unngå ytterligere påvirkning på prøven under trimming og

installering. For å redusere variasjoner mellom og prøveforstyrrelse under forsøkene i dette arbeidet, er alle forsøk utført av samme operatør, med samme rutine og med stor forsiktighet.

2.2 Effekt av lagring på prøvematerialet

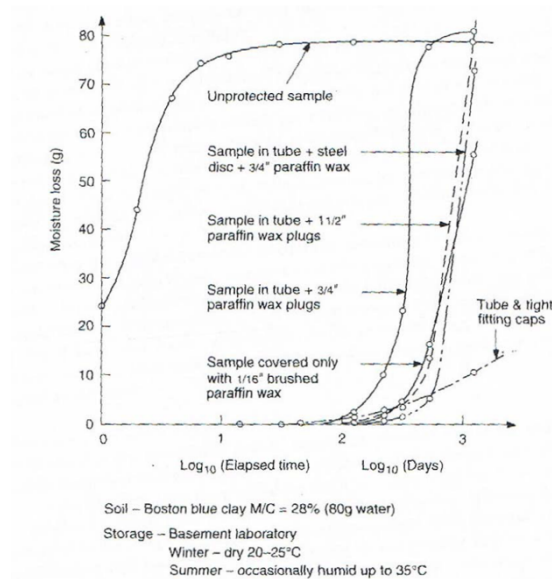
I følge D.W. Hight fører vil prøveforstyrrelse generelt føre til endringer i en rekke prøveparametere. (D.W. Hight, 2003) Materiale vil få reduserte verdier for blant annet stivhet, skjærstyrke, prekonsolideringstrykk og kompresjonsindeks. En rapport fra Norges Geoteknisk Institutt (NGI) utgitt i 2013 sammenstiller data fra ulike publikasjoner som omhandler effekten av lagringstid på prøve kvalitet (Norges Geotekniske Institutt, 2013). Rapporten konkluderer med at det er fire hovedgrunner til forandring i mekaniske egenskaper under lagring. Disse er;

Migrasjon av porevæske og spenningsendringer i prøven

Variasjon i tøyning i prøven kan føre til porevannsmigrasjon. Tøyningsvariasjon kan oppstå ved prøvetaking og er spesielt vanlig for prøver som er hentet med stempelprøvetakere. Blokkprøver er mindre utsatt for prøveforstyrrelse ved prøvetaking. Jo større blokkprøven er, jo mindre porevannmigrasjon blir det i prøven.. Porevannmigrasjon fører til spenningsendringer som vil gi strukturelle endringer i prøvematerialet over tid. (La Rochelle, 1976)

Tørke og fuktighetstap

Det er kjent at tørke og fuktighetstap er et utbredt problem ved lagring av prøver. Tap av fuktighet vil være påvirket av hvordan prøven forsegles. Figur 2 viser fuktighetstap i et prøvematerial over tid avhenging av hvilken type prøveforsegling som er brukt. (Hvorslev, 1949) Uttørring vil gi høyere effektivspenning i prøven. Dette fører til at partiklene vil trekke seg tettere sammen og gi mindre prøvevolum og materialet vil derfor få høyere skjærstyrke.



Figur 2. Fuktighetstap mot tid for ulike typer forsegling (Hvorslev, 1949)

Oksidasjon og andre kjemiske reaksjoner i prøven

Studier viser at det skal svært lite oksygen til for å sette i gang en oksidasjonsprosess som endrer de kjemiske og mekaniske egenskapene i en prøve. For å unngå dette er det viktig å forsegle en prøve som skal transporteres til kvalitetstesting. Det kan også skje en kjemisk reaksjon mellom materiale brukt til forsegling og selve prøven. Forseglingsmateriale bør i minst mulig grad påvirke prøven. Kjemikalier fra borevæsker som benyttes under prøvetakning kan også påvirke prøven under lagring. (Torrance, 1976)

Temperatur- og fuktighetsforandringer

Endringer i temperatur og fuktighet vil innvirke på effektivspenningen i prøven noe som forårsaker strukturendringer. En rekke kilder viser at prøvestruktur opprettholdes best ved lang lagringstid når prøvemateriale er oppbevart i nedkjølt rom med konstant temperatur og høy luftfuktighet (Norges Geotekniske Institutt, 2013).

Rapporten til NGI viser at prøveforstyrrelse under lagring fører til de samme endringene i mekaniske egenskaper som presentert av D.W. Hight. NGI konkluderer i tillegg med at det kan oppstå reduksjon av prøvens omrørte skjærstyrke og sensitivitet.

2.2.1 Vurdering av prøve kvalitet

Det benyttes ulike metoder for vurdering av egenskaper til en prøve. I dette arbeidet benyttes konsolidering til å klassifisering av materialets kvalitet. Det utføres også små rutineundersøkelser som bedømming av Atterbergs grenser, omrørt konusforsøk og hydrometeranalyse. I tillegg utføres utvidede undersøkelser som teraksial- og ødometerforsøk og måling av vanninnhold. Teraksial- og ødometerforsøk måler henholdsvis styrke og deformasjonsegenskaper i prøvematerialet. Beskrivelse av undersøkelsene vil følge.

2.2.2 Konsolidering

Utpressing av vann under konsolidering av et materiale brukes til vurdering av prøve kvalitet. En prekonsolidert forstyrret prøve vil mangle den økte stivheten som kan måles i et uforstyrret materiale. Det vil da vises lite endring i bruddtøyning.

Det er vist at det er en sammenheng mellom volumetrisk tøyning (ϵ_{vol}) og prøveforstyrrelse (Kolstad, 1980). Tabell 1 viser sammenhengen mellom prøve kvalitet, volumetrisk tøyning og overkonsolideringsgrad (OCR).

OCR	ϵ_{vol} [%]		
	Perfekt kvalitet	Akseptabel kvalitet	Forstyrret kvalitet
1,0-1,2	3	3-5	5
1,2-1,5	2	2-4	4
1,5-2,0	1,5	1,5-3,5	3,5
2,0-3,0	1	1-3	3
3,0-8,0	0,5	0,5-1	1

Tabell 1. Klassifisering av prøve kvalitet etter volumtøyning. (Kolstad, 1980)

I nyere tid er det blitt vanlig å bruke poretallsforholdet, $\frac{\Delta e}{e_0}$ som et mål på prøve kvalitet (T. Lunne, 1997). Poretrykksforholdet blir benyttet i stede for volumetrisk tøyning, da det har vist seg at endring i porevolumet gir større skade når initial porevolumet er lite og poretrykksforholdet tar hensyn til dette. Tabell 2 viser klassifisering av prøve kvalitet etter poregradsforhold.

	OCR	Meget god til utmerket prøve kvalitet	God til bra	Dårlig	Meget dårlig
$\frac{\Delta e}{e_0}$	1-2	<0,04	0,04-0,07	0,07-0,14	>0,14
	2-4	<0,03	0,03-0,05	0,05-0,1	>0,1

Tabell 2. Klassifisering av prøve kvalitet etter poretallsforhold (T. Lunne, 1997)

Poretallsforholdet beregnes etter likningen

$$\frac{\Delta e}{e_0} = \frac{\Delta \varepsilon_{vol} \cdot (1 - e_0)}{e_0}$$

der det initiale poretallet er gitt ved

$$e_0 = \frac{w \cdot \gamma_s}{\gamma_w \cdot S_r}$$

Er prøven fullmettet kan initialt poretall antas å være

$$e_0 = w \cdot \rho_s$$

Poretallsforholdet uttrykkes på ulik måte avhenging av hvilken analysemetode som benyttes for målingene. I et **treaksialforsøk** vil den volumetriske tøyningen tilsvare utpresset porevann over prøvevolum i konsolideringsfasen.

Poretallsforholdet vil da uttrykkes slik:

$$\frac{\Delta e}{e_0} = \frac{\Delta \varepsilon_{vol} \cdot (1 + w \cdot \rho_s)}{w \cdot \rho_s}$$

For **ødometerforsøk** vil den volumetriske tøyningen være lik den vertikale tøyning opp til *in situ* vertikalspenning. Poretallsforholdet kan da uttrykkes slik:

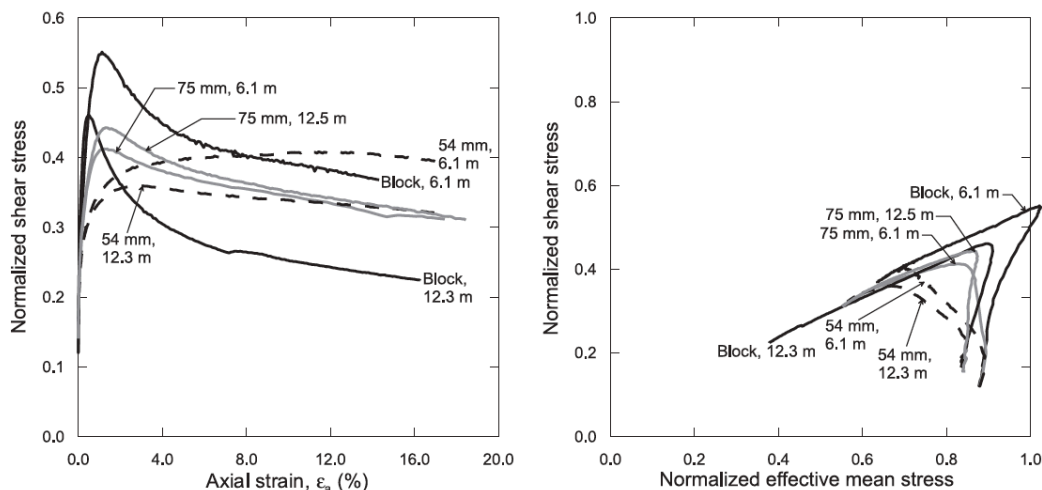
$$\frac{\Delta e}{e_0} = \frac{\varepsilon_a \cdot (1 + w \cdot \rho_s)}{w \cdot \rho_s}$$

2.2.3 Treaksialforsøk

Treaksialtesten brukes for å bestemme en prøves styrkeparameter. Et godt analyseresultat ved bruk av treaksialtesten kjennetegnes ved tydelig bruddoppførsel. Plotting av resultater i NTNU plott eller q-p' plott vil være gunstig for en visuell vurdering av en spenningsti. En tydelig bruddoppførsel vil si at deviatorspenningen (q) vil synke raskt når prøven har blitt pålastet til brudd. God prøve kvalitet gjenkjennes ved lav bruddtøyning. Det vil også være liten eller ingen dilatering/kontraktering før bruddet. Data fra treaksialforsøk fra prøver lagret under ulike forhold gir et godt grunnlag for å si noe om forskjell i prøveforstyrrelse under lagring.

Figur 3 viser plot av resultater fra prøver av samme type leire tatt med forskjellige prøvetakere. Plottene viser hvilken effekt prøveforstyrrelse har på resultatene fra treaksialforsøkene. Plotene viser tydelig at prøver tatt med blokkprøvetaker gir resultater med

høyest skjærstyrke og at prøvene tatt med 75 og 54mm prøvetakere har en mer sammentrukken spenningssti og lavere skjærstyrke som resultat av prøveforstyrrelse.



Figur 3. Spenning-tøyning og spenningskurve fra CAUc tester av Daneciksgate Leire (Tom Lunne, 2006)

2.2.4 Ødometerforsøk

For ødometerforsøk kjennetegnes en vellykket test ved en p'_c -oppførsel som viser tydelig materialets prekonsolideringsspenning. En god prøve kvalitet vil gjenkjennes ved at ødometermodulen (M) er høy i overkonsolidert område men faller brått ved oppnådd prekonsolideringsspenning. I et forstyrret materiale vises ikke samme tydelige endring i M . Brutte strukturer i materialet resulterer i at tidligere overlagering vil bli glemt.

2.3 Treksialforsøk

2.3.1 Teori

Treksialforsøk benyttes til å bedømme skjærstyrken av materialet. Resultatene fra forsøket gir skjærstyrken, som er en parameter relevant for de fleste geotekniske problemstillinger. Treksialapparatet benytter en trykkcelle og motor for å gjenopprette *in situ* spenningsforhold. Prøven påføres vertikalbelastning til brudd. Er prøven lite forstyrret og riktige initialspenninger er valgt, så vil resultatene fra triaksialforsøket gjenspeile hvordan materialet opptrer ved brudd *in situ*. Det er mulig å foreta både aktive, passive i tillegg til drenerte og udrenerte treksialforsøk. I et aktivt forsøk vil vanligvis vertikallasten økes, mens horisontal belastning holdes konstant. I et passivt forsøk vil derimot vanligvis vertikallasten minskes samtidig som horisontallasten holdes konstant. Det er vanligst å kjøre forsøk på silt og leire udrenert. I dette arbeidet er det utført aktive udrenerte forsøk med anisotropisk konsolidering, såkalte CAUc-forsøk.

2.3.2 Beregninger fra CAUC-forsøk

Arealkorreksjon

Siden vertikalspenningen er beregnet ut i fra lastfordeling over arealet på toppen av prøven, er det viktig å korrigere for arealendring under forsøket. Under konsolideringsfasen vil det bli presset ut porevann noe som vil medføre en volumendring og endring i topparealet til prøven. Arealkorreksjon for konsolideringsfasen er gitt med følgende formel, der A_a er korrigert areal under konsolidering:

$$A_a = A_0 \left(1 - \frac{\Delta V}{V_0}\right) / \left(1 - \frac{\Delta V}{3V_0}\right)$$

I oppgaven er det benyttet 100mm høye prøver med diameter på 54mm som gir følgende verdi for korrigert areal under konsolidering:

$$A_0 = 23.2 \text{ cm}^2 \text{ og } V_0 = 232 \text{ cm}^3$$

Endring i volum vil tilsvare mengde utpresset vann. Under skjærfasen vil tøyning i materialet utvide arealflaten. Korrigert areal under skjærfasen er gitt ved:

$$A_s = A_a / (1 - \varepsilon)$$

der,

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h_0}$$

Spenning

Etter korrigerings for endring av arealet under forsøket kan det ulike spenningsforhold beregnes.

Vertikalspenning er gitt ved

$$\sigma_v = \frac{P}{A} + \sigma_{cell}$$

Skjærspenning er gitt ved

$$\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) / 2$$

Deviatorspenning er gitt ved

$$q = \sigma'_1 - \sigma'_3$$

Middelspenning er gitt ved

$$p' = (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)/3 = (\sigma'_v + 2\sigma'_{cell})/3$$

Friksjonsvinkel

Friksjonsvinkel til materialet finnes ved å tolke bruddlinjen ut fra resultatene fra treaksialforsøket. Friksjonsvinkel regnes ut fra stigningen på denne linjen.

NTNU-plott: Her er S_f stigningstallet på bruddlinjen.

$$\tan\varphi = \frac{S_f}{\sqrt{1 + 2S_f}}$$

p' - q -plott: Her er M_f stigningstallet på bruddlinjen.

$$M_f = \frac{6\sin\varphi}{3 - \sin\varphi}$$

Dilatansparameter

Dilatansparameteret benyttes til å avgjøre om materialet oppfører seg kontraktant (reduserer i volum) eller dilatant (øker i volum). Dilatansparameteret regnes ut ved følgende formel:

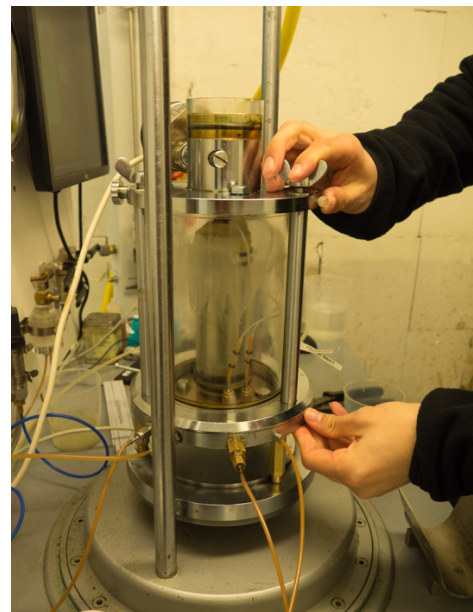
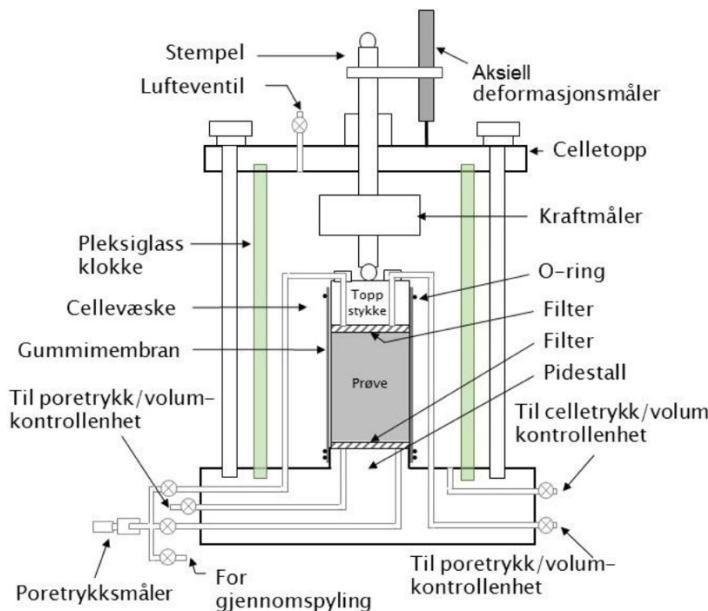
$$D = \frac{\Delta\sigma'_m}{\Delta\sigma_d}$$

Ved en D verdi høyere enn null har materialet en dilatant oppførsel og utvider seg. Materialer med D verdi lavere enn null har derimot en kontraktant oppførsel. Ved D lik null har materialer en elastisk oppførsel.

2.3.3 Metode

Utstyr

Treaksialcellen brukt i oppgaven er bygget opp på tilnærmet samme måte som illustrert på Figur 4. Hovedsakelig kan apparatet ses på som to systemer. I det ytre system inngår alt som foregår av ytre påvirkning på prøven. Alt som er på innside av gummimembranen der man kan styre prøvens baktrykk og drenering kalles det indre system. Det ytre systemet består av en celle som fylles med cellevæske for å gi celletrykk og en motor som fører prøven opp mot toppstykke for å påføre vertikal belastning. Det er montert celletrykk-, kraft- og aksialdeformasjonsmålere som logger trykk og deformasjon påført prøven. Det indre system består av prøven med filtre i over- og underkant. I dette systemet er det drenering i topp og bunn. Denne dreneringen fører til en del av apparatet med burette, hvor det er mulig å måle drenert porevann i tillegg til å påføre det indre systemet baktrykk. Systemet er designet slik at det er mulig å føre vann igjennom prøven for å tvinge ut luft fra systemet da dette kan gi feilaktige resultater. Luft i systemet skaper motstand for drenering av porevann under konsolidering og dårlig kontakt med poretrykkssensor. Det er også mulig å påføre baktrykk for å gjøre luftbobler i det indre systemet mindre slik at de blir tvunget ut.



Figur 4. Illustrasjon av treaksialcelle (Statens vegvesen, 2014, s. 223)(t.v.). Montert prøve og celle benyttet i oppgaven (t.h.)

Prosedyre

Før forsøket settes i gang er det viktig at alt utstyr er på plass og klargjort, da det er nødvendig å montere prøven så raskt som mulig for å unngå uttørking. Alle rør i systemet skal være rene og mettet med luftfritt vann. Det skal også være tilgjengelig luftfritt vann til gjennomspyling av filtre. Luftfritt vann lages ved å sette destillert vann til vakuumering til all luft er drevet ut. Siden luftfritt vann vil trekke til seg luft etter vakuumering, bør vannet kun brukes i opptil fire dager før vannet må vakuumeres på nytt. Steinfiltre skal være mettet med vann i ultralydbad før de fraktes i luftfritt vann før montering. Gummimembranen som skal legges rundt prøven skal klargjøres ved at den kontrolleres for hull og skader. Membranen skal brettes over et monteringsrør og festes med to o-ringer i over og underkant. Pidestall og toppstykke smøres med fett for å sikre god tetting.



Figur 5. Monteringsrør brukt til å bygge prøven inn i membran

Når utstyret er klargjort kan prøven trimmes ut av blokken. Prøven i dette arbeidet er trimmet til en høyde på 100mm og diameter på 54mm ved hjelp av en trådsag med guide (se Figur 6). Det er viktig å behandle prøven forsiktig da komprimering og slag kan ødelegge kornstrukturen og gi prøveforstyrrelse. Når prøven er klar kan den løftes med steinfiltrene, plasseres på pidestallen og monteres på plass sammen med papirfilter, membran og o-ringer (se Figur 6). Cellen fylles til midten med luftfritt vann. Luftventil for poretrykksmåler og baktrykk åpnes og sensorene nullstilles. Cellen kan videre fylles opp med vann for så å toppes med olje. Oljen vil tette mellom laststang og celle. Laststang med kraftmåler monteres forsiktig for å unngå å legge trykk på prøven.



Figur 6. Trimming av sylinder til treaksialforsøk (t.v.). Ferdig montert prøve i apparat (t.h.)

Når treaksialcellen er ferdig montert skal steinfiltrene skylles igjennom med luftfritt vann for å få ut all luft i systemet. I et filter av gangen, føres vann igjennom systemet for å tvinge ut luftboblene. Prosessen avsluttes når det ikke kommer flere bobler ut av prøven. Etter skyllingen av filtre, er prøven klar til å konsolideres til *in situ* spenningsforhold. Under konsolidering økes celletrykk med $10\text{kPa} \pm 5\text{kPa}$ av gangen, for så å la porevann dreneres ut til buretten. Det blir også lagt på 1-2kPa ekstra vertikaltrykk for hvert intervall for å sikre kontakt med prøven. Konsolideringen er ferdig når prøven har sluttet å drenerer ut vann. Videre repeteres konsolidering opp til ønsket spenningsnivå. I noen tilfeller vil ikke prøven slutte å drene vann. Det gjelder spesielt for forstyrrede prøver. I slike tilfeller avsluttes konsolideringen etter 24 timer. (Statens vegvesen, 2014, s. 160)

I denne oppgaven er konsolideringspenning beregnet ut i fra en $K_0=0,8$ og en vannstand på 1 meters dybde. Til slutt påføres baktrykk synkront med ekstra celletrykk, til et baktrykk på 200kPa. Dette gjøres for ikke å øke den effektive cellespenningen, men for å øke trykket i prøven slik at gjenværende luftbobler løsner. Prøven konsoliderer ferdig med påført baktrykk.

Når konsolidering er ferdig kan CAUc-skjærforsøk starte. Ventil til buretten stenges, men ventiler ut til poretrykkmåler skal stå åpne. I oppgaven kjøres skjærforsøket til 10% tøyning med en tøyningshastighet på 1,5% i timen. Resultater fra konsolidering og skjærforsøk blir logget i en ".txt" -fil som kan importeres til et regneark for bearbeiding og beregninger.

2.4 Ødometerforsøk

2.4.1 Teori

Ødometerforsøk benyttes til å bedømme materialets deformasjonsegenskaper. Resultater fra et ødometerforsøk gir parametere som benyttes til beregning av setningsstørrelse og setningens tidsforløp. Det er mulig å foreta både et trinnvist (IL - Incremental Loading) og et kontinuerlig (CRS - Constant Rate of Strain) ødometerforsøk.

I et CRS-forsøk påføres belastning på testmaterialet slik at aksial tøyningshastighet holdes konstant. Dette fører til en vertikal deformasjon som måles og deretter logges mot den kjente belastningen som er påført prøven.

Det er mulig å hente ut parametere for primær- og sekundærsetninger (kryp) på materialet ved et ødometerforsøk. Primærsetninger i materialet er et resultat av at porevann presses ut på grunn av økt poretrykk forårsaket av økt belastning. Sekundærsetninger er sammensykning som oppstår ved konstant belastning over lenger tid, der kryp er den største bidragsyteren. Parameterne for sekundærsetninger kan avdekkes ved å holde konstant belastning over lenger tid.

I denne oppgaven er det valgt å benytte kontinuerlig CRS-ødometerforsøk for å undersøke materialers deformasjonsegenskaper. Det vil beregnes parametere for primærsetninger og kryp vil ikke bli vurdert i oppgaven.

2.4.2 Beregninger fra CRS-forsøk

Middelspenning i prøven

Middelspenningen i prøven er gitt ved

$$\sigma'_m = \sigma - u_b \frac{2}{3}$$

Ødometermodul

Ødometermodulen gir uttrykk for stivhet i prøven under ødometerforhold og er gitt ved

$$M = \frac{d\sigma'}{d\varepsilon}$$

Konsolideringskoeffisient

Konsolideringskoeffisienten er et uttrykk for tiden det tar for materialet å drenere porevann ved økt poretrykk og er gitt ved

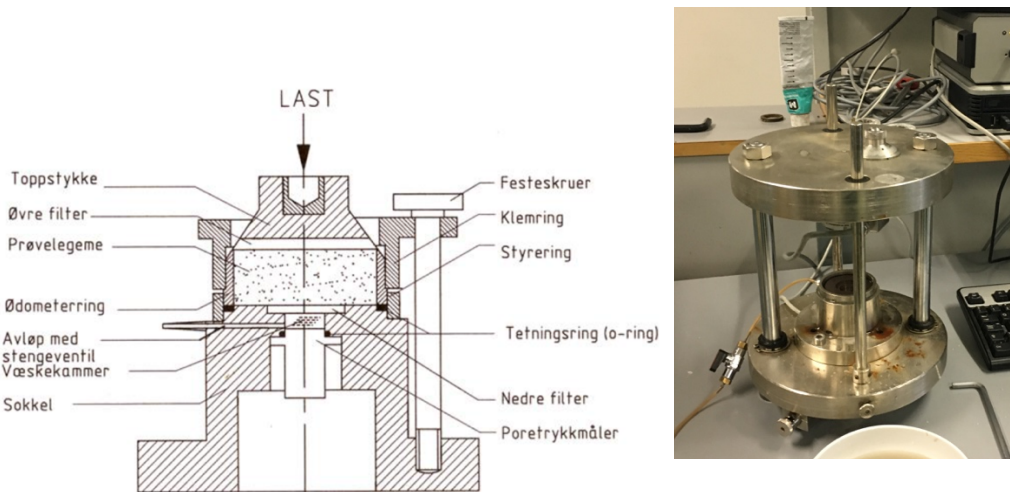
$$c_v = \frac{d\sigma}{dt} \frac{1}{u_b} \frac{H^2}{2}$$

2.4.3 Metode

Utstyr

Alle ødometerforsøkene i oppgaven ble utført i tre automatiske ødometersystemer på det geotekniske laboratoriet ved NTNU. Ødometere som ble benyttet i oppgaven er bygd opp på tilnærmet samme måte som illustrert i Figur 7. Illustrasjonen viser en prøve plassert i en ødometerring som har filter i overkant og underkant. Et toppstykke er montert slik at tyngden

av lasten blir fordelt over hele prøven. I overkant av toppstykket sitter en sensor som måler vekten av lasten. Poretrykket i prøven måles av en annen sensor som er plassert i underkant av et bunnfilteret under ødometerprøven. NTNU sine ødometere påføres last ved hjelp av en motor som styrer prøven opp mot toppstykket. Det blir benyttet en deformasjonshastighet på $3.3333\mu\text{m}/\text{min}$ (1 % time) i alle CRS-forsøkene. Apparatene ble kjørt med enveis drenasje. Dreneringshøyde H er 20mm når prøvetykkelsen er på 20mm.



Figur 7. Automatisk ødometersystem (Statens vegvesen, 2014, s. 170)(t.v.). Bilde av et av NTNU sine ødometerapparater (t.h)

Prosedyre

Et forsøk starter med å bygge et stykke av materialet inn i ødometerringen. Det er viktig å prøve å unngå å forstyrre prøven da ødeleggelser som sprekker, kompresjon og uttørring vil gi unøyaktige resultater. Det er samtidig om å gjøre å velge et representativt utvalg av prøven. Etter en visuell vurdering velges den delen av prøven som ser ut til å være av best kvalitet med hensyn til prøveforstyrrelse. Prøven som velges bør også ha minst mulig avvik fra resten av prøven. Prøvestykket som testes er lite og små avvik kan gi verdier som viser et feilaktig bilde av materialets mekaniske egenskaper *in situ*.

. Prøvestykket kuttes ut ved hjelp et stativ ødometerringen festes i. Ringen føres ned mot prøven og skjæres forsiktig igjennom prøvematerialet. Ringen skal smøres med silikon før innbygging. Overskudd av materialet trimmes av stykkevis med trådkutter. Dette gjøres rolig for å unngå å rive opp prøven. Prøvene som skal undersøkes i oppgaven har et høyt innhold av silt, slikt materiale kan lett få sprekkdannelser under utkutting av prøvestykker. Videre monteres en plate smurt inn med silikon på toppen prøven for å holde den på plass når stativet snus rundt. Trimming utføres på samme måte på begge sider av materialet som er montert i ødometerringen. Ødometerring, plate og prøve veies før montering i apparat slik at vanninnhold og densitet kan beregnes.

Før montering av prøve skal ødometerutstyret være vasket og klargjort. Det skal heller ikke være luft i systemet. Filtrene skal vakuumeres i destillert vann og kammeret der prøven skal monteres skal fylles med vakuumert luftfritt vann. Eventuelle luftbobler som henger fast i apparatet må fjernes.

Poretrykkssensor nullstilles før prøven monteres. Når prøven er ferdig montert kjøres ødometeret til kontakt med lastcelle før deformasjon og lastsensor nullstilles. CRS-forsøket

kan nå settes i gang og alle målinger vil bli lagres i en ".txt"-fil. Filen kan importeres til et regneark for videre bearbeiding og beregninger .

2.5 Index tester

2.5.1 Vanninnhold

Vanninnhold av leire bestemmes ved å veie prøve før og etter tørking av prøve i varmeskap. Varmeskapet holder en temperatur på $110 \pm 5^\circ\text{C}$ og fordamper vannet i prøven i løpet av ett døgnstørketid. Det er viktig å sørge for at det ikke oppstår tørking før prøven veies første gang og at det ikke tilføres noe fuktighet i tørkeskapet eller etter prøven er tørket for å få et mest mulig korrekt resultat. Vanninnholdet regnes så ut ved følgende formel:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \cdot 100(\%) = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100(\%)$$

w – vanninnhold [%]

m_c – masse av skål [g]

m_1 – masse av skål og fuktig prøve [g]

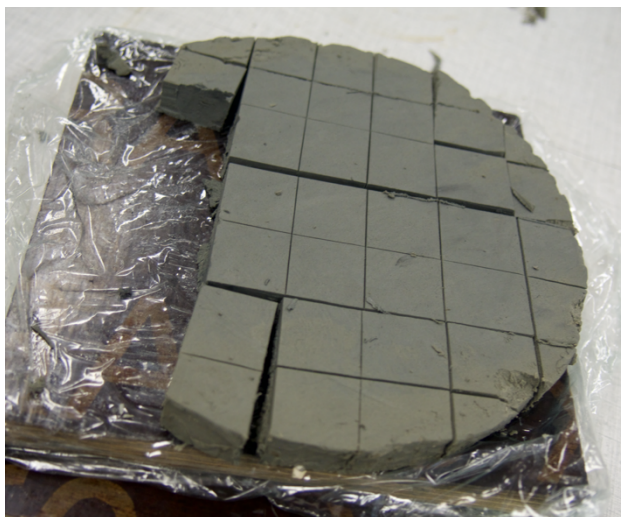
m_2 – masse av skål og tørr prøve [g]

m_w – masse av vann [g]

m_d – masse av tørr prøve [g]

Vanninnholdet i prøven kan brukes til å avgjøre i hvilken grad det har foregått porevannmigrasjon i prøven samt å regne ut porøsitet, poretall og metningsgrad.

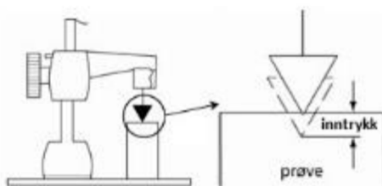
I denne oppgaven er det valgt å gjøre en utvidet analyse av vanninnhold i blokkprøvene hvor vanninnholdet måles igjennom tre snitt i blokkprøvene. Dette gjøres ved at en skive på 1 cm tykkelse trimmes av blokkprøven for så å deles inn i mindre stykker. Hvert av stykkene veies og tørkes på samme måte som beskrevet over. Sammen vil vanninnholdet for alle stykkene danne ett grunnlag for å tolke vanninnhold og vannmigrasjon igjennom snittene på de lagrede blokkprøvene. Figur 8 viser oppdelt skive fra blokkprøve som veies for våtvekt.



Figur 8. Snitt som er delt opp for måling av vanninnhold

2.5.2 Konusforsøk

Konusforsøk benyttes til å bestemme udrenert skjærstyrke i uforstyrret og omrørte prøver. Sensitiviteten på prøven blir også gitt av differansen mellom den uforstyrret og omrørte skjærfastheten. Figur 9 viser en skisse av et konusapparat.



Figur 9. Konusapparat (Statens vegvesen, 2014)

Et konusforsøk forgår ved at prøven plasseres i et konusapparat for så at en konus med kjent masse og vinkel monteres vinkelrett ovenfor prøven. Spissen som så vidt står i kontakt med prøven løsnes fra apparatet og trenger ned i prøven ved hjelp av egen vekt. Det utføres som vanlig seks konusmålinger på uforstyrret prøve. I den omrørte prøven utføres to målinger før den røres om på nytt og det tas to nye målinger. Det er viktig at avviket er mindre enn 0,5mm inntrykk for å få gode prøveresultater. Oppnås ikke dette tas de omrørte målingene på nytt. I denne oppgaven vil det kun bli utført omrørt konusforsøk.

2.5.3 Atterbergs grenser

Atterbergs grenser er et verktøy for å beskrive det omrørte materialets konsistens ved forskjellige vanninnhold. Finkornet materiale vil kunne opptre som hardt og tørt, fast eller smuldret, plastisk eller flytende alt etter hvilket vanninnhold materialet har. Atterbergs grenser definerer vanninnholdet for materialet i overgang mellom disse stadiene. Det finnes tre typer grenser:

$$w_l = \text{flytegrense} [\%]$$

$$w_p = \text{plastisitetsgrense [\%]}$$

$$w_s = \text{krympegrense [\%]}$$

Plastisiteten er mulig å klassifisere etter følgende formel for plastisitetstall:

$$I_p = w_l - w_p [\%]$$

Der materialet kan klassifiseres i følge Tabell 3.

Klassifikasjon av materiale	I_p
Lite plastisk	<10
Middels plastisk	10-20
Meget plastisk	>20

Tabell 3. Tabell for klassifisering av plastisitet

2.5.4 Casagrandes metode

For å avgjøre flytegrensen til materialet benyttes et Casagrande apparat likt det vist i Figur 10. Forsøket starter ved at omrørt materiale smøres i skålen på apparatet, ved hjelp av ett fureverktøy skjæres en grøft på 2mm bredde igjennom materialet i skålen. Videre skal sveiven sveives med en konstant hastighet på to slag i sekundet helt til materialet lukker grøften over et område på 12,5mm. Antall slag noteres. Målsetningen er å finne ut hvilket vanninnhold det omrørte materiale må ha for at det skal ta 25 slag å lukke grøften. Dette vanninnholdet vil da være flytegrensen. Det er ønsket å måle vanninnholdet for forsøk innenfor slagintervallene 25-35, 20-30 og 15-25 for så å plote resultatene for å bestemme vanninnholdet ved 25 slag. Brukes det for mange slag må det tilføres mer vann og forsøket gjentas, og hvis det tar for få slag før grøften samles må prøven tørkes.



Figur 10. Bilde av Casagrande apparat (Norwegian University of Science and Technology, 2014)

2.5.5 Bedømming av plastisitetsgrense

Plastisitetsgrensen bestemmes ved å finne vanninnholdet i omrørt materiale der den kan rulles til en tråd på 3,2mm før den smuldrer. 10-20g bløtt materiale rulles ut til 3.2mm på en glassplate, strimmelen brettes og forsøket gjentas helt til prøven er tørket ut så mye at den smuldrer når den når en diameter på 3,2mm. Smuldret materiale på 3,2mm legges i ett glass med kjent vekt for å måle våt- og tørrvekt slik at vanninnholdet kan avgjøres.

3 Resultat

I kapitlet presenteres resultater fra laboratorieundersøkelsene som er utført i forbindelse med arbeidet med å se på effekt av lagring på Siltigleire fra Skien. Tre miniblokkprøver av leire ble undersøkt med forskjellige geotekniske teknikker. Blokkene har blitt navngitt blokk 1, blokk 2 og blokk 3 og vil bli referert til disse navnene igjennom oppgaven. Følgene blokker ble åpnet:

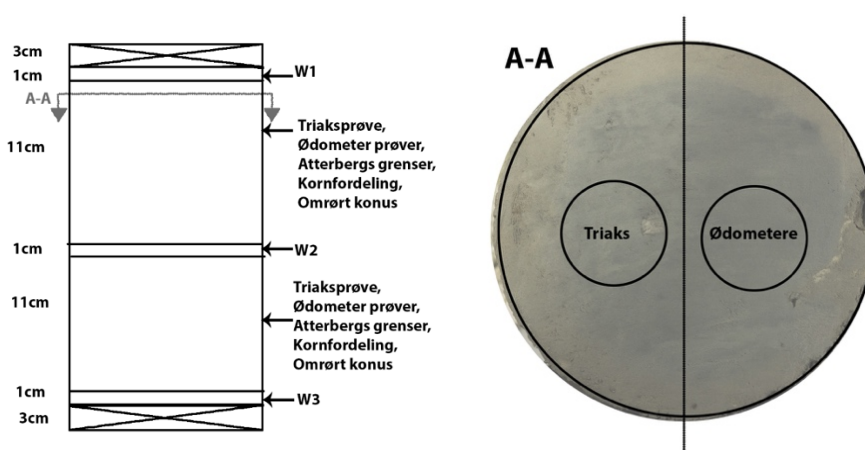
Blokk 1 – Prøve hentet fra **7,60-7,95 meters** dybde den 11. september 2014. Blokken har vært lagret i en romtemperatur på **20°C** i **578 dager** før prøven ble åpnet i NTNU sitt geotekniske laboratorium 11. april 2016.

Blokk 2 – Prøve hentet fra **8,30-8,65 meters** dybde den 11. september 2014 . Blokken har vært lagret i kjølerom på **5°C** i **597 dager** før prøven ble åpnet i kjølerom i kjelleren på Lerkendalsbygget NTNU 30. april 2016.

Blokk 3 – Prøve er hentet fra **7,60 -7,95 meters** dybde den 10. september 2014. Blokken har vært lagret i romtemperatur på **20°C** i **633 dager** før den ble åpnet i NTNU sitt geotekniske laboratorium 4. juni 2016. Kun øvre halvdel av blokk 3 ble brukt i oppgaven.

Blokk 1 og 2 er hentet fra samme borehull, mens blokk 3 er hentet fra et annet borehull i samme dybde som blokk 1. Alle prøvene er hentet fra borehull i Mælagata i Skien. Borehullene ligger tett samlet i område.

Miniblokkprøvene har en diameter på 16 cm og en høyde på minimum 25 cm. Figur 11 viser inndeling av prøveuttak for de ulike testene som utføres på blokkprøvene. Snitt som undersøkes for vanninnhold er tatt 3-4cm fra topp og bunn samt i 1cm i midten av prøven. Ut i fra visuell inspeksjon ble det besluttet at det kun var plass til to sylindere i bredden for å unngå utørket materiale i randsonen av prøven. En sylinder ble bygget inn for ett treaksialforsøk og en ble delt i tre og bygget inn i tre ringer for ødometerforsøk. Det ble tilsammen hentet ut fire sylindere fra blokkprøvene. Avkapp rundt sylindrene ble brukt til å hydrometeranalyser, omrørt konusforsøk og bedømming av Atterbergs grenser.



Figur 11. Inndeling av en mini-blokkprøve (t.v). Inndeling av sylindere til treaksial- og ødometerforsøk sett ovenifra (t.h.)

Videre i rapporten har treaksialforsøk blitt navngitt med nummer og bokstav, hvor bokstavene angir hvor prøven er tatt i blokken. Prøve fra toppen av blokk 1 navngis 1A og prøve tatt fra

bunn av blokk 2 navngis 2B.. Ødometerforsøk har blitt navngitt med formatet Ø1A der tallet er blokkprøve og bokstav den individuelle ødometerprøven. Alle utførte treaksial- og ødometerforsøk er presentert i detalj i bilag 1 til 14.

Målet var å utføre to treaksialtester og seks ødometerforsøk for både blokk 1 og 2, men flere av forsøkene har blitt avbrutt av forskjellige årsaker som har ført til ødelagt prøve. Blokk 3 ble åpnet som et supplement til blokk 1 og 2, da resultatene fra treaksialtesten i blokk 1 ikke var tilfredsstillende. I blokk 3 ble kun halve blokken brukt.

Her vises en oversikt over forsøk og antall repetisjoner av hvert forsøk som er utført på de tre blokkprøvene:

Blokk 1:

- **En** treaksialprøve
- **To** ødometerforsøk
- **To** omrørte konusforsøk
- Atterbergs grenser avgjort for **to** utvalg
- **To** hydrometeranalyser
- Vanninnhold målt i **tre** snitt igjennom blokkprøven

Blokk 2:

- **To** treaksialtester
- **Fem** ødometerforsøk
- **To** omrørte konusforsøk
- Atterbergs grenser avgjort for **to** utvalg
- **To** hydrometeranalyser
- Vanninnhold målt i **tre** snitt igjennom blokkprøven

Blokk 3:

- **En** treaksialtest
- **Tre** ødometerforsøk
- **Ett** omrørt konusforsøk
- Atterbergs grenser avgjort for **ett** utvalg
- **To** hydrometeranalyser

3.1 Rutineundersøkelser

Rutineundersøkelser blir først og fremst benyttet for å klassifisere og identifisere jordmaterialer. Det er her brukt tester som bestemmer omrørt skjærstyrke, plastisitet, kornfordeling og vanninnhold. Parametere fra undersøkelsene kan benyttes til å vurdere hvorvidt det er samme type materiale som er undersøkt i de ulike testene.

3.1.1 Omrørt konus

Tabell 4 viser omrørt skjærstyrke (S_r) funnet ved hjelp av omrørt konusforsøk. Konusforsøkene er utført på materiale fra avkapp etter trimming av treaksialsylindere. Forsøkene tatt i topp og bunn av blokk 1 viste omtrent lik omrørt skjærstyrke i topp og bunn av blokken. Resultatene for blokk to viser en forskjell i skjærstyrke mellom topp og bunn av blokken. Toppen på blokk 3 fikk en omrørt skjærstyrke på 0,39kPa som klassifiseres som kvikkleire ($S_r < 0,5$ kPa). Materialet i blokk 1 har en høyere omrørt skjærstyrke enn de to andre

blokkene. Noe som samstemmer med at vanninnholdet er høyere i blokk 2 og 3 enn blokk 1 som vises senere i denne resultatdelen.

		Dybde [m]	S _r [kPa]
Blokk 1 (20°C)	topp	7,68	2,1
	bunn	7,86	2,5
Blokk 2 (5°C)	topp	8,38	1,2
	bunn	8,57	0,8
Blokk 3 (20°C)	Topp	7,68	0,39

Tabell 4. Resultater fra omrørt konusforsøk

3.1.2 Atterbergs grenser

På samme måte som med konusforsøkene er avkapp fra sylindertimming brukt til å bedømme Atterbergs grenser. Tabell 4 viser resultater fra ett Casagrande-forsøk og bedømming av plastisitet. Resultatene er svært like for de fleste målingene. Blokk 2 bunn viser et noe høyere og blokk 1 topp et noe lavere plastisitetstall enn for de andre prøvene. Materialet i de andre blokkene har ett plastisitetstall rundt 6,5 som kjennetegner et materiale med lav plastisitet.

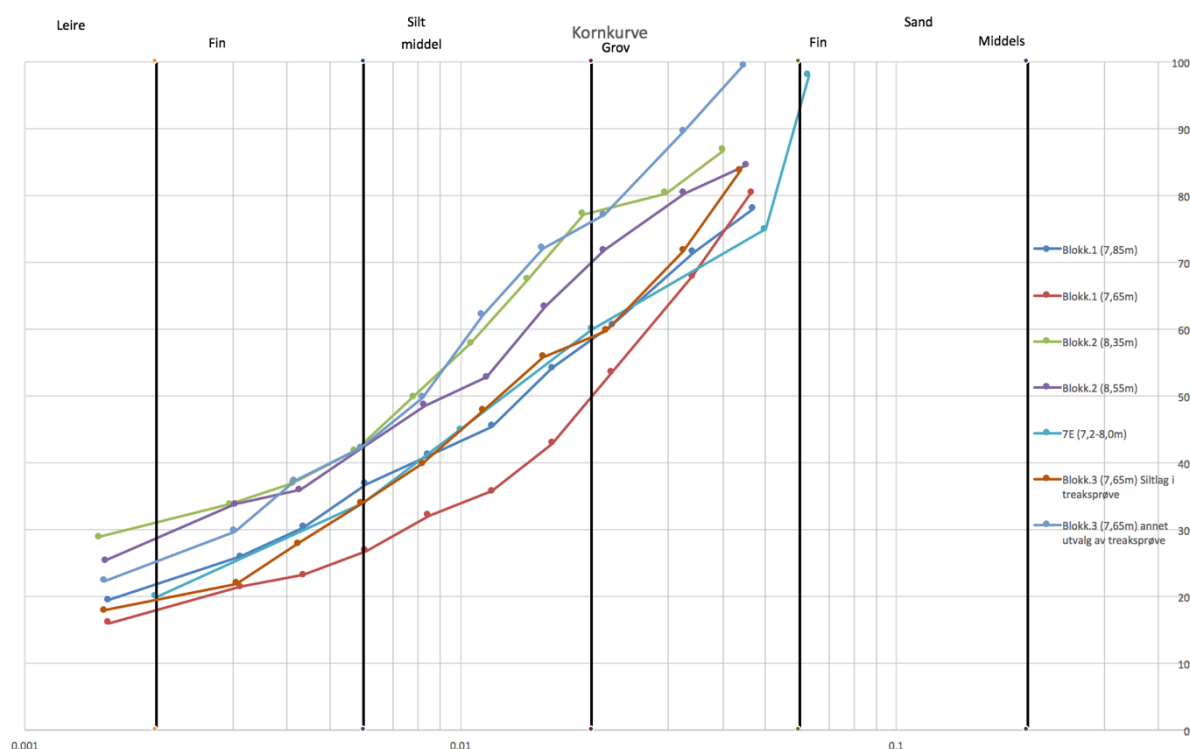
		Dybde [m]	Flytegrense w _l	Plastisitetsgrense w _p	Plastisitetstall I _p
Blokk 1 20°C	topp	7,68	22,6	17,3	5,3
	bunn	7,86	24,6	17,9	6,7
Blokk 2 5°C	topp	8,38	24,0	17,4	6,6
	bunn	8,57	25,1	16,4	8,7
Blokk 3 20°C	Topp	7,68	23,4	17,0	6,4

Tabell 5. Resultater fra Casagrande forsøk og bedømming av plastisitets grense

3.1.3 Kornfordeling

Kornfordeling fra hydrometeranalyse er presentert i Figur 12. Tolkning og resultater er vist i Tabell 6. Sammen med resultatene er det også plottet kornfordeling fra prøve nummer 7E fra geoteknisk rapport fra Statens Vegvesen. (Statens vegvesen, 2014) Kornfordeling viser at materialet i blokkprøvene varierer, ut i fra kornfordeling kan vi se at materialet fordeler seg i to samlinger. En samling består av materialet som er i grenseområdet mellom leire og siltig leire. Den andre samlingen består av materiale i grenseområdet for siltig leire og leirig silt.

Etter at det ble observert brudd i antatt siltlag i treaksialprøven fra blokk 3 ble det gjort en hydrometeranalyse av dette materialet. Det ble også gjort hydrometeranalyse av materiale som antatt av annen art en det antatte siltlaget. Resultatet viser at antagelsene stemte og at prøven besto av et materiale av heterogen karakter, der silt og leirig silt lå i lag i brudd retning.



Figur 12. Kornfordeling ved hydrometeranalyse

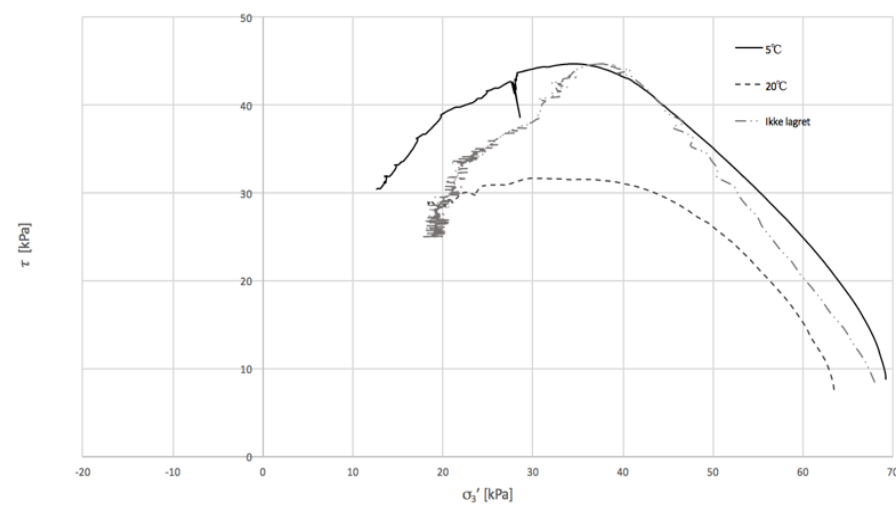
	Dybde [m]	Klasse	d75	d25	C _u
Blokk 1 topp	7,65	Leirig silt	0.040	0.006	6.7
Blokk 1 bunn	7,85	Siltig leire	0.045	0.003	15.0
Blokk 2 topp	8,35	Leire	0.018	0.001	17.5
Blokk 2 bunn	8,55	Siltig leire	0.025	0.002	16.7
Blokk 3 siltlag	7,65	Leirig silt	0.042	0.004	10.5

Blokk 3 annet	7,65	Siltig leire	0.020	0.002	10.0
---------------	------	--------------	-------	-------	------

Tabell 6. Resultater fra kornfordeling

3.2 Treksialforsøk

I Tabell 7 er resultater fra utførte treksialforsøk presentert. Figur 13 viser NTNU plott av to av resultatene som ga best sammenligningsgrunnlag sammen med dataen fra forsøk utført på prøve rett etter prøvetakning (operatør; Helene Alexandra Amundsen Kornbrekke). Prøve 2B og 3A ga resultat som kunne benyttes som grunnlag for vurdering av prøveforstyrrelse. Resultatene er presentert i detalj sammen med resten av treksialforsøkene i bilag 01 til 04. I tillegg til vellykkede treksialforsøk, ble det utført ett forsøk som ble avbrutt fordi det ble pålastet for stor vertikal last ved et uhell under montering.



Figur 13. NTNU-plot av treksialprøver

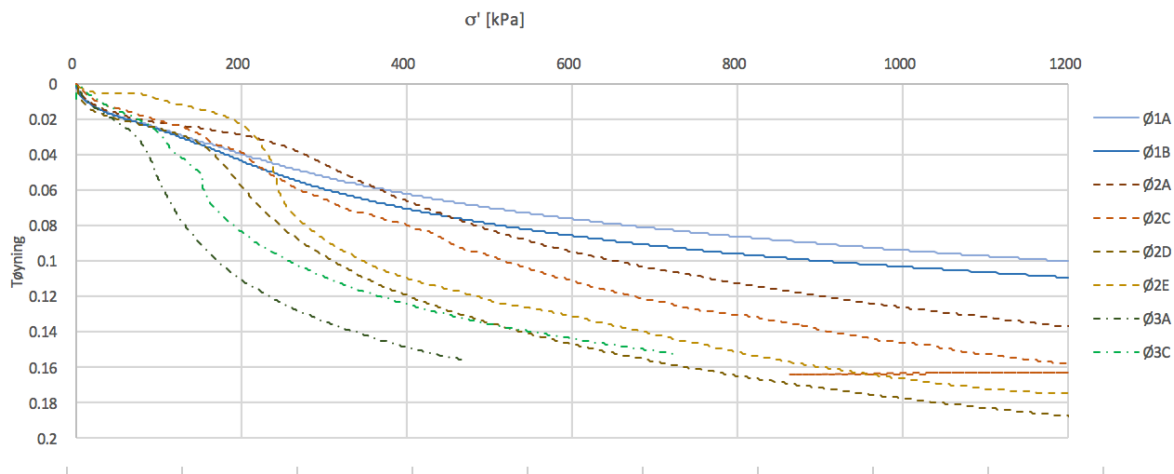
Prøve	Lagring [°C]	Dybde [m]	S_u [kPa]	Φ [°]	A [kPa]	D [-]	w [%]	ϵ_{brudd} [%]	$\Delta\epsilon_{vol}$ [%]	$\Delta e/e_0$ [-]
1B	20	7,86	62,6*	38,8*	-14,4*	0,21*	26,8	-	2,7	0,065
2A	5	8,38	37,9	30,89	43,1*	-0,21	36,0	1,0	1,5	0,030
2B	5	8,57	44,7	29,9	20,2	-0,17	37,8	0,9	2,2	0,043
3A	20	7,68	31,7	17,4	25,9	-0,14	32,6	0,9	3,2	0,065

Tabell 7. Resultater fra treksialtester

3.3 Ødometerforsøk

I Tabell 8 viser resultatene fra utførte ødometerforsøk. Figur 2 viser σ' - ϵ plot av utvalgte ødometerresultater. Alle resultater er presentert i detalj i

Bilag .05 til 14.



Figur 14. Ødometerresultater plottet i σ' - ϵ plott

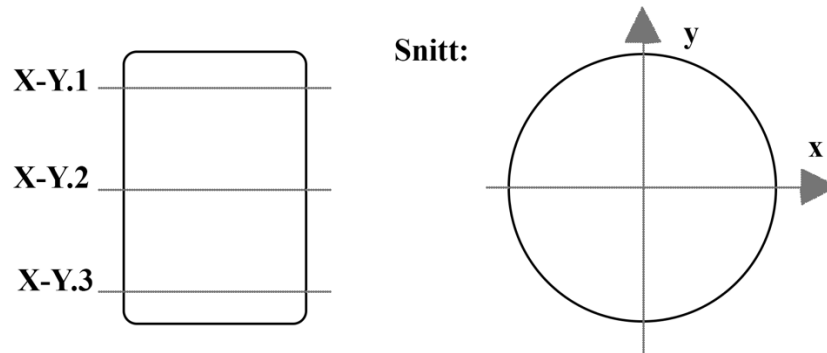
Prøve	Lagring [°C]	Dybde [m]	σ'_{v0} [kPa]	p'_c [kPa]	OCR [-]	M [MPa]	m [-]	P'_{ref} [kPa]	C_v [m ² /år]	w [%]	$\Delta e/e_0$ [-]
Ø1A	20	7,85	80,65	180	2,23	8,0	32,80	0	80	26,94	0,0535
Ø1B	20	7,85	80,65	180	2,23	6,8	32,93	0	82	26,92	0,0485
Ø2A	5	8,40	85,60	250	2,92	60,0	21,11	100	110	38,10	0,0414
Ø2B	5	8,40	85,60	260	3,03	40,5	19,69	175	-	38,20	0,0199
Ø2C	5	8,55	86,95	160	1,84	9,0	22,4	0	68	39,1	0,0363
Ø2D	5	8,55	86,95	160	1,84	9,7	20,5	100	64	37,1	0,0469
Ø2E	5	8,55	86,95	240	2,76	10,0	20,6	175	55	37,6	0,0126
Ø3A	20	7,70	79,30	85	1,07	3,8	23,2	50	39	24,0	0,0827
Ø3B	20	7,70	79,30	410	5,17	24,7	6,17	300	317	37,8	0,0269
Ø3C	20	7,70	79,30	120	1,51	18,4	30,5	100	56	33,5	0,0435

Tabell 8. Resultater fra ødometerforsøk

3.4 Vanninnhold

Måling av vanninnhold i blokkene var vellykket og resultater som ble målt gir et godt bilde av vanninnholdet igjennom blokkprøvene. Det er utført målinger på tre snitt i blokk 1 som ble lagret ved 20°C og tre snitt i blokk 2 som ble lagret ved 5°C. Det er også målt vanninnhold i alle ødometer- og treksialprøver. I dette avsnittet presenteres kun resultatene for vanninnhold

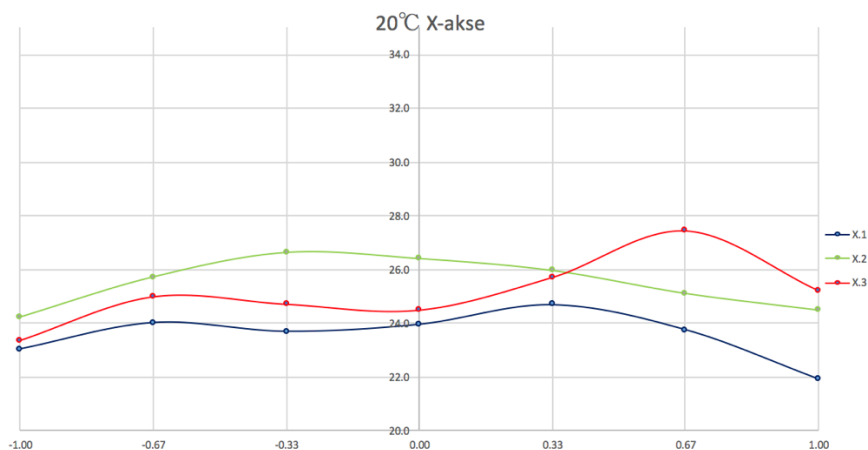
målt i snitt. Vanninnhold for ødometer og treaksialprøver er presentert i egne avsnitt. I snitt fra blokk 3 (20°C) ble det ikke målt vanninnhold på grunn av tidsmangel, utover målingene utført på treaksial- og ødometerprøvene.



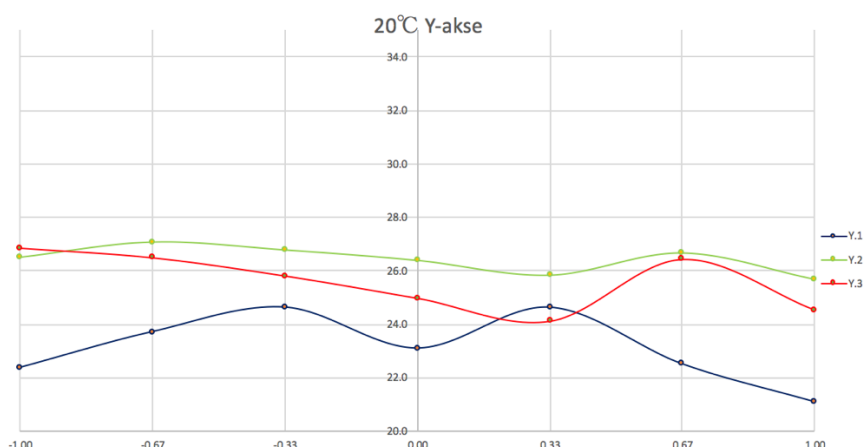
Figur 15. Inndeling og navngiving av snitt og akser ved presentasjon av vanninnhold i blokkprøvene

Figur 15 viser inndeling og navngiving av snitt, det vil si at hvis det refereres til snitt Y.1 er det vanninnholdet i øverste skive av prøven over y-retning det refereres til. X- og Y-retning er plotet hver for seg for at det skal være lettere å se hva som er hvilket snitt i prøven. Hvert snitt består av syv punkter plottet over diameteren på prøven der 0 er sentrum og 1 og -1 er i ytterkant i hver sin side av prøven. Alle syv punktene er et gjennomsnitt av resultatet av tre prøvestykker i bredden av en skyve som er 1 cm høy. Snitt 1 er hentet fra 3-4 cm fra toppen, snitt 2 i midten av prøven og snitt 3 er hentet 3-4 cm fra bunn. Selv om det er brukt x- og y-retning i presentasjonen er det ikke automatisk sammenheng i retningene da skivene har blitt rotert under analyse. Det er vil fortsatt være nærliggende å anta at side av snitt med lignende oppførsel ligger omtrent samme retning.

Vanninnholdet avdekket viser to blokkprøver med svært forskjellig vanninnhold da blokk 1 har et vanninnhold på ca. 25% i midten av prøven har blokk 2 et vanninnhold på ca. 36%.

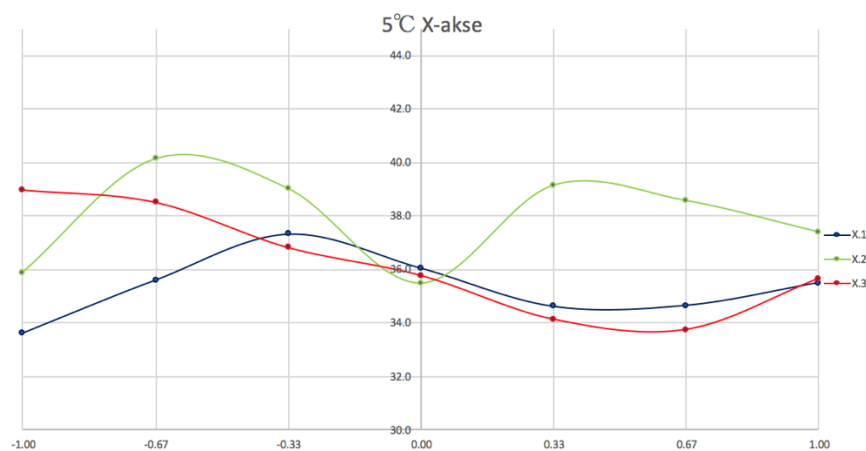


Figur 16. Vanninnhold for blokk 1 lagret i 20°C over X-akse

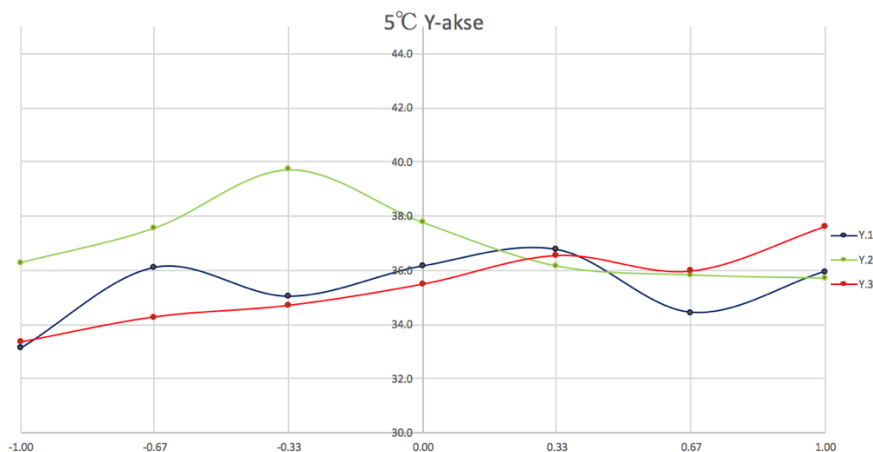


Figur 17. Vanninnhold for blokk 1 lagret i 20°C over Y-akse

Resultatet fra blokk .1 viser en tendens til lavere vanninnhold i ytterkant av prøven igjennom de fleste snitt. Det er også målt et høyere vanninnhold på en side av prøven i flere av snittene. Det er også mulig å se antydninger til en tendens at det er lavere vanninnhold i midten av prøven enn målinger gjort lenger ut. Snitt Y.1 i figur 15 og tilhørende X.1 i figur 14 er et tydelig eksempel på denne oppførselen. Figur 14 og 15 viser også betraktelig mindre variasjon i snitt 2 enn i snitt 1 og 3 (topp og bunn). Snitt X.1, X.3 og Y.3 viser tendenser til uttørring så langt inn som 2/3 inn i prøven.



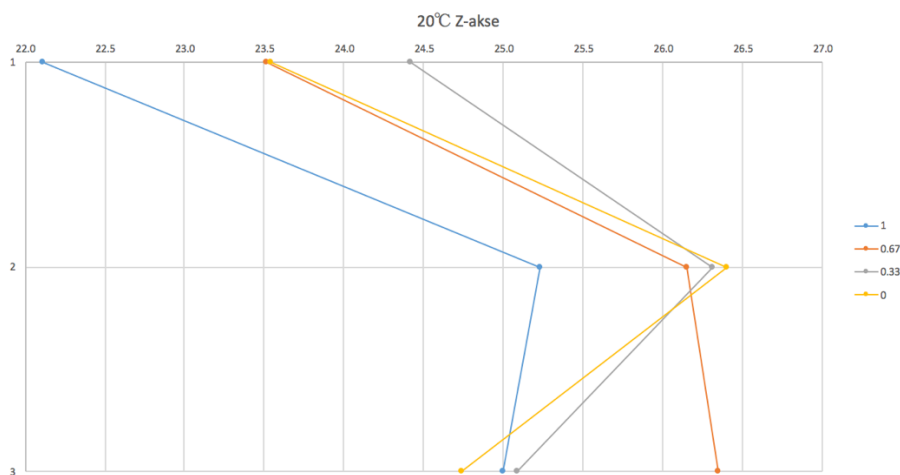
Figur 18. Vanninnhold for blokk 2 lagret i 5°C over X-akse



Figur 19. Vanninnhold for blokk 2 lagret i 5°C over Y-akse

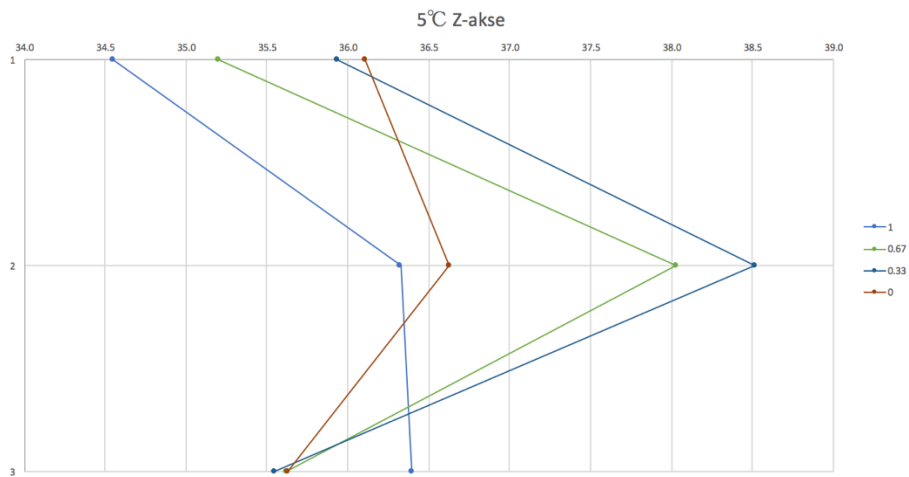
Figur 16 og 17 viser plot for vanninnhold i blokk 2. Snitt X.1, X.2, Y.1 og Y.2 viser lavere vanninnhold i ytterkant av en side av prøven enn lenger inn i blokken. Snitt X.3, Y.2 og Y.3 viser en tendens til høyere vanninnhold i en side av prøven. I senter av prøven måles det en god samling på vanninnhold rundt 36%. Målinger i snitt X.2 og Y.2 viser en tendens til variasjoner av vanninnhold helt opp til 4% i midten av blokk 2. I likhet med resultatene med blokk 2 kan det virke som at snitt 1 har en høyere vanninnhold 2/3 inn i prøven.

Under er resultatene presenter i graf med vanninnhold over høyden av blokkene for å gi et bedre inntrykk av uttørking og variasjon i vanninnhold i de forskjellige snittene. Hvert av plottene representerer gjennomsnittet av målinger i avstand fra sentrum. Her er 1 i ytterkant og 0 sentrum. Y-aksen i grafen er snittene 1, 2 og 3.



Figur 20. Vanninnhold for blokk1 lagret i 20°C over høyden (z-aksen)

Det er tydelig at det er høyere vanninnhold i midten av blokk 1 enn i topp og bunn, da det er betraktelig lavere vanninnhold i toppen av prøven enn i resten av prøven. Det samme gjelder for variasjon i vanninnhold igjennom snittet. I snitt 3 er kan det tilsynelatende se ut som at lenger ut i prøven er det en generell mindre endring i vanninnhold i forhold til snitt 2, men grafer fra snitt viser at dette er kun fordi det er en speilet oppførsel der vanninnholdet er større på den ene siden og mindre på den andre.



Figur 21. Vanninnhold for blokk 2 lagret i 5°C over høyden (z-aksen)

Blokk 2 har ganske så lik oppførsel i vanninnhold over høyden som blokk 1. Blokken skiller seg da ut i den langt større variasjonen i snitt.2. Den observerte oppførselen der vanninnholdet er større på den ene og større på den andre i ytterkanten enn i midten finnes igjen i denne blokken, men her kun tydelig i ytterste rekke med målinger.

4 Diskusjon

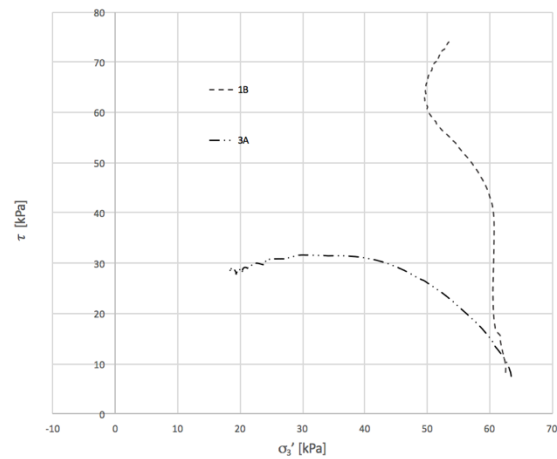
I diskusjonen vil resultater og erfaringer fra laboratorieundersøkelsene bli drøftet og presentert med den hensikt å kunne kartlegge prøveforstyrrelse og forskjell i prøveforstyrrelse for prøver lagret ved 5°C og 20°C. Det diskuteres også begrensninger og usikkerhet ved forskjellige aspekter av forsøkene.

4.1 Rutineundersøkelser

Hydrometeranalyse og visuell inspeksjon har avdekket at det er store variasjoner i materialet fra Mælagata som er benyttet i oppgaven. Dette er trolig også en viktig årsak til den store variasjonen i treksial- og ødometerresultater fra blokkprøvene som er undersøkt. Dette bidrar til usikkerhet og gjør det vanskeligere å trekke sikre slutninger. Videre diskusjon er derfor basert på resultater fra ulike forsøk som viser den samme tendens for prøvenes materialeegenskaper.

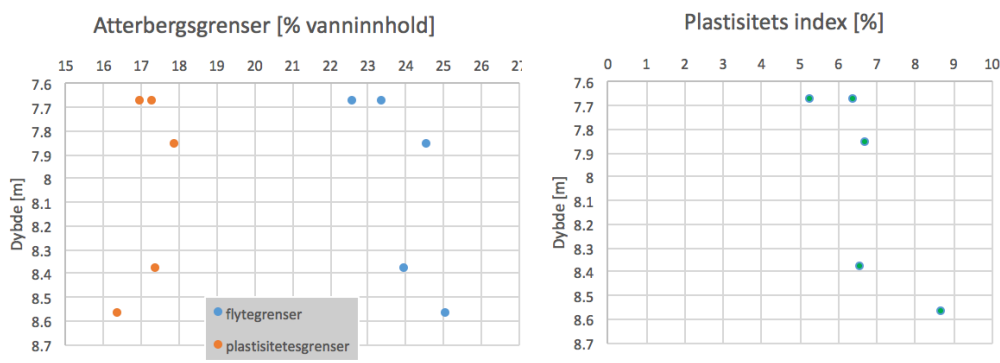
I tillegg til store variasjoner i kornfordeling er det avdekket at vanninnholdet i blokk1 på 7,60 til 7,95 meters dybde er generelt lavere enn i blokk 2 hentet fra 8,30 til 8,65 meters dybde i samme borehull. En forskjell i vanninnhold på 11% er svært stor og dette kan forklare hvorfor treksialtest 1B (blokk 1) som er presentert i

Bilag 01 har en dilatant oppførsel til forskjell fra hva som ble konkludert fra treaksialforsøkene for blokk 2 og 3. Det kan tenkes at det lave vanninnholdet i blokk 1 henger sammen med et lavere porevolum som da kan resultere i at materialet dilaterer når prøven går mot brudd. Blokk 3 som er tatt i samme dybde som blokk 1 viser seg å ha et vanninnhold på rundt 33-36% i likhet med blokk 2. Resultater fra blokk 2 og 3 egner seg derfor best til sammenligning. Figur 22 viser resultatene fra treaksialforsøk 1B og 3A i NTNU-plott.



Figur 22. NTNU-plott med treaksialtest 1B og 3A

Alle verdier som er funnet for flytegrense og plastisitetsgrense er svært like med en flytegrense på 24%, plastisitetsgrense på 17% og en plastisitetsindex på 6.5%. Dette kjennetegner materialer med lav plastisitet som er typisk for siltige materialer. Alle blokkprøver brukt i oppgaven har et vanninnhold over flytegrensen noen som er en indikasjon på sensitivt og mulig kvikt materiale. Blokk 1 som ligger rett på flytegrensen med et vanninnhold mellom i området 23-27% er da mindre sensitivt enn blokk 2 og 3. Dette er i samsvar med omrørt skjærstyrke målt med konusapparat der S_r varierer fra 2,5kPa i blokk 1 til S_r på 0,39kPa som indikerer kvikt materiale i blokk.3. Figur 23 viser Atterbergs grenser og plastisitets index plottet med dybden. På 7,68 meter er det plottet resultater fra både blokk 1 og 2. I denne dybden har blokk 3 lavest plastisitetsgrense og høyest flytegrense og plastisitetsindex.



Figur 23. Atterbergs grenser og plastistets index fra blokkprøver

Rapport fra Statens vegvesen av nærliggende borprofil tatt med 54mm prøvetaker i 2014 viser vanninnhold målt til 32,5, 26,1 og 31,6% på henholdsvis 7,65, 7,75 og 8,45m dybde. (Statens vegvesen, 2014) Dette samsvarer med forskjellen i vanninnhold målt i blokk 1 og 2. I borprofilen er det også målt plastisitetsgrense til 16% vanninnhold og en flytegrense på 21% på 7,55m. Flytegrensen er noe lavere enn målt i dette arbeidet, men plastisitetsgrensen stemmer godt overens med tidligere resultater.

Rapporten fra Statens vegvesen viser også en omrørt skjærstyrke målt til 0,2 og 0,3kPa på henholdsvis 7,55 og 8,55m dybde på. Sammenlignet med målt omrørt skjærstyrke mellom 0,39 og 2,5kPa kan det virke som lagring har ført til en økt omrørt skjærstyrke. NGI (Norges Geotekniske Institutt, 2013) konkluderer i en rapport fra 2013 med at lagringstid vil føre til en reduksjon av omrørt skjærstyrke. I samme rapport presenteres en tabell med data produsert av Det Svenske Geotekniske Instituttet i 1994 hvor det var observert både en økning og reduksjon i S_r for leirig silt. Resultatene fra blokkprøvene i oppgaven indikerer at vannmigrasjon i blokkprøvene har ført til en reduksjon i vanninnhold i materiale testet i konusapparat og dermed en økning i omrørt skjærstyrke. Da forskjellen i vanninnhold mellom blokk 1 og blokk 2 og 3 er stor, fører dette til forskjeller i materialenes egenskaper noe som gir et dårlig sammenligningsgrunnlag når det kommer til effekt av lagring på omrørt skjærstyrke og vanninnhold.

Utvalget for rutineundersøkelsene består av få blokkprøver med stor variasjon i materialeegenskaper, derfor er det stor sannsynlighet for at resultatene fra utførte rutineundersøkelser i dette arbeidet kan avvike fra egenskaper i resten av blokkprøven. For å med større sikkerhet vurdere effekt av lagring ved ulike temperaturer på indeksresultater vil det vært nødvendig å undersøke flere prøveblokker og flere prøver i hver blokk for så å utføre en statistisk analyse.

4.2 Vanninnhold

Utvidet analyse av vanninnhold i blokkprøvene viser klare tendenser til migrasjon av porevann. Vanninnhold i ytterkant av prøvene er lavere en lenger inn i prøven. Det er også en tendens til at vanninnholdet er høyere halvveis inn i prøven. Dette kan tyde på at vannmigrasjonen ikke kun migrerer ut av prøven og forårsaker uttørring, men også migrerer innover i prøven og gir deler av prøven økt vanninnhold.



Figur 24. Bilde av avkappet topplokk. Blokk 1(20°C) t.v. Blokk 2(5°C) t.h.

Visuell inspeksjon av prøvene viser tydelig tegn til uttørring i ytterkant noe som samsvarer med resultatene fra vanninnholdanalysene. Figur 24 viser blokk 1 og 2 rett etter avskjæring av topplokket. Her vises tydelig at blokk 2 har et høyere vanninnhold enn blokk 1. På grunnlag

av visuell inspeksjon ble det besluttet at det kun skulle tas ut to sylindere i bredden for ødometer- og treaksialtester for å unngå uttørkede deler av prøven.

Resultatene for viser også at tendensen er at vanninnholdet 3-4cm fra toppen av prøven er lavere enn vanninnholdet 3-4cm fra bunnen. Da midten av prøven i øverste snitt har lavere vanninnhold en ytterkant i snitt fra midten av prøven vil det anbefales å kutte av ytterligere 3cm hvis mulig. Da dette øvre del av blokkprøvene har vist seg å være av dårligere kvalitet i forhold til resten av prøven.

Det er også observert at reduksjon i vanninnhold forekommer lenger inn i flere av snittene i prøven lagret ved 20°C enn prøve lagret i 5°C. Blokkprøve lagret i 5°C har relativt små eller ingen variasjon i vanninnhold i senter av prøven mellom snittene. Dette indikerer at lagring i skjølerom har hatt en gunstig effekt på uttørring og porevannmigrasjon. Variasjoner i vanninnhold er større for blokkprøve lagret ved 5°C, trolig fordi materialets *in situ* vanninnhold er større for blokk 1. Den store forskjellen i vanninnhold gir noe usikkerhet når resultatene for blokker som er lagret ved ulike temperatur sammenlignes. På tross av usikkerheten er det sannsynlig at lagring på lav temperatur (5°C) begrenser uttørring i ytterkant, topp og bunn av en prøve sammenliknet med prøve lagret ved høyere temperatur (20°C).

Analysering av vanninnhold i snitt og profil på jordmaterialet var en tidkrevende prosess. Det tok omtrent en halv time fra første til siste våtvekt av biter i snittet var veid. Dette medførte til at hver del av prøven ble utsatt for forskjellig grad av uttørring etter åpning. Flere av plottene i snitt 2 i blokk 1 og 2 hadde en tilnærmet symmetrisk oppførsel med en liten rotasjon. Den skrå oppførselen kan forklares med noe uttørring av materialet før veiing av våtvekt.

4.3 Treaksialtester

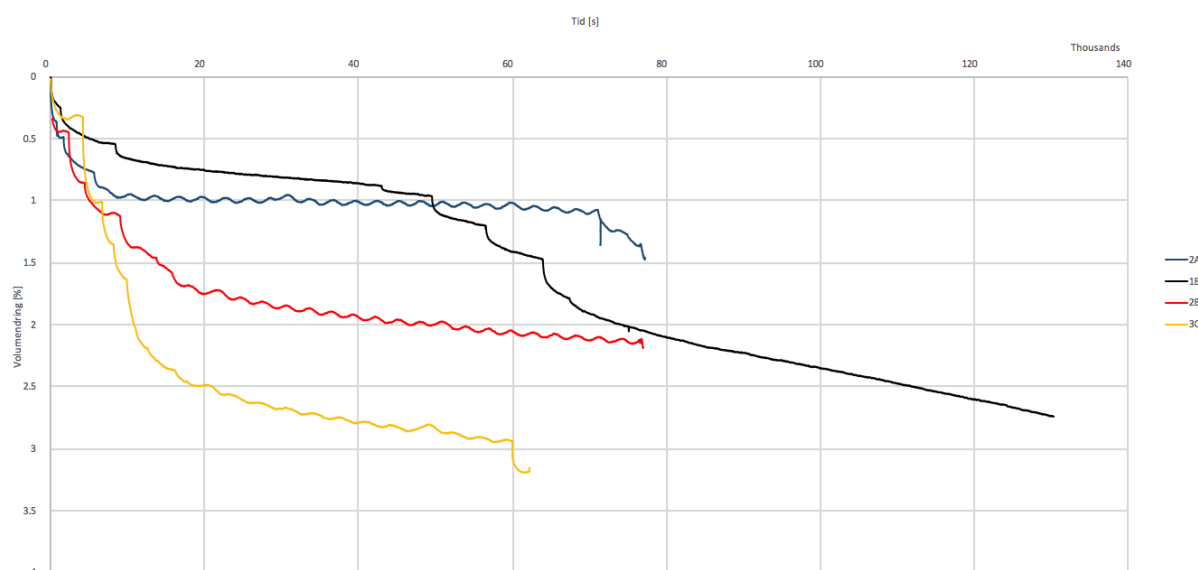
Ut i fra plott av volumtøyning under konsolidering av treaksialprøver (Figur 25) er det tydelig at prøve 1B og 3C lagret i 20°C har en større volumtøyning enn prøver lagret i 5°C. Konsolidering av siltige prøver hadde langvarig volumendring etter pålasting. Dette vises spesielt tydelig for prøve 1B. Konsolideringen av prøvene 2A og 2B ble stoppet etter rundt 22 timer. Prøve 3C og 1B ble stoppet etter henholdsvis 17,5 time og 35 timer. I ettertid er det vurdert at prøvene burde blitt konsolidering i lenger tid, da prøvene fortsatt presset ut porevann ved avsluttet konsolidering.

Tabell 9 viser tolket prøve kvalitet etter Kolstads metode (Kolstad, 1980). Kategorisering er bestemt ut i fra volumtøyning ved endt konsolidering, da prøve 1B fortsatt hadde stor volumendring ved endt konsolidering kan konklusjonen om prøve kvaliteten være uriktig. Antakelig ville prøveresultatet for 1B kommet ut som forstyrret om konsolideringen hadde vært forlenget. Det er også verd å legge merke til at OCR tolket fra ødometerforsøk i samme blokk varierer svært fra prøve til prøve, noe som medfører at kvalitet på materialet blir kategorisert forskjellig.

Prøve	Lagring [°C]	Dybde [m]	w [%]	ϵ_{vol} [%]	OCR	Kvalitet
1B	20	7,86	26,8	2,7	2,23	Akseptabel kvalitet

2A	5	8,38	36,0	1,5	3,0	Akseptabel kvalitet
2B	5	8,57	37,8	2,2	1,84	Akseptabel kvalitet
3A	20	7,68	32,6	3,2	1,5	Forstyrret kvalitet

Tabell 9. Tolkning av kvalitet etter Kolstads metode (Kolstad, 1980)



Figur 25. Volumtøyning under konsolidering av treaksialprøver

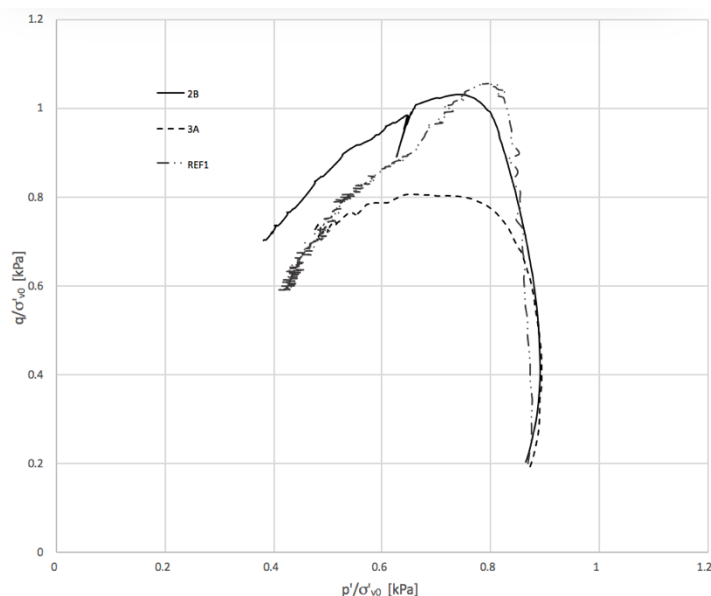
Klassifisering etter poreallforhold vist i Tabell 10 viser at prøve 2A, 2B og 3A kategoriseres som prøver av god til bra kvalitet. Prøve 1B blir klassifisert som dårlig. Av samme grunn som at 1B ble feil kategorisert inn i samme klasse som 2A og B etter klassifisering ved volumtøyning, faller 3A inn i samme klasse som 2B og 3A basert på poreallforhold. Resultatverdiene for 3A ligger helt på grensen til å bli kategorisert som dårlig. En vurdering av resultatene i ettertid hvor det er tatt i betraktning at konsolideringen sannsynligvis ble stoppet for tidlig, er det sannsynlig at prøve 1B og 3A som er lagret i 20°C burde betegnes som forstyrret. Ut fra justerte vurderinger av oppførsel under konsolidering er det tydelige forskjeller på prøvene lagret i 5 og 20°C. Prøvene lagret i kjølerom er av akseptabel kvalitet, mens oppbevaring ved høyere temperatur derimot viser seg å forringe prøve kvaliteten.

Prøve	Lagring [°C]	Dybde [m]	w [%]	OCR	$\Delta e/e_0$ [-]	Klasse
1B	20	7,86	26,8	2,23	0,065	Dårlig
2A	5	8,38	36,0	3,0	0,030	God til bra

2B	5	8,57	37,8	1,84	0,043	God til bra
3A	20	7,68	32,6	1,5	0,065	God til bra

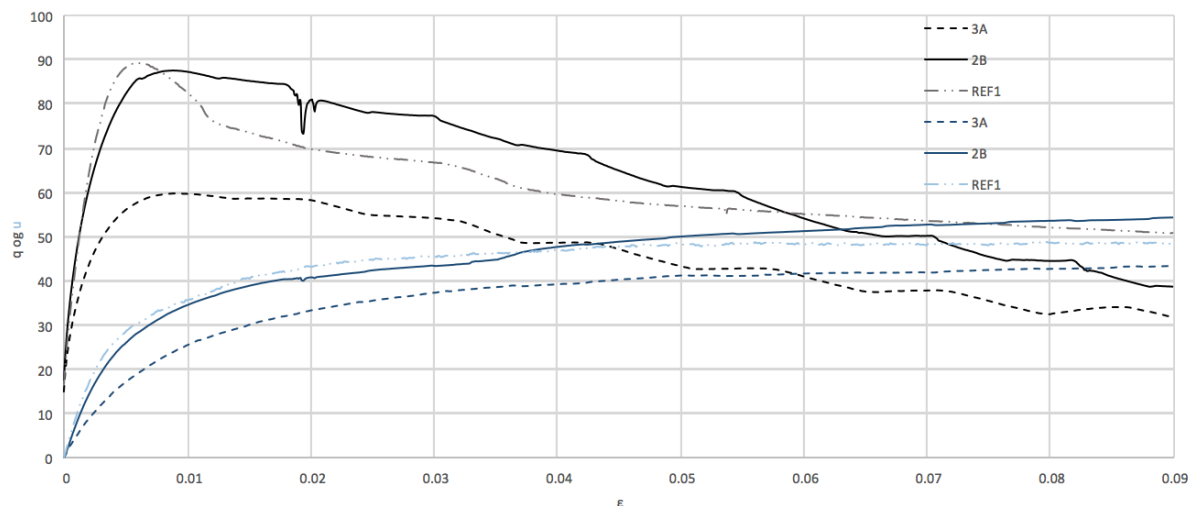
Tabell 10. Poretallforhold ved konsolidering av treaksialprøver

Treaksialtester på prøve 2B og 3A var mest vellykkede og prøvene hadde lik materialeoppførsel, derfor er resultatene fra disse brukt videre som grunnlag i diskusjon om effekt av lagring ved ulike temperaturer. Resultatene fra prøve 2B og 3A er presentert i Figur 26. Figuren viser ett q - p' -plot normalisert mot vertikal konsolideringsspenning. Det vises resultater på prøver som er tatt fra 8,4m dybde hvor analyseringen er utført rett etter prøvetaking. Prøven hadde et vanninnhold på 35%. Plottet viser at prøve testet rett etter prøvetaking har en tydelig bruddoppførsel. Overraskende nok viser prøve 2B lagret ved 5°C en svært tydelig bruddoppførsel som ikke er så langt fra prøven som ikke har vært lagret. Bruddoppførsel for prøve 3A lagret ved 20°C synes å ha klare tegn på prøveforstyrrelse. Dette vises ved at det er stor sammentrekning av spenningstien sammenliknet med prøve som ikke er lagret.



Figur 26. Normalisert q - p' -plott av treaksialforsøk

Figur 27 viser en bruddtøyning på 0,9% for begge de lagrede prøvene og 0,6% for prøve undersøkt på dag 0. Su for prøvene er 45,0kPa for ulagret prøve og 44,7kPa for prøve lagret ved 5°C (2B) og men verdien for skjærstyrke redusert til 31,7kPa på prøve lagret ved 20°C (3A). Reduksjon i skjærstyrke er et tydelig tegn på prøveforstyrrelse. En økt bruddtøyning og reduser skjærstyrke er klare tegn på prøveforstyrrelse. Prøve lagret ved 5°C har mindre reduksjon i skjærstyrke en forventet men en økt bruddtøyning. Det er godt mulig at dette materialet i utgangspunktet har hatt en høyere skjærstyrke en prøven tatt ved dag 0, da prøven viser tendenser til sammentrukken spenningsti og bruddtøyning. Det er likevel ingen tvil om at treaksialprøve 2B lagret i 5°C er av svært god prøve kvalitet. Prøve lagret ved 20°C har viser en reduksjon på skjærstyrke på hele 30% og resultatene viser entydig at prøve er av redusert kvalitet.



Figur 27. Deviatorspenning og poretrykk i treaksialforsøk

Det ble oppdaget før montering av prøve 3A at materialet i sylindere er heterogent skifret med to materialer som er antatt silt og siltig leire i skjærretning. Etter forsøk viser det seg at bruddet har gått i lagretning av det som er antatt silt, øvre del har sklidd til venstre og nedre til høyre. Bildet i Figur 28 viser tydelig hvor bruddet har gått. Resultatene av hydrometeranalyse bekrefter mistanken om at bruddet har gått i et silt lag og at prøven består av både leirig silt og siltig leire. På grunnlag av denne observasjonen er trolig den reduserte skjærstyrken også noe redusert på grunn av at bruddet gikk i laget med leirig silt.



Figur 28. Bilder av treaksialprøve 3A (t.v.) trimming av prøven før forsøk (t.h.) delt prøve etter forsøk

Treksialapparatet som er brukt i oppgaven har stått ubrukt over lenger tid og det ble oppdaget en rekke feil og mangler ved utstyret ved prosjektstart. Dette er årsaken til at første blokkprøve ble åpnet sent i semesteret og at det ikke var tid til flere forsøk før prosjektavslutning. Flere forsøk ville gi et bedre grunnlag for å komme med en sikrere konklusjon. De fleste av feilene i apparaturen ble utbedret, men trykkregulatorene har fortsatt

vært ustabile. Dette førte til at konsolideringsprosessen var vanskelig å få gjennomført på en god måte. Treksialforsøkene er utført etter best mulig evne, men det er alltid en risiko for feil når operatøren har liten erfaring med apparaturen. Det ble også observert større sannsynlighet for operatørfeil når utstyret i tillegg ikke holdt seg stabilt over tid. I tillegg er det også observert at celletrykk og baktrykk ikke holder seg stabilt med tiden. Dette kan ha også ha påvirket analyseresultatene i denne studien.

Forsøk på prøve lagret ved 5°C har vært utført i kjølerom for å unngå store variasjoner i temperatur før og under forsøk. Prøve 3A som var lagret ved 20°C ble også utført i kjølerom. Dette ble gjort fordi anlegget skulle brukes var slått på 10°C for andre forsøk i rommet og det var ikke tid til å vente på at disse forsøkene skulle bli ferdig. Det er observert svingninger i resultater fra forsøk kjørt med kjøleanlegget på. Noe av forklaringen for dette kan være at kjølerommet ikke klarer å holde konstant temperatur. Det ble observert en variasjon på opptil 4°C.

4.3.1 Feilkilder, hindringer og usikkerhet

Under treksialforsøkene oppførte baktrykket seg ustabil og utilregnelig. Når baktrykket var koblet på men regulatoren skrudd helt ut, ble det fortsatt gitt baktrykk til systemet. Dette kompliserte prosessen med å påføre celletrykk og baktrykk synkront. I tillegg flatet ikke volumendringen ut etter påført baktrykk under konsolidering. Det er sannsynlig at det har vært lekkasje i systemet, men det lyktes ikke å påvise dette. Det var derfor ikke mulig å utbedre apparaturen i løpet av semesteret.

Treksialforsøket er en omstendelig og krevende prosess som krever erfaring. Operatører med lite praktisk erfaring kan lett å gjøre feil, og sannsynligheten for at operatørfeil har innvirket på resultatene i dette arbeidet er tilstede. Prøvene er sensitive og små påkjenninger under trimming, transport og montering kan forstyrre prøven. Treg monteringstid øker samtidig sannsynligheten for at prøven tørker ut.

Det er viktig å være klar over at en 232cm³-prøve er en liten representasjon av lagdelingen i prøvegrunnen og at det kan forekomme variasjoner i testmateriale som avviker fra materialelaget *in situ*.

Under skylning av filtre kan de skje at luftbobler har setter seg fast i blokk og rør. Dette vil også være en feilkilde som innvirker på testresultatene. Det er derfor viktig å rense og skylle igjennom godt med luftfritt vann før prøven monteres for å unngå unødvendig motstand i systemet.

4.4 Ødometerforsøk

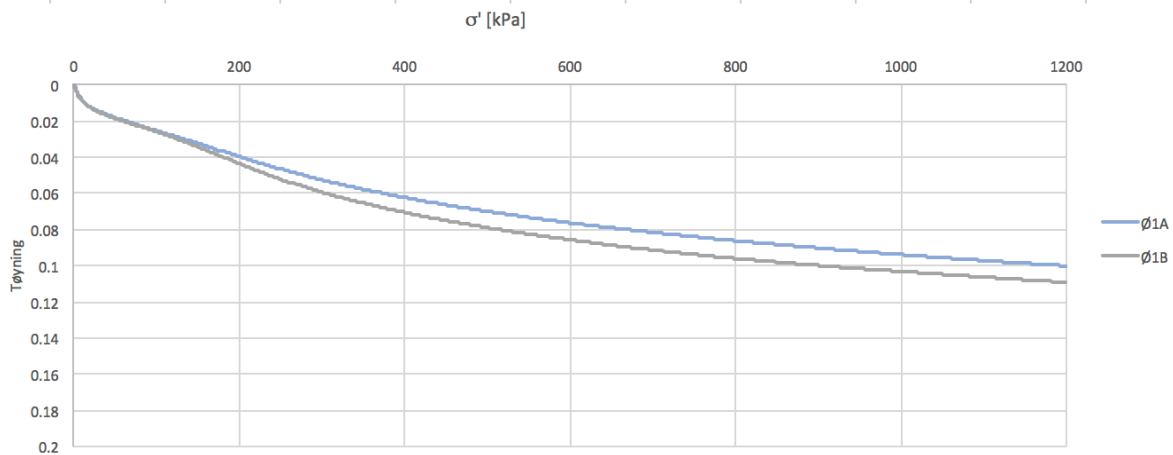
For å kunne vurdere grad av prøveforstyrrelse har ødometerprøvene blitt klassifisert ved hjelp av poretallsforhold. Resultatene vises i Tabell 11. Klassifiseringen viser lavere poretallsforhold for ødometerprøver hentet fra blokk 2 lagret på 5°C enn for prøvene fra blokk 1 og blokk 3 som ble lagret ved 20°C. Dette underbygger også at blokkprøver lagret i kjølerom har holdt seg svært bra da flere av prøvene fra forsøkene kategoriseres som meget god til utmerket kvalitet. For blokkprøver lagret i romtemperatur blir i motsetning flere prøver klassifisert som dårlig kvalitet. Ødometerprøven Ø3A har det desidert høyeste poretallsforholdet. Prøven er fra det øverste utvalget fra sylinder skjært ut i blokk 3. Sammenlignet med prøven nederst i sylindere er poretallsforholdet tilnærmet dobbelt så stor. Dette kan være en indikasjon på at blokk 3 er mer forstyrret i overkant enn lenger ned i prøven.

Prøve	Lagring [°C]	Dybde [m]	OCR [-]	w [%]	$\Delta e/e_0$ [-]	Klasse
Ø1A	20	7,85	2,23	26,94	0,0535	Dårlig
Ø1B	20	7,85	2,23	26,92	0,0485	God til bra
Ø2A	5	8,40	2,92	38,10	0,0414	God til bra
Ø2B	5	8,40	3,03	38,20	0,0199	-
Ø2C	5	8,55	1,84	39,1	0,0363	Meget god til utmerket
Ø2D	5	8,55	1,84	37,1	0,0469	God til bra
Ø2E	5	8,55	2,76	37,6	0,0126	Meget god til utmerket
Ø3A	20	7,70	1,07	24,0	0,0827	Dårlig
Ø3B	20	7,70	5,17	37,8	0,0269	-
Ø3C	20	7,70	1,51	33,5	0,0435	God til bra

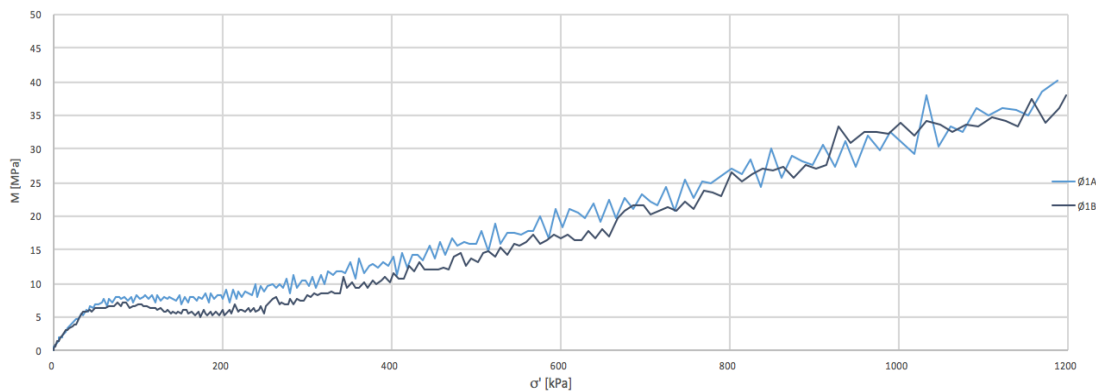
Tabell 11. Klassifisering av ødometerforsøk etter poretallsforhold

De samlede resultatene viser at det har vært svært store variasjoner i deformasjonsegenskaper på ødometerprøvene testet i oppgaven. Dette skyldes variasjoner i materialet i blokkprøvene. Flere av prøvene blokk 2 har fått et høyere prekonsolideringstrykk enn forventet og avviker fra resten av resultatene. Det er ikke lykket i å finne ut hvorfor dette er tilfellet.

Vellykkede prøveanalyser fra blokk 1 viser seg å være utført på prøver med betraktelig stivere oppførsel enn prøvene i blokk 2 og 3. Dette skyldes nok det lave vanninnholdet og porevolumet. Resultatene viser en veldig vag antydning til p'_c -oppførsel noe som underbygger at prøvene er av dårlig kvalitet. Målingene som viser at ødometermodulen M synker lite eller nærmest ingenting for prøve Ø1A i overgangen mellom overkonsolidert og normalkonsolidert området bekrefter også at prøvens egenskaper er forstyrret.



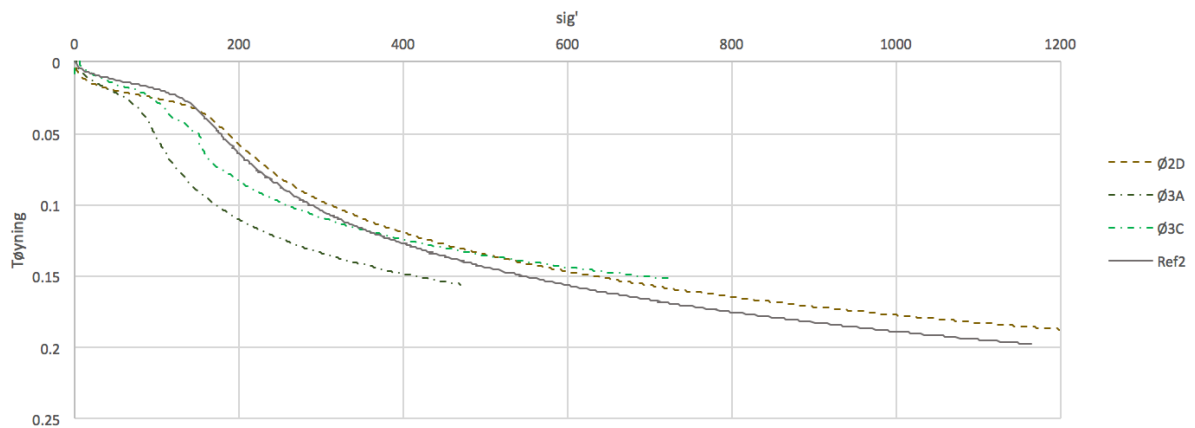
Figur 29. σ' - ϵ plott for ødometerforsøk fra blokk 1



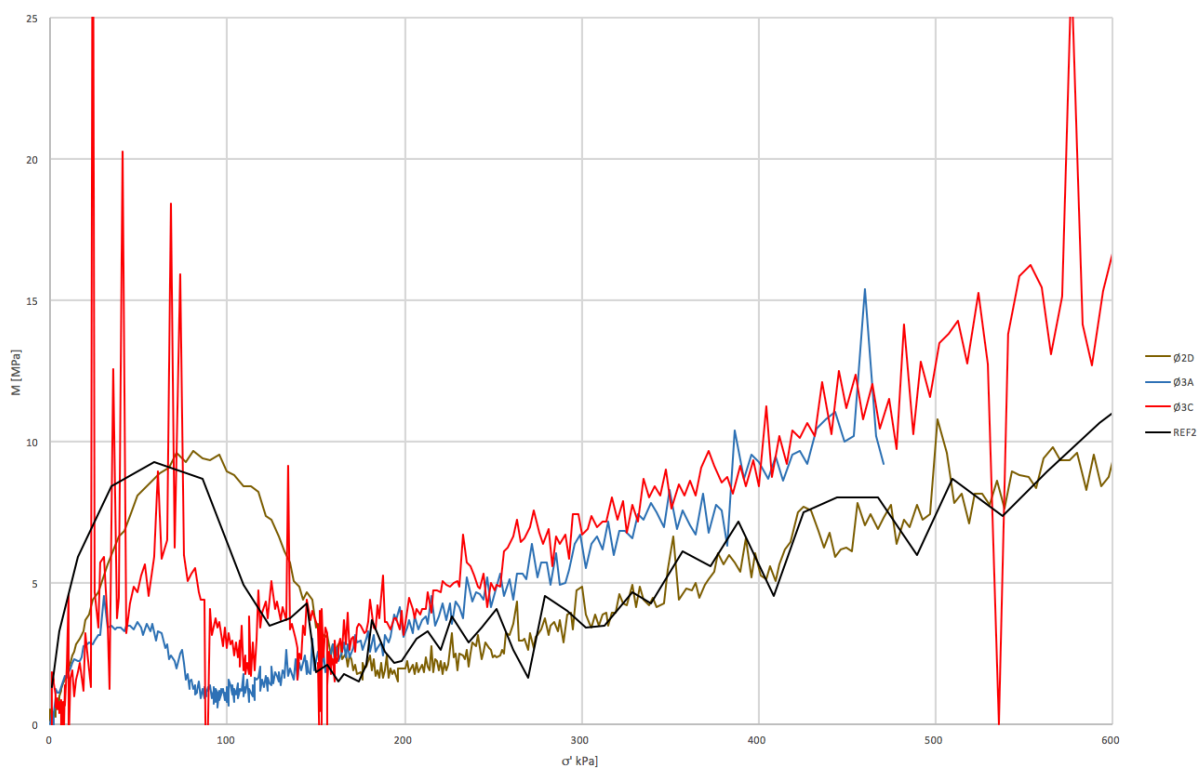
Figur 30. M - ϵ plott for ødometerforsøk fra blokk 1

Videre er resultater fra prøvene Ø2D, Ø3A og Ø3C sammenliknet med ødometerforsøk utført av andre på en referanseprøve tatt fra 8,4 meters dybde rett etter prøvetaking (operatør Helene Alexandra Amundsen). Prøvene egner seg godt for sammenlikning da de har likest oppførsel av prøvene som er undersøkt i studien og referanse ødometer. Prøveresultatene er presentert i σ' - ϵ plott i Figur 31 og M - ϵ plott i Figur 32. Resultatene viser tydelig at oppførselen til ødometerprøve Ø2E lagret i 5°C er lik som før referanseprøven undersøkt før lagring. Ø2E har en p'_c -oppførsel med tydelig fall i overgangen mellom overkonsolidert og normalkonsolidert område i ødometermodulen. De fleste prøvene hentet fra blokk 2 har i likhet med Ø2E samme tydelige oppførsel i prekonsolidert spenningsområde. Resultatene fra blokk 3 (Ø3A og Ø3C) som har vært lagret i 20°C viser en tydelig reduksjon i prekonsolideringspenning der Ø3A har en tilnærmet normalkonsolidert oppførsel med overkonsolideringsgrad på 1,07. Samlet viser dataene for blokk 3 at prøven er forstyrret etter oppbevaring uten kjøling. Materialet faller sammen i strukturen og tidligere spenningshistorikk forsvinner. Prøve hentet fra øverst i sylinder i blokk 3 har høyest reduksjon i prekonsolideringspenning og virker til å være mest forstyrret noe som samsvarer med observasjonene ved poreallsforhold. Det kan virke som at prøveforstyrrelse ytterst i blokkprøvene er størst og at kvaliteten blir bedre lenger inn i prøven. I sammenlikning med resultatene fra måling av vanninnhold kan det virke som at

porevannmigrering er størst i toppen av prøvene og denne delen har derfor også dårligst prøve kvalitet.



Figur 31. σ' - ϵ plott av utvalgte ødometerforsøk



Figur 32. M - ϵ plott for utvalgte ødometerforsøk

4.4.1 Feilkilder, hindringer og usikkerhet

Det var flere mulige feilkilder i ødometerforsøkene. Sprekkdannelse og uttørring av prøven under montering kan ha forstyrret prøven. Det er derfor viktig at innbygging av prøve gjøres nøye men effektivt for å unngå dette. En annen feilkilde er prøve størrelsen. Prøvestørrelse.

20mm prøveutvalg et svært lite i forhold til jordgrunnen *in situ*. Det vil si at det kan forekomme avvik fordi prøveuttaket ikke er representativt for helheten av materialet.

Kvaliteten på utstyret er kritisk for å få riktig resultat. Elektroniske givere bør kalibreres jevnlig da endringer i apparatet kan påvirke resultatet. Et av ødometerene ble under laboratorietestene flyttet til kjølerom i kjelleren på NTNU og kan dermed ha endret seg under flytting. Det ble likevel ikke utført en kalibrering og derfor kan også dette være en potensiell feilkilde i oppgaven.

Under innbygging av ødometere fra første serie var det problemer med sprekkdannelse under utskjæring. Løsningen på problemet var å trimme prøvene i mindre stykker. Lite overskuddsmateriale ved kutting førte til mindre motstand og sprekkdannelser. Figur 33 viser bilde av prøve med sprekkdannelse.



Figur 33. Ødometerprøve med riss/sprekker

5 Konklusjon

Det er utført et eksperimentelt studie av miniblokkprøver lagret ved 5°C og 20°C over lengre tid. I oppgaven er det utført en rekke forsøk i laboratoriet hvor materialenes mekaniske egenskaper og karakter har blitt tolket og presentert. Data fra laboratorieforsøk har blitt brukt til å vurdere effekten av forskjellig lagring på miniblokkprøvene. Resultatene for de ulike blokkene har blitt sammenlignet med hverandre og med resultater fra prøver som er testet samme dag som prøvetaking. Det er foretatt litteraturstudie på effekten av lagring på blokkprøver. Funn fra forsøk er sammenlignet med forventet effekt av lagring avdekket i litteraturstudiet. Oppgaven har gjort følgende funn:

- Litteraturstudiet viste at migrasjon av porevæsker, tørke, fuktighetstap, oksidasjon, andre kjemiske reaksjoner, temperatur og fuktighets forandringer kan føre til strukturendringer i blokkprøvene ved lagring over lenger tid.
- Litteraturstudiet viste at strukturendring forstyrrer prøven slik at den mister in situ mekaniske egenskaper. Forventet effekt av prøveforstyrrelse er reduksjon i stivhet, skjærstyrke, prekonsolideringstrykk, omrørt skjærstyrke og sensitivitet.
- Materialet i miniblokkprøvene hentet fra Mælagata i Skien, viste seg å være av heterogen karakter der materialet varierer mellom siltig leire og leirig silt over svært små avstander i blokkprøvene. Det er også avdekket leire i prøvene.
- Første blokkprøve som ble åpnet var lagret ved 20°C og viste seg å ha et vanninnhold som var 11% lavere enn prøven lagret ved 5°C. Treaxialtest viste et materiale med dilatant oppførsel og ødometerforsøk viste at materialet var stivere enn prøven lagret ved 5°C. Blokkprøvene ga et dårlig sammenlignings grunnlag, så det ble besluttet å åpne en tredje blokkprøve lagret ved 20°C som hadde et vanninnhold tilnærmet lik blokkprøve lagret ved 5°C.
- Resultater fra blokkprøve lagret ved 5°C viste seg å være av god til svært god prøve kvalitet. Dette er langt bedre resultat enn forventet etter 597 dagers lagring. Treaxialforsøk viser lite reduksjon i udrenert skjærstyrke og resultater fra ødometerforsøk som viser $p'c$ – og ødometermodul-oppførsel er svært like forsøk gjort uten lagring.
- Prøver lagret ved 20°C viste seg å være av mindre god til dårlig kvalitet med tydelige tegn på prøveforstyrrelse. Treaxial forsøk hadde en redusert udrenert skjærstyrke på 30%, ødometerforsøk hadde stor reduksjon i $p'c$ -oppførsel og liten eller ingen fall i ødometermodul mellom overkonsolidert og normalkonsolidert område.
- Målinger av vanninnhold og ødometerforsøk viser at blokkprøvene er mest forstyrret i topp og i periferien av blokken.
- Miniblokkprøven lagret ved 20°C er uttørket lenger inn i prøven enn miniblokkprøve lagret ved 5°C. Det kan virke som at blokkprøve lagret ved 5°C i større grad holder på porevannet, men at det migrerer innover i prøven.

Referanser

D.W. Hight, S. L. (2003). *Characterisation of soils for engineering purposes*.

Geotechnical division at Norwegian University of Science and Technology. (2014). *Geotechnis: Field and Laboratory Investigations*. Trondheim: NTNU: Department of Civil and Transport Engineering.

Hvorslev, M. (1949). *Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes*. ASCE, U.S. Army Engineer Experiment Station.

Karlsrud, K., Otter, R., & Gjelsvik, V. (2012). *State-of-the-art: Blokkprøver*. Norges geotekniske institutt (NGI). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket.

Kolstad, A. (1980). *The NGI 54-mm samplers for undisturbed sampling of clays and representative sampling of coarser materials*. NGI.

Kornbrekke, H. A. (2012). *Skråningsstabilitet ved Rein Kirke med utgangspunkt i resultater fra Sherbrooke blokkprøver*. Trondheim: NTNU: Institutt for bygg, anlegg og transport.

La Rochelle, J. S. (1976). *Effect of Storage and Reconsolidation on the Properties of Champlain Clays*. -: American Society for Testing and Materials.

Norges Geotekniske Institutt. (2013). *Effekt av lagringstid på prøve kvalitet*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket.

Norwegian University of Science and Technology. (2014). *Geotechnics - Field and Laboratory Investigations*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

Statens vegvesen. (2014). *Laboratorieundersøkelser*. Oslo: Statens vegvesen.

Statens vegvesen. (2014). *Presentasjon av felt og lab resultater fra Fv 44 Mælagata - Amstand Alls gate*. Statens vegvesen.

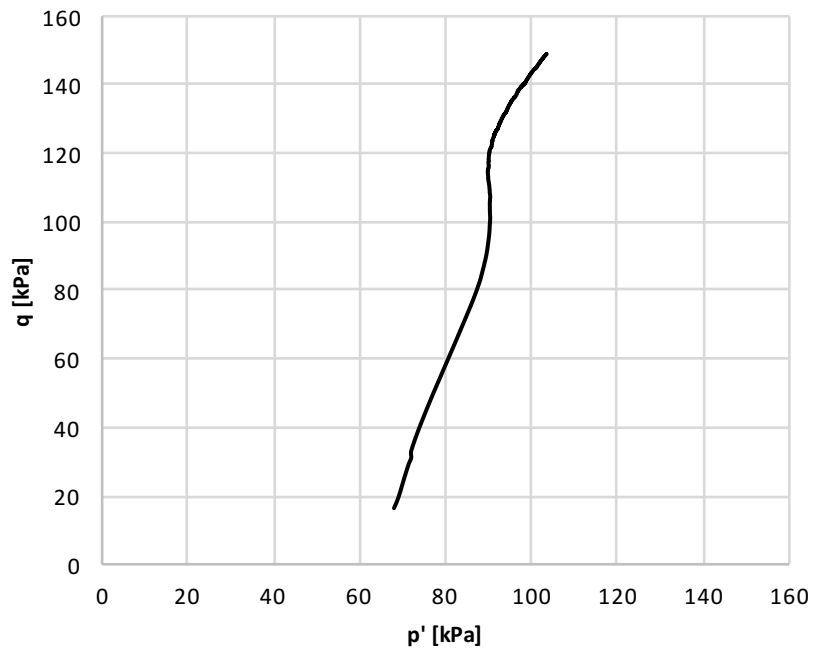
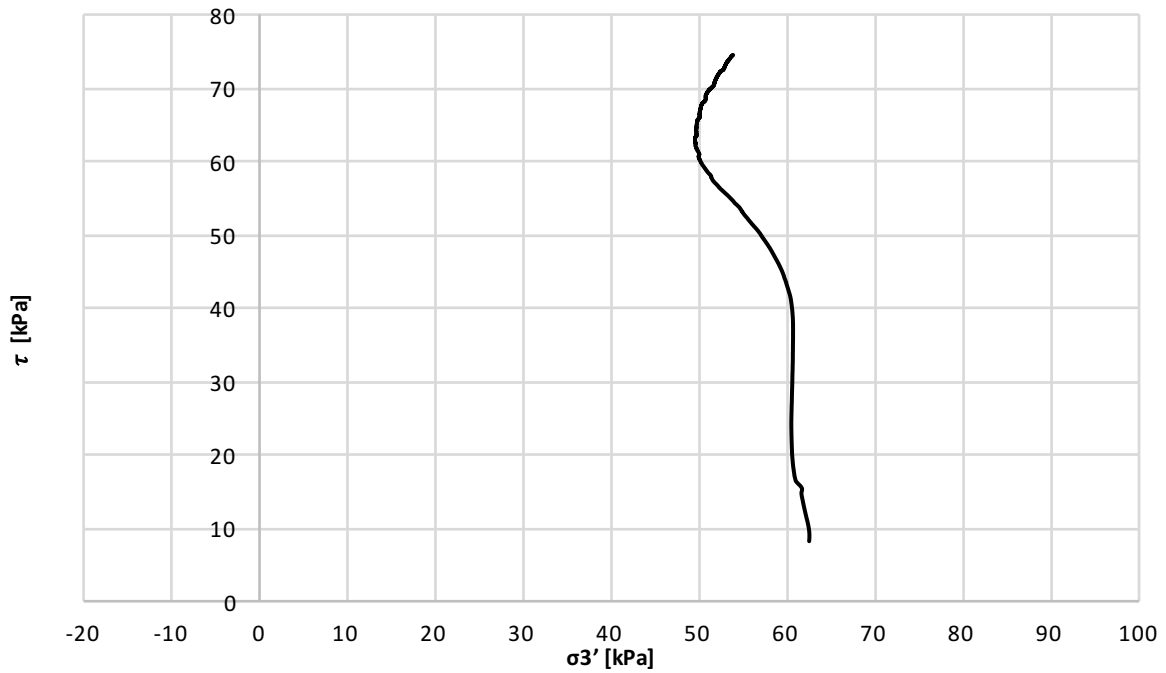
T. Lunne, T. B. (1997). *Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay*. Rotterdam.

Tom Lunne, T. B. (2006). *Effects of Sample disturbance and consolidation procedures on measured shear strength of soft marine Norwegian clays*. Oslo: Norwegian Geotechnical Institute.

Torrance, J. (1976). *Pore water extraction and the effect of sample storage on the pore water chemistry of Leda clay*. American Society for Testing and Materials.

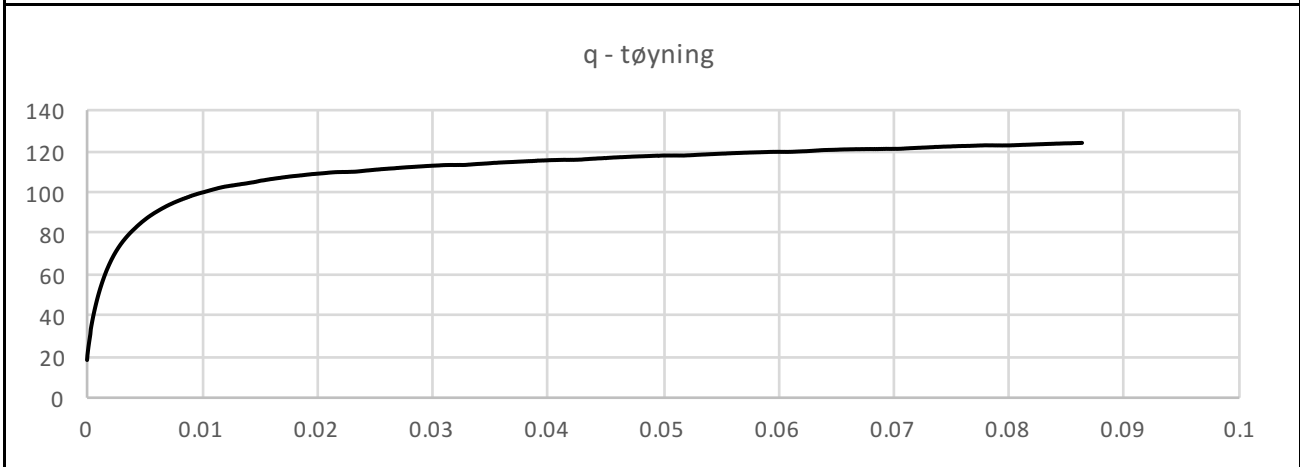
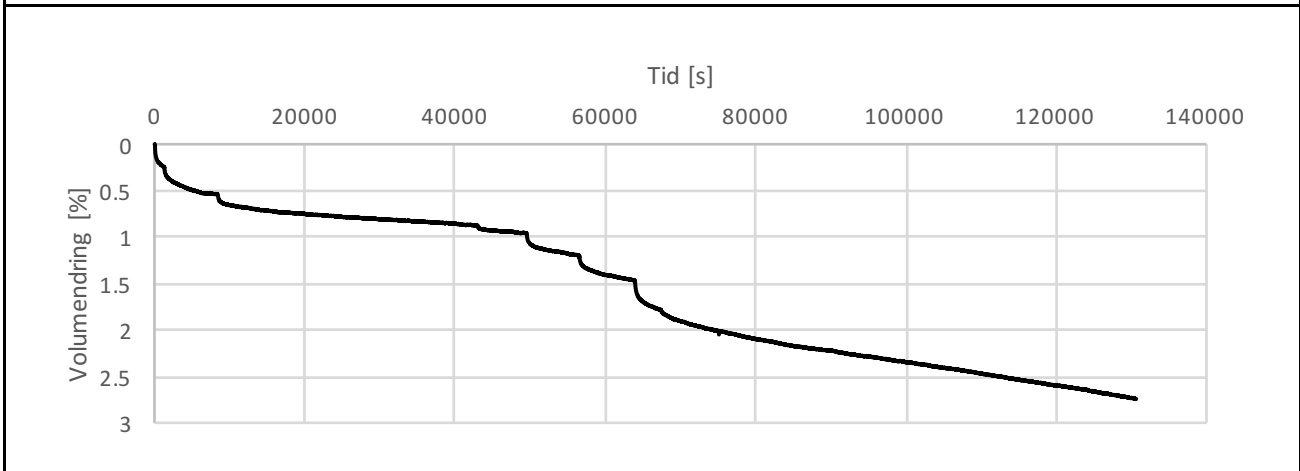
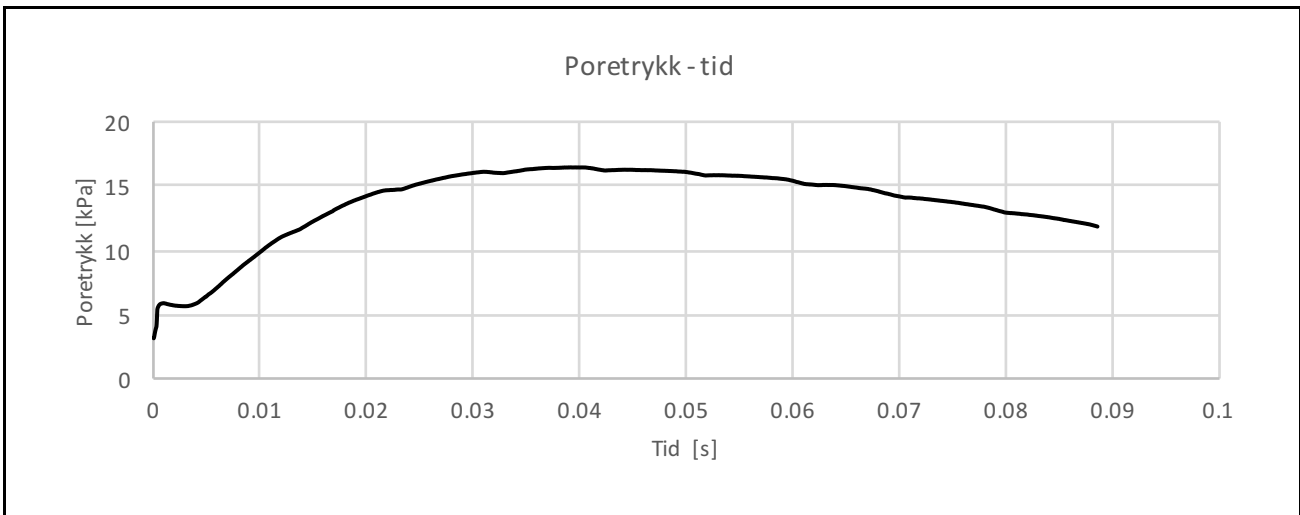
6 Bilag

Treaskialforsøk



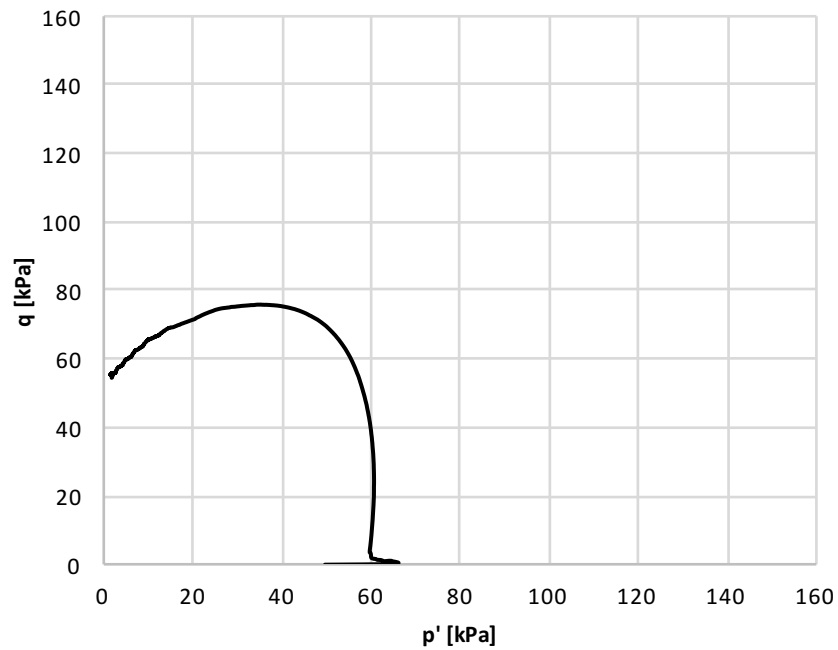
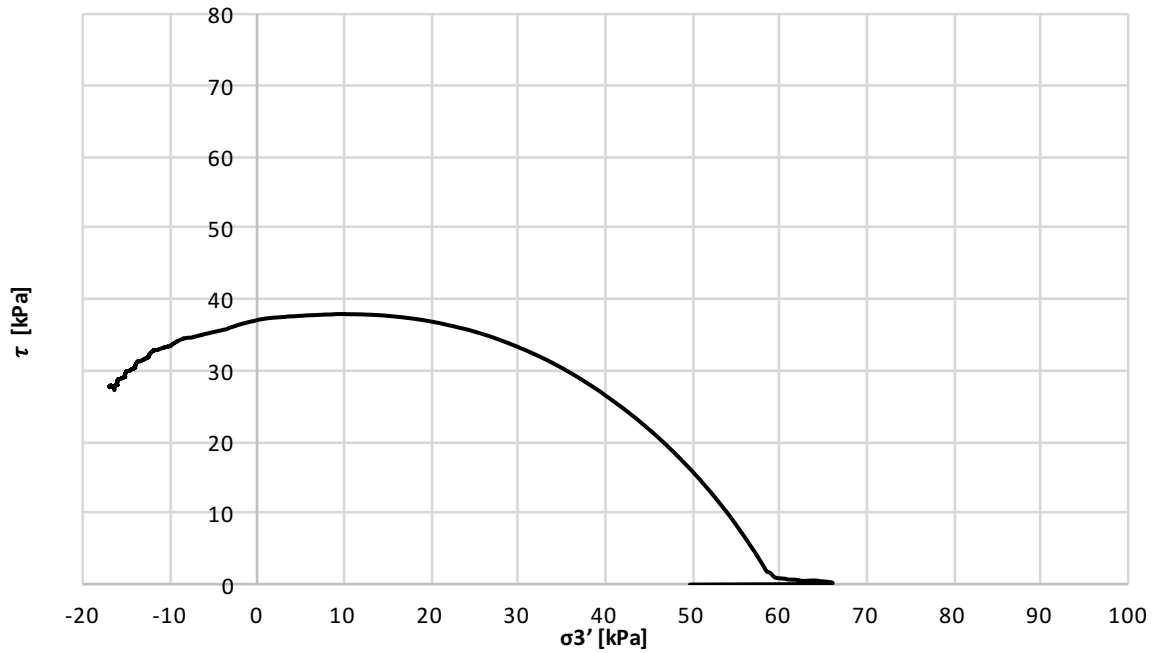
Prøve	1B	Su	62,6 kPa*	NOTAT: Resultatet viser et dilatant materiale med negativ attraksjon og svært høy skjærstyrke. Negativ attraksjon kan tyde på at prøven ikke har gått til brudd.
Dato	11.04.2016	ϵ ,brudd	-	
Dybde	7,86 m	a	-14,4 kPa*	
Forsøk	CAUc	ϕ	38,8deg*	
σ_{cello}	64,6 kPa	D	0,21*	
σ_{v0}	80,7 kPa	w	26,8%	
Ko	0,8	ϵ ,volum	2,7%	
OCR	2,23	$\Delta e/e$	0,065	
	1/2	Prøvekvalitet	Dårlig	BILAG 01
		Lagring	20°C	

Treaskialforsøk



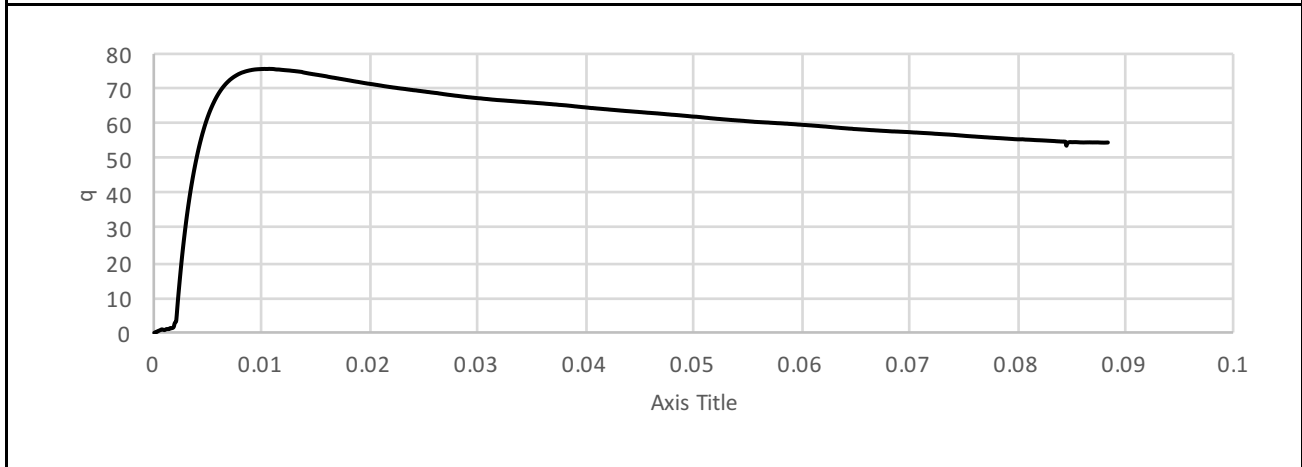
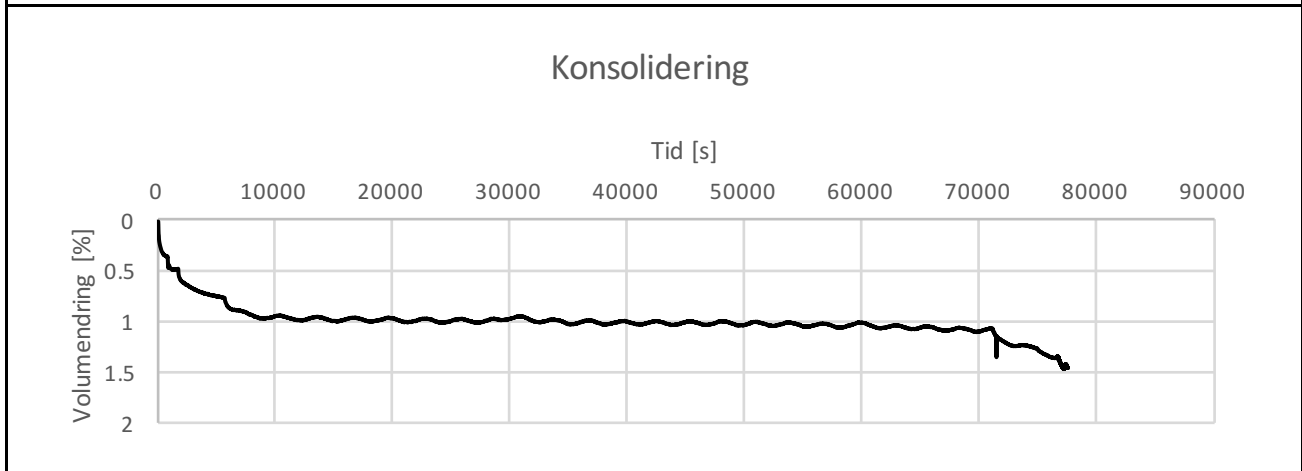
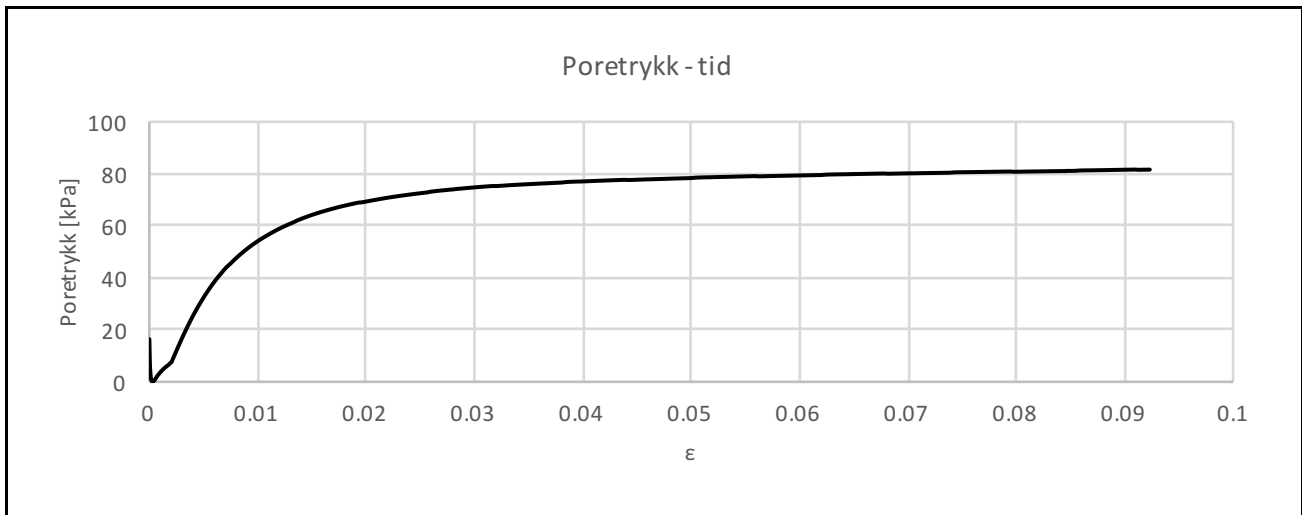
Prøve	1B	Su	62,6 Kpa*	NOTAT: Resultatet viser et dilatant materiale med negativ attraksjon og svært høy skjærstyrke. Negativ attraksjon kan tyde på at prøven ikke har gått til brudd.
Dato	11.04.2016	ϵ ,brudd	-	
Dybde	7,86 m	a	-12,4 kPa*	
Forsøk	CAUc	ϕ	38,8deg*	
σ_{cell0}	64,6 kPa	D	0,21*	
σ_{v0}	80,7 kPa	w	26,8%	
Ko	0,8	ϵ ,volum	2,7%	
OCR	2,23	$\Delta e/e$	0,065	
	2/2	Prøvekvalitet	Dårlig	BILAG 01
		Lagring	20°C	

Treaskialforsøk



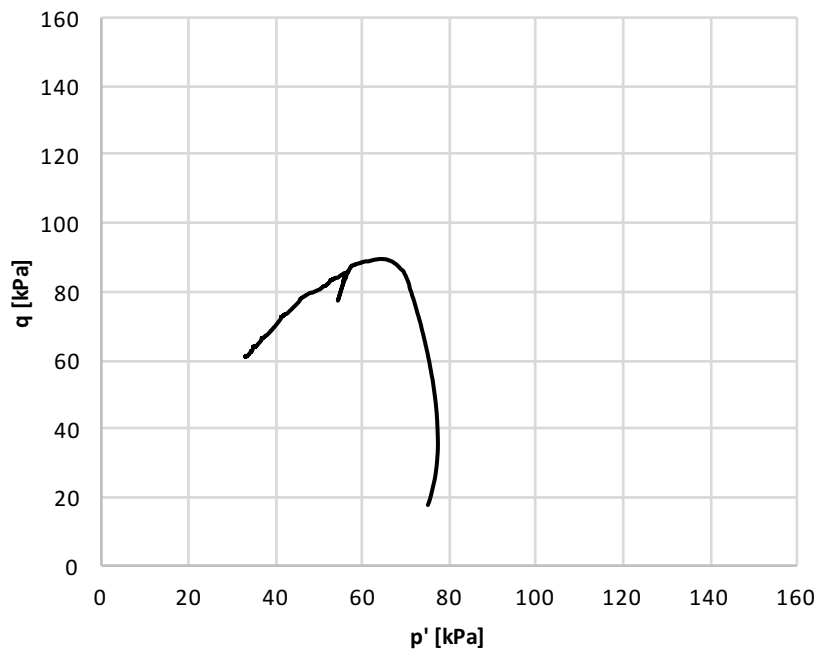
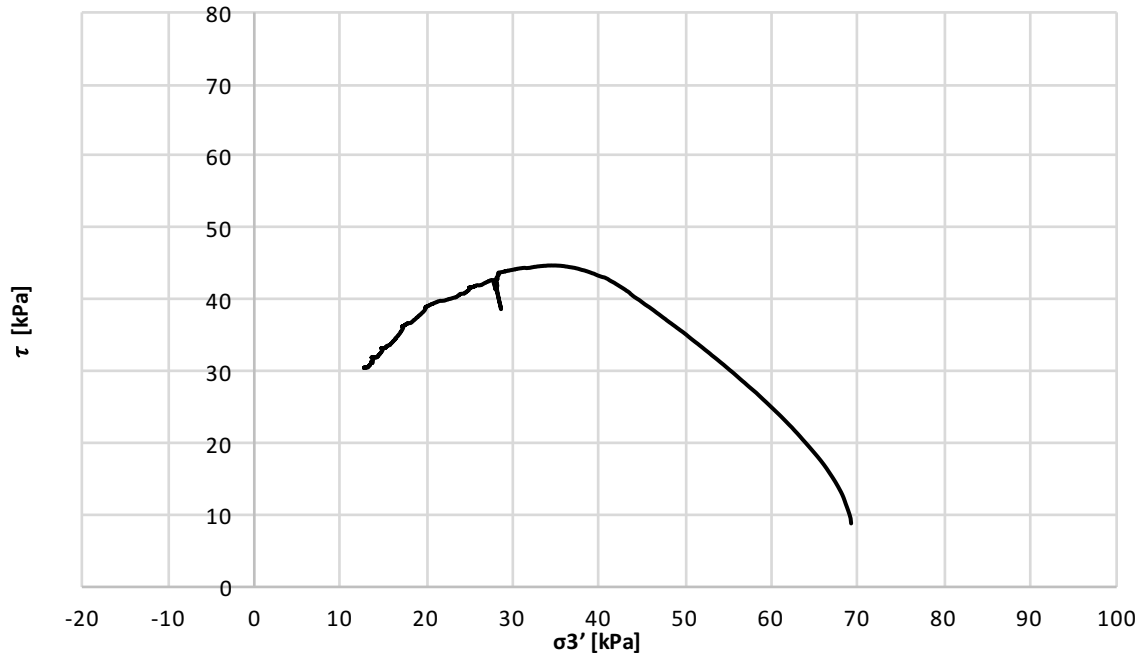
Prøve	2A	Su	37,9 kPa	NOTAT: Prøven har ved en feiltagelse blit konsolidert isotropisk da låsen til lastmotoren ikke var festet. Feilen ble oppdaget da skjærforsøket var satt i gang.
Dato	30.04.16	ϵ ,brudd	1,0%	
Dybde	8,38	a	43,1	
Forsøk	CIUc*	ϕ	30,89	
σ_{cello}	68,34 kPa	D	-0,12	
σ_{v0}	85,42 kPa	w	36,0%	
Ko	0,8	ϵ ,volum	1,5%	
OCR	3,0	$\Delta e/e$	0,030	
	1/2	Prøvekvalitet	God til bra	BILAG 02
		Lagring	5°C	

Treaskialforsøk



Prøve	2A	Su	37,9 kPa	NOTAT: Prøven har ved en feiltagelse blit konsolidert isotropisk da låsen til lastmotoren ikke var festet. Feilen ble oppdaget da skjærforsøket var satt i gang.
Dato	30.04.16	ε,brudd	1,0%	
Dybde	8,38	a	43,1	
Forsøk	CAUc	φ	30,89	
σ _{cell0}	68,34 kPa	D	-0,12	
σ _{v0}	85,42 kPa	w	36,0%	
Ko	0,8	ε,volum	1,5%	
OCR	3,0	Δe/e	0,030	
	2/2	Prøvekvalitet	God til bra	BILAG 02
		Lagring	5°C	

Treaskialforsøk



Prøve	2B	Su	44,7kPa
Dato	03.05.2016	ε,brudd	0,9%
Dybde	8,57 m	a	20,2kPa
Forsøk	CAUc	φ	29,9deg
σ _{cello}	69,70kPa	D	-0,17
σ _{v0}	87,13kPa	w	37.80 %
Ko	0,8	ε,volum	2,2%
OCR	1,84	Δe/e	0,043

NOTAT:

1/2

Prøvekvalitet

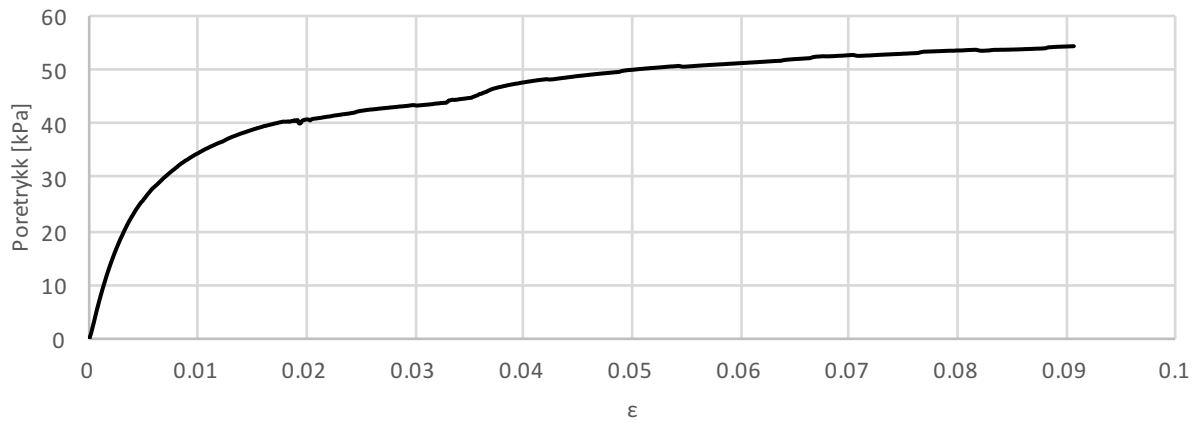
God til bra

Lagring

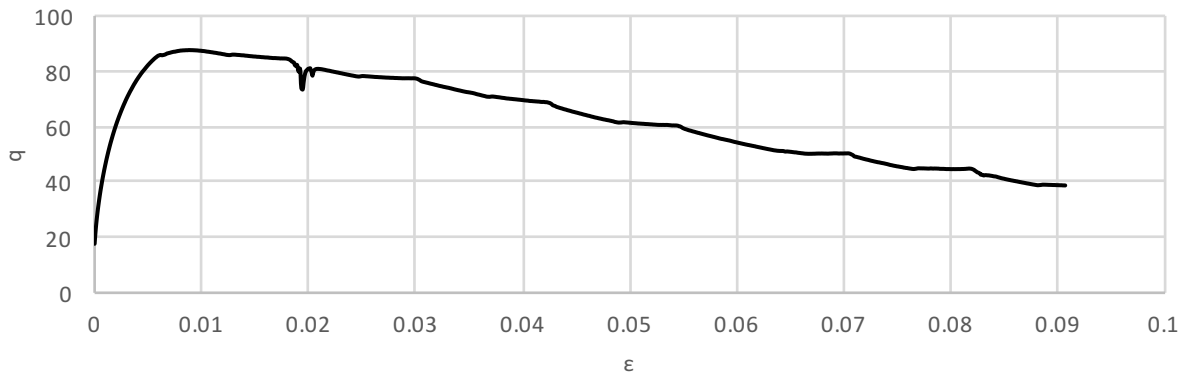
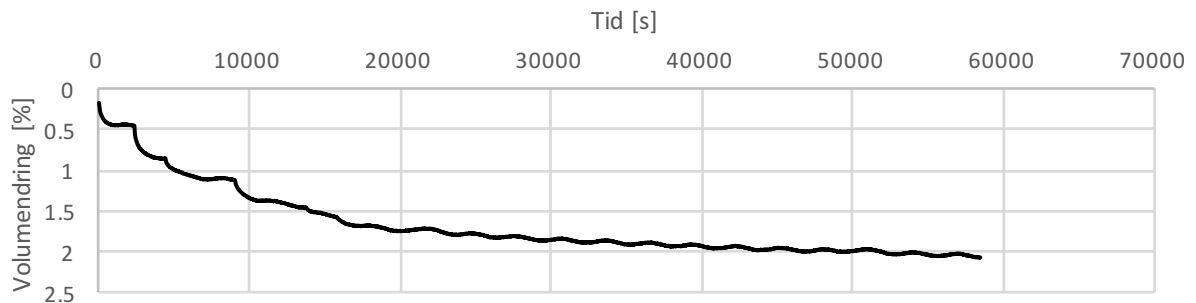
5°C

BILAG 03

Treaskialforsøk

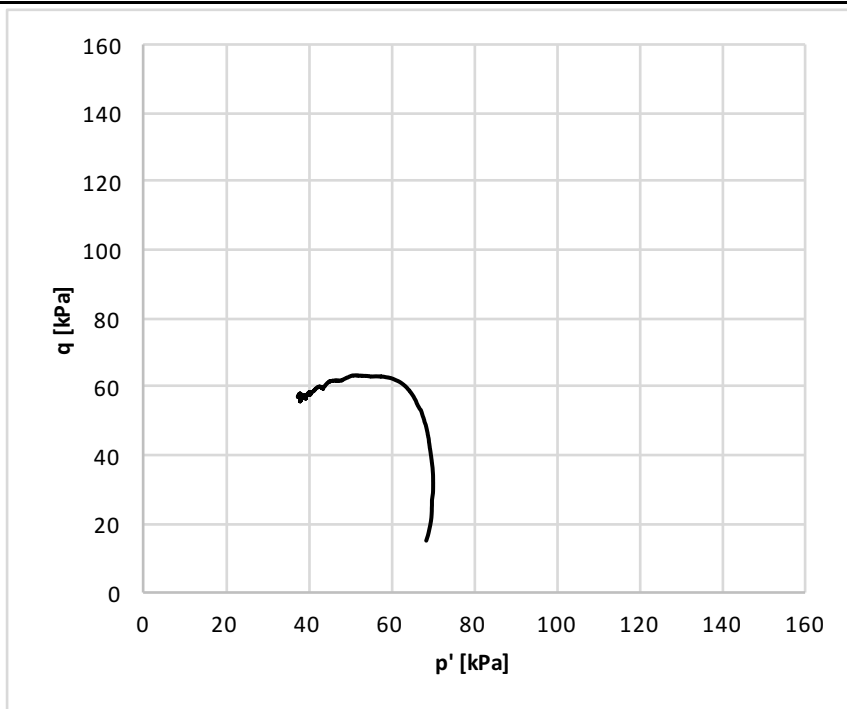
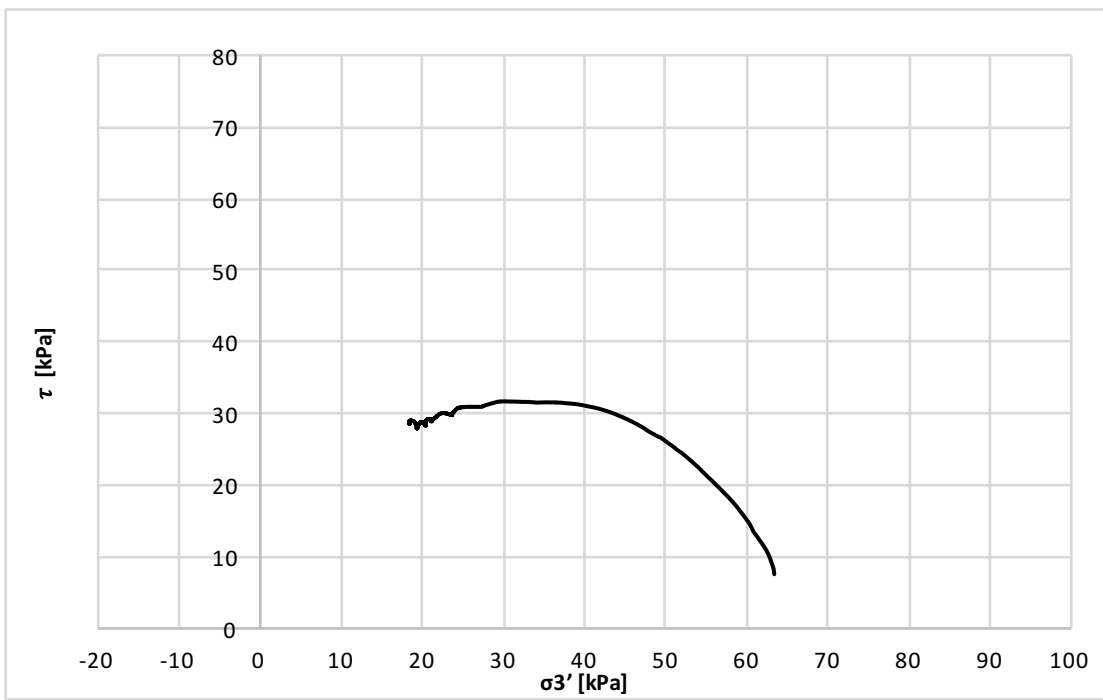


Konsolidering



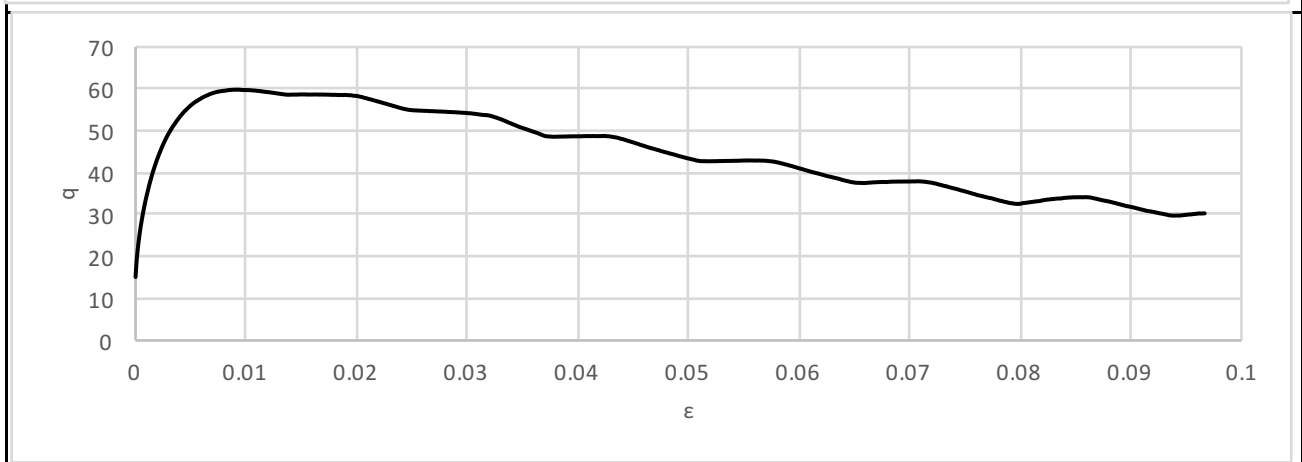
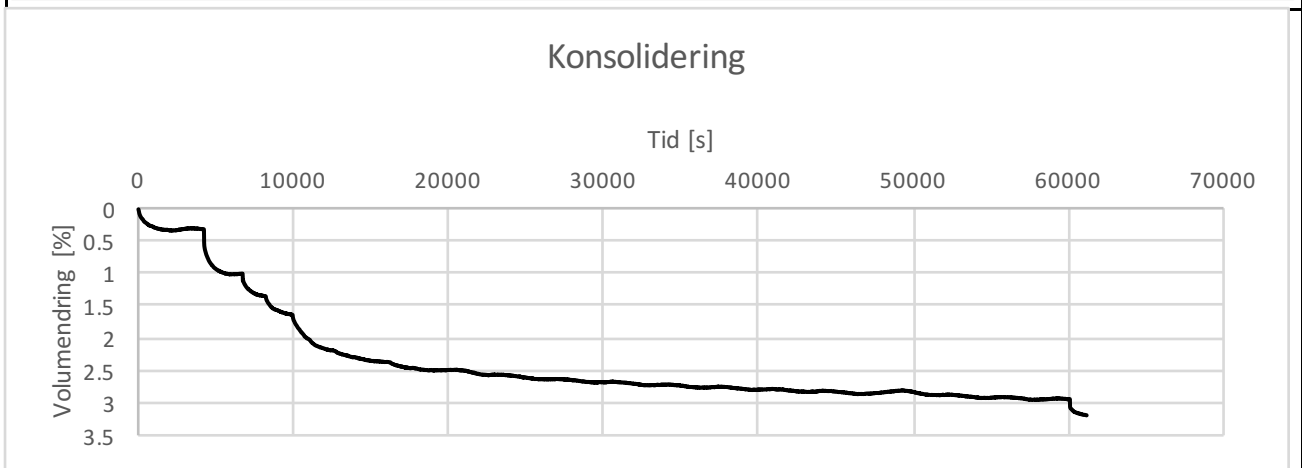
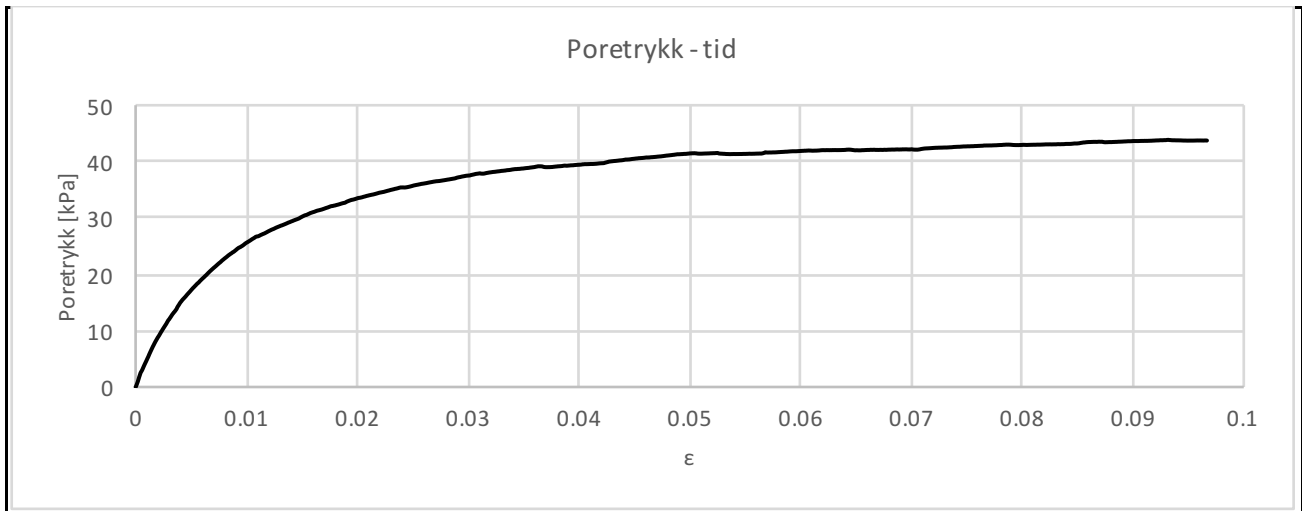
Prøve	2B	Su	44,7kPa	NOTAT:
Dato	03.05.2016	ε,brudd	0,9%	
Dybde	8,57 m	a	20,2kPa	
Forsøk	CAUc	φ	29,9deg	
σ _{cello}	69,70kPa	D	-0,17	
σ _{v0}	87,13kPA	w	37.80 %	
Ko	0,8	ε,volum	2,2%	
OCR	1,84	Δe/e	0,043	
	2/2	Prøvekvalitet	God til bra	BILAG 03
		Lagring	5°C	

Treasksforsøk



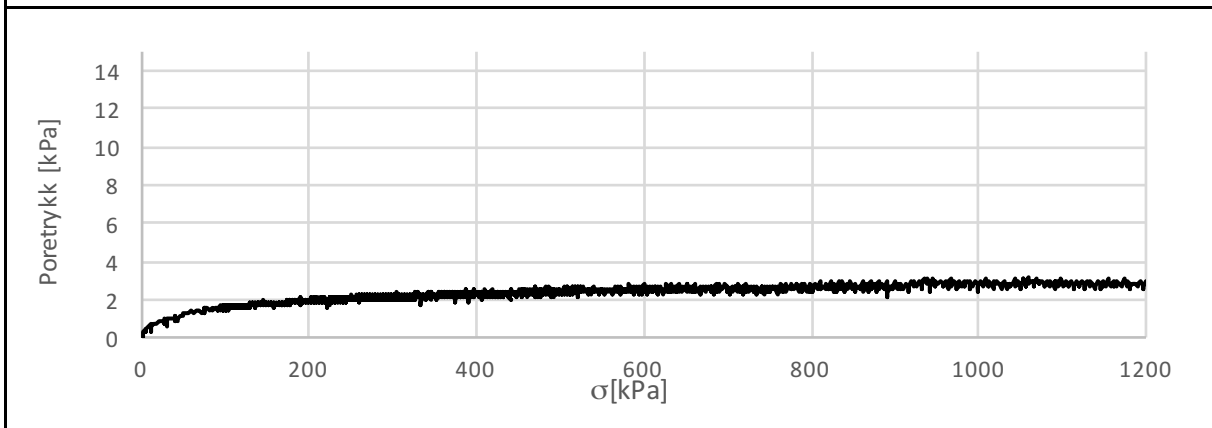
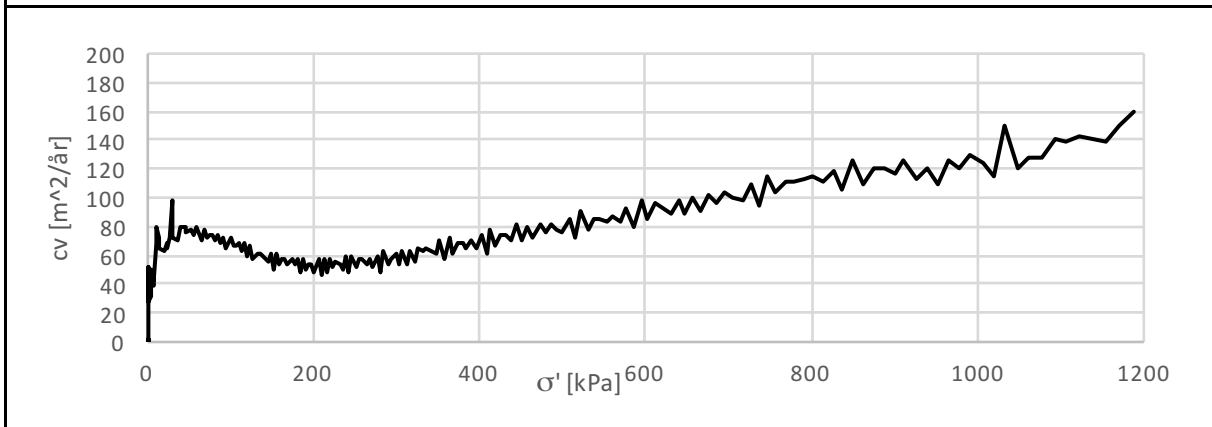
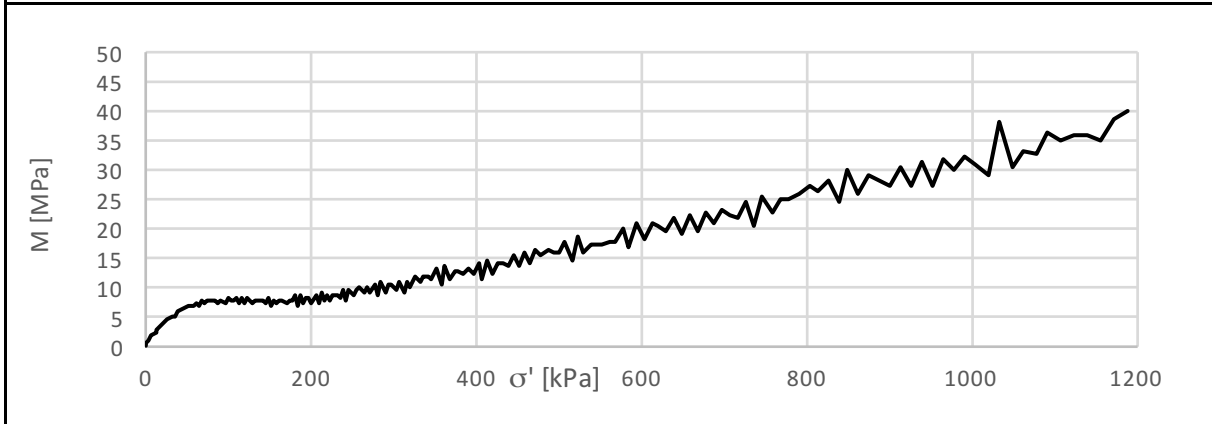
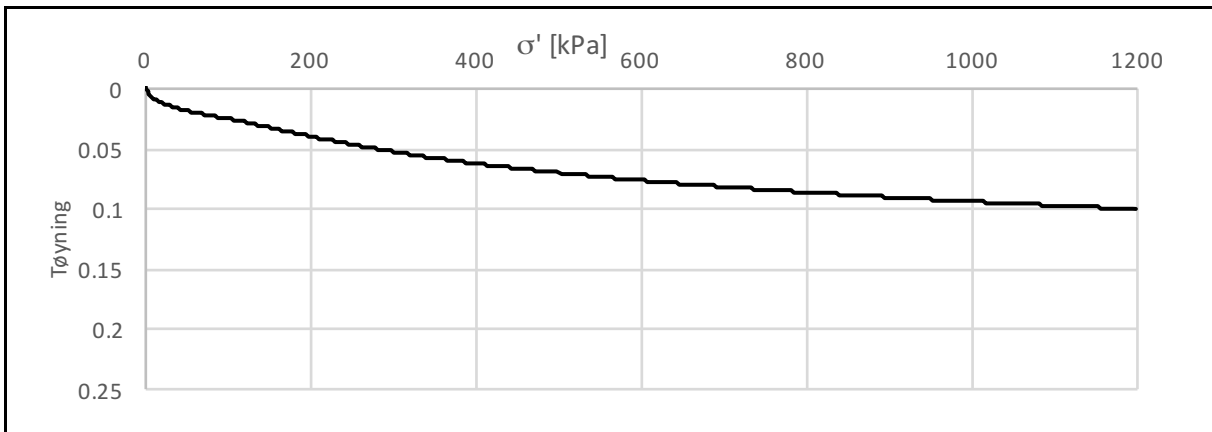
Prøve	3A	Su	31,7kPa	NOTAT:
Dato	04.06.2016	ϵ ,brudd	0,9%	
Dybde	7,68m	a	25,9kPa	
Forsøk	CAUc	ϕ	17,4deg	
σ_{cello}	63,30kPa	D	-0,14	
σ_{v0}	79,12kPa	w	32,6 %	
Ko	0,8	ϵ ,volum	3,2%	
OCR	1,5	$\Delta e/e$	0,065	
	1/2	Prøvekvalitet	God til bra	BILAG 04
		Lagring	20°C	

Treaskialforsøk



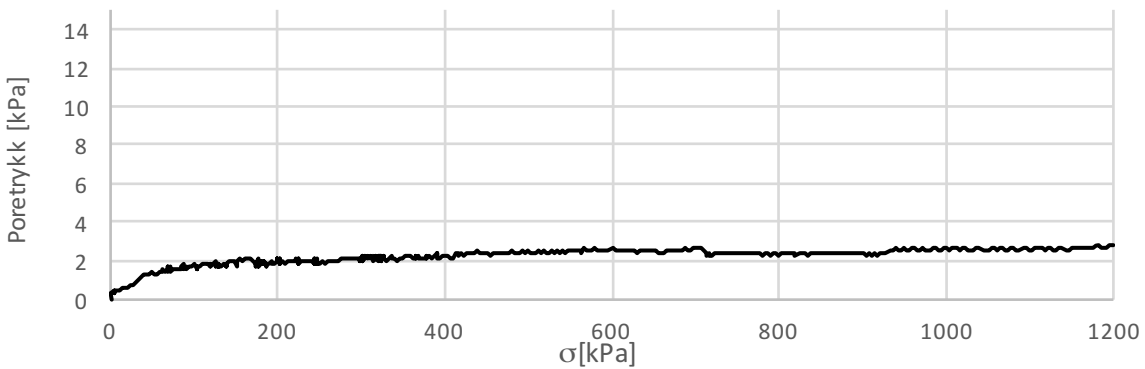
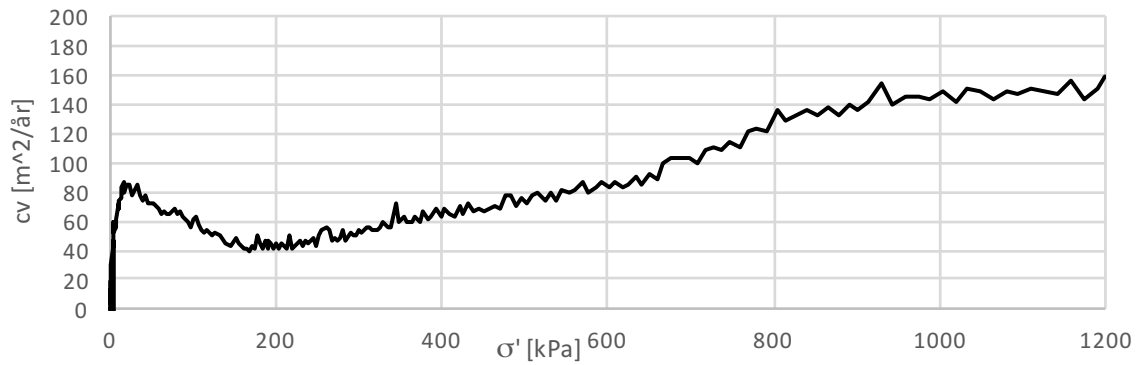
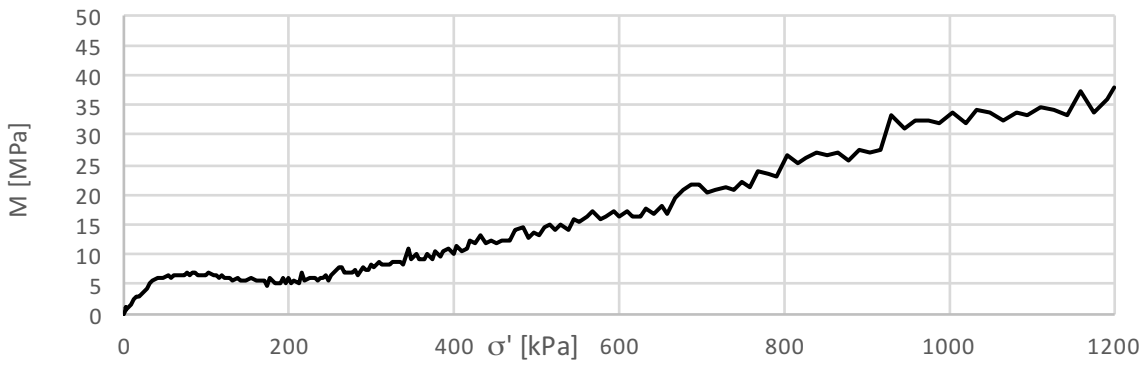
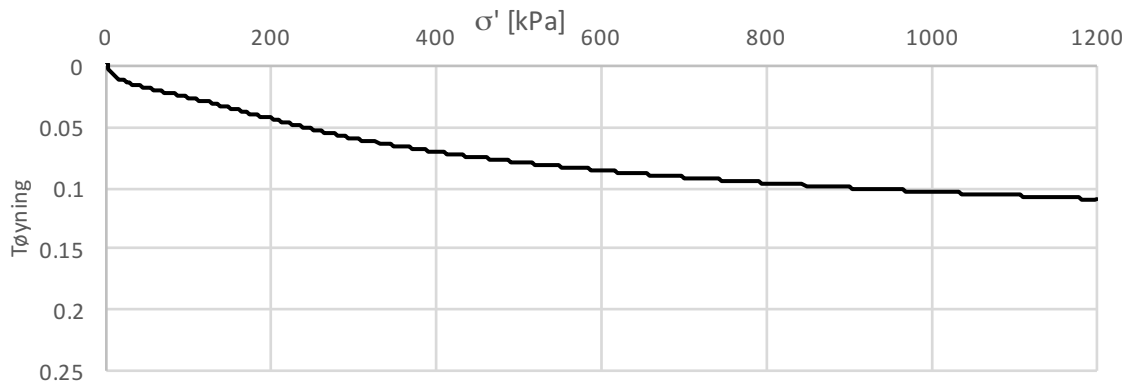
Prøve	3A	Su	31,7kPa	NOTAT:
Dato	04.06.2016	ε,brudd	0,9%	
Dybde	7,68m	a	25,9kPa	
Forsøk	CAUc	φ	17,4deg	
σ _{cello}	63,30kPa	D	-0,14	
σ _{vo}	79,12kPa	w	32.6 %	
Ko	0,8	ε,volum	3,2%	
OCR	1,5	Δe/e	0,065	
	2/2	Prøvekvalitet	God til bra	BILAG 04
		Lagring	20°C	

Ødometer



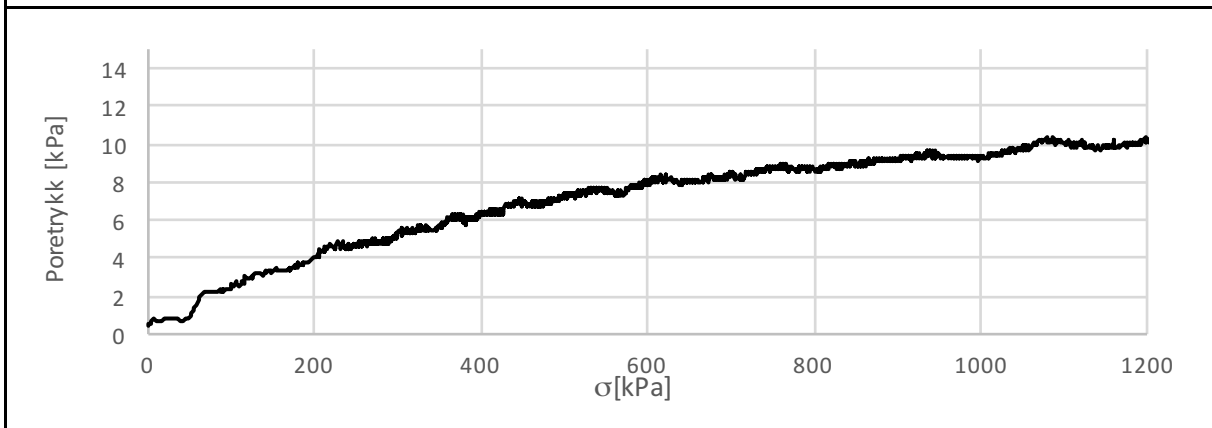
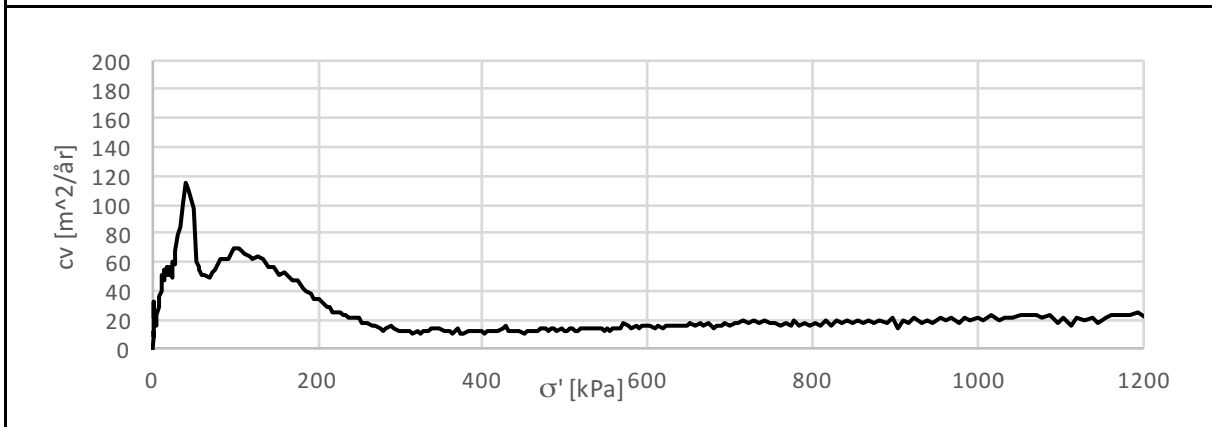
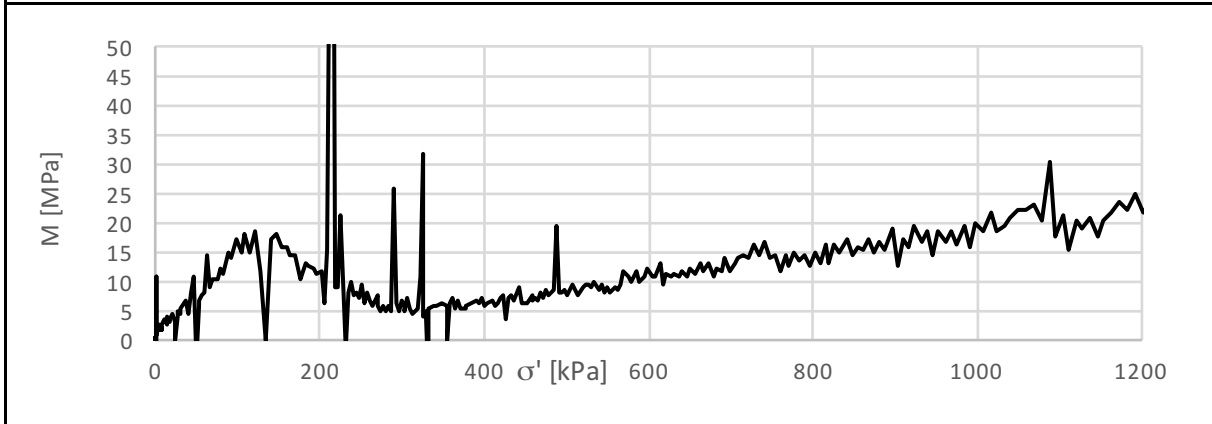
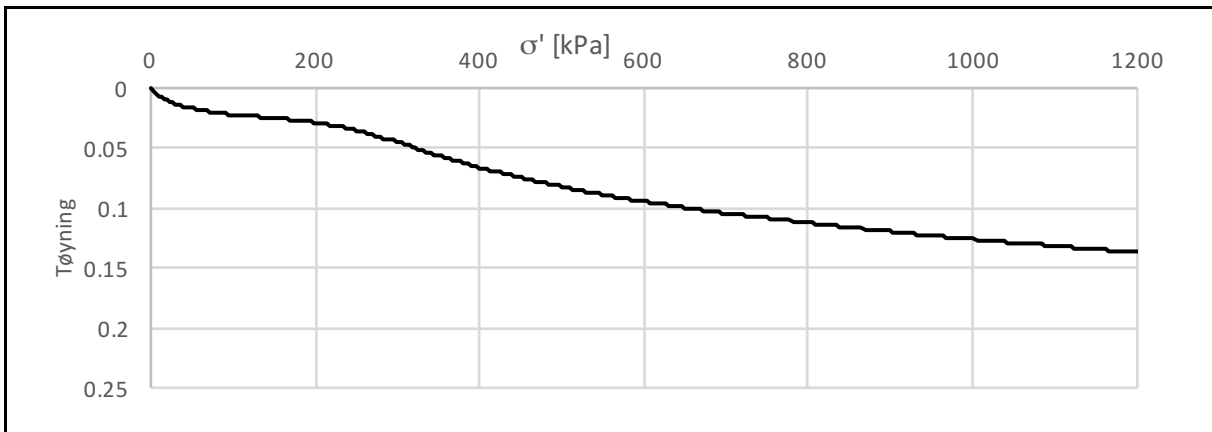
Prøve	Ø1A	p'c	180kPa	w	26,94%
Dato	11.04.2016	m	32,8	Δe/e0	0,0535
Dybde	7,85m	p'ref	0kPa	Bilag 05	
Forsøk	CRS	M	8MPa		
Lagring	20°C	cv	80m ² /år		

Ødometer



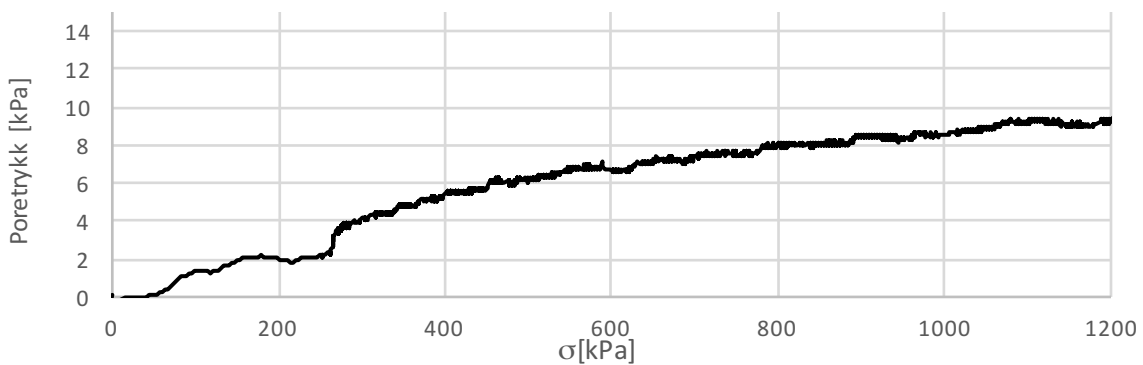
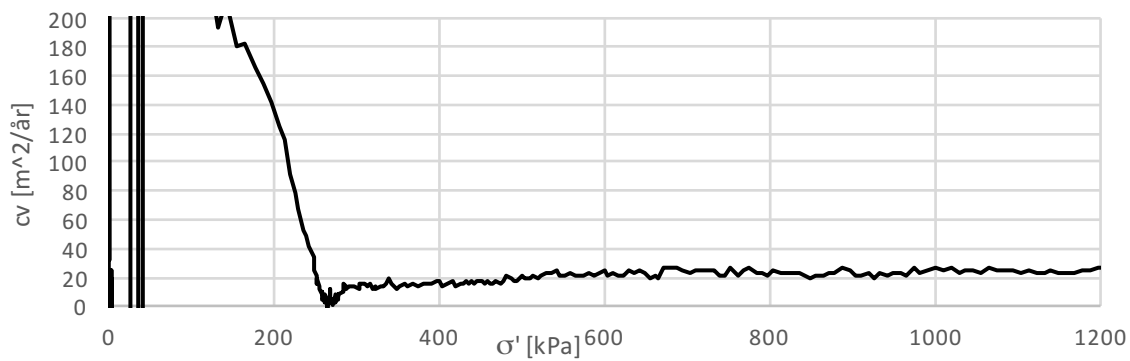
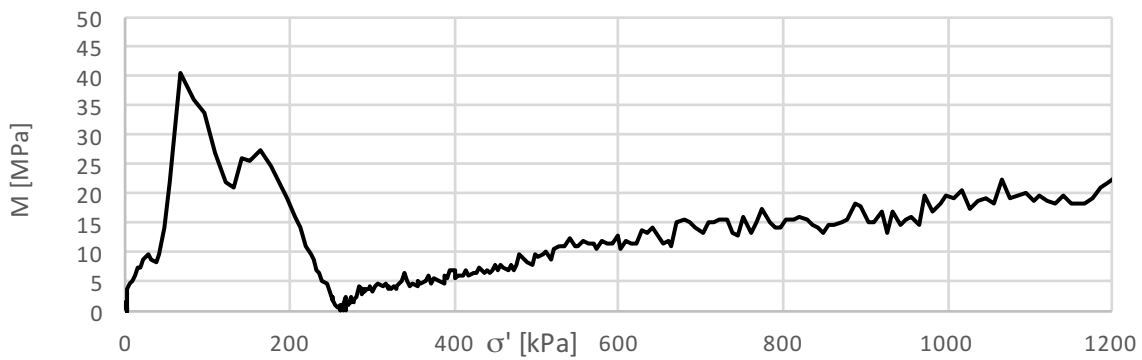
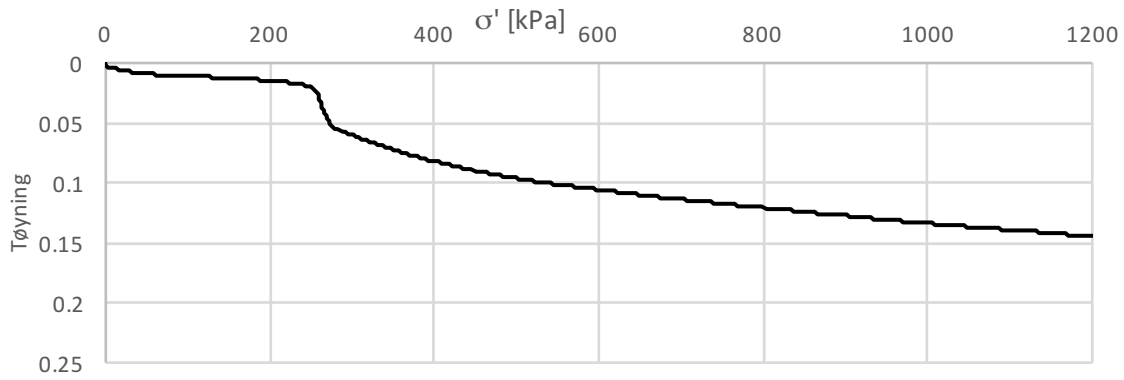
Prøve	Ø1B	p'c	180kPa	w	26,92%
Dato	11.04.2016	m	32,93	Δe/e0	0,0485
Dybde	7,85	p'ref	0kPa	Bilag 06	
Forsøk	CRS	M	6,8MPa		
Lagring	20°C	cv	82		

Ødometer



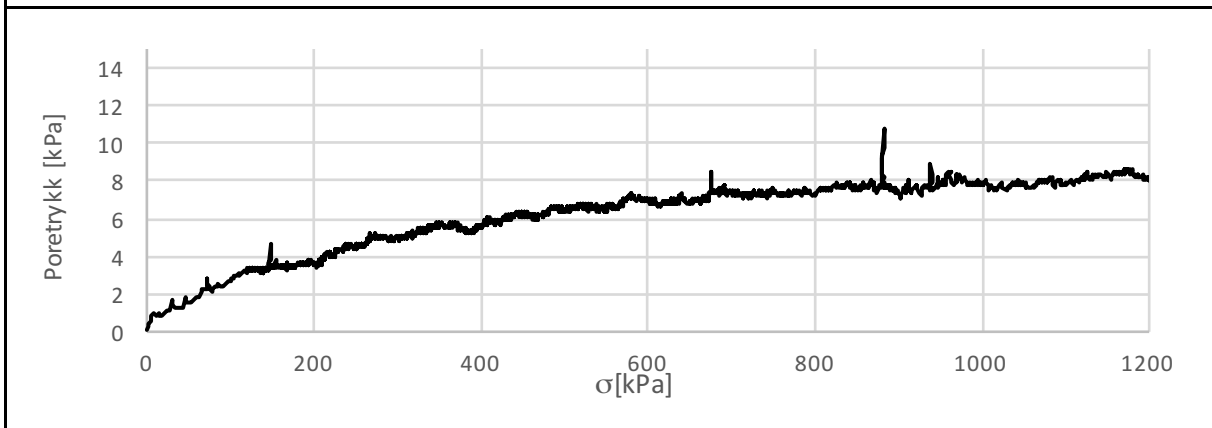
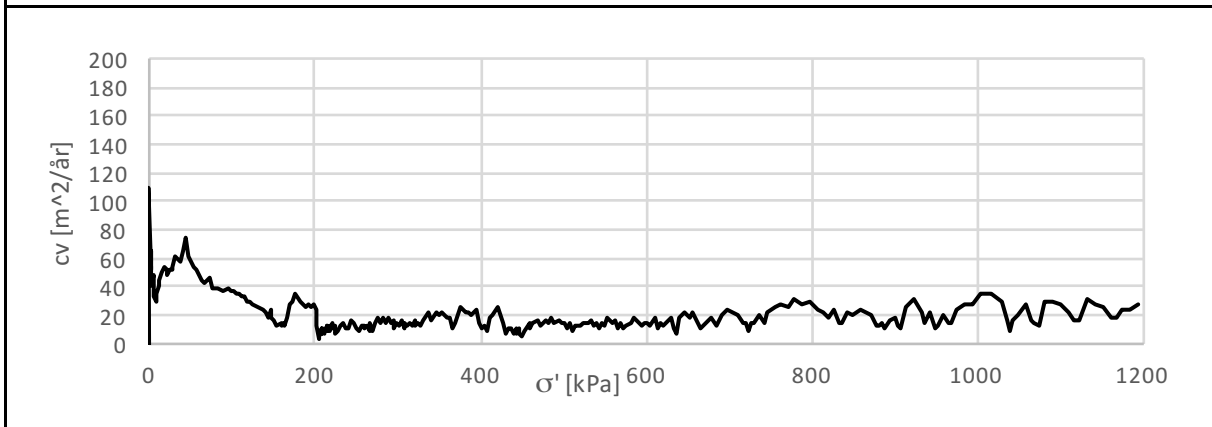
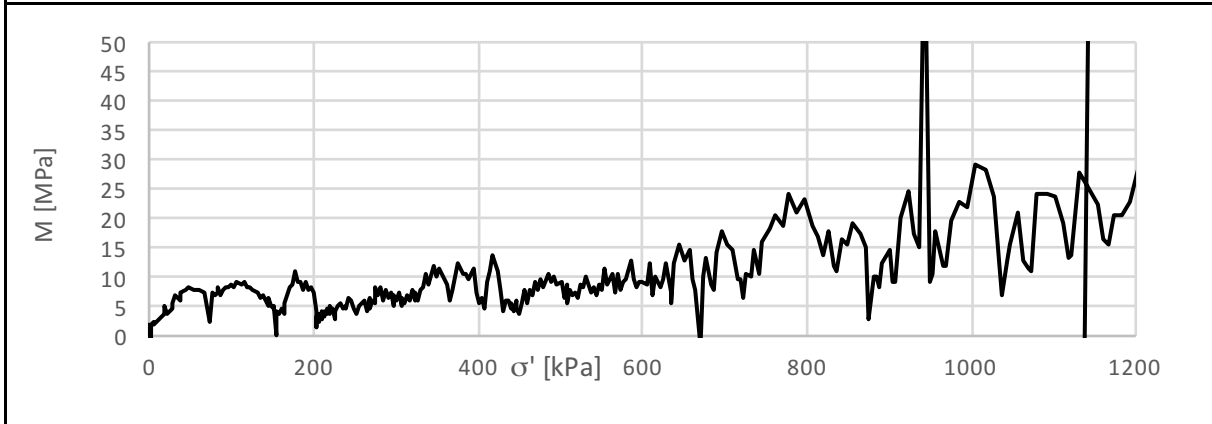
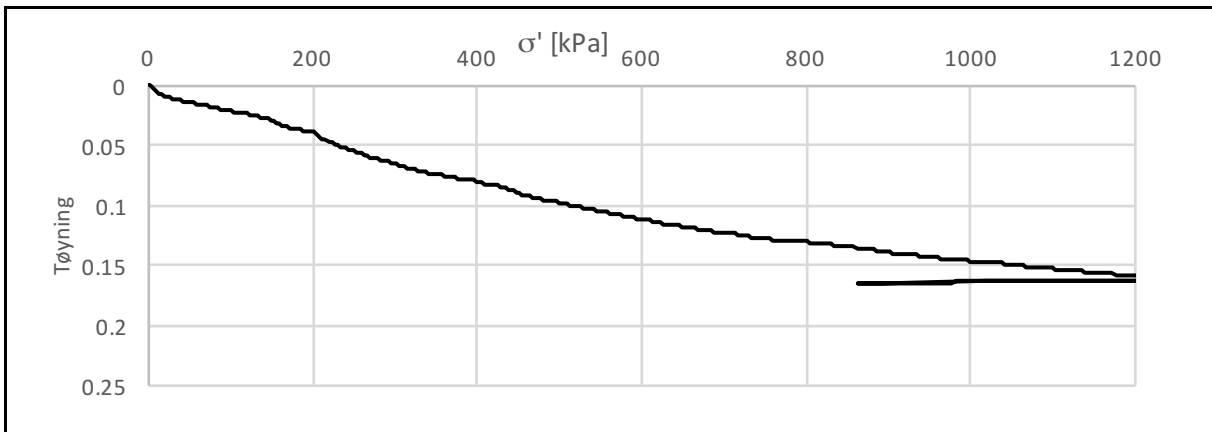
Prøve	Ø2A	p'c	250kPa	w	38.10 %
Dato	30.04.2016	m	21,11	Δe/e0	0,0414
Dybde	8,4m	P'ref	100kPa	Bilag 07	
Forsøk	CRS	M	60MPa		
Lagring	5°C	cv	110m ² /år		

Ødometer



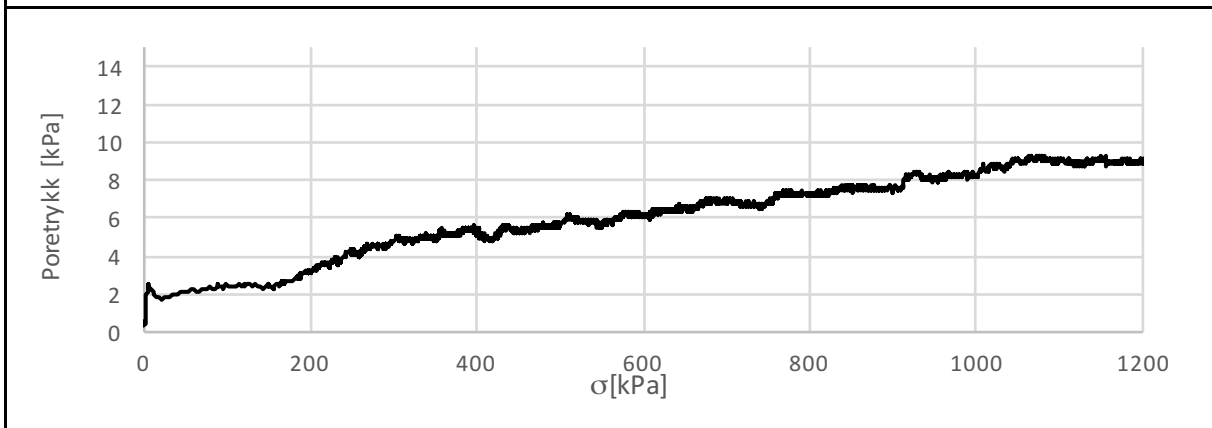
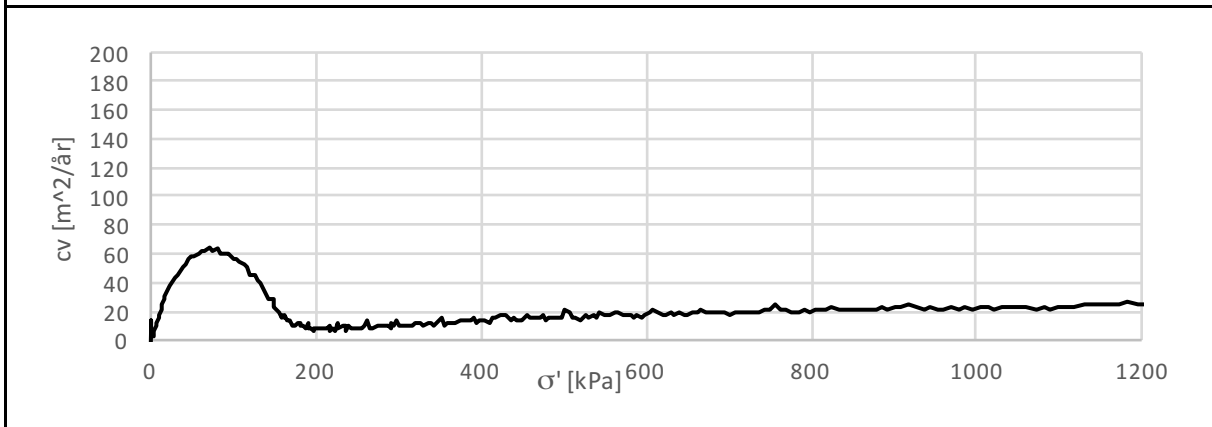
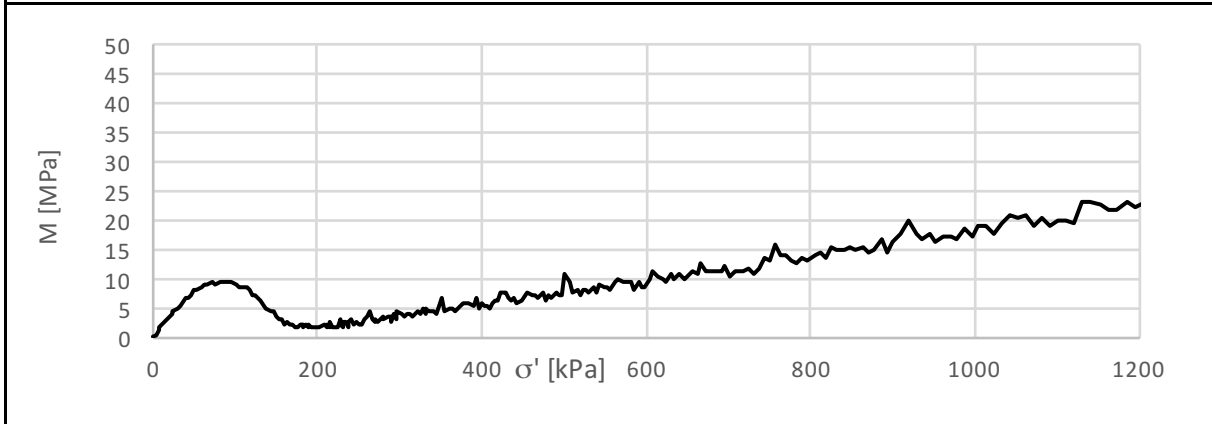
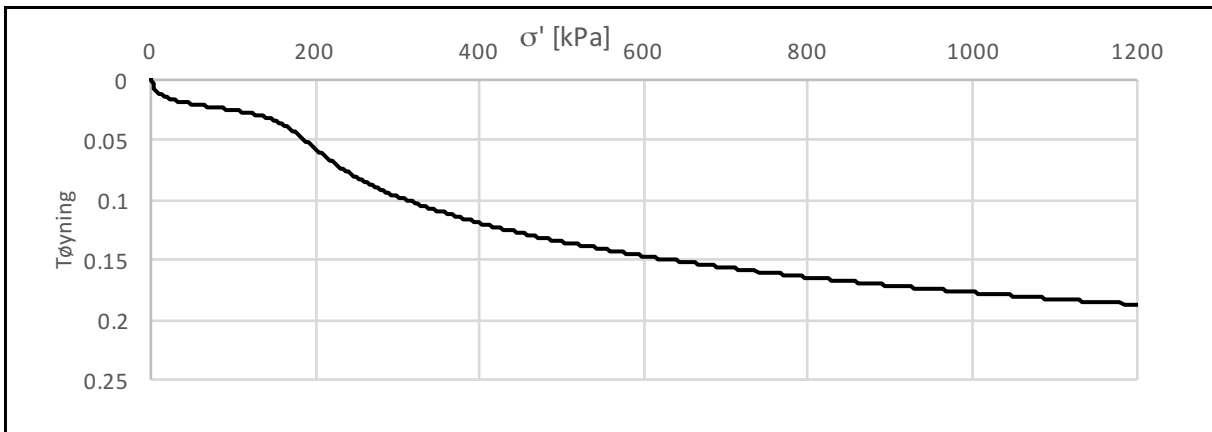
Prøve	Ø2B	p'c	260kPa	w	38,2%
Dato	30.04.2016	m	19,69	$\Delta e/e_0$	0,0199
Dybde	8,40m	p'ref	175kPa	Bilag 08	
Forsøk	CRS	M	40,5MPa		
Lagring	5°C	cv	-		

Ødometer



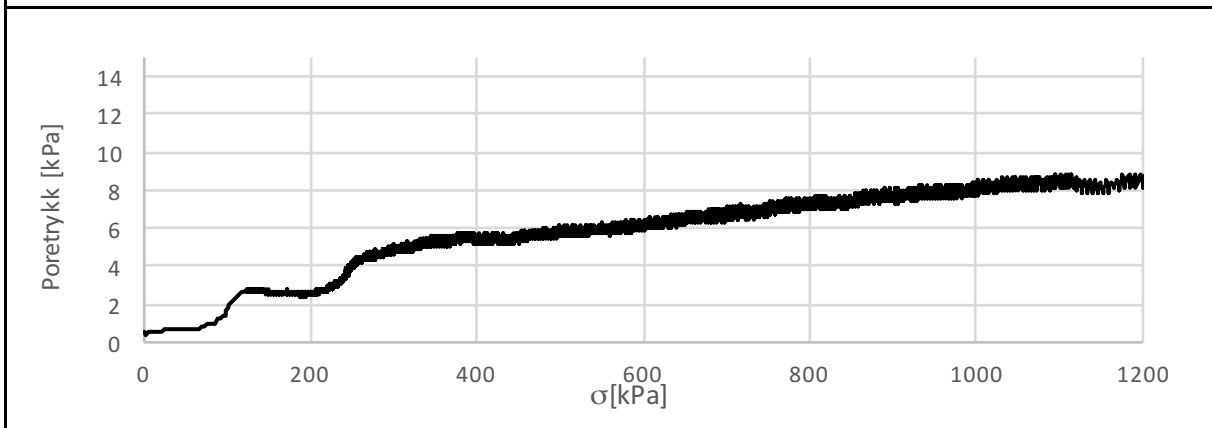
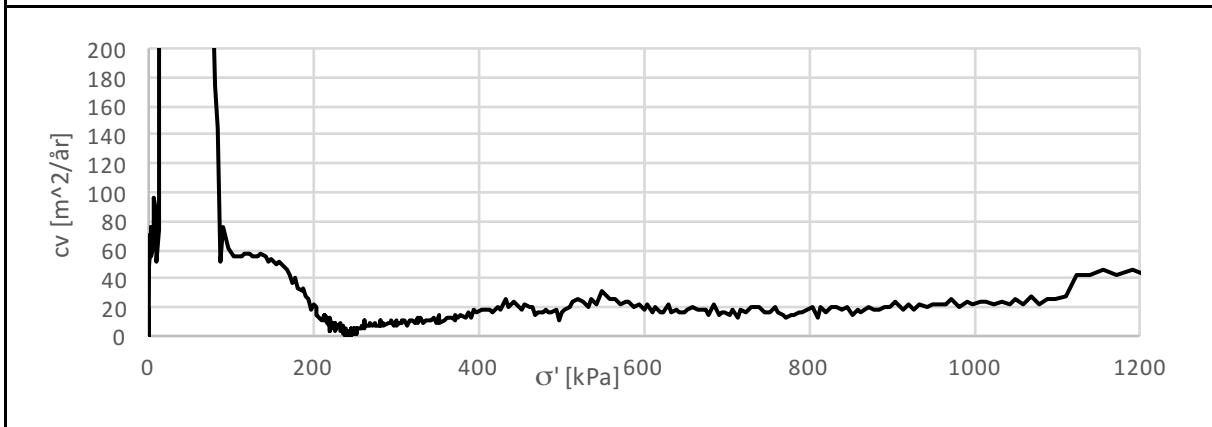
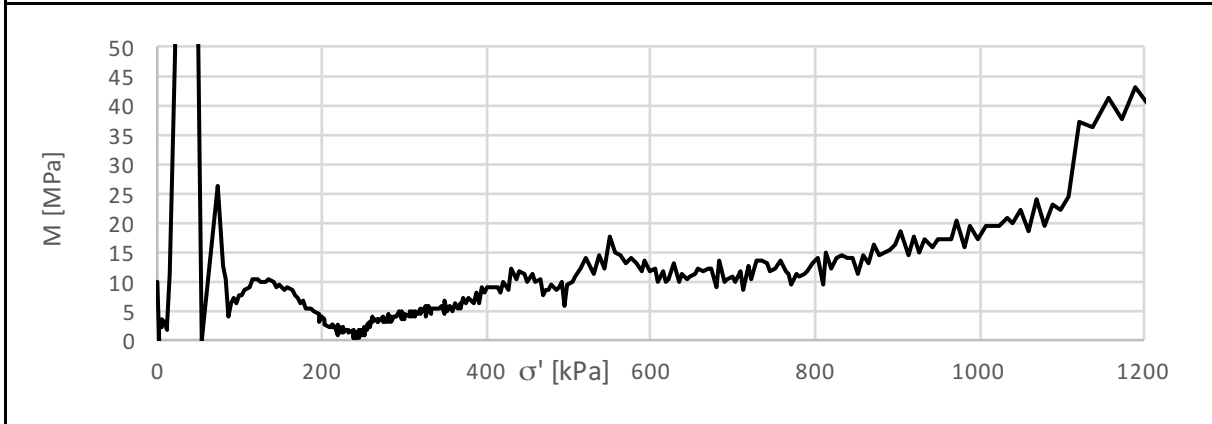
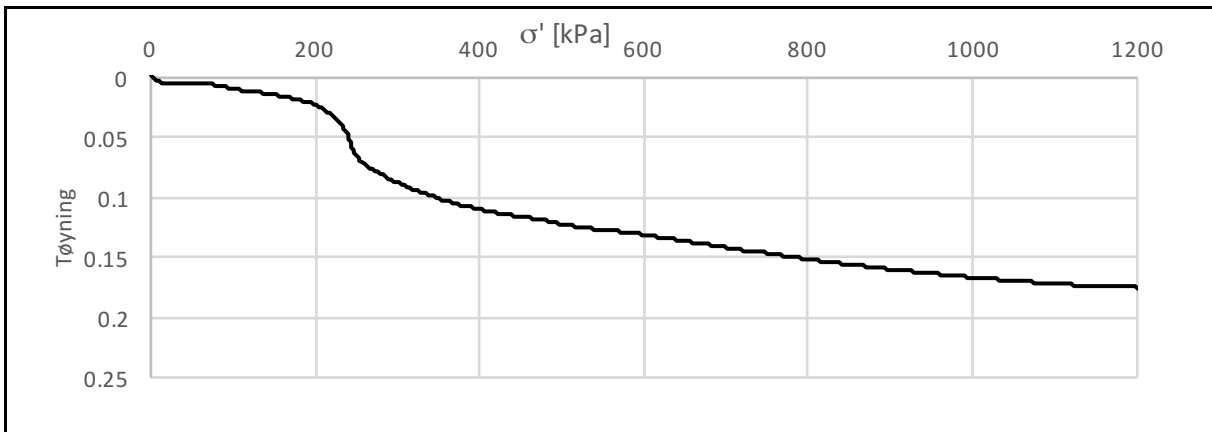
Prøve	Ø2C	p'c	160kPa	w	39,1%
Dato	01.05.2016	m	22,4	$\Delta e/e_0$	0,0363
Dybde	8,55m	P'ref	0kPa	Bilag 09	
Forsøk	CRS	M	9MPa		
Lagring	5°C	c_v	68 $m^2/år$		

Ødometer



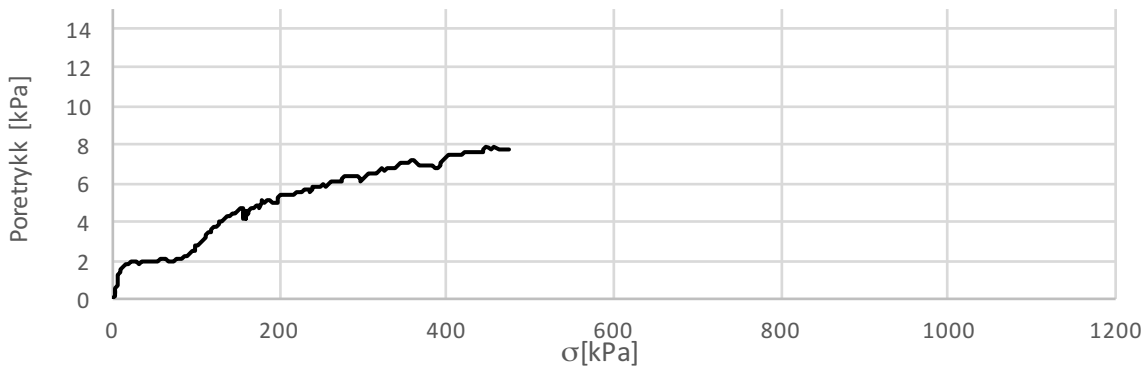
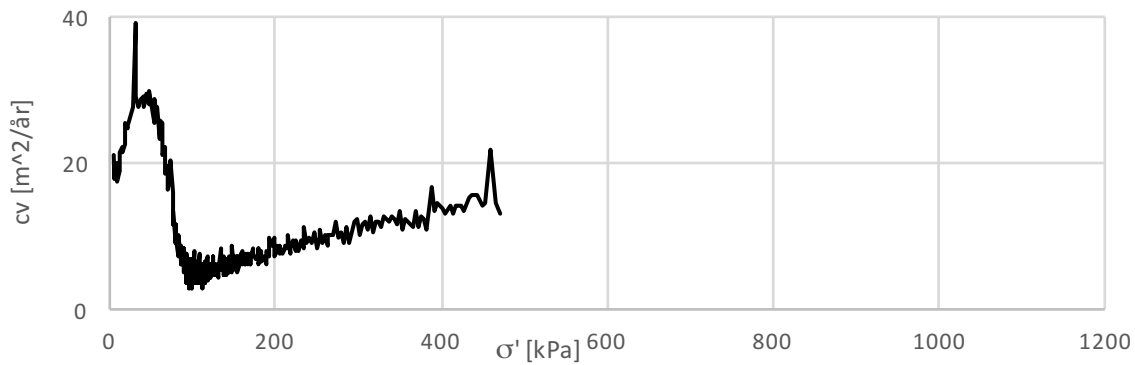
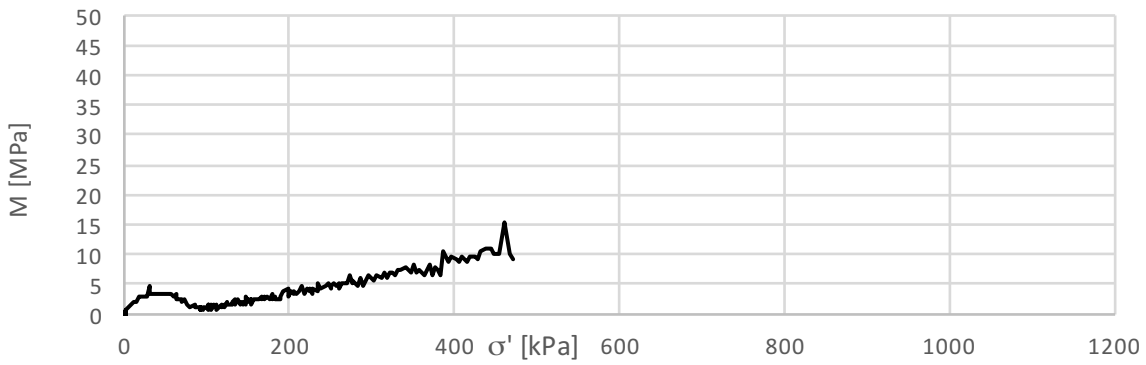
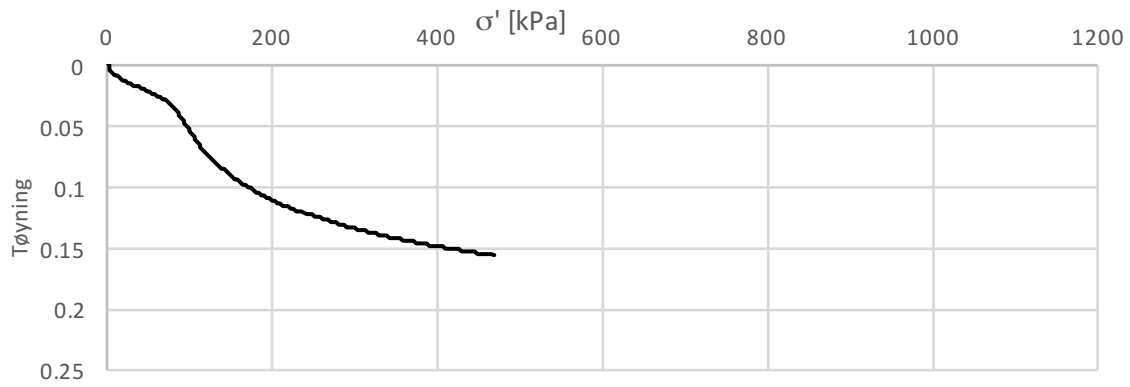
Prøve	Ø2D	p'c	160kPa	w	37,1%
Dato	01.05.2016	m	20,5	Δe/e0	0,0469
Dybde	8,55m	P'ref	100kPa	Bilag 10	
Forsøk	CRS	M	9,7MPa		
Lagring	5°C	cv	64,0m ² /år		

Ødometer



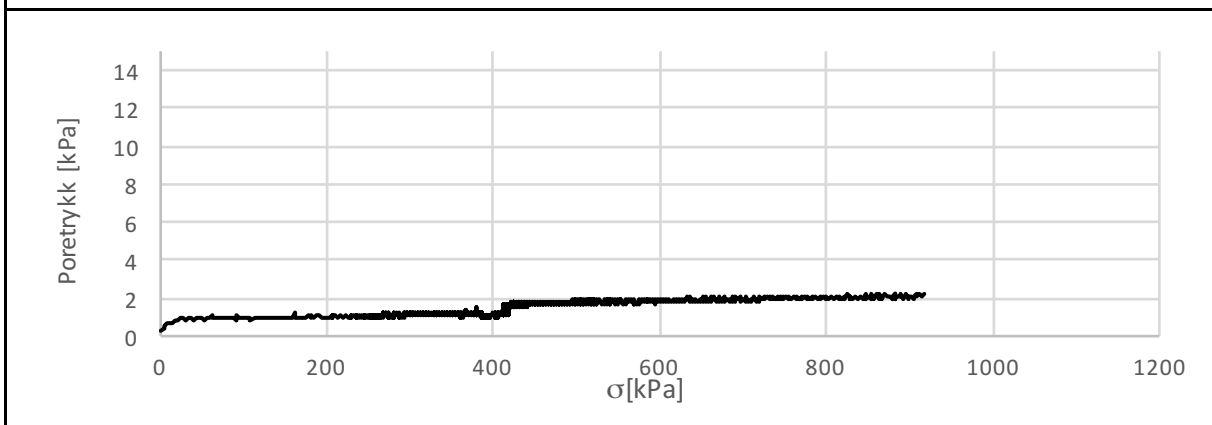
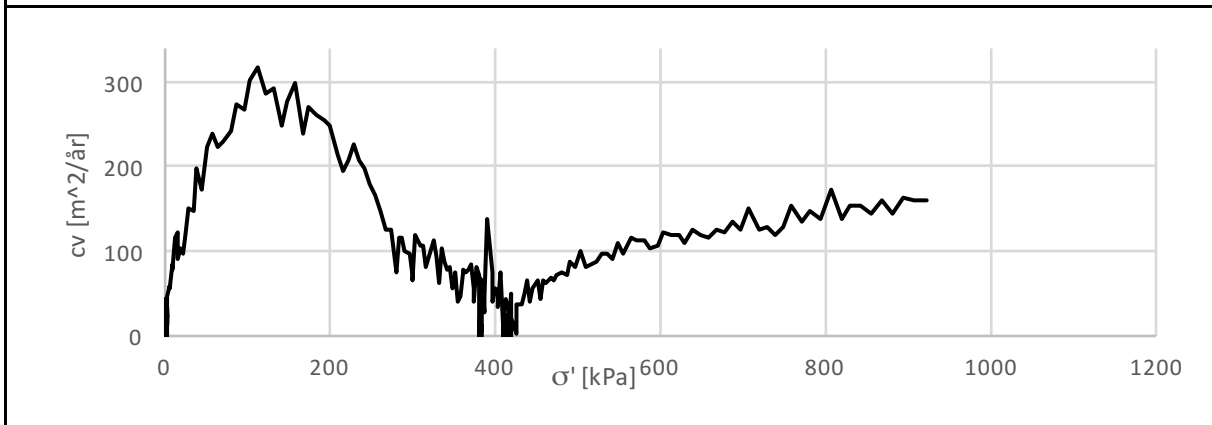
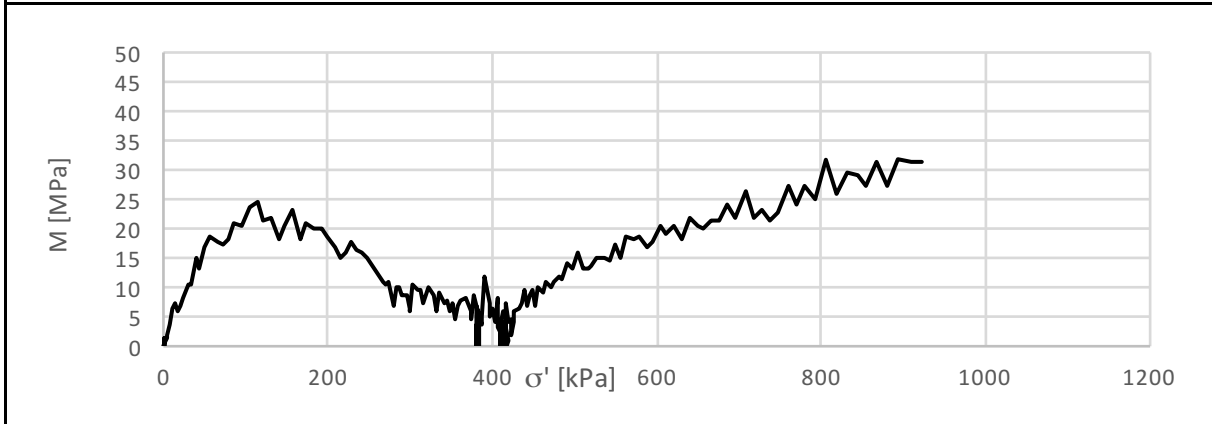
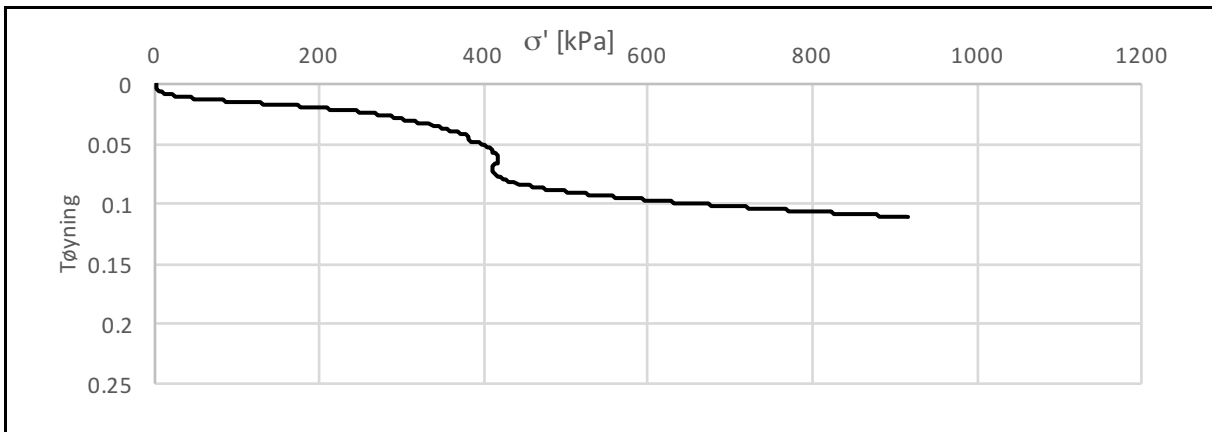
Prøve	Ø2E	p'c	240kPa	w	37,6%
Dato	01.05.2016	m	20,6	Δe/e0	0,0126
Dybde	8,55m	P'ref	175kPa	Bilag 11	
Forsøk	CRS	M	10MPa		
Lagring	5°C	cv	55m ² /år		

Ødometer



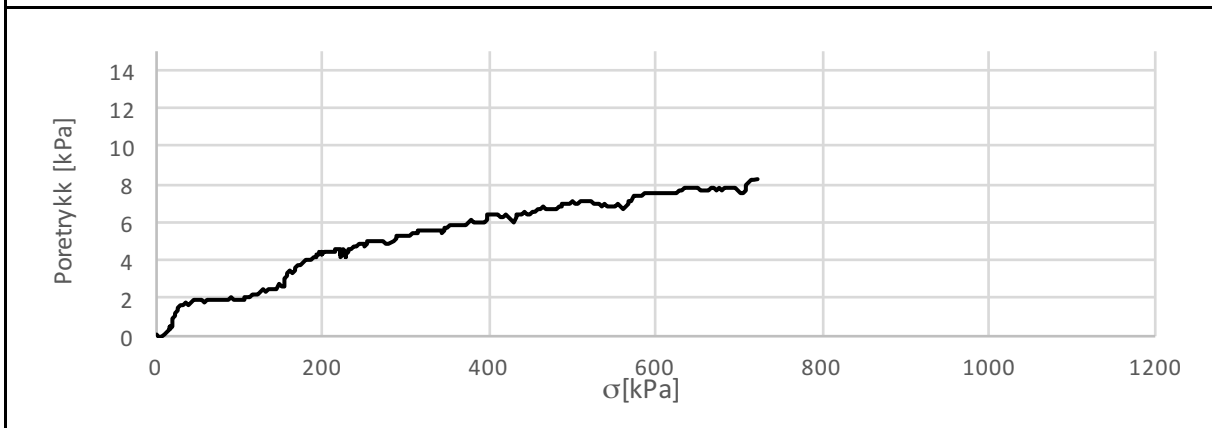
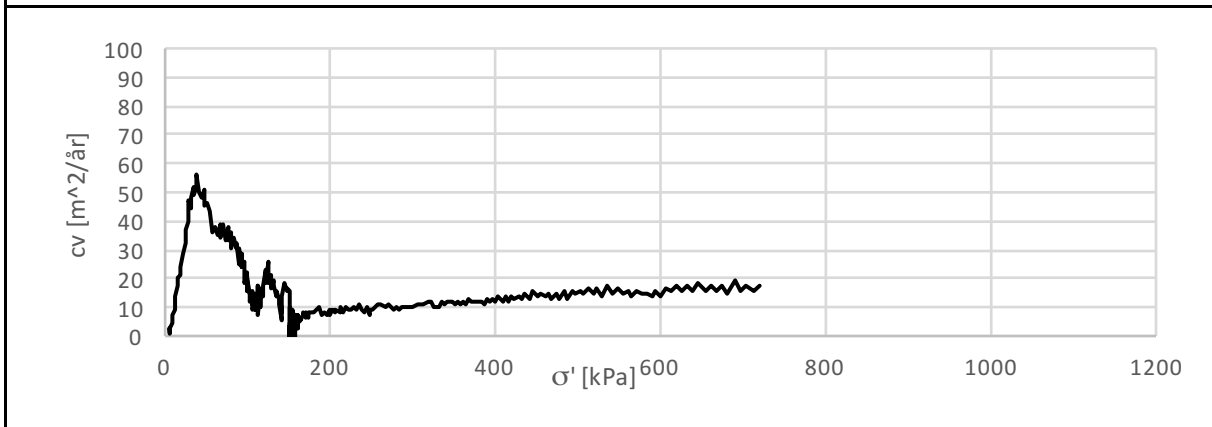
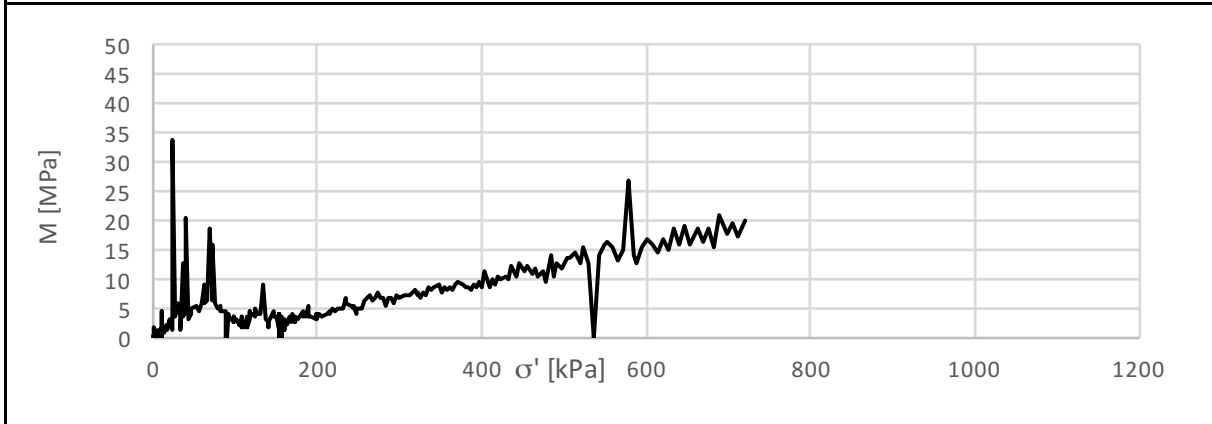
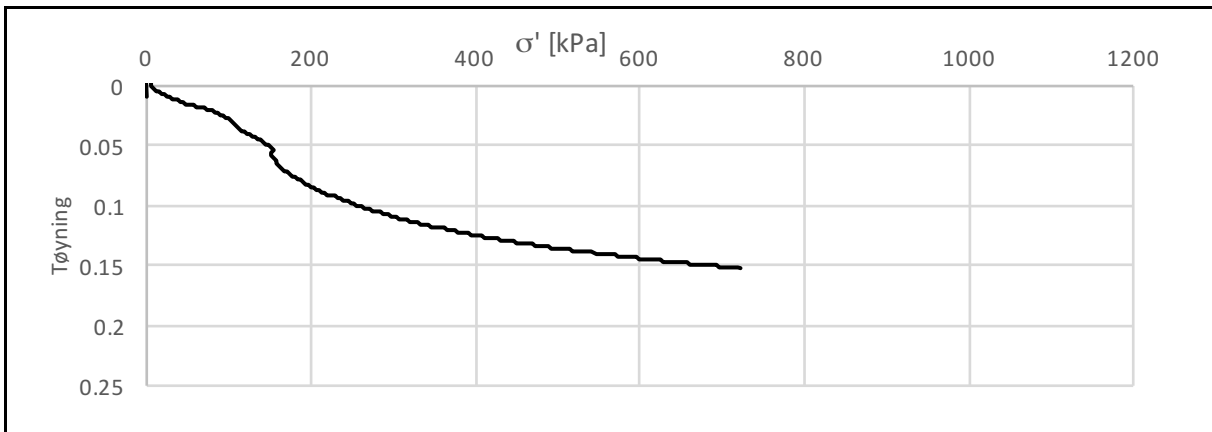
Prøve	Ø3A	p'c	85kPa	w	24,0%
Dato	04.06.2016	m	23,2	Δe/e0	0,0827
Dybde	7,70m	P'ref	50kPa	Bilag 12	
Forsøk	CRS	M	3.8MPa		
Lagring	20°C	cv	39m ² /år		

Ødometer



Prøve	Ø3B	p'c	410kPa*	w	37,8%
Dato	04.06.2016	m	6,17	$\Delta e/e_0$	0,0269
Dybde	7,70m	P'ref	300kPa	Bilag 13	
Forsøk	CRS	M	24,7MPa		
Lagring	20°C	c_v	317m ² /år		

Ødometer



Prøve	Ø3C	p'c	120kPa	w	33,5%
Dato	04.06.2016	m	30,5m	Δe/e0	0,0435
Dybde	7,70m	P'ref	100kPa	Bilag 14	
Forsøk	CRS	M	18,4MPa		
Lagring	5°C	cv	56,1m ² /år		