

Skråningsstabilitet ved Rein Kirke med utgangspunkt i resultater fra Sherbrooke blokkprøver

**Helene Alexandra
Amundsen**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2012

Hovedveileder: Arnfinn Emdal, BAT

Medveileder: Vikas Thakur, Statens vegvesen Vegdirektoratet

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



Oppgavens tittel: Skråningsstabilitet ved Rein Kirke med utgangspunkt i resultater fra Sherbrooke blokkprøver	Dato: 09.06.12		
	Antall sider (inkl. bilag): 332		
	Masteroppgave	X	Prosjketoppgave
Navn: Helene Alexandra Kornbrekke			
Faglærer/veileder: Arnfinn Emdal			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Vikas Thakur			

Ekstrakt:

I Statens Vegvesen er det planlagt å bygge en ny RV 717 mellom Sund og Bradden i Rissa som ligger på halvøyen Fosen nordvest for Trondheim i Sør-Trøndelag fylke. Prosjekteringen ble tidligere gjort i 2009, men prosjektet ble stoppet på grunn av store geotekniske utfordringer i skråningsstabilitet.

Det er en slak skråning mellom Rein kirke og Botn innsjø som består av sensitiv leire. Skråningen ligger på andre siden av innsjøen hvor "Rissaraset" tok sted. Området har blitt undersøkt tidligere med flere laboratorieforsøk, totalsonderinger, CPTU og R-CPTU (resistivitetmålinger). I 2011 ble det gjennomført supplerende grunnundersøkelser ved Rein kirke. Undersøkelsene bestod av CPTU, sylindrerprøveserier og blokkprøver. Fire blokkprøver ble tatt av NTNU, støttet av Statens Vegvesen.

Denne oppgaven handler om revurdering av geoteknisk problemstilling ved Rein kirke basert på nye CPTU-tolkninger med høyere kvalitet og resultater fra blokkprøver. Alle geotekniske og geofysiske data tilgjengelig om området ved Rein kirke ble samlet opp. Flere rapporter og tidligere masteroppgaver ble gjennomgått og samlet inn sammen med nye undersøkelser. Forsøksplanen var å utføre treaksjalforsøkene med varierende tøyningshastighet for å kartlegge hastighetseffekten for Rissaleire. Et anisotropiforhold ble etablert. Prekonsolideringstrykk og krypparametrene ble funnet i CRS og i trinnvise ødometre. Tidligere ble det antatt normalkonsolidert leire i denne skråningen, men en revurdering viste en overkonsolidert leire.

Ut ifra samlet informasjon om tidligere undersøkelser og med resultater fra blokkprøver ble tidligere antatt lagdelig revurdert. Nye CPTU, ble benyttet i korrelasjoner mellom CPTU og blokkprøver. Resultatene i kombinasjon med rutineundersøkelser viste at det ikke er kvikkleire i strandsonen, men bare noen få meter i midten av skråningen og at det er lite sannsynlig at et retrogressivt skred oppstår.

En ny lagdeling for profil 3-3 og nye su-profiler ble brukt i skråningsstabilitetsberegning, i GeoSuite. Nye resultater viste en forbedring av stabiliteten, avlastning av sandlaget ble vurdert.

Stikkord

1. Blokkprøver
2. Skråningsstabilitet
3. Rissa
4. Grunnundersøkelser

TBA4510 Geoteknikk Masteroppgave, våren 2012

Stud. techn.

Helene Alexandra Kornbrekke

Skråningsstabilitet ved Rein Kirke med utgangspunkt i resultater fra Sherbrooke blokkprøver

Slope stability at Rein Kirke based on results from Sherbrooke block samples

Bakgrunn

I Statens Vegvesen er det planlagt å bygge en ny RV 717 mellom Sund og Bradden i Rissa som ligger på halvøya Fosen, nordvest for Trondheim i Sør-Trøndelag fylke. Prosjektering ble gjort i 2009, men prosjektet ble stoppet på grunn av store geotekniske utfordringer med hensyn på skråningsstabilitet. Sikkerheten i skråningen ble funnet å være svært lav og geometri og lagdeling gjorde at løsninger for bedring av sikkerheten ikke ga tilstrekkelig økning i sikkerhetsfaktor, selv om avlastning og motfyllingsalternativer ble grundig undersøkt. Denne vurderingen var basert på 54 mm prøver i kvikke og sensitive leirer samt eksisterende relasjoner til resultater fra blokkprøver.

Området har vært et interessant område for forskere gjennom de siste år, og i 2011 tok NTNU opp 4 blokkprøver nedenfor Rein kirke, støttet av Statens vegvesen. Disse blokkprøvene skal anvendes til to forskjellige masteroppgaver, en som omhandler saltdiffusjon og et mer generelt studium med henblikk på egenskapene til de siltige sensitive leirene i skråningen som omtales her.

Det vil være interessant å vurdere om den nye kunnskapen kan være med å belyse skråningens tilstand og om mulig gi grunnlag for revisjon av design parametre.

Innhold

Kandidaten skal ved et litteratursøk sette seg inn i laboratorieforsøk (treaks, ødometer) på blokkprøver og det teoretiske grunnlag som ligger til grunn for tolkningsmetodene som anvendes.

Kandidaten skal samle alle geotekniske og geofysiske data tilgjengelig om området ved Rein kirke og gjennomføre en forsøksserie ved bruk av treaksialforsøk. Anisotropiforhold og hastighetseffekter skal vurderes. De oppnådd resultatene skal sammenlignes med tilgjengelig litteratur.

Kandidaten skal gjennomføre en forsøksserie ved bruk av CRS og trinnvis ødometer for å finne kryppparametre og prekonsolideringstrykk tolket etter tradisjonell teori.

Prosjektet skal inngå i en større vurdering av materialeegenskaper hente fra området Reins kirke og det er derfor viktig å utføre vurderinger av effekten av prøve kvalitet på styre og deformasjons egenskaper i det aktuelle leirmaterialet.

Laboratoriearbeid på blokkprøver skal utføres og vurderes sammen med eksisterende relasjoner (som f.eks. Karlsrud, 2005). Det skal også vurderes om nye data og laboratorieresultater kan gi grunnlag for revurdering av tidligere antatte lagdelinger i området.

Som eksempel skal stabiliteten av et av profilene ved området Reins kirke vurderes og effekt av mulige tiltak klarlegges.

Organisering

Oppgaven støttes av Statens vegvesen og knyttes til forskningsprogrammet ”Naturfare – infrastruktur, flom og skred (NIFS)”, et tverretatlig samarbeid mellom Statens vegvesen, Jernbaneverket og Norges vassdrags- og energidirektorat. Ekstern veileder er Vikas Thakur, Statens vegvesen.

Omfang og levering

Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng – dvs. tilsvarende et semester.

Arbeidet skal leveres i form av en teknisk rapport med innledning og problemformulering, bakgrunnsstudie av relevante mekanismer, og presentasjon av resultater fra studiet. Klare konklusjoner og forslag til videre arbeid vil bli kreditert.

Rapporten skal leveres i form av en uinnbundet original og to innbundne kopier. Digitalt skal det leveres en versjon av oppgaven samt alle laboratoriedata som er fremkommet, både rådatafiler og behandlede data og eventuelle film/videoopptak.

Leveringsdato

11. juni 2012.

Arnfinn Emdal

Amanuensis

Institutt for Bygg, Anlegg og Transport

Faggruppe for Geoteknikk

Forord

Denne rapporten er skrevet ved Norges Tekniske Naturvitenskapelig Universitet med tett samarbeid med Statens Vegvesen i Trondheim. Arbeidet ble gjennomført i perioden 16. januar til 11. juni 2012.

Jeg vil gjerne takke alle på geoteknikk på NTNU for all deres hjelp med denne oppgaven, spesielt Jan Jønland og Gunnar Winther for deres harde arbeid med blokkprøvetakingen og hjelpen med oppdelingen og håndteringen av prøver, samt Per Stensen for hans hjelp med laboratoriestyr. Ønsker også å takke Arnfinn Emdal og Samson Degago for all deres hjelp og veiledning i forståelsen av laboratorieresultater.

En spesiell takk til Vikas Thakur for alle hans råd, hjelp og veiledning med oppgaven.

Takknemlighet rettes også til Kjell Troøien hos Multiconsult, for hans hjelp med gjennomføring av de passive treaksialforsøkene.

Tusen takk også til Morten Amundsen for hans hjelp med effektivisering av beregninger, håndtering av store mengder rådata og korrekturlesning.

Sammendrag

I Statens Vegvesen er det planlagt å bygge en ny RV 717 mellom Sund og Bradden i Rissa som ligger på halvøyen Fosen nordvest for Trondheim i Sør-Trøndelag fylke. Prosjekteringen ble tidligere gjort i 2009, men prosjektet ble stoppet på grunn av store geotekniske utfordringer i skråningsstabilitet.

Det er en slak skråning mellom Rein Kloster og Botn innsjø som består av sensitiv leire. Skråningen ligger på andre siden av innsjøen hvor "Rissaraset" tok sted i 1978. Området har blitt undersøkt tidligere med flere laboratorieforsøk, totalsonderinger, CPTU og R-CPTU (resistivitetsmålinger). Høsten 2011 ble det gjennomført en ny omgang med supplerende grunnundersøkelser ved Rein kirke, med stort fokus på to kritiske profiler mot Botn. Undersøkelsene bestod av CPTU, sylinderprøveserier og blokkprøver. Fire blokkprøver ble tatt av NTNU, støttet av Statens Vegvesen.

Som følge av litteratur og erfaring forstås det at høykvalitetsprøver kan gi bedre grunn for geoteknisk prosjektering. Denne oppgaven handler om revurdering av geoteknisk problemstilling ved Rein kirke basert på nye CPTU-tolkninger med høyere kvalitet og resultater fra blokkprøver, med utgangspunkt i teoretisk grunnlag i laboratoriforsøk.

Denne oppgaven har samlet alle geotekniske og geofysiske data tilgjengelig om området ved Rein kirke. Flere rapporter fra rådgivende firmaer og tidligere masteroppgaver ble gjennomgått og samlet inn sammen med nye undersøkelser. Alle verdiene ble satt sammen i en database for Rissaleiren. Alle resultatene er samlet i fem vedlegg, prøveserier, treaksialforsøk, ødometerforsøk, CPTU og skråningsstabilitet. Oppgaven bør leses parallelt med vedlegget på grunn av store mengder av resultater.

Et litteraturstudie på skråningsstabilitet, sprøbruddmateriale, forskjellige sikkerhetskrav, prøveforstyrrelser og korrelasjoner ble gjort som forarbeid for vurdering av grunnundersøkelsene.

Nye laboratorieundersøkelser på blokkprøver ble utført i løpet av januar-mars. Forsøksplanen var å utføre treaksialforsøkene med varierende tøyningshastighet for å kartlegge hastighetseffekten for Rissaleire. Prekonsolideringstrykk og kryppparametrene ble funnet i CRS og i trinnvise ødometre.

Ut ifra samlet informasjon om tidligere undersøkelser og med resultater fra blokkprøver ble tidligere antatt lagdelig revurdert. Nye CPTU, som var av meget god kvalitet, ble benyttet i korrelasjoner mellom CPTU og blokkprøver. Resultatene i kombinasjon med rutineundersøkelser viste at det ikke er kvikkleire i strandsonen, men bare noen få meter i midten av skråningen. Omrørt skjærstyrke var over 1 kPa de fleste steder i skråningen, som ut ifra ny forskning betyr at det er lite sannsynlig at et retrogressivt skred oppstår.

Nye OCR-profiler ble utarbeidet med utgangspunkt i utførte ødometerforsøk som var av god kvalitet. Tidligere ble det antatt normalkonsolidert leire i denne skråningen, men en revurdering viste at leiren har en OCR på rundt 2.0 i øverste laget i strandsonene og rundt 1-1.5 i dypere lag. Leiren høyere i skråningen ligger under et tykt sandlag og har derfor OCR over 1.0. Basert på utførte aktive og passive treaksialforsøk på Rissaleiren, ble et anisotropiforhold etablert.

Basert på alt dette ble det foreslått ny lagdeling for profil 3-3 og nye s_u -profiler for beregning av skråningsstabiliteten. Skråningsstabilitet ble beregnet med GeoSuite, og det anbefales å verifisere disse resultatene med et program som baserer seg på elementmetoden.

Nye resultater av skråningsberegninger viste en vesentlig forbedring av stabiliteten. Avlastning av sandlaget ble vurdert, men ikke motfylling, som i tidligere vurderinger. Det ble funnet ut at avlastning på rundt 2 m på toppen av skråningen gir en jevnere skråning som tilfredsstiller kravene til NVE og Statens Vegvesen for prosentvis forbedring ved topografiske endringer.

Det anbefales å undersøke standsonen ytterligere, med gode prøver fra dype lag. Bunnen til Botn innsjø bør kartlegges med prøveserier for vurdering av skråningstabiliteten mot Botn.

Summary

Statens Vegvesen has planned the construction of a new road, RV 717, between Sund and Bradden in Rissa, located on the Fosen peninsula northwest of Trondheim, in Sør-Trøndelag county. A design phase was undertaken in 2009, however the project was terminated due to great geotechnical challenges with respect to slope stability.

There is a gentle slope between Rein church and lake Botn which consists of sensitive clay. The slope lies on the other side of the lake with respect to the location where Rissaraset took place in 1978. The area has been previously surveyed, with several samples investigated in the laboratory, total sounding, CPTU and R-CPTU (resistivity measures). During the Autumn 2011, supplementary soil investigations at Rein church, with focus on two critical profiles towards Botn. The investigations consisted of CPTU, cylinder samples and block samples. Four block samples were acquired by NTNU, aided by Statens Vegvesen.

As it follows from the literature and experience, high quality samples could provide a better basis for geotechnical design. This thesis attempts to re-evaluate the geotechnical conclusions arrived at for Rein church, based on new CPTU interpretations with higher quality, as well as results from block samples, supplemented by theoretical background experience from the laboratory.

This thesis has gathered all available geotechnical and geophysical data from the surrounding area at Rein church. Several reports from consultants and previous master theses were revised and collected, along with new soil investigations. This was gathered into a database for the Rissa clay. These results are shown in an appendix consisting of five parts; cylinder samples, triaxial tests, oedometer test, CPTU and slope stability. The thesis should be read in parallel with the appendix due to the large amounts of data presented.

A literature study of slope stability, brittle materials, safety requirements, sample disturbance and correlations was performed as a preliminary study for the evaluation of the soil investigations.

New laboratory tests on block samples were performed in the time period between January and March. The triaxial tests were performed with varying strain rates such that the rate dependency could be explored for the Rissa clay. The preconsolidation stress and creep parameters were found in the CRS and stepwise oedometers.

From the information gathered from soil investigations, and with the results from block samples, previously assumed soil layers were re-evaluated. New CPTU of excellent quality was used in establishing correlations between CPTU and block samples. These results, combined with routine investigations, showed that there is no quick clay present in the beach zone, except for a few meters in the middle of the slope. Remolded shear strength exceeded 1 kPa for the majority of locations, which based on new research implies that

there is little probability for a retrogressive landslide.

New OCR-profiles based on oedometer tests were of good quality. Previously, normally consolidated clay was assumed for the investigated slope, however a re-evaluation revealed that the clay has an OCR of approximately 2.0 in the topmost layer at the beach zones, and approximately 1-1.5 in deeper layers. The clay higher up in the slope lies under a thick sand layer, which causes it to have an OCR above 1.0. Based on performed active and passive triaxial tests on the Rissa clay, an anisotropic relation was established.

Based on these results, a new soil layering was suggested for profile 3-3, as well as new s_u profiles for determination of the slope stability. GeoSuite was used for the determination of slope stability, and it is recommended to verify these results with software based on the finite element method.

New slope stability calculations reveal a significant improvement of stability. Unloading of the sand layer was considered, but counter-loading was not, as mentioned in previous studies. It was found that an unloading of 2 m at the top of the slope resulted in a more even slope which satisfy the requirements stated by NVE and Statens Vegvesen for improvement by topographical alterations.

It is recommended to further investigate the beach zone, with good quality samples from deeper layers. The seabed of lake Botn should be investigated such that slope stability towards Botn can be evaluated.

Innhold

1	Innledning	25
2	Stabilitet i naturlige skråninger	27
2.1	Sprøbruddmateriale	28
2.2	Skråningsstabilitet	30
2.3	Sikkerhet	30
3	Geotekniske grunnundersøkelser	33
3.1	Prøvetakingsmetoder	33
3.1.1	Stempelprøvetaker	34
3.1.2	Sherbrooke blokkprøvetaker	34
3.2	CPTU	36
3.2.1	Korrelasjoner mellom CPTU og laboratorieresultater	37
3.2.2	Resistivitetsmålinger	37
4	Prøveforstyrrelser	39
4.1	Kvalitet i felt og lab	40
4.2	Effekt av prøveforstyrrelser	41
4.3	Korreksjoner	43
5	Konsolidering	45
6	Bakgrunn for CPTU korrelasjoner	49
6.1	Korrelasjonsfaktorer	50
6.2	Konfaktorer	51
6.2.1	N_{kt}	52
6.2.2	N_{ke}	53
6.2.3	$N_{\Delta u}$	54
6.3	SHANSEP	55
6.4	Spenningshistorie	56
6.4.1	Overkonsolideringsgrad - OCR	56
6.4.2	Prekonsolideringstrykk - σ'_c	57
7	Rissa - områdebeskrivelse	59
7.1	Geologi i Sør-Trøndelag	60
7.2	Kvikkleire	61
7.3	Rissa	62
7.3.1	”Rissaraset”	64

8	Grunnundersøkelser	65
8.1	NGI, 2007-2009	66
8.2	NTNU, 2009-2010	66
8.3	2011	67
8.4	NGU, 2010-2012	68
8.5	Resultater	71
9	Laboratoriearbeid	77
9.1	Blokkprøver	78
9.2	Ødometerforsøk	81
9.2.1	Resultater	82
9.3	Treaksialforsøk	94
9.3.1	Baktrykk	97
9.3.2	Resultater	99
9.3.3	Effekt av belastningshastighet	107
9.4	Oppsummering av resultater	110
10	CPTU tolkning, korrelasjoner	113
10.1	Lagdeling	114
10.2	Spenningshistorie	116
10.2.1	σ'_c basert på ødometerforsøk	116
10.2.2	OCR basert på CPTU	118
10.3	OCR-profiler	119
10.4	SHANSEP	123
10.5	Korreksjon av CAUa	124
10.6	Udrenert skjærstyrke	126
10.6.1	$N_{\Delta u}$	126
10.6.2	N_{kt} og N_{ke}	127
10.7	S_u -profiler	129
10.8	Vurdering av $N_{\Delta u}$ med OCR	133
10.9	s_{uCAUC} , s_{uCAUC} , s_{uDSS} og σ'_c	134
10.10	Anisotropi	134
11	Sammenligning av resultater	137
11.1	Rutineundersøkelser	138
11.2	Ødometerforsøk	142
11.3	Treaksialforsøk	143
11.4	S_u -profiler	147
12	Skråningsstabilitet	151
12.0.1	Profil 3-3 med nye C-profiler, ADP-faktorer uforandret	153
12.1	Lagdeling	154
12.1.1	Profil 3-3 med ny lagdeling, C-profiler og ADP-faktorer	156
12.1.2	Avlastning	157
12.2	Sikkerhetsfaktorer	158
13	Diskusjon	161
14	Konklusjon	163

15 Videre anbefalinger	167
A Prøveserier	173
B Treaksialforsøk	191
C Ødometerforsøk	221
D CPTU	291
E Skråningsstabilitet	321

Tabeller

2.1	Krav til absolutt γ_M i sprøbruddmaterialer[42]	30
3.1	Utgangspunkt for løsmasseklassifisering fra resistivitetsverdier[38]	38
4.1	Evaluering av prøveforstyrrelser basert på volumetrisk tøyning i konsolideringsfasen [34]	42
4.2	Evaluering av prøveforstyrrelser basert på $< \Delta e/e_o < [26]$	42
8.1	Rutineundersøkelser, NGI[23]	66
8.2	Oppsummering, sylinderprøver med akseptabel/god kvalitet	72
8.3	Oppsummering av ødometerforsøkene	73
8.4	Nye grunnundersøkelser, 2010[35]	74
8.5	Oppsummering av tidligere grunnundersøkelser[35]	75
9.1	Rutineundersøkelser, blokkprøver	77
9.2	Trinnvise ødometre IL001-005, kryptall og deformasjon, til figur 9.12	90
9.3	Kryptall til forsøk vist figur 9.13.	90
9.4	Kryptall til forsøk vist i figur 9.14	90
9.5	Tøyningshastighet i treaksialforsøk	100
9.6	Oppsummering, blokkprøveresultater, treaksialforsøk	111
9.7	Oppsummering, blokkprøveresultater, ødometerforsøk	112
10.1	Dybdekorreksjon i forhold til lagdelingen i skråningen	114
10.2	Uttrykk for korrelasjon mellom CPTU resultater og OCR	119
10.3	Konfaktorer, Rissa leire	129
10.4	Anisotropi i borehull C3, 3.5-4.2 m, se tabell 9.6 for detaljer	135
12.1	Sikkerhetsfaktorer, NGI[24]	152
12.2	Lagdeling i skråningen ved Rein kirke, NGI [24]	152
12.3	Ny lagdeling i skråningen ved Rein kirke	155
12.4	Profil 3-3, sikkerhetsfaktor, nye C-profiler	158
12.5	Profil 3-3, sikkerhetsfaktor, nye C-profiler	158
12.6	Profil 3-3: 1 m avlastning av skråningen, oppfyllelse av krav	159
12.7	Profil 3-3: 2 m avlastning av skråningen, oppfyllelse av krav	159
C.1	Oversikt over modultallene i CRS forsøkene	221

Figurer

2.1	Sprøbruddmateriale	28
2.2	Sammenligning mellom norske skred (med $L > 100$ m) og tidligere skred[41].	29
2.3	Miniminskrav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer	31
3.1	Prøvetakingsutstyr og blokkprøve	34
3.2	Sherbrooke blokkprøvertaker[12]	35
3.3	Åpning av blokkprøve fra Rissa, Geoteknisk laboratorie, Januar 2012 . . .	35
3.4	CPTU[25]	36
4.1	Resultater fra treaksialforsøk, spenning - tøyingsoppførsel, 54 mm, 76 mm og blokkprøver	40
4.2	Korreksjon for CAUC med prøveforstyrrelser med hensyn til små tøyninger[5]	43
5.1	Definisjoner av konsolideringer[6]	46
5.2	Sekundærkonsolidering[6]	47
6.1	Jordklassifiseringsdiagram, basert på normalisert CPT/CPTU data[25]. . .	50
6.2	Konfaktorer N_{kt} , N_{ke} , $N_{\Delta u}$ vs B_q [11].	51
6.3	Forhold mellom N_{kt} , I_p , S_t og OCR [11].	52
6.4	Forhold mellom N_{ke} , OCR og B_q [11].	53
6.5	Forholdet mellom $N_{\Delta u}$, I_p og S_t [11].	54
6.6	Forhold mellom s_{ua}/σ'_{v0} og OCR [11].	55
6.7	Forholdet mellom B_q , $\frac{u_2-u_0}{\sigma'_{v0}}$, Q_t og OCR [11].	56
7.1	Rissa - oversikt over studieområdet. <i>Bilde: NVE, Statens kartverk, 2012.</i> . .	59
7.2	Breens bevegelser i Sør-Trøndelag under siste istiden[33]	60
7.3	Geologisk løsmassekart over Rissa <i>NGU, 2012.</i>	62
7.4	Kvikkleire - risikokart over Rissa <i>Bilde: www.skrednett.no, 2012.</i>	63
7.5	Rissaraset	64
8.1	Geologi ved Rein kirke, basert på resistivitetsmålinger	68
8.2	Profil ved Rein kirke	69
8.3	Oversiktskart <i>Statens Vegvesen</i>	76
9.1	Kornfordeling, Rissa, blokkprøver: Siltig leire	79
9.2	Snitt i Rissa leire, Geoteknisk Laboratorie, NTNU, vår 2012	80
9.3	Rissa leire, Geoteknisk Laboratorie, NTNU, vår 2012	80
9.4	Bestemmelse av prekonsolideringstrykket i CRS011, se vedlegg C for flere detaljer	82
9.5	Resultater fra kontinuerlig ødometerforsøk, CRS011	83

9.6	CRS ødometerforsøk med varierende deformasjonshastighet	84
9.7	CRS og IL ødometerforsøk på blokkprøver	85
9.8	Trinnvise ødometre sammenlignet med CRS	86
9.9	Lasttrinn 100 kPa i trinnvis ødometer IL005	87
9.10	Tid-deformasjon kurve fra figur 9.9	87
9.11	Korrigert t_p og r_s	88
9.12	Kryptall fra IL ødometerforsøk på blokkprøver, se også tabell 9.2	89
9.13	Krypforøk (24 timer) sammenlignet med CRS001 og IL ødometerforsøk på blokkprøver	91
9.14	Krypforøk (24 timer) sammenlignet med CRS001 og IL004 ødometerforsøk på blokkprøver	92
9.15	Krypforsøket CRS006 og CRS008, hvor filteret satt fast	93
9.16	Forbredelser til utførsel av treaksialforsøk	94
9.17	Utførelse av treaksialforsøk, Geoteknisk Laboratorie, NTNU, vår 2012	95
9.18	Treaksialforsøk på Rissa leire, se vedlegg B for flere detaljer	98
9.19	Samlet resultat av blokkprøveresultater	99
9.20	Alle treaksialforsøk på blokkprøver fra Rissa, se tabell 9.6 for flere detaljer (MC=Multiconsult)	100
9.21	Rissa leire med forskjellige lagdeling	101
9.22	Samleplott av resultater fra treaksialforsøk	102
9.23	Rissa leire, SEM analyse <i>Statens Vegvesen Rapport(2012)-Sprøbruddmateriale</i>	103
9.24	Tøyningshastighet 3.0-4.5 %/time	104
9.25	Tøyningshastighet 0.6-1.5 %/time (MC=Multiconsult)	104
9.26	Tøyningshastighet 0.3 %/time	105
9.27	Tøyningshastighet 0.1 %/time	105
9.28	Dilatansparameter i aktiv treaksialforsøk	106
9.29	Effekt av tøyningshastighet[1].	107
9.30	Effekt av tøyningshastighet og volumendring i Rissa leire	108
9.31	Tøyningshastighet i Rissa leire sammenlignet med tidligere undersøkelser[1].	109
10.1	CPTU: Spissmotstand og poretrykk med justert dybde. Punkt KK1 er referanse, se tabell 10.1	115
10.2	Prekonsolideringstrykk i skråningen	116
10.3	Tilnærmet lagdeling i skråningen med estimert forbelastning	117
10.4	Korrelasjoner mellom CPTU og OCR med utgangspunkt i erfaringsdata [11].	118
10.5	CPTU C4 og KK1 med designlinjer.	119
10.6	CPTU C2 og C5 med designlinjer.	120
10.7	CPTU KK3 og KK4 med designlinjer.	121
10.8	CPTU C3 og C6 med designlinjer.	122
10.9	Resultater med utgangspunkt i erfaringsdata[11]. Basert på blokkprøver og sylinderprøver med akseptabel prøve kvalitet, hvor lav tøyningshastighet gir de laveste s_u/σ'_{vo} verdiene, $\alpha = 0.3$ og $m = 0.86$	123
10.10	Korreksjon av forstyrrede CAUa forsøk fra Rissa	124
10.11	Korrigerte treaksialforsøk sammen med høykvalitetsprøver (justert dybde)	125
10.12	Konfaktor $N_{\Delta u}$ basert på blokkprøver og sylinderprøver med akseptabel prøve kvalitet, hvor lav tøyningshastighet gir de største $N_{\Delta u}$ verdiene, med utgangspunkt i erfaringsdata[11].	126

10.13	N_{kt} basert på blokkprøver og sylinderprøver med akseptabel prøve kvalitet, med utgangspunkt i erfaringsdata [11].	127
10.14	N_{ke} basert på blokkprøver og sylinderprøver med akseptabel prøve kvalitet, med utgangspunkt i erfaringsdata[11].	128
10.15	CPTU C4 og KK1 med designlinjer.	129
10.16	CPTU C2 og C5 med designlinjer.	130
10.17	CPTU KK3 og KK4 med designlinjer.	131
10.18	CPTU C3 og C6 med designlinjer.	132
10.19	Vurdering av $N_{\Delta u}$ med utgangspunkt i estimert OCR, med utgangspunkt i erfaringsdata [11].	133
10.20	Anisotropi i Rissa leire, høye verdier er forårsaket av lave s_{uCAUa} verdier.	135
11.1	Rissa leire: samlet resultat av rutineundersøkelser	138
11.2	Rissa leire: forholdet mellom vanninnhold og Atterbergs grenser	139
11.3	Rissa leire: forholdet mellom normalisert vanninnhold, w/w_L , og I_P og w_P	140
11.4	Rissa leire: forholdet mellom vanninnhold, s_u , s_r og S_t	140
11.5	Rissa leire: forholdet mellom s_r og S_t	141
11.6	CRS ødometerforsøk utført på sylinderprøver og blokkprøve	142
11.7	Treksialforsøk i borpunkt C3 og C6 sammen med blokkprøveresultater	143
11.8	Resultater fra treksialforsøk på sylinderprøver(Multiconsult) i borpunkt C3 og C6 sammen med blokkprøveresultater	144
11.9	Blokkprøvene med turbulent lagdeling og sylinderprøver(Multiconsult) fra C3 og C6	145
11.10	Blokkprøvene med horisontal lagdeling og sylinderprøver(Multiconsult) fra C3 og C6	146
11.11	Designlinjer, borehull KK1, C4, C2 og C5	147
11.12	Designlinjer, borehull KK3, KK4, C3 og C6	148
12.1	Profil 3-3, beregning av stabilitet i opprinnelig skråning[24]	152
12.2	Profil 3-3: NGIs geometri og lagdeling[24] med nye C-profiler	153
12.3	Profil 3-3: NGIs geometri og lagdeling[24] med nye C-profiler	153
12.4	Profil 3-3: NGIs lagdeling og terreng	154
12.5	Profil 3-3: Ny lagdeling med utgangspunkt i NGIs terreng, se vedlegg E for store bilder	154
12.6	Resultater fra resistivitetmålinger utført av NGU[39]	155
12.7	Profil 3-3: Skråningsstabilitet med ny lagdeling, C-profiler og ADP-faktorer	156
12.8	Profil 3-3: Skråningsstabilitet med ny lagdeling, C-profiler og ADP-faktorer	156
12.9	Profil 3-3: Skråningsstabilitet med avlastning på 1 m	157
12.10	Profil 3-3: Skråningsstabilitet med avlastning på 2m	157
E.1	Profil 3-3: NGIs geometri, nye C-profiler	322
E.2	Profil 3-3: NGIs geometri, nye C-profiler	323
E.3	Profil 3-3: Ny geometri, NGIs ADP-faktorer, nye C-profiler	324
E.4	Profil 3-3: Ny geometri, NGIs ADP-faktorer, nye C-profiler	325
E.5	Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler	326
E.6	Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler	327
E.7	Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler, avlastning 1m	328
E.8	Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler, avlastning 1m	329
E.9	Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler, avlastning 2m	330

E.10 Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler, avlastning 2m .	331
E.11 Profil 3-3: Nye isolinjer	332

Symbolliste

NORSK

a	=	attraksjon ($=c' \cot \varphi$)
a	=	areal av CPT kjegle ($=A_n/A_c$)
A	=	areal
B_q	=	poretrykk parameter ($=\frac{u_2-u_o}{q_t-\sigma_{vo}}$)
c	=	kohesjon
c_v	=	konsolideringskoeffisient
c_u	=	graderingstall
D	=	dilatansparameter
e	=	poretallet
E	=	Youngs modul
F	=	sikkerhetsfaktor
f	=	mobiliseringsgrad ($f = 1/F$)
f_s	=	sidefriksjon
F_r	=	normalisert friksjonsforhold ($=\frac{f_s}{q_t-\sigma_{vo}}$)
g	=	tyngdens aksellerasjon
I_p	=	plastisitetsindeks
k	=	permeabilitet
K_o	=	hviletrykkskoeffisient for totalspenninger ($=\frac{\sigma_{ho}}{\sigma_{vo}}$)
K'_o	=	hviletrykkskoeffisient for effektivspenninger ($=\frac{\sigma'_{ho}}{\sigma'_{vo}}$)
m	=	masse
m	=	modultall
m_s	=	masse av faststoff
m_w	=	masse av vann
n	=	porøsitet
N_k	=	konfaktor
N_{ke}	=	bæreevnefaktor for s_u fra CPTU
N_{kt}	=	bæreevnefaktor for s_u fra CPTU, spissmotstand
$N_{\Delta u}$	=	bæreevnefaktor for s_u fra CPTU, poretrykk
p'_c	=	effektiv prekonsolideringstrykk
P	=	vertikal last i treaksial celle, uttrykt med $\sigma_1 = P \frac{p(1-\varepsilon)}{A_a}$
q_c	=	registrert spissmotstand
q_t	=	korrigert spissmotstand ($=q_c + (1+a)u_2$)
Q_t	=	normalisert spissmotstand ($=\frac{q_t-\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}$)
r_s	=	kryptall
R_f	=	normalisert friksjonsforhold ($=\frac{f_r}{q_t} 100\%$)

S	=	stigning på linjen i NTNU-plot ($S = \frac{\sin\phi}{1-\sin\phi}$)
s_u	=	undrinert skjærstyrke
s_r	=	omrørt skjærstyrke
S_r	=	metningsgrad
S_t	=	sensitivitet
t	=	tid
t_p	=	primær konsolideringstid
u	=	poretrykk
u_o	=	poretrykk in situ
u_1	=	registrert poretrykk på CPTU kjegle
u_2	=	registrert poretrykk bak CPTU kjegle
u_3	=	registrert poretrykk på CPTU friksjonshylse
Δu	=	overporetrykk
w	=	vanninnhold
w_p	=	plastisitetsgrense
w_L	=	flytegrense
z	=	dybde

GRESK

γ	=	tyngdetetthet
γ'	=	neddykket tyngdetetthet
γ_d	=	tørr tyngdetetthet
γ_s	=	tyngdetetthet av faststoff (mineralet)
γ_w	=	tyngdetetthet for vann
δ	=	vertikal deformasjon
Δu	=	endring i poretrykk ($=u - u_o$)
ε	=	tøyning ($\varepsilon = \frac{\delta}{h_o}$)
ρ	=	massetetthet
ρ	=	mobilisert friksjonsvinkel
σ, σ'	=	normalspenning (total, effektiv)
σ_1, σ'_1	=	størst hovedspenning (total, effektiv)
σ_2, σ'_2	=	mellomste hovedspenning (total, effektiv)
σ_3, σ'_3	=	minste hovedspenning (total, effektiv)
σ_h, σ'_h	=	horisontal spenning (total, effektiv)
$\sigma_{ho}, \sigma'_{ho}$	=	initial horisontal spenning (total, effektiv)
σ_m	=	middelspenning ($\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$)
σ_r	=	radialspenning
σ_v, σ'_v	=	vertical spenning (total, effektiv)
$\sigma_{vo}, \sigma'_{vo}$	=	initial vertikal spenning (total, effektiv)
τ	=	skjærspenning
τ_f	=	skjærspenning ved brudd
τ_c	=	største tillatte skjærspenning i brukstilstand
φ	=	friksjonsvinkel
φ'	=	effektiv friksjonsvinkel
ν	=	Poissons tall

FORKORTELSER

<i>CAD</i>	=	"Consolidated Anisotropic Drained"
<i>CAUC</i>	=	"Anisotropic Consolidated Undrained Triaxial Test Sheared in Compression"
<i>CCV</i>	=	"Consolidated, Constant Volume"
<i>CID</i>	=	"Consolidated Isotropic Drained"
<i>CIU</i>	=	"Consolidated Anisotropic Undrained"
<i>CIU_a</i>	=	"Consolidated Anisotropic Undrained, active"
<i>CIU_p</i>	=	"Consolidated Anisotropic Undrained, passive"
<i>CPT</i>	=	"Cone Penetration Test"
<i>CPTU</i>	=	"Cone Penetration Test with Pore Pressure"
<i>CRS</i>	=	"Cyclic Stress Ratio"
<i>NC</i>	=	normalkonsolidert
<i>OC</i>	=	overkonsolidert
<i>OCR</i>	=	overkonsolideringsgrad
<i>POP</i>	=	"Preoverburden pressure"

Kapittel 1

Innledning

I Statens Vegvesen er det planlagt å bygge en ny RV 717 mellom Sund og Bradden i Rissa som ligger på halvøyen Fosen nordvest for Trondheim i Sør-Trøndelag fylke. Prosjekteringen ble tidligere gjort i 2009, men prosjektet ble stoppet på grunn av store geotekniske utfordringer i skråningsstabilitet. Sikkerheten i skråningen ble funnet å være svært lav og geometri og lagdeling gjorde at løsninger for bedring av sikkerheten ikke ga tilstrekkelig økning i sikkerhetsfaktor, selv om avlastning og motfyllingsalternativer ble grundig undersøkt. Denne vurderingen var basert på 54 mm prøver i kvikke og sensitive leirer samt eksisterende relasjoner til resultater fra blokkprøver.

Skråningen er slak, og ligger mellom Rein Kloster og Botn innsjø, som består av sensitiv leire. Skråningen ligger på den andre siden av innsjøen fra der hvor "Rissaraset" fant sted i 1978. Området har blitt undersøkt tidligere med flere laboratorieforsøk, totalsonderinger, CPTU og R-CPTU (resistivitetsmålinger). Høsten 2011 ble det gjennomført en ny omgang med supplerende grunnundersøkelser ved Rein kirke, med stort fokus på to kritiske profiler mot Botn. Undersøkelsene bestod av CPTU, sylinderprøveserier og blokkprøver.

Disse blokkprøvene skal anvendes til to forskjellige masteroppgaver, en som omhandler saltdiffusjon og et mer generelt studium med henblikk på egenskapene til de siltige sensitive leirene i skråningen som omtales her.

Et litteraturstudie om skråningsstabilitet, sprøbruddmateriale, forskjellige sikkerhetskrav, prøveforstyrrelser og korrelasjoner skal være et forarbeid for vurdering av grunnundersøkelsene.

En revurdering av skråningsstabilitet begynner med samling og granskning av tilgjengelig data fra tidligere undersøkelser. Kvaliteten blir revurdert med utgangspunkt i nye laboratorieundersøkelser.

Laboratorieundersøkelser på tre blokkprøver består av rutineundersøkelser, treaksialforsøk og ødometerforsøk. Treaksialforsøk består av både aktive og passive forsøk, hvorav de passive forsøkene ble utført av Multiconsult på oppdrag av Statens Vegvesen. Resten av laboratoriearbeidet blir utført i NTNUs geotekniske laboratorie av undertegnede. Tøyningshastigheten i både treaksial- og ødometerforsøk skal varieres for å finne hastighetseffekten. Flere CRS, krypforsøk og trinnvise ødometre skal gjennomføres.

Ut i fra samlede resultater blir lagdeling i profil 3-3 revurdert, og basert på dette blir skråningsstabilitet beregnet på nytt. Viktigheten av riktig lagdeling blir understreket med

å variere inputparametrene. Tiltak for forbedring av skråningsstabilitet blir dokumentert ut ifra foreslått lagdeling og s_u -profiler.

Kapittel 2

Stabilitet i naturlige skråninger

Under landhevingen har elver og bekker erodert seg gjennom løsmassene, spesielt i løsmasser med mye grus og finere partikler. Det har også ført til dårligere skråningsstabilitet og mange løsmasseskred. Økt poretrykk i leirmasser på grunn av mye regnvann og snø er en vanlig årsak til kvikkleireskred. Leireavsetninger som befinner seg langs bratte skråninger er utsatt for fjellskred eller jordutglidninger som kan omrøre leiren ved foten av skråningen eller overbelaste den i toppen. Det som skjer da er at et lite fjell- eller jordskred kan utløse store kvikkleireskred. I den siste tiden har også mennesker lagd forutsetninger for kvikkleireskred med å grave i foten av en skrånning eller legge ut en fylling på toppen av den.

I fjord- og havavsetninger er det mange spor etter kvikkleireskred, og skredgropen pleier å være pæreformet. Kvikkleireskred forplanter seg ofte bakover siden det blir dannet bratte skråninger av den første skredgropen. Med store mengder av kvikkleire kan skredområdet fort bli stort.

De største leirskred i Sør-Trøndelag i nyere tid er Gauldalsskredet i 1345 og Tillerskredet i 1816, i begge tilfellene demmet skredmassene over elvene og de største skadene inntraff når vannet brøt gjennom skredmassene og sendte en flodbølge nedover elvene[33]. I 1978 var det også kvikkleireskred i Rissa. Det ble utløst av fyllmasser som ble plassert i en gård. Det tilfellet førte ikke skredet til mange dødsfall. Skredet i Verdal derimot, som også ligger i Sør-Trøndelag førte til tap av hele 116 menneskeliv[3].

Etter kvikkleireskredet i Rissa ble det satt i gang intensiv kartlegging av de største leirarealene, hvor Trøndelag og Østlandet ble prioritert.

Det har blitt produsert oversiktskart og detaljkart. Detaljkartene har blitt utarbeidet som to forskjellige karttyper, registreringskart og faresonekart. Registreringskart omfatter opplysninger om skred som har inntruffet og kartleggingen av potensielt farlige områder, mens faresonekart bygges på registreringskart og geologiske/terrengmessige undersøkelser[17].

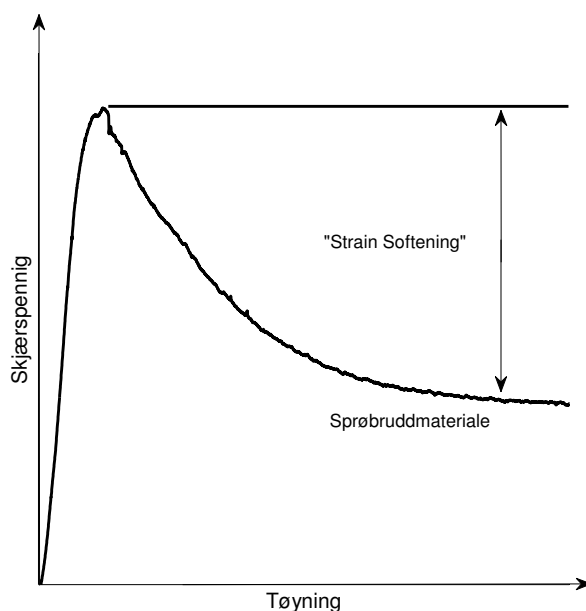
2.1 Sprøbruddmateriale

Sprøbrudd i leire innebærer skjærfasthetsreduksjon ved deformasjon under udrenerte forhold[40].

Sprøbruddmateriale: Jordarter (leire og silt) som utviser en utpreget sprøbruddoppførsel, med betydelig reduksjon i styrke ved tøyninger ut over tøyning ved maksimal styrke, det vil si materialer med sensitivitet ≥ 15 og omrørt styrke ≤ 2 kPa.

Kvikkleire: Leire som i omrørt tilstand er flytende, det vil si omrørt skjærstyrke < 0.5 kPa. Kvikkleire er en type sprøbruddmateriale.

NVEs "Retningslinjer for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag"



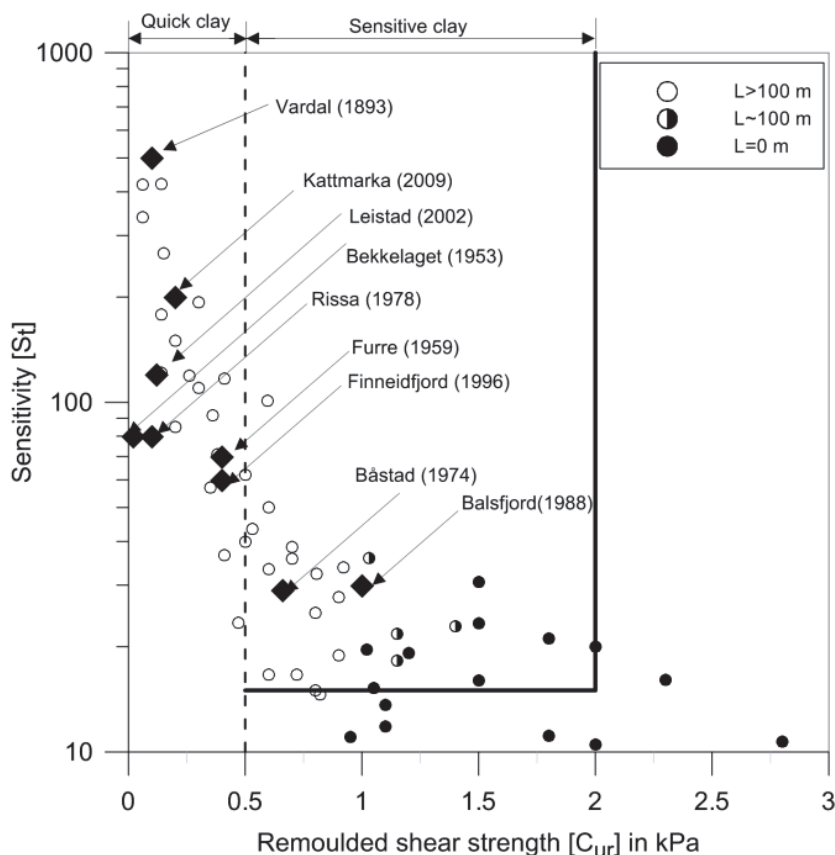
Figur 2.1: Sprøbruddmateriale

I figur 2.1 er vist typisk form på spenning-tøyningkurven for sprøbruddmateriale. Materialet blir svakere med økende tøyninger etter brudd. Brudd oppstår ved lave tøyninger.

I områder med sprøbruddmateriale kan det, i tillegg til rotasjonsskred med sirkulær skjærflate, også oppstå uregelmessige brudd som går gjennom et kvikkleirelag. Det defineres som progressivbrudd som utløser flakskred. Progressivbrudd blir initiert av lokal styrkeoverskridelse og utvikler seg ved gradvis reduksjon i styrke langs et kritisk glideplan[32]. I store kvikkleirelag er det vanlig at et initialskred utløser flere skred og utvikler seg bakover i skråningen på grunn av ustabil bruddkant. De defineres som retrogressive skred.

Basert på erfaring fra tidligere skred som Verdalskredet (1983) og Rissaraset (1978), er det kjent at kvikkleire med lav omrørt skjærstyrke og høy sensitivitet kan forårsake store skred[41]. Forholdet mellom sensitivitet, omrørt skjærstyrke og retrogresjonsavstand er vist i figur 2.2, hvor det også er vist noen eksempler fra norske skred. Det har blitt observert at ved omrørt skjærstyrke større enn 1 kPa, har det ikke blitt registrert retrogressive skred[41]. Det har blitt observert skred med retrogresjonsavstand opp til 100m med omrørt skjærstyrke mellom 1 og 1.5 kPa, men i disse tilfellene kan avstanden L være avhengig av størrelsen på initialskredet, siden L er mål på lengden av hele skredet. Påstandene er ikke grundig undersøkt for norske leirer.

Det har blitt foreslått en kvikkhetsforsøk for omrørt sensitiv leire[41]. Forsøket viser hvordan omrørt leire oppfører seg ved å blande den i en sylindereformet skål, snu den opp ned og løfte den rett opp mens man lar leiren spre seg fritt. Spredningsdiameter og høyden blir målt. Forsøket viser at leiren får en tønneform ved omrørt skjærstyrke på 1 kPa. Ved 0.5 kPa synker leiren og sprer seg mer, men har fortsatt en tønneform. Ved omrørt skjærstyrke på 0.2 kPa sprer leiren seg nesten fullstendig og mister sylindereformen.



Figur 2.2: Sammenligning mellom norske skred (med $L > 100$ m) og tidligere skred[41].

2.2 Skråningsstabilitet

Hvis en skråning er for bratt i forhold til styrken på det materialet den består av, kan materialet begynne å skli ut, noe som utløser skred. Jordskred kan bedømmes rimelig nøyaktig ut ifra tilstrekkelig omfattende grunnundersøkelser.

Når man begynner å se på skråningsstabilitet, må man anta en potensiell skjærflate og beregne gjennomsnittlige spenninger som virker normalt på og langs med skjærflaten. Den vanskeligste oppgaven er å finne ut den riktige styrken av materialet, da man trenger gode laboratorieforsøk på minst mulig forstyrrede representative prøver. Etter beregningen skal man sammenligne materialets styrke og belastning og finne ut hvor godt det tåler belastningen, det vil si finne en sikkerhetsfaktor for skråningen. Man er nødt til å se på flere potensielle skjærflater helt til man finner den mest kritiske, det vil si med lavest sikkerhetsfaktor.

Lagdeling og fjelloverflate bestemmer hvordan bruddflaten kan utvikle seg i et materiale. Det er viktig å kartlegge grunnen, for å bestemme riktig lagdeling og fjelloverflate, da man på den måten finner den kritiske skjærflaten.

2.3 Sikkerhet

Erfaring viser at forståelsen for faren for skred i områder med kvikkleire har vært mangelfull. De aller fleste større kvikkleireskred i de siste 20-30 årene ble utløst av menneskelige aktiviteter[32]. Inngrep i områder med kvikkleire kan føre til alvorlige konsekvenser og innebærer derfor store utfordringer. Dette har blant annet ført til at NVE i 2008 utga en veiledning for bygging i områder med kvikkleire. Forskriftene som brukes idag for geoteknisk prosjektering er Eurokode 7 som har erstattet de gamle NS-forskriftene siden mars 2010. I vegbyggingen brukes egen håndbok (HB016) som er utgitt av Statens Vegvesen. Den har blitt oppdatert i forhold til Eurokode 7.

Statens Vegvesen baserer sine krav for forbedring er basert på konsekvensklasser, se tabell.2.1.

Tabell 2.1: Krav til absolutt γ_M i sprøbruddmaterialer[42]

Krav til absolutt materialfaktor-γ_M (γ_{cu}, $\gamma_{c'}$, $\gamma_{\phi'}$)			
Konsekvensklasse (CC)	Hb016 (2010)	NVEs retningslinjer (2011)	Eurokode 7 NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 Tabell NA.A.2 og NA.A.4
CC1-Mindre alvorlig	1.4		$\gamma_{cu} > 1.4$
CC2-Alvorlig	1.5	≥ 1.4	$\gamma_{c'} > 1.25$
CC3-Meget alvorlig	1.6		$\gamma_{\phi'} > 1.25$

* cu = udrenert fasthet, c' og ϕ' er effektiv kohesjon og friksjonsvinkel

Partialfaktor for materialeegenskaper (γ_M) skal ta hensyn til muligheter for at materialeegenskapen avviker ugunstig fra den karakteriske verdien og modellusikkerhet. Usikkerheter i geoteknisk prosjektering kan introduseres i fem hovedpunkter:

1. Jordprofilet (terrenghøyde, skråninggeometri, undergrunn, lagdeling)
2. Grunnvann (grunnvannsstand, poretrykksprofil og frittstående vannspeil)
3. Jordegenskaper (attraksjon, friksjonsvinkel, udrenert fasthet, plastisitet, vanninnhold, overkonsolideringsgrad, tyngdetetthet)
4. Beregningsmodell (grenselikevektsmetoden, elementmetoden)
5. Utførelsesfeil (rekkefølge, tiltaksmengde)

Statens Vegvesen "Prosentvis forbedring av materialfaktorer i sprøbruddmaterialer"

Minimumskrav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer er utviklet av NVE[32]. Se også figur 2.3:

$$Forbedring[\%] = \frac{\gamma_M - 1.4}{-1/25} \quad (2.1)$$

Vesentlig forbedring ved topografiske endringer:

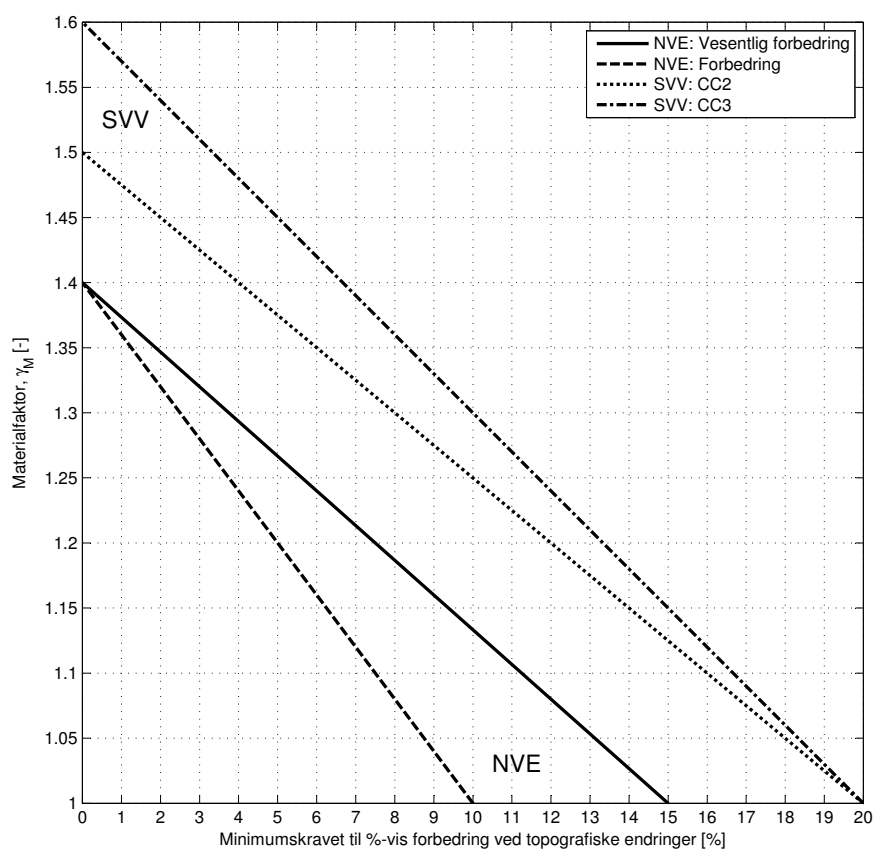
$$VesentligForbedring[\%] = \frac{\gamma_M - 1.4}{-2/75} \quad (2.2)$$

Krav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer utviklet av Statens Vegvesen[42]:

$$ForbedringCC2[\%] = \frac{\gamma_M - 1.5}{-1/40} \quad (2.3)$$

Vesentlig forbedring ved topografiske endringer:

$$ForbedringCC3[\%] = \frac{\gamma_M - 1.6}{-3/100} \quad (2.4)$$



Figur 2.3: Miniminskrav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer

Det er mye usikkerhet knyttet til geotekniske parametre. Å gjenskape situasjoner som oppstår ute i felt inne i et laboratorie er problematisk i seg selv. Å anvende resultatene på ikke bare ett geoteknisk problem, men flere eller kombinasjoner av dem gir desto større usikkerhet. Unøyaktigheter i måleutstyr registreres og resultatene kalibreres, men ingen vet hva som er riktig. Alt er basert på tidligere erfaringer og disse består ikke bare av positive opplevelser.

I sprøbruddmaterialer har blant annet prøve kvaliteten betydelig effekt på materialegenskapene.

Kapittel 3

Geotekniske grunnundersøkelser

Opptak av uforstyrrede prøver en viktig del av geoteknisk prosjektering. Informasjonen benyttes til å kartlegge materialets egenskaper som videre benyttes i kapasitetsberegninger. Usikkerheter i materialegenskaper viderefører usikkerhet i ytterlige beregninger.

Stempelprøvetaker av type 54 mm NGI med komposittsylinder er den mest benyttende av verktøy innen det geotekniske miljøet i Norge for opptak av uforstyrrede prøver. I spesielle tilfeller anvendes en 76 mm og 95 mm NGI stempelprøvetakere med stålsylindre. Med sensitiv leire har det også blitt vanlig å bruke en 250 mm Sherbrooke blokkprøvetaker.

3.1 Prøvetakingsmetoder

Forstyrrede prøver kan brukes til bestemmelse av lagdeling og rutineundersøkelser som kornfordeling og vanninnhold. For bestemmelse av materialets mekaniske egenskaper er det nødvendig med representative uforstyrrede prøver.

3.1.1 Stempelprøvetaker

I Norge brukes 54 mm stempelprøvetaker. Denne prøvetakeren består av utskiftbar egg, en yttersylinder, en indre prøvesylinder av stål og en prøvefanger. Denne typen prøvetaker kan også modifiseres for bruk av plasticsylindre, som for det meste brukes for løst lagret silt, sand og grus, men i Norge også for leire og fin silt.

Prøvesylindre må behandles forsiktig både under transport og i laboratorie. Prøvekvaliteten påvirkes lett av operatørens behandling av prøver, se kapittel om prøveforstyrrelser. Prøvesylindre bør lagres vertikalt i et kjølerom med temperatur rundt 5°C. Lagringstid bør være så kort så mulig og materialet bør helst bli testet samme dag. Stempelprøvetaking betraktes som en godt egnet metode for opptak av uforstyrrede prøver, men bare hvis den tilfredsstillende tekniske krav og prøvetakingen blir utført ifølge forskrifter.

Stempelprøvetakere med større diameter benyttes også (76, 95 og 120 mm), spesielt hvis det kreves bedre prøve kvalitet, som i sensitive leirer.

3.1.2 Sherbrooke blokkprøvetaker

Sherbrooke var utviklet og testet ved Sherbrooke universitetet i Quebec i perioden 1975-1978[16]. Blokkprøvetakeren, se figur 3.1a, skjærer ut en sylindrisk blokk med diameter på 250 mm og høyde 350 mm. Borehullet må være ca. 450 mm i diameter fylt med vann for stabilitetshensyn. En spesiallaget høvel, se figur 3.1b, brukes for å glatte overflaten på bunnen av borehullet før prøvetakeren senkes ned.



(a) Sherbrooke blokkprøvetaker[12]



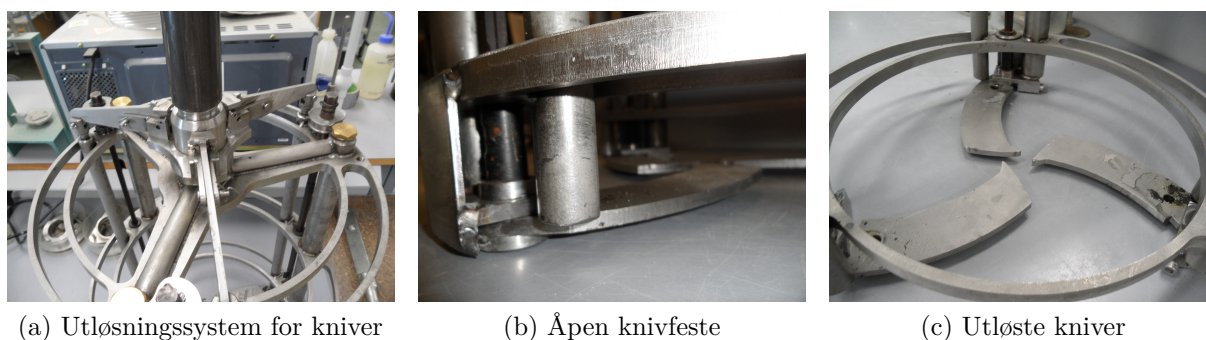
(b) Høvel[12]



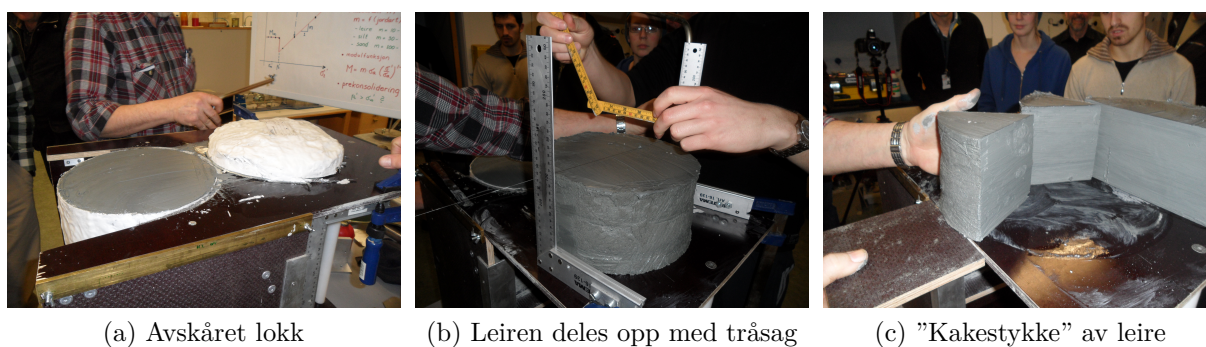
(c) Vokset blokkprøve, Rissa leire

Figur 3.1: Prøvetakingsutstyr og blokkprøve

Prøvetakeren styres fra boreriggen med spylevann som kommer gjennom rørene på sidene av prøvetakeren. Kniver som prøven hviler på er festet på bunnen, se figur 3.2c hvor knivene er i utløst posisjon, da har knivfestet blitt løftet opp, se figur 3.2b, og knivene hoppet ut. I figur 3.1a befinner knivene seg på sidene og kan bli utløst ved trykk mot den svarte staven i figur 3.2a, som presser metallarmene ned i midten, samtidig som de løftes opp på sidene og løsner knivfestet nede. Når prøven blir løftet opp fra borehullet, blir den påvirket bare av selve prøvetyngden. Det er ofte et tynt lag av løsmasser på toppen og sidene av prøven, samt jord fra veggene på borehullet. Rett etter at prøven er tatt ut, som ikke er enkelt siden prøven kan veie over 40 kg, blir den pakket i flere lag av plastfolie og vokset for å beholde materialets egenskaper, som vanninnhold. Etter det blir prøven fraktet laboratoriet, hvor den kan stå i et kjølerom i flere måneder ved temperatur rundt 6°C. På grunn av blokkprøvens store dimensjoner, mister ikke materialet egenskaper like fort som sylindrerprøver. Allikevel kan ikke lagringstiden være så lenge som ett år, da mister for eksempel kvikkleire sin sensitivitet.



Figur 3.2: Sherbrooke blokkprøvertaker[12]



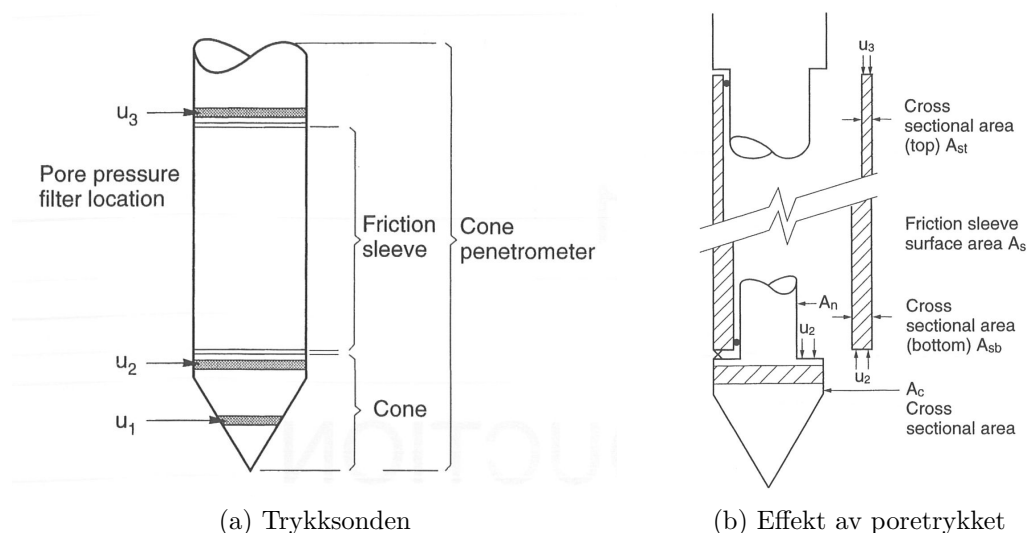
Figur 3.3: Åpning av blokkprøve fra Rissa, Geoteknisk laboratorie, Januar 2012

Når blokkprøven åpnes i laboratoriet, kan den bli delt på forskjellige måter - mange mindre prøver eller noen få store, det er avhengig av hva prøven skal brukes til. Den vanligste måten er 4 eller 6 "kakestykker", se figur 3.3c, som dekkes til med flere lag av plastfolie, aluminiumsfolie og voks for å gjøre prøven tett. Mindre prøver kan oppbevares i kjøleskap i noen uker, men bør testes så fort så mulig.

Leiren bør deles opp på glatte plater som er smørt med silikonolje for å unngå friksjon. Oppdelingen av leiren bør gjøres med tråsåg for å unngå flere forstyrrelser. Man bør flytte på oppdelt leire med jevnt fordelt trykk for å unngå store spenninger på ett sted.

3.2 CPTU

CPTU står for "Cone Penetration Test Undrained", og har som formål å utføre direkte målinger av penetrasjonsmotstand med en tynn stang som har en kjegleformet tupp. Metoden ble utviklet i Nederland i 1932 og videreutviklet og modifisert i mange andre land. Opprinnelig var det spissmotstand og sidefriksjon som ble målt, men etterhvert ble den utviklet til også å måle poretrykket. Målingene utføres fra en forankret rigg, og flere timeter av løsmasser kan bli kartlagt med denne metoden. Penetrasjonsmotstand måles vanligvis med en elektrisk sonde som presses kontinuerlig ned i jorda med penetrasjonshastighet på 2 cm/s og registrering av data utføres hvert 2-2.5 cm. [34]



Figur 3.4: CPTU[25]

Det finnes mange teoretiske og empiriske sammenhenger mellom CPTU-resultater med tanke på jordtyper og geotekniske egenskaper, og tolkningen krever erfaring. CPTU brukes til kartlegging av lagdelinger, klassifisering av jorden og for å finne mer om jordens oppførsel.

Penetrasjonsmotstanden måles som spissmotstand, q_c , sidefriksjon, f_s og poretrykket blir målt flere steder på trykksonden, se figur 3.4a. Poretrykket som utvikles ved nedpressing danner et trykk i fugen, se figur 3.4b, derfor er det nødvendig å korrigere registrert spissmotstand i forhold til målt poretrykk og sondens geometri[25]. Korrigert spissmotstand er:

$$q_t = q_c + u_2 (1 - a) \quad (3.1)$$

Hvor arealforholdet til sonden, a , er:

$$a = \frac{A_n}{A_c}$$

3.2.1 Korrelasjoner mellom CPTU og laboratorieresultater

NGI har utviklet korrelasjoner mellom CPTU og laboratorieforsøk, utført på prøver med høy kvalitet, basert på flere norske marinleirer, tilsammen var prøver fra 17 områder vurdert. Fra bløt til medium stiv leire med plastisitetsindeks fra 10% til 50% og sensitivitet fra 3 til ca. 200[11].

Korrelasjoner tar for seg resultater av skjærstyrke basert på udrenert treaksialforsøk og prekonsolideringstrykk. Noen av parametrene gir bedre korrelasjoner enn andre. Korrelasjoner er beskrevet mer detaljert i kapittel om bestemmelse av jordparametre.

3.2.2 Resistivitetsmålinger

Elektriske målemetoder benytter den elektriske ledningsevnen til å kartlegge geologien. Det kan anvendes både på berggrunn og løsmasser. Strøm sendes ned i bakken med to strømelektroder, og det oppsatte potensialet måles med to andre elektroder. Ut i fra resistans, R og geometrisk faktor, K , bestemt av elektrodeplasseringen, kan resistivitet beregnes som:

$$\rho = KR = \frac{A}{L}R[\Omega m] \quad (3.2)$$

Geometrisk faktor er forhold mellom tvernsnittareal, A , og strømningslengde, L . Resistivitet er ikke en jordparameter fordi den er avhengig av den geometriske faktoren K .

En av tilleggssondene til CPTU er en resistivitetsmåler som vanligvis brukes i undersøkelser av forurenset jord, men kan også anvendes i indikasjon av kvikkleire. Det man får er punktmålinger, som utføres samtidig som CPTU[25].

Resistivitetsmålinger kan også utføres i 2 dimensjoner. Et system av kabler legges ut på bakken og elektrodene knyttes til. Måleprosessen styres av en PC. Forskjellige elektrodepar kobles inn etter et fastsatt mønster. Ved å flytte elektrodesettet til side oppnås en lateral kartlegging. Ved å øke avstanden mellom strømelektroden, vil strømmen trenge dypere og en får respons fra dypere områder. Oppløsningen og nøyaktigheten er størst i den øvre delen, noe en må ta hensyn til ved valg av elektrodeavstanden[30].

NGU utfører resistivitetsmålinger med LUND-system med 3 sett av kabler. Systemet består av en relebokser (Elektrode Selector ES1064C), fire multi-elektrode kabler og måleinstrumentet ABEM Terrameter SAS 4000. Med fulle utlegg på 160, 400 eller 800 m. Den maksimale dybderekkevidden blir med disse utleggene 30, 65 og 130 m. Resultatene som blir presentert videre i denne rapporten er utført av NGU med dette utstyret[30]. Tabell 3.1 beskriver hvordan en bør tolke verdier fra resistivitetsmålinger i forhold til løsmasseklassifisering. Merk at det er gradvise overganger mellom klassene, det kan også være lokale variasjoner avhengig av for eksempel porevannskjemi, metningsgrad og mineralsammensetning. Resultatene bør sammenlignes med geotekniske data for å justere på grensene i lagdelinger.

Tabell 3.1: Utgangspunkt for løsmasseklassifisering fra resistivitetsverdier[38]

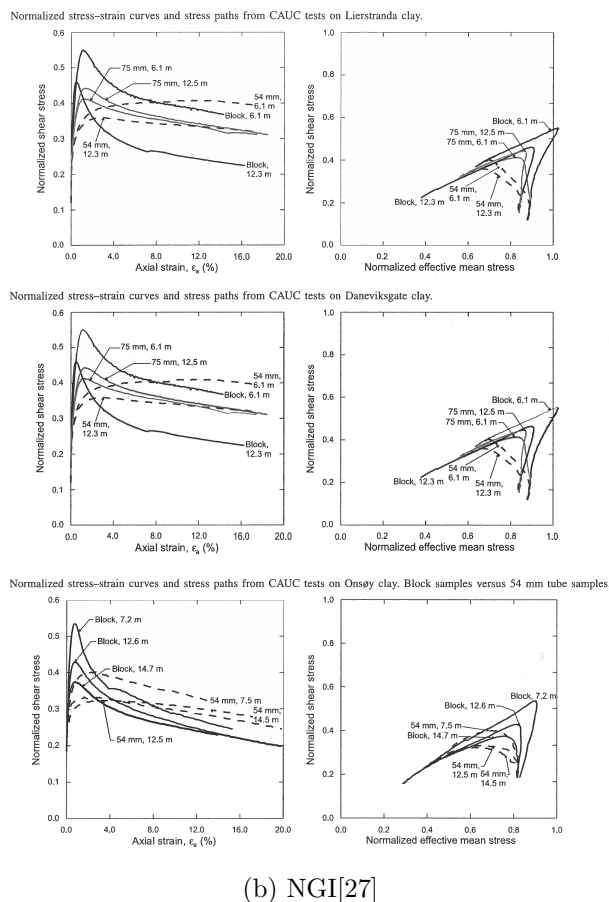
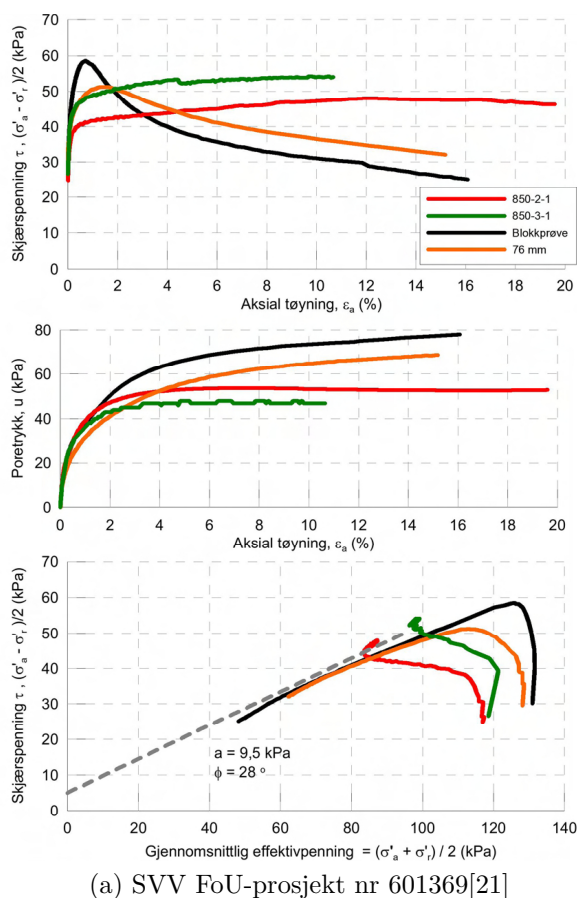
Resistivitetsverdier	Materiale	Fargekode	Beskrivelse
1-10 Ωm	Ikke-utvaskede marine leiravsetninger	Blå	Leire har vært lite utsatt for utvasking etter avsetning. Porevannet inneholder fremdeles mye ioner som stabiliserer strukturen og gir god ledningsevne og dermed lave resistivitetsverdier. Godt ledende mineraler som sulfider og grafitt, og andre sedimenter mettet med ionerikt vann kan også gi lave resistivitetsverdier.
10 -100 Ωm	Utvaskede marine avsetninger	Grønn, gul	Utvasking av leire fører til færre ioner i porevannet og ved saltinnhold på mindre enn ca. 5g/l kan kvikkleire dannes. Resistivitetsverdiene er fremdeles lave, men høyere enn for ikke-kvikkleire, leirig morene og siltig sedimenter kan også ligge i dette intervallet.
100 + Ωm	Tørrskorpeleire	(Gul), orange	Tørrskorpeleire, leirskredmasser, sand og grus vil ha høyere resistivitetsverdier. Vanninnhold i sedimentene vil ha betydning for ledningsevne. Berggrunnen har som regel resistivitetsverdier på flere tusen Ωm , men oppsprukket fjell og malmrike bergarter kan ha betydelig lavere resistivitet.
50 -150 Ωm	Siltige masser	Gul, orange	
150 + Ωm	Sand, grus	Orange, rød, mot lilla	
1000 + Ωm	Fjell	(Rød), lilla	

Kapittel 4

Prøveforstyrrelser

Etter mange år med grunnundersøkelser og forsøk er det bevist at kvaliteten av 54 mm sylindrerprøver i sensitiv leire kan være dårlig og at det er nødvendig å ta opp blokkprøver for å få høykvalitetsprøver. Fortsatt er det mange prosjekter som ikke har økonomisk kapasitet til å ta blokkprøver og derfor fortsetter med prøvetakingen av 54 mm prøver. Det har skjedd at prøver som ble levert til laboratoriet var så forstyrret at det var nødvendig med ny prøvetaking.

4.1 Kvalitet i felt og lab



Figur 4.1: Resultater fra treaksialforsøk, spenning - tøyningsoppførsel, 54 mm, 76 mm og blokkprøver

Diskusjon om kvaliteten på 54 mm sylindrerprøver har pågått i mange tiår og det ble utført flere prosjekter som både brukte sylindrerprøver og blokkprøver for å sammenligne hvor stor forskjellen er i prøve kvaliteten mellom disse to metodene. I denne sammenheng har Statens Vegvesen, seksjon for Geo- og tunnelteknikk ved Teknologidivisjonen i Vegdirektoratet satt igang et forskningsprosjekt for å undersøke ulike sider ved prøvetakingen. I samarbeid med flere rådgivende geotekniske firmaer ble det utført parallelle opptak av prøver og laboratorieundersøkelser på leireprøver tatt på samme sted i forbindelse med veganlegget Rv. 2 Kløfta - Nybakk ved Helleren[21].

Observasjoner av feltarbeid[21] tilsier at fiksering av stempelstangens posisjon ikke alltid er god nok. Noen av sylindrene var litt skadet og av og til ikke rengjort etter tidligere prøvetaking, det er også ofte skader på prøven fordi den blir utsatt for strekk ved forskjellige anledninger. Årsaker til dette er blant annet at prøvetakeren henger åpen i riggen, sylindren settes på bakken/snøen uten kork, avskjæringer av prøven blir gjort med skrutrekker eller kniv i stedet for trådsag, samt at prøvesylindere blir utsatt for vibrasjon av riggen.

Prøver som ble tatt av samme borerigg, men ble testet i forskjellige laboratorier gir relativt like resultater, noe som tyder på at forskjellene i datasettene skyldes boreprosedyrer. Blokkprøvene var vesentlig bedre enn 54 mm og 76 mm prøver, men noen av 54 mm prøveserier var verre enn andre. 76 mm prøver var dårligere enn forventet, men prøvetakingprosedyrene ble ikke observert der.

Resultater fra treaksialforsøk er som forventet meget like resultater som ble rapportert av andre, se figur 4.1. En topp fremkommer i NTNU-plot ved lavere tøyning i blokkprøver enn 54 og 76 mm prøver.

Resultatene i dette prosjektet[21] viser at prøve kvaliteten i 54 mm prøver kan bli mye bedre hvis prøvetakingprosedyrene i melding nr. 11 fra NGF og/eller Statens vegvesen, HB015 følges. Undersøkelsen viser også at det må legges spesiell vekt på boreoperatørens kompetanse og kunnskap om prøvenes bruk i laboratoriet. Det må være gode rutiner for vedlikehold av utstyret på boreriggen og prøvetakeren.

4.2 Effekt av prøveforstyrrelser

Måten å kartlegge effekten av prøveforstyrrelser er å utføre en rekke parallelle laboratorieforsøk på høykvalitetsprøver som blokkprøver og vanlige sylinderprøver. NGI har samlet resultater fra slike undersøkelser fra 12 forskjellige marineleireavsetninger i Norge[27].

Det har blitt gjennomført en rekke laboratorieundersøkelser, blant annet udrenert treaksialforsøk og direkte skjærforsøk på prøver som har blitt konsolidert til in situ effektiv spenning. De viser at prøveforstyrrelser har stor effekt på den målte spennings-tøyningsoppførselen. Jo mer forstyrret materialet er, jo lavere er spenningen ved lave tøyninger og større ved større tøyninger, se figur 4.1. Det er antatt at bruddet i leiren forårsaket av lav skjærmotstand ved lave tøyninger siden det ved høyere tøyninger er porevann som forårsaker skjærmotstand. Forstyrrede prøver av sensitive leirer, konsolidert til in situ effektiv spenning, presser ut mer porevann i konsolideringsfasen og har dermed lite porevann, noe som gir mindre skjærmotstand. Det betyr at leiren kan få større styrke ved høye tøyninger i en forstyrret prøve enn in situ styrke ved lave tøyninger[27].

Resultatene viser at prøveforstyrrelser har større effekt på aktive treaksialforsøk enn på de passive og direkte skjærforsøkene. Det har ikke blitt oppdaget noe sammenheng mellom prøveforstyrrelser og tøyningshastighet[27]. Forsinket konsolideringsforsøk viste at etter 4-6 måneder med konsolidering øker prekonsolideringstrykket og skjærstyrken med 25%, sammenlignet med 24-timers verdier. Det betyr at in situ leiren aldri kommer til å oppføre seg som normalt konsolidert.

Binding av leirpartiklene skjer under og etter sedimentasjonsprosessen. Disse bindingen reduserer utviklingen av forsinket konsolidering og forhindrer utviklingen av høy skjærstyrke ved høye tøyninger. Samtidig gjør disse bindingene at leiren får sprøbrudd ved lave tøyninger, noe som den forsinkede konsolideringen ikke kunne utvikle alene. Utviklingen av sedimentasjonsbindinger kan også forårsake lavere horisontale spenninger enn det som blir forårsaket av overkonsolideringen ved avlastning[27].

Forstyrrede prøver pleier å vise høyere verdier for aksial tøyning ved σ'_{vo} i ødometerforsøk[28], noe som forårsaker lavere kvalitet i følge tabell 4.1. Prekonsolideringstrykket pleier vanligvis å være 20-30% lavere med sylinderprøver enn blokkprøver. Verdier mellom σ'_{vo} og

σ'_v er vanligvis 40% lavere for M og $C_o/(1 + e_o)$ og 50% lavere for c_v , samtidig som k er 17% høyere ved $\epsilon = 0$ for sylinder prøver enn blokkprøver. [28]

OCR, σ'_c/σ'_{vo} (-)	Dybde (m)	Perfekt kvalitet $\epsilon_{vol} <$ (%)	Akseptabel kvalitet $< \epsilon_{vol} <$ (%)	Forstyrret kvalitet $\epsilon_{vol} >$ (%)
1-1.2	0-10	3.0	3.0-5.0	5.0
1.2-1.5	0-10	2.0	2.0-4.0	4.0
1.5-2	0-10	1.5	1.5-3.5	3.5
2-3	0-10	1.0	1.0-3.0	3.0
3-8	0-10	0.5	0.5-1.0	1.0

Tabell 4.1: Evaluering av prøveforstyrrelser basert på volumetrisk tøyning i konsolideringsfasen [34]

OCR, σ'_c/σ'_{vo} (-)	Dybde (m)	Meget bra/ perfekt kvalitet $\Delta e/e_o <$ (-)	God kvalitet $< \Delta e/e_o <$ (-)	Dårlig kvalitet $< \Delta e/e_o <$ (-)	Meget dårlig kvalitet $\Delta e/e_o >$ (-)
1-2	0-10	0.04	0.04-0.07	0.07-0.14	0.14
2-4	0-10	0.03	0.03-0.05	0.05-0.10	0.10

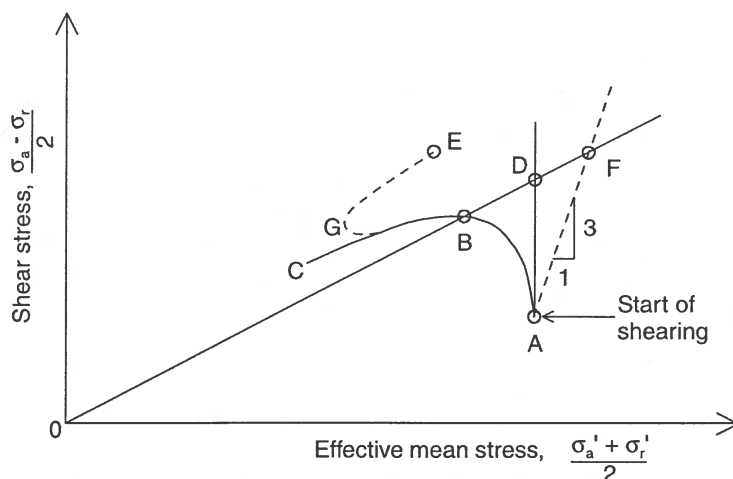
Tabell 4.2: Evaluering av prøveforstyrrelser basert på $< \Delta e/e_o <$ [26]

Forandring i porevannsvolumet i forhold til opprinnelig porevolum, $\Delta e/e_o$, gir en mer systematisk påvirkning enn tidligere brukt volumetrisk tøyning[26], og blir av den grunn brukt av NGI for evaluering av prøveforstyrrelser.

Disse kriteriene er ikke basert på blokkprøver som er vanlig at havner i kategorien ”perfekt kvalitet”. Det trenges spesielle prøve kvalitetskriterier som også tar hensyn til blokkprøver.

4.3 Korreksjoner

Som sagt i avsnittene over, er det rom for forbedring i designparametrene som ble basert på 54 mm sylindrerprøver. Det er mulig å komme med korreksjoner som er basert på hvordan en prøve av høy kvalitet vanligvis oppfører seg. De korrigerede verdiene bør ikke brukes i design uten at høykvalitetsprøver har blitt tatt fra det samme området.



Figur 4.2: Korreksjon for CAUC med prøveforstyrrelser med hensyn til små tøyninger[5]

Korreksjoner for aktiv treksialforsøk[5]

- **Observert:** Ved forskjellige nivåer av forstyrrelser er maksimal skjærspenning og effektiv normal spenning ved maksimal skjærspenning minker med økende mengde av forstyrrelser
- **Observert:** Prøver fra tilnærmet samme dybde og forskjellige mengde av forstyrrelser gir samme $\tan \rho / \tan \phi$.
- **Observert:** Spenningsstien i høykvalitetsprøver er mer elastisk og har tilnærmet ingen dilatant /kontraktant oppførsel. Det tilsvarer stigningen på 3:1 i $(\sigma_a - \sigma_r)/2$ -versus- $(\sigma_a + \sigma_r)/2$ -diagram og 2:3 i $(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$ -versus- σ'_3 -diagram.
- Et forstyrret treksialforsøk, kurve ABC i figur 4.2, kan rettes i $(\sigma'_1 - \sigma'_3)/2$ -versus- σ'_3 -diagram ved å legge inn en linje som representerer elastisk oppførsel, linje AF. Dette gjøres ved å bruke følgende framgangsmåte: først trekkes en rett linje fra origo og gjennom toppen av kurven, som krysser linjen for elastisk oppførsel. Deretter trekkes en vertikal linje fra punkt A som krysser den første linjen i punkt D. Linjen A-D representerer så spenningsstien for de fleste høykvalitetsprøver. Leirer med OCR mindre eller lik 2 oppfører seg ofte mer kontraktivt, selv for høykvalitetsprøver. Derfor velges skjærstyrken fra punkt D og ikke punkt F. For leirer som har OCR mellom 2 og 3 er oppførselen mer elastisk og dilatansparameteren ligger på rundt null.
- For å kunne ta hensyn til attraksjon er man nødt til å utføre flere forsøk, men i de fleste tilfeller er bidraget neglisjerbart.

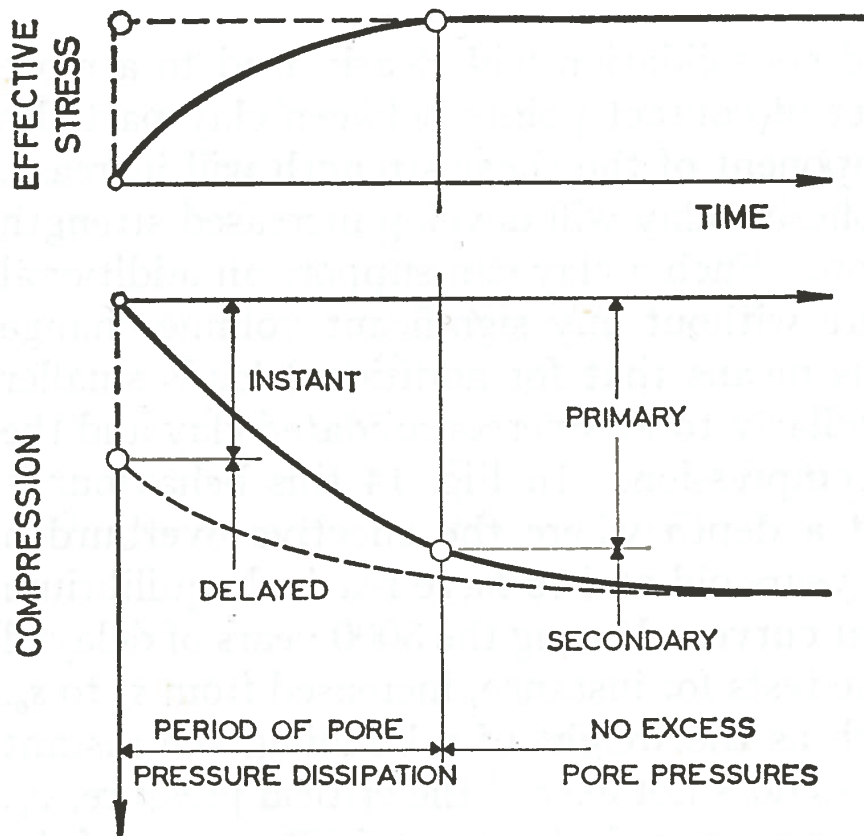
- For forsøk som har mer komplisert spenningssti, som dilatant oppførsel, er det anbefalt å trekke en linje fra origo til det punktet på kurven hvor dilatant oppførsel starter.

Korreksjoner for passiv treaksialforsøk[5]

- **Observert:** Ut ifra gjennomførte forsøk på sylinderprøver og blokkprøver, ser det ut til at skjærstyrken i passiv treaksialforsøk ikke er påvirket av prøveforstyrrelser, men brudd oppstår ved høyere tøyninger som i aktive treaksialforsøk. Likevel bør man lese av verdier for skjærstyrke rett før dilatant oppførsel, som vanligvis oppstår, og bare ved tøyninger mindre enn 10%.

Kapittel 5

Konsolidering

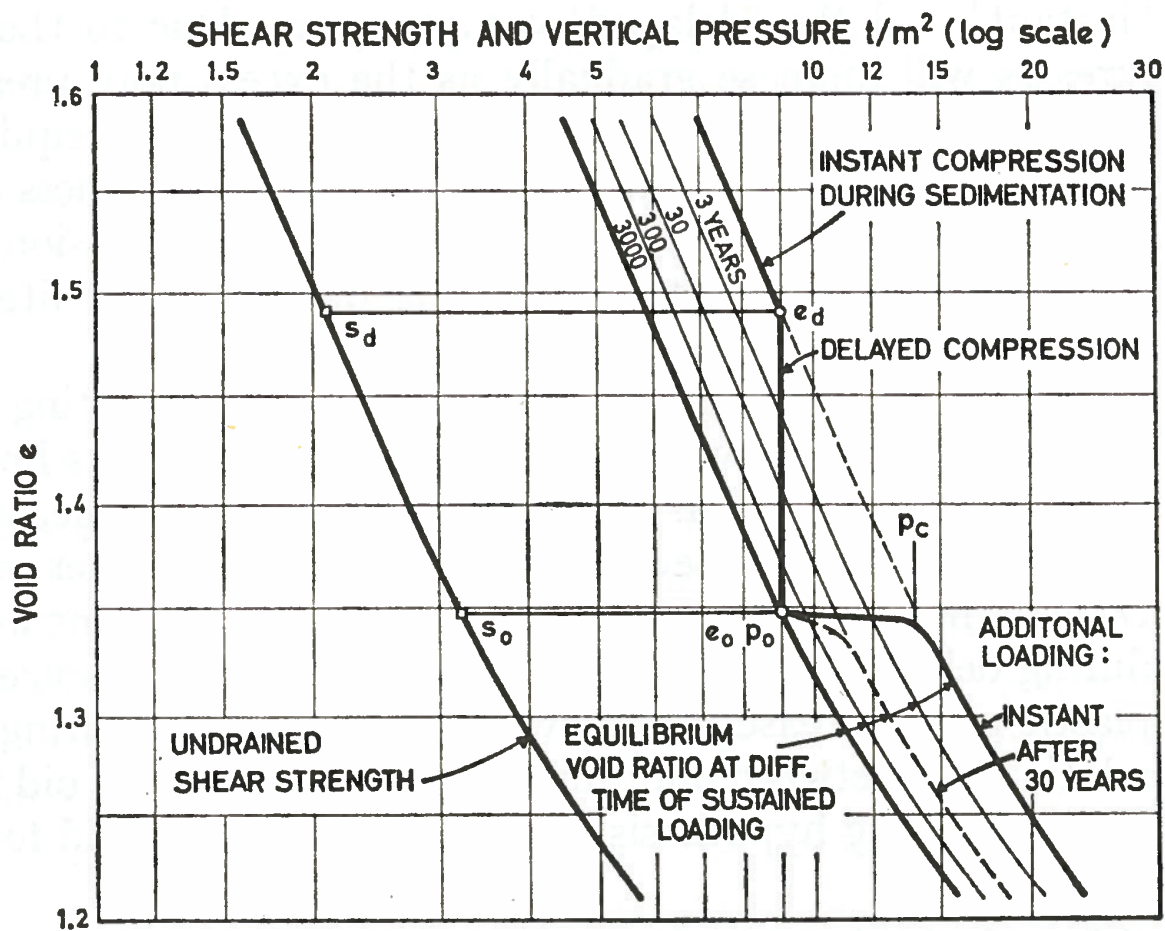


Figur 5.1: Definisjoner av konsolideringer[6]

Komprimering av normalt konsolidert leire fører til forandringer i geotekniske parametre. Etter avsetningen har alle leirlagene opplevd forskjellige mengder av belastning når de ble gradvis begravd under nye avsetninger. Når tilleggsporetrykk, forårsaket av belastninger, har forsvunnet forblir leiren belastet med konstant last i mange tusen år, mens setninger fortsetter å utvikle seg. Denne typen setninger kalles forsinket eller sekundær konsolidering[6]. Se figur 5.1.

Primærkonsolidering er avhengig av prøven eller lagets tykkelse, det vil si hvor lang tid det tar for tilleggsporetrykket å forsvinne, noe som er avhengig av avstanden porevannet må komme seg gjennom. Når det gjelder konsolideringseffekter er ikke små prøver som vanligvis brukes på laboratorier alltid representative for problemstillingen.

Vanninnholdet reduseres under sekundær konsolidering. Leirpartiklene får bedre kontakt med hverandre og strukturen blir mer stabil. Sekundærkonsolidering gjør materialet sterkere.



Figur 5.2: Sekundærkonsolidering[6]

Sekundærkonsolidering kan illustreres med tidsavhengige deformasjonskurver, se figur 5.2. Sekundærkonsolidering har foregått i mange tusen år for norsk marin leire.

Konsolideringsforsøk har vist et system av tilnærmet parallelle kurver som indikerer hastigheten av sekundærkonsolideringen gjennom et homogent leirlag[6]. Kurvene har en svak bøyning som viser minskning med økende overlagingstrykk.

Figur 5.2 viser en unik sammenheng mellom poretallet e og overlagingstrykket, noe som betyr at ved en gitt verdi av overlagingstrykk og poretall, finnes det en ekvivalent tid av langvarig belastning og en viss mengde av sekundærkonsolidering, uavhengig av måten leiren har fått disse verdiene på.

Kapittel 6

Bakgrunn for CPTU korrelasjoner

NGI har jobbet i mange år med utviklingen av en geoteknisk database. Den består av resultater fra laboratorieforsøk på høykvalitetsprøver, som blokkprøver. Det viktigste er å kun bruke prøver med minst mulig forstyrrelse. Gjennom mange år, etterhvert som databasen økte, har NGI kommet med korrelasjoner mellom disse data og CPTU.

6.1 Korrelasjonsfaktorer

Resultater fra CPT med poretrykksmåleren kan brukes i jordklassifisering, estimering av skjærstyrke, permeabilitet og deformasjonsegenskaper. Den type tolkninger er basert på semi-empiriske korrelasjoner av resultater fra laboratorieundersøkelser. Basert på tidligere undersøkelser ble det utviklet korrelasjoner mellom parametrene som blir registrert av CPTU[25]. Normalisert spissmotstand:

$$Q_t = \frac{q_t - u_{vo}}{\sigma_{vo}} \quad (6.1)$$

Normalisert poretrykk:

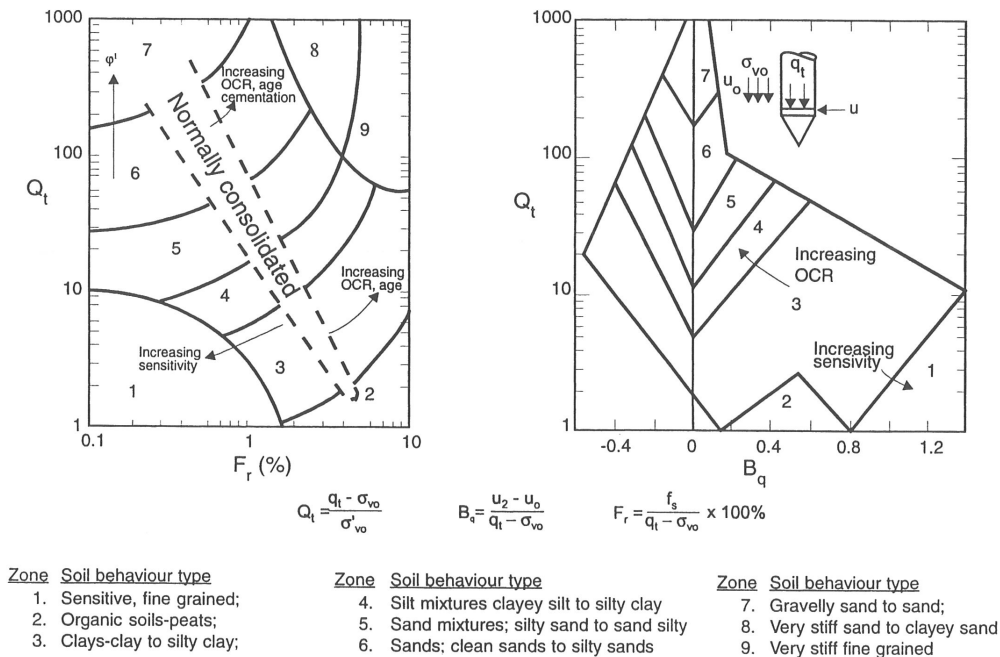
$$B_q = \frac{u_2 - u_o}{q_t - \sigma_{vo}} \quad (6.2)$$

Normalisert friksjon:

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{vo}} \quad (6.3)$$

- q_t = korrigert spissmotstand
- u_o = hydrostatisk poretrykk
- u_2 = poretrykk bak trykksonden
- σ_{vo} = overlageringsstrykk
- f_s = sidefriksjon

Basert på normaliserte parametre og CPTU-databasen, kom Robertson (1990) med modifiserte diagram for klassifisering av jord. Lineær normalisering av spissmotstand er best egnet for leirige materialer og mindre egnet for sand, se figur 6.1. Viktige faktorer er OCR, sensitivitet, spenningshistorie, in situ spenninger, stivhet, mineralogi og porøsitet. Når forskjellige diagrammer gir forskjellige resultater, er det opp til geoteknikerne og deres erfaring.



Figur 6.1: Jordklassifiseringsdiagram, basert på normalisert CPT/CPTU data[25].

6.2 Konfaktorer

CPTU er det vanligste in situ utstyret for avgjørelse av en leires udrenerte skjærstyrke. CPTU-resultater kan brukes til å finne jordens spenningshistorie og skjærstyrke. Det er altså veldig viktig at både prøve kvalitet og CPTU-data er pålitelige, og flere konfaktorer har blitt utarbeidet. Spissmotstandsfaktor er basert på spissmotstand og vertikal spenning in situ:

$$N_{kt} = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{s_u} \quad (6.4)$$

som vanligvis er mellom 10 og 20. Poretrykksfaktoren er basert på registrert poretrykk og hydrostatisk poretrykk in situ:

$$N_{\Delta u} = \frac{u_2 - u_o}{s_u} \quad (6.5)$$

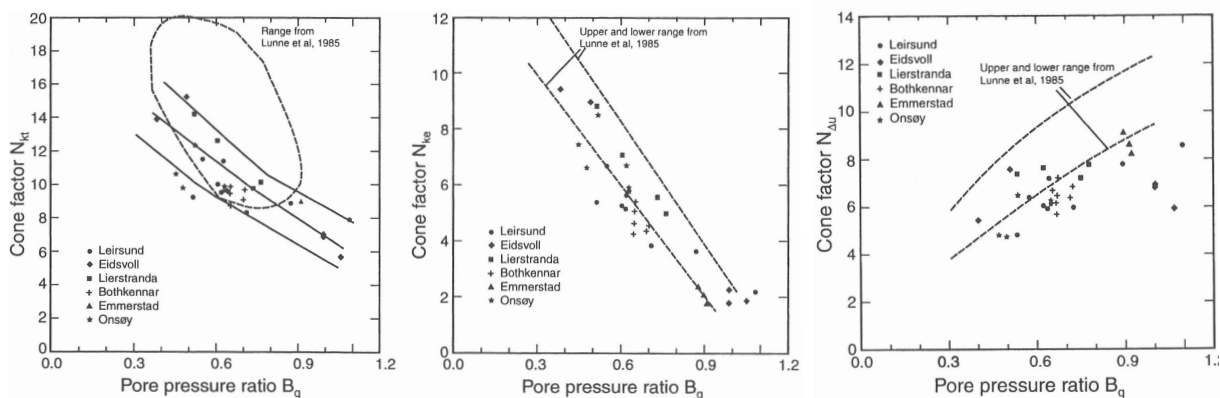
Effektiv spissmotstandsfaktor er:

$$N_{ke} = \frac{q_t - u_2}{s_u} \quad (6.6)$$

Normalisert poretrykk kan også skrives som:

$$B_q = \frac{u_2 - u_o}{q_t - \sigma_{vo}} = \frac{N_{\Delta u}}{N_{kt}} \quad (6.7)$$

Basert på udrenert treaksialforsøk utført av NGI på høykvalitetsprøver[25], ble det utviklet korrelasjonsdiagrammer mellom konfaktorer og normalisert poretrykk 6.2.



Figur 6.2: Konfaktorer N_{kt} , N_{ke} , $N_{\Delta u}$ vs B_q [11].

NGI har utviklet korrelasjoner mellom CPTU og laboratorieforsøk som ble utført på høykvalitetsprøver basert på flere norske marinleirer. Tilsammen var prøver fra 17 områder vurdert, fra bløt til medium stiv leire med plastisitetsindeks fra 10% til 50% og sensitivitet fra 3 til ca. 200[11].

6.2.1 N_{kt}

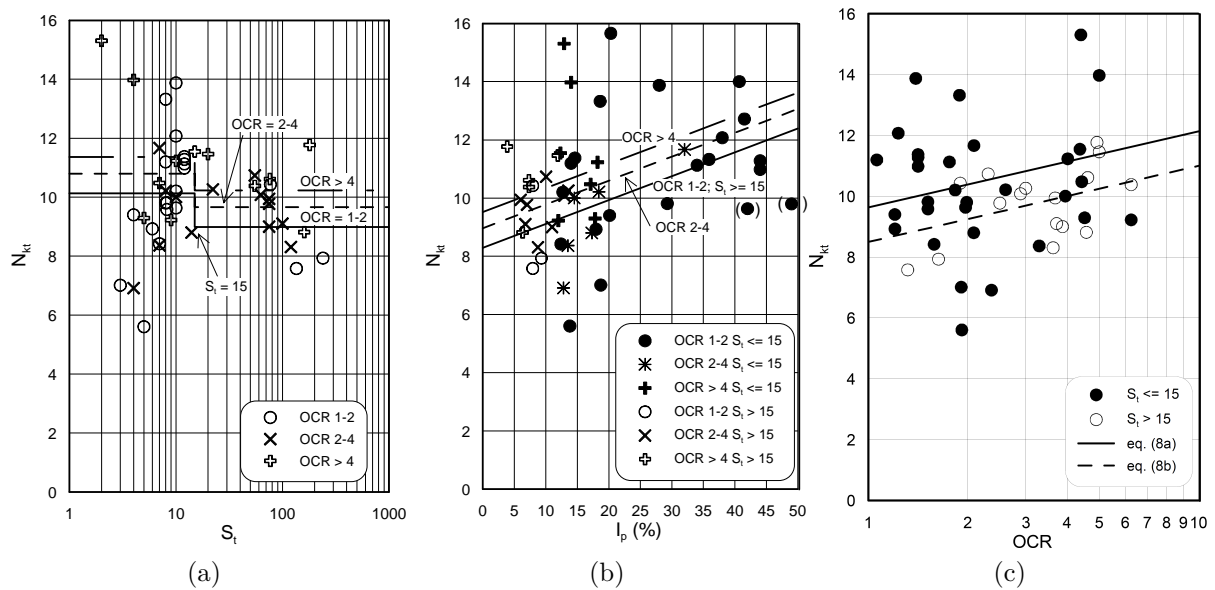
Konfaktoren N_{kt} viser stor spredning ved korrelasjoner mellom I_p og S_t , se figur 6.3. Årsaken kan være nøyaktigheten til målingene eller at faktoren er mer avhengig av andre parametere enn det er presentert her. Beste korrelasjoner gir:

For lite sensitiv leire ($S_t < 15$)

$$N_{kt} = 7.8 - 2.5 \log OCR + 0.082 I_p \quad (6.8)$$

For sensitiv leire ($S_t > 15$)

$$N_{kt} = 8.5 + 2.5 \log OCR \quad (6.9)$$



Figur 6.3: Forhold mellom N_{kt} , I_p , S_t og OCR [11].

6.2.2 N_{ke}

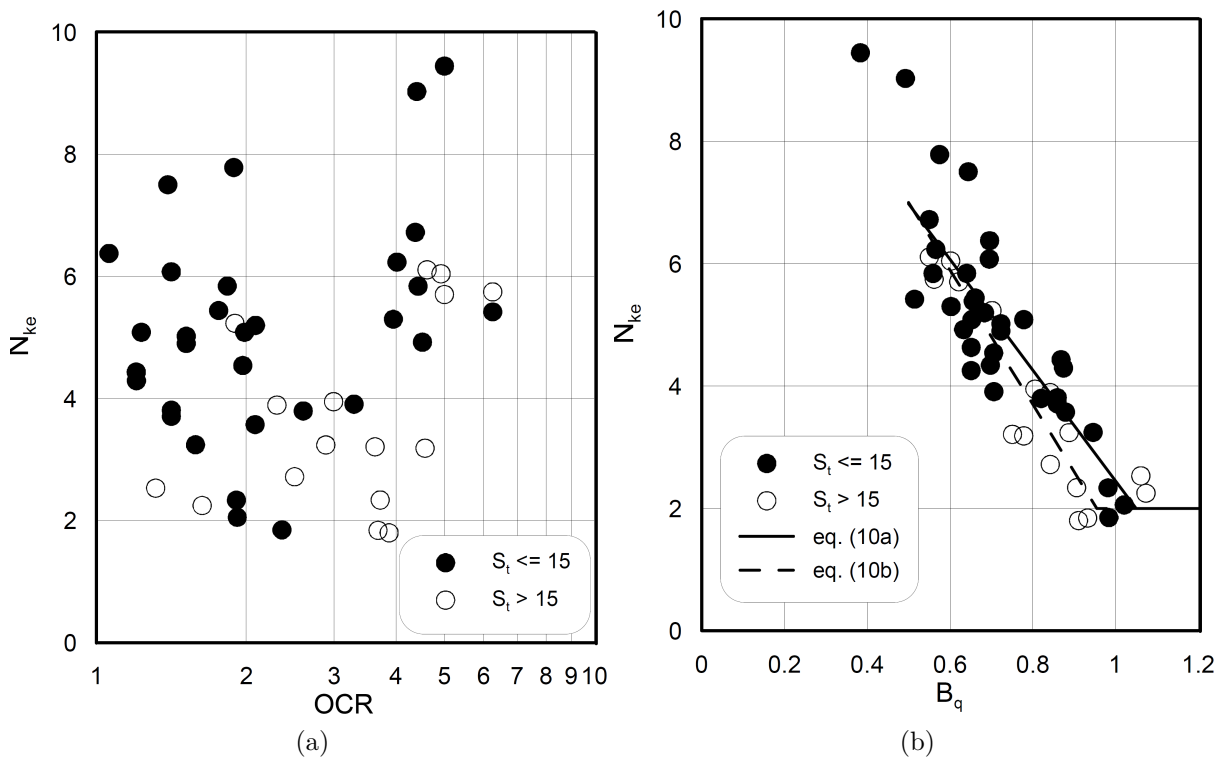
Konfaktoren N_{ke} gir veldig stor spredning i forhold til OCR, se figur 6.4a, men viser gode korrelasjoner med B_q for lave N_{ke} verdier.

For lite sensitiv leire ($S_t < 15$), med $N_{ke} = 2$ som minsteverdi:

$$N_{ke} = 11.5 - 9.05B_q \quad (6.10)$$

For sensitiv leire ($S_t > 15$)

$$N_{ke} = 12.5 - 11B_q \quad (6.11)$$



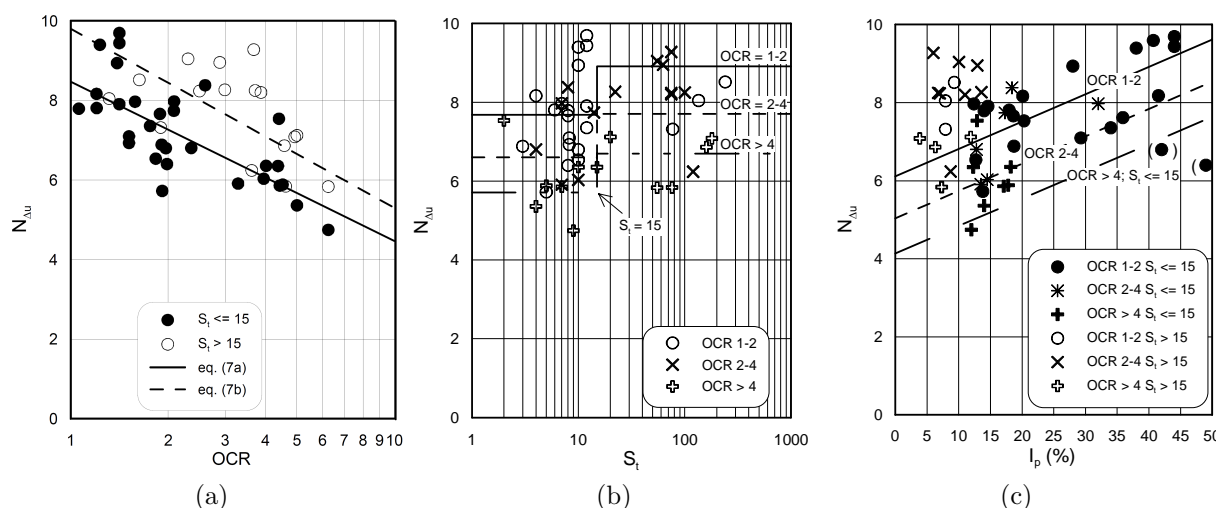
Figur 6.4: Forhold mellom N_{ke} , OCR og B_q [11].

6.2.3 $N_{\Delta u}$

Udrenert skjærstyrke og OCR viser ingen spesiell korrelasjon med hverandre, se figur 6.5a, årsaken kan være at originalkornstrukturen ble forstyrret av kunstig konsolidering i laboratoriet.

Forholdet mellom N_{kt} og B_q brukes ikke lenger som i figur 6.2, siden den kan bli erstattet av $N_{\Delta u}$, se formel 6.7.

Linjen i figur 6.5a som representerer en lite sensitiv leire har en gjennomsnittsverdi for I_p på 22.4%, samme verdi er også brukt i referanselinjene i figur 6.5b og 6.5c. Det har også blitt brukt gjennomsnittsverdier for OCR i referanselinjene, se figur 6.5c plotting av egne verdier bør derfor utføres med hensyn til det.



Figur 6.5: Forholdet mellom $N_{\Delta u}$, I_p og S_t [11].

Fra figur 6.5 ser man at konfaktoren $N_{\Delta u}$, som er basert på poretrykksresponsen, gir den beste korrelasjonen i forhold til udrenert skjærstyrke fra høykvalitets laboratorieforsøk. For lite sensitiv leire ($S_t < 15$), I_p in %

$$N_{\Delta u} = 6.9 - 4\log OCR + 0.07I_p \quad (6.12)$$

For sensitiv leire ($S_t > 15$)

$$N_{\Delta u} = 9.8 - 4.5\log OCR \quad (6.13)$$

$N_{\Delta u}$ er lite avhengig av OCR, derfor kan OCR-verdier bli korrigert for best mulig tilpassning.

Anbefaling[11] Ved estimering av udrenert skjærstyrke bør alle konfaktorer benyttes, men det anbefales å legge mest vekt på $N_{\Delta u}$ siden den gir de beste korrelasjoner. N_{ke} bør brukes for verifikasjon av resultater basert på poretrykksresponsen.

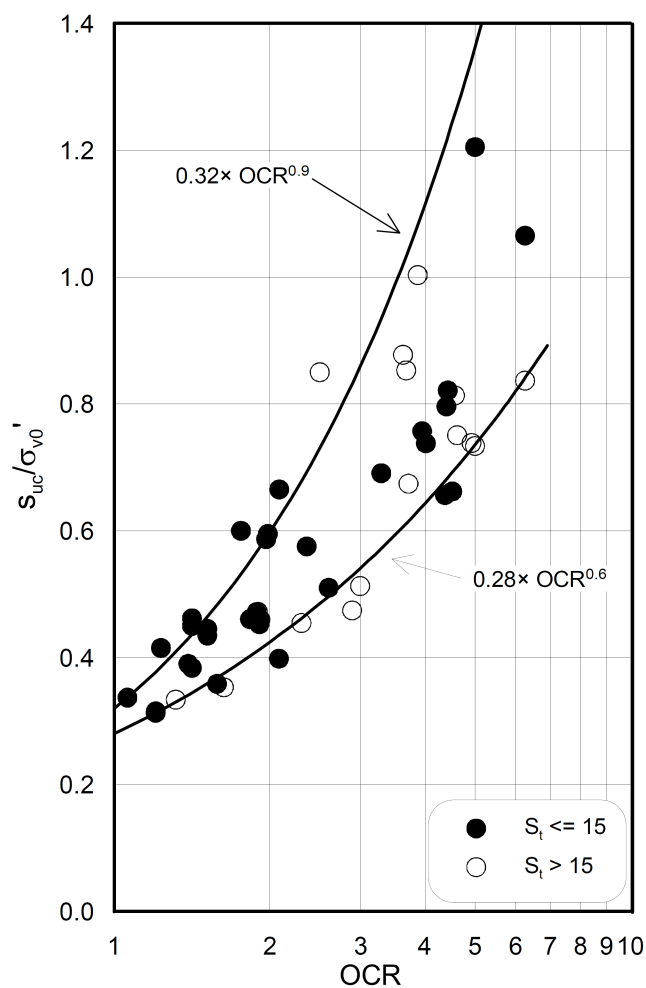
Det anbefales ikke å bruke figur 6.5a for å estimere OCR, men heller bruke den for revurdering av udrenert skjærstyrke.

6.3 SHANSEP

SHANSEP står for "Stress History And Normalized Soil Engineering Properties", konseptet brukes for å bestemme udrenert skjærstyrke til materialet med OCR og σ'_{vo} . Figur 10.9 er basert på blokkprøveresultater og viser forholdet mellom s_{ua}/σ'_{vo} og OCR som er lik σ'_c/σ'_{vo} . Korrelasjoner kan defineres som ligning:

$$s_{ua}/\sigma'_{vo} = \alpha OCR^m \quad (6.14)$$

hvor $\alpha = s_{ua}/\sigma'_{vo}$ for OCR=1.0, som tilsvarer en normalt konsolidert leire som ikke har utviklet noe prekonsolideringstrykk.

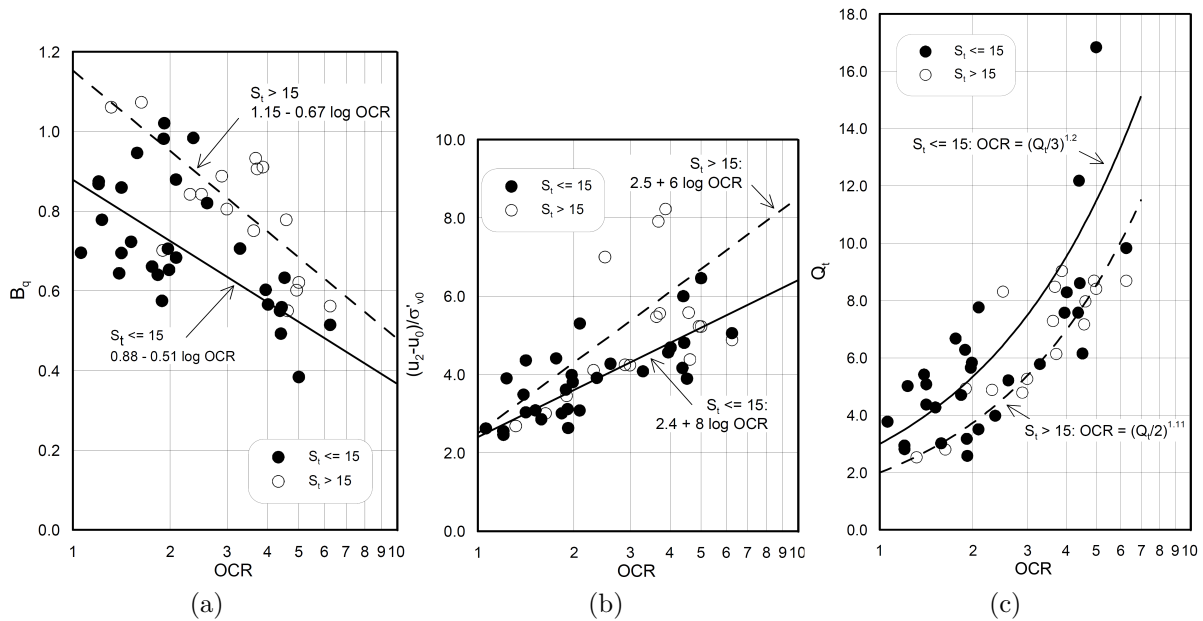


Figur 6.6: Forhold mellom s_{ua}/σ'_{vo} og OCR[11].

6.4 Spenningshistorie

6.4.1 Overkonsolideringsgrad - OCR

Korrelasjon mellom B_q og OCR viser stor spredning, se figur 6.7b. En lignede korrelasjon mellom $\frac{u_2-u_0}{\sigma'_{v0}}$ og OCR gir litt bedre resultater, se figur 6.7b. Den beste korrelasjonen er mellom Q_t og OCR, se figur 6.7c.



Figur 6.7: Forholdet mellom B_q , $\frac{u_2-u_0}{\sigma'_{v0}}$, Q_t og OCR[11].

Selv den beste korrelasjonen gir stor spredning i verdiene på OCR i forhold til korrelasjonene til udrenert skjærstyrke.

6.4.2 Prekonsolideringstrykk - σ'_c

Korrelasjoner for bestemmelse av prekonsolideringstrykk blir også basert på statistiske forhold, blant annet mellom CPTU-resultater og leirens spenningshistorie. Chen og Mayne baserte sine korrelasjoner på CPTU resultater fra 205 studieområder over hele verden[7]. Den beste førsteordens korrelasjon viser uttrykket for prekonsolideringstrykk basert på forholdet mellom spissmotstand og overlagingstrykk:

$$\sigma'_c = 0.305(q_t - \sigma_{vo}) \quad (6.15)$$

med $r^2 = 0.82$, som betyr 82% overensstemmelse.

$$\sigma'_c = 0.86(q_t - \sigma_{vo})^{0.93} I_p^{-0.28} \quad (6.16)$$

med $r^2 = 0.844$. Noe som betyr at plastisitet har en påvirkning på prekonsolideringstrykket og gir bedre korrelasjon.

$$\sigma'_c = 0.99(q_t - u_2)^{1.05} I_p^{-0.20} \quad (6.17)$$

med $r^2 = 0.823$. Å ta hensyn til plastisitet i korrelasjonen mellom spissmotstand og poretrykket gir også bedre overensstemmelse.

Kapittel 7

Rissa - områdebeskrivelse

Statens Vegvesen har planer om å bygge en ny veg, RV 717, mellom Sund og Braden i Rissa som ligger på halvøyen Fosen nordvest for Trondheim i Sør-Trøndelag fylke. Studieområdet ligger i Rissa kommune på et ca. 1.5 km bredt landområde mellom Trondheimsfjorden vest og innsjøen Botn i øst. Elven Straumen knytter innsjø Botn til Trondheimsfjorden, hvor tidevannet fører med seg saltvann fra fjorden og gjør innsjøen brakk.

Studieområdet er en slak skråning som ligger på den nordvestlige siden av Botn innsjø, se figur 7.1. På den sørøstlige siden av innsjøen gikk "Rissaraset" i 1978.

Grunnvannstrømninger i skråningen er preget av årstidsvariasjoner. Rissaområdet er generelt preget av erosjon og skredvirksomhet som har formet landskapet slik det er i dag.

Det ble utført omfattende geotekniske undersøkelser som har påvist store mengder av sensitiv leire. I følge NGI, som har gjennomgått grunnundersøkelserapporter og vurdert geoteknisk vanskelighetsgrad[8], er vegbyggingen i området mellom Rein Kloster og Botn innsjø i praksis ikke gjennomførbar etter gjeldende regelverk.



Figur 7.1: Rissa - oversikt over studieområdet. *Bilde: NVE, Statens kartverk, 2012.*

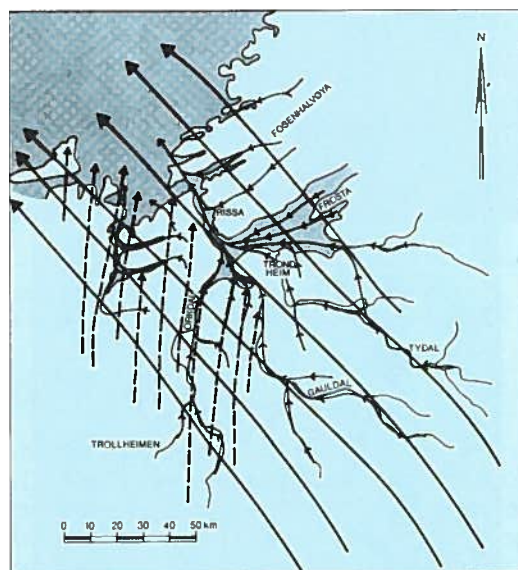
7.1 Geologi i Sør-Trøndelag

Under siste istid, for ca. 20 000 år siden var innlandsisen på sin maksimale utbredelse og hele Norge var dekket, kanskje med unntak av de høyeste fjellområdene. Under tilbaketrekningen stanset breene opp i ytre kyststrøk hvor randmorener ble dannet. For ca. 11 000 år siden rykket breene fram og avsatte nesten sammenhengende israndavsetninger langs hele norskekysten. Etter det kom det bare mindre breframstøt før isen smeltet.

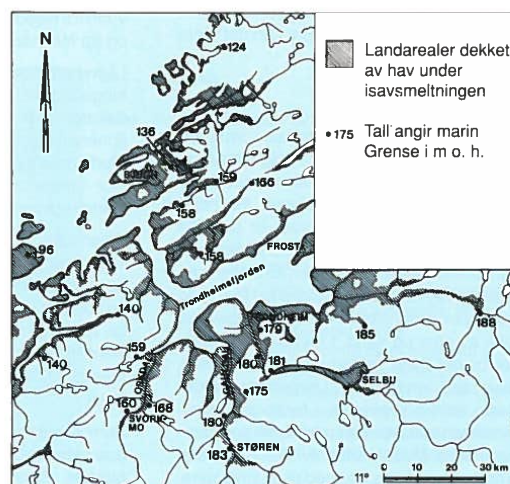
I Sør-Trøndelag bevegde isen seg mot nordvest helt til bremtekkelsen ble så liten at retningen ble betegnet av topografien. Da bevegde den seg langs fjorder og forsengkninger. Kyststrøkene i Sør-Trøndelag ble isfrie for ca. 12 500 år siden, men da stanset tilbaketrekningen for en stund og breene dannet randmorener som går langs hele Sør-Trøndelag[33]. Etter oppkalvingen av isen for ca 11 000 år siden var det bre igjen på begge sider av ytre Trondheimsfjorden, men de smeltet sannsynligvis i løpet av et par hundre år. I Rissa er det spor etter mindre framstøt fra disse breene.

For mellom 10-11 000 år siden gjorde isen siste framstøt til Trondheimsområdet og dannet enda en randmorene før isen trakk seg helt tilbake slik at Sør-Trøndelag ble isfritt for ca. 9 000 år siden. Etter hvert som istyngden avtok, hevet landet seg, og samtidig økte vannmengden i havet på grunn av smeltevann. Strandforysvingningen var størst i et par tusen år etter at mesteparten av breene smeltet, etter det ble det gradvis avtakelse helt til nåtidens strandforysvingning som er på 2-3 mm per år.

Løsmassene blir generelt inndelt etter dannelsemåte og avsetningsmiljø. Morenematerialet er dannet av breene og avsatt under dem. Breelavsetninger er dannet av strømmende smeltevann som gravde i løsmasser, transporterte og avsatte det der strømningshastigheten avtok. Hav og fjordavsetninger er løsmasser bunnfelt i havområder eller fjorder. Det finnes mye av den type avsetning langs kysten på grunn av landhevingen som i Sør-Trøndelag er omtrent 200 m. I åpne områder er det lite lagdelig i avsetninger, men i trange dalfører var det vekslende strømningsforhold, noe som ofte fører til større grad av lagdeling her. Leirig silt veksler med tynne lag av siltig



(a) Rekonstruksjon av tre brebevegelsesfaser i Sør-Trøndelag



(b) Landarealer dekket av hav under isavsmeltingen

Figur 7.2: Breens bevegelser i Sør-Trøndelag under siste istiden[33]

sand, avsatt i perioder med stor smeltevannstilførsel. Leirtykkelsen i Trondheimsregionen er ofte mer enn 50 m og har ofte noe sand og spredte stein og blokker, noe som tyder på at materialet ble avsatt i nærheten av breen.

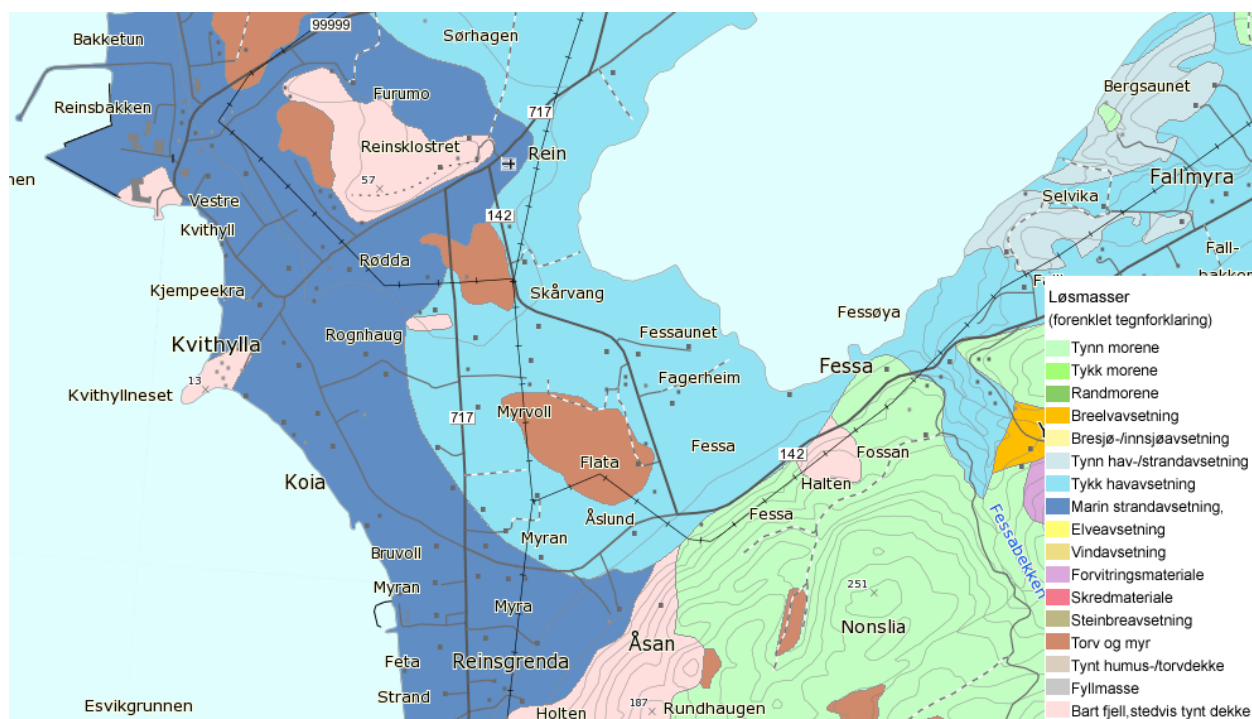
De fleste hav- og fjordavsetninger i Sør-Trøndelag har leireinnhold på 25-50%, som lokalt kan være over 50%. Siltinnholdet varierer mellom 30 og 70%, resten av materialet er sand, litt grus og spredte stein og blokker[33].

7.2 Kvikkleire

Hav- og fjordavsetninger hadde opprinnelig salt i porevann siden de ble dannet av sedimenterte løsmasser. Sedimentasjonsprosessen skjer saktere i tilnærmet stillestående vann med små og tilnærmet flate leirpartikler. Når leirpartiklene kommer i kontakt med saltvann blir de elektrisk ladet, noe som resulterer at kantene tiltrekkes hverandre og det dannes en slags korthusstruktur hvor de store porene er fylt med saltvann. Bindingen mellom leirpartiklene er sterke så lenge det er saltvann i porene. Etter landhevingen ble disse løsmassene utsatt for erosjon og mye av saltet vasket bort, spesielt i områder med drenerende lag som sand og grus, men også mellom underliggende berggrunn. Lavt saltinnhold fører til at den ustabile partikkeloppbyggingen bryter lettere sammen. Når det skjer kollapser korthusstrukturen og leirpartiklene flyter i sitt eget porevann. Den type utvasket leire blir kalt kvikkleire.

Kvikkleire tåler en del spenning i vertikal retning, men det er skjærspenningene som får partiklene til å klappe sammen.

7.3 Rissa



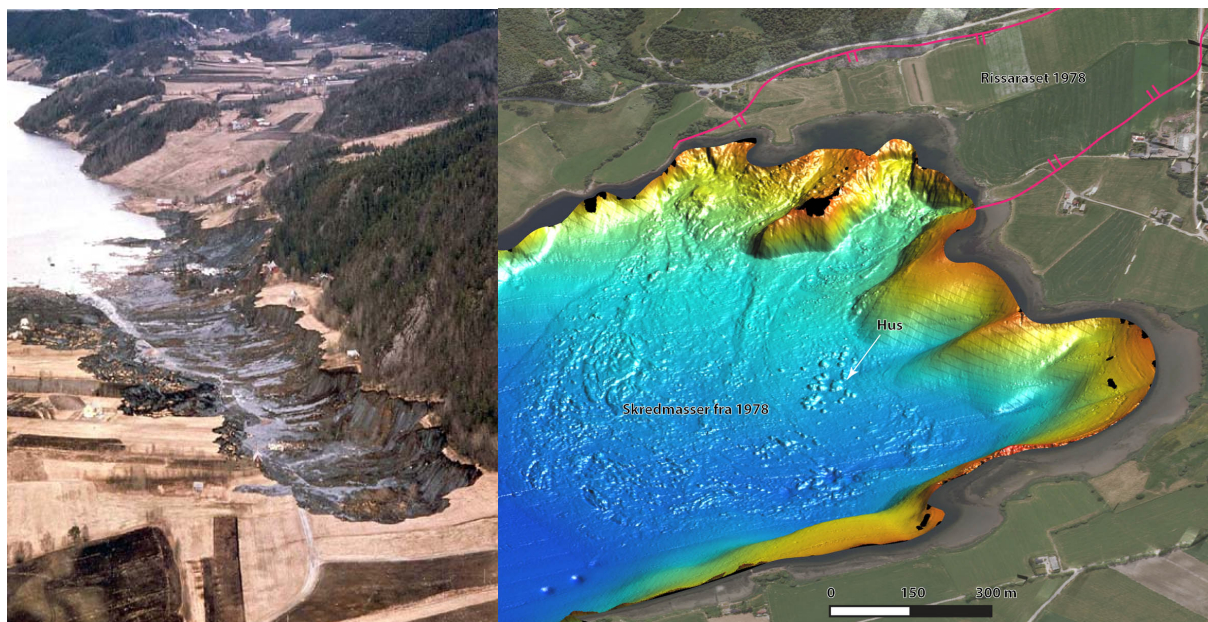
Figur 7.3: Geologisk løsmassekart over Rissa NGU, 2012.

Geologisk løsmassekart over Rissa er vist i figur 7.3 hvor man ser at Botn innsjø er omringet av et tykt dekke med hav- og fjordavsetninger som ligger på en ujevn fjelloverflate som kommer blant annet til overflaten ved Rein Kloster. Marine avsetninger kommer fra bunnfalte løsmasser fra breen som var i dette området for ca. 12 500 år siden før den trakk seg lengre tilbake. Innlandsisens hovedbevegelsesretning var mot nordvest i Sør-Trøndelag, men etter at isen ble tynnere var det topografien som betinget retningen. I Rissaområdet var bevegelsesretningen mot sørvest, inn i Trondheimsfjorden. Oppkalvingen av isen fant sted mellom ca. 11 000 og 12 000 år siden og en del av breen ble liggende på Fosenhalvøya, og i Rissa er det spor etter mindre framstøt. Disse breene smeltet etter et par hundre år.

Sør-Trøndelag var isfritt for ca. 9 000 år siden, da begynte landet å heve seg i stor grad og Rissaområdet ble tørt land hvor maringrensen lå ca. 158 m over havet. Siden da ble leiren utsatt for bare ferskvann som vasket vekk saltet og svekket styrken, slik at det noen steder har blitt dannet kvikkleire. Området er utsatt for skred både på land og i sjøen.

7.3.1 ”Rissaraset”

”Rissaraset” var et kvikkleireskred som gikk 29. april 1978 og var det største i Norge på 1900-tallet. Totalt 15 gårdsbruk, 2 boligeiendommer, en hytte og et grendehus forsvant helt eller delvis i leirmassene og ble ført ut i Botn. Omtrent 5-6 millioner m³ raste ut fra et område på 330 mål og etterlot en skredkant på 1,5 km[29]. I figur 7.5a vises skredgropen som forplantet seg bakover. Skredmassene ligger fortsatt på bunnen av Botn, som man tydelig se i figur 7.5b, tykkelsen er 6-8 m[18].



(a) Rissaraset. *Aftenposten*, 1978

(b) Rissaraset i 3D på bunnen av Botn innsjø *Bilde:[29]*

Figur 7.5: Rissaraset

Kapittel 8

Grunnundersøkelser

Det har blitt gjennomført grunnundersøkelser i flere omganger og av flere geotekniske rådgivere. NGI fikk oppdraget i 2007, og i forbindelse med detaljplanlegging ble det gjennomført supplerende undersøkelser i 2009.

NGI påviste at det var store mengder av kvikkleire i området og i 2011 gjorde de en vurdering av geoteknisk vanskelighetsgrad basert på tidligere undersøkelser utført av NGI og Statens Vegvesen fra 1974 til 2009. Områder med høyest vanskelighetsgrad finnes på strekningen Reinsallèen til området ved Åsen. I et område ved Rein kirke er vegbyggingen i praksis ikke gjennomførbar etter gjeldende regelverk. På grunn av utfordrende stabilitetsforhold ble byggingen av vegen utsatt.

NGU har i samarbeid med en masterstudent fra NTNU har målt 8 2D resistivetsprofiler i 2009-2010. Samtidig har en annen masterstudent gjennomført grunnundersøkelser i noen punkter på disse profilene. I 2011 fortsatte NGU med geofysiske undersøkelser, hvor Botn innsjø ble kartlagt med 2D refleksjonsseismiske målinger. I 2012 har NGU utført supplerende resistivetsmålinger ved Rein kirke med hele 12 nye 2D profiler.

Høsten 2011 gjennomførte Geo-Vest Haugland og Multiconsult en omfattende grunnundersøkelse i området mellom Rein kirke og Botn innsjø. Samtidig ble 4 blokkprøver tatt opp ved Botn, hvorav bare 3 av prøvene inneholdt leire siden prøvene var fra 3-4 m dybde.

Undersøkelsesområdet befinner seg mellom Rein kirke og Botn innsjø, derfor ble bare grunnundersøkelsene som ble gjennomført i dette området tatt med. Se oversiktskart i figur 8.3.

8.1 NGI, 2007-2009

NGI har gjennomført en rekke grunnundersøkelser med både CPTU, totalsonderinger og prøvetakinger. På grunn av vanskelige grunnforhold ble supplerende grunnundersøkelser utført i 2009 hvor NGI benyttet 72 mm prøvetaker for å redusere effekten av prøveforstyrrelser.

CPTU resultatene var generelt av dårlig kvalitet. Anvendelsesklasse for friksjon var på 4, spissmotstand varierte mellom klasse 2 og 4 og poretrykk mellom klasse 1 og 4. Poretrykksresponsen var generelt brukbar, men flere hadde dårlig respons. Helningen på sonden ble ikke målt. Se tabell 8.5 med oppsummeringen.

Basert på åtte ødometerforsøk fra området ble det konkludert at massene er tilnærmet normalkonsolidert. Tre treaksialforsøk ble utført i området, som viste noe lavere styrkeverdier enn SHANSEP-basert med faktorene $\alpha = 0.3$ og $m = 0.8$ som ble bestemt ved Reinstunnelen. Det antas at det er samme avsetning ved Rein som ved Reinstunnelen. Også anisotropiforholdet $s_{uD}/s_{uA} = 0.67$ og $s_{uP}/s_{uA} = 0.33$ ble benyttet. Se tabell 8.1 for oppsummering geotekniske parametre som ble benyttet i prosjektet.

Tabell 8.1: Rutineundersøkelser, NGI[23]

	Sensitiv leire	Ikke-sensitiv leire
S_t [-]	19.86	5.6
I_p [%]	8.9	13.4
γ [kN/m ³]		19.7
a [kPa]		1
ϕ [°]		29

Basert på disse resultatene ble skråningsstabilitet beregnet og ved Rein kirke ble det konkludert med en kritisk sikkerhetsfaktor på 1.04 i profil 3-3 og 1.01 i profil 5-5[24].

I 2011 ble det gjort en vurdering av geoteknikk vanskelighetsgrad basert på tidligere undersøkelser utført av NGI og Statens Vegvesen fra 1974 til 2009. Områder med høyest vanskelighetsgrad finnes på strekningen Reinsalléen til området ved Åsen. I et område ved Rein kirke er vegbyggingen i praksis ikke gjennomførbar etter gjeldende regelverk. På grunn av utfordrende stabilitetsforhold er byggingen av vegen ble utsatt[8].

8.2 NTNU, 2009-2010

NTNU har i samarbeid med Statens Vegvesen organisert flere grunnundersøkelser i Rissa sammen med masterstudenter ved NTNU. En av dem er Kristoffer Kåsin som har gjennomført flere CPTU-sonderinger og prøveserier. Han konkluderte med at området har en større overkonsolideringsgrad enn tidligere antatt, også verdier for udrenert skjærstyrke var høyere[13].

CPTU-resultatene var av høyere kvalitet enn det NGI har gjort tidligere og brukes derfor videre sammen med nye grunnundersøkelser. Prøvetakingen bestod både av 54 mm og 73 mm sylindrerprøver som var av god kvalitet, disse resultatene brukes også videre. Se

vedlegg ”Prøveserier” for samlede resultater fra borpunkt KK3 og KK4. I vedlegg ’CPTU’ er plottet borpunkt KK1, KK3 og KK4.

Prøvekvaliteten ble bedømt litt forsiktig her, basert på tilgjengelige resultater. Kvaliteten ble revurdert og effekten av forstyrrelser ble tatt hensyn til. I tabellene 8.2 og 8.3 er en oppsummering av forsøk med god kvalitet som ble direkte benyttet videre.

8.3 2011

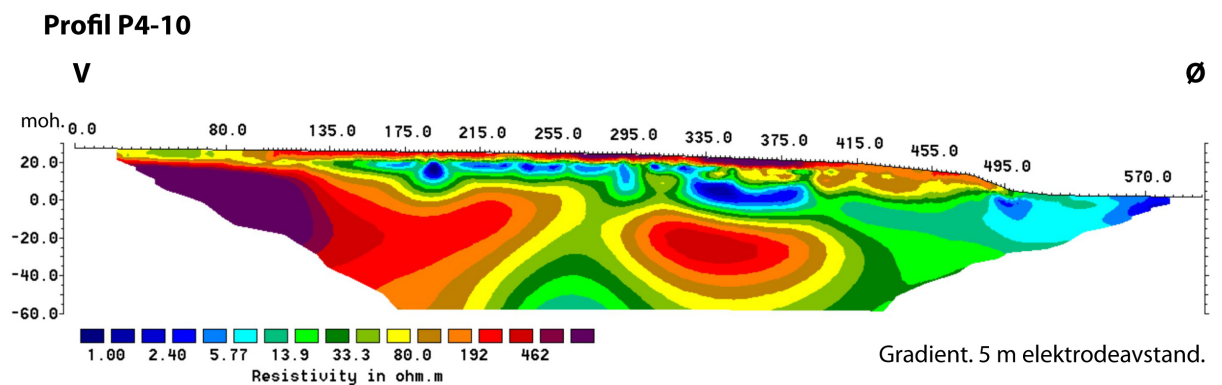
På oppdrag av Statens Vegvesen har Geo-Vest Haugland utført en rekke CPTU sonderinger supplert med omfattende prøvetaking med 54 mm sylindre i profilene 3-3 og 5-5 som er kritiske i følge av NGL.

CPTU-resultatene er av høyest kvalitet og ble benyttet videre som grunnlag for korrelasjoner. Multiconsult utførte spesialforsøk på noen av sylindrerprøvene, men de fleste forsøkene er av forstyrret kvalitet og det er derfor ikke lagt stor vekt på dem videre.

Høsten 2011 ble det tatt fire blokkprøver ved borpunkt C3, hvorav tre bestod av leire. Resultater fra blokkprøvene legges til grunn for tolkning og revurdering av geotekniske parametre som ble benyttet i beregninger av skråningsstabilitet.

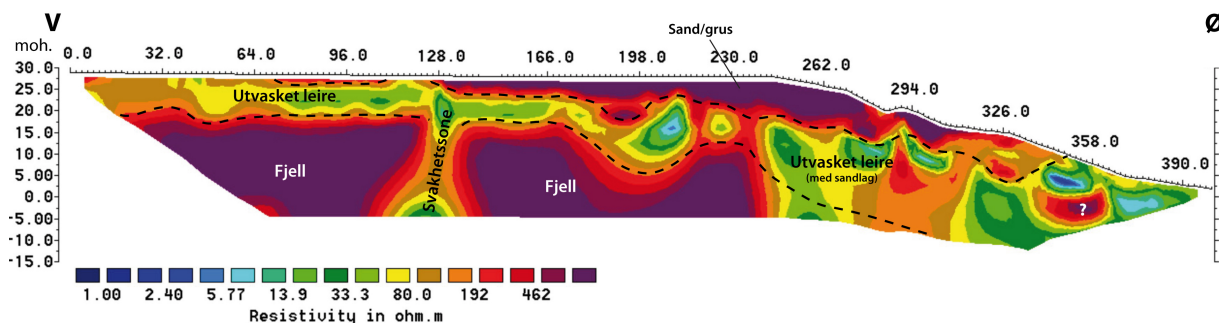
Undersøkelsene konkluderer med at jordningsbetingelsene er generelt gode med unntak av der profilene krysser veger, og datakvaliteten var gjennomgående meget god. Kvalifisering av sedimentene fra resistivitetsverdier ble gjort etter tabell 3.1.

I figur 8.1 er en 3D-visualisering av resistivetsprofilene ved Rein kirke. Studieområdet er en leireavsetning i en fjellfordypning med noen meter sand på toppen av skråningen. Blåfargen representerer marin leire som ikke har vært utsatt for utvasking, og som vist i figur 8.1a, er det store mengder av den i midten av fordypningen. Gul og grønn farge representerer utvasket leire som har saltinnhold under en verdi på omtrent 5 g/l og kan være kvikkleire. Dette laget befinner seg i grensene mellom leire og fjell, som er vanlig siden fjelloverflaten virker drenerende på leiren.



(a) Resistivetsprofil P4-10/Geoteknisk profil 5-5[18].

Rissa, Rein kirke P3-11



(b) Resistivetsprofil P3-11/Geoteknisk profil 3-3[18].

Figur 8.2: Profiler ved Rein kirke

Profil P2-11 ligger 40-125 m unna profilene P3, se figur 8.2a. Her ligger fjellet nært overflaten med store mengder av utvasket leire på toppen av skråningen og ca. 5 m med tørrskorpe. Det er noe sand og grus nærmere Botn og store mengder av kvikkleire ved Botn. Det ser ut til at fjellet har en svakhetsone med løsmasser, som har tilnærmet samme helning i alle profilene.

Profil P3-11 ligger rett ved Rein kirke og tilsvarer geoteknisk profil 3-3. Oppløsningen er bedre i denne profilen. Fjellet har samme posisjon som i profil P2-11. Her er det mer sand og grus og overutvasket leire. Sonderinger indikerer at leire ved Botn inneholder sandlag

og at noe av leiren er kvikk. Profilen viser også at det er lommer med saltholdig leire. Profil P4-10 ligger også rett ved Rein kirke, men på andre siden i forhold til profil P3-11. Profilet tilsvarer geoteknisk profil 5-5. Profilet viser samme forhold som profil P3-11 med utvasket leire over fjellet og noen meter sand på toppen av skråningen, men mellom dem ligger det flere lommer av saltholdig leire. Det er også saltholdig leire på overflaten ved Botn, men denne blir mer utvasket med dybden og nærmere fjelloverflaten.

Figuren 8.1a viser det øvre laget av utvasket leire. Det er ca. 20 m i midten av skråningen mellom Rein kirke og Botn, men der finnes det også lag av utvasket leire mellom saltholdig kvikkleire og grove masser. Utvasket leire ligger for det meste over Botn-nivå, det vil si over kote 0. Grunnen kan være fjelltopografien under sedimentene som har betydning for grunnvanns- og poretrykksforholdene i området.

Det er store masser, opp til 10 m, av sand og grus i midten av skråningen mellom Rein kirke og Botn, omtrent på samme sted hvor de øverste lagene av utvasket leire befinner seg. Det er store sand- og grusavsetninger i dette området, noe som antas er grunnen til at leiren er mer utvasket akkurat her. Det er mye sand i leiren. Dette vises ikke i resistivetsprofilene, men kan gi noe høyere resistivetsverdier.

Figur 8.1a viser en oversikt over dybde til fjell, og som tidligere nevnt er studieområder i en fjellfordypning. Geologien i området er kompleks, med undulerende fjelloverflater og varierende bergartstyper[38]. To parallelle fjellrygger ble tolket med retning NØ-SV, og mellom dem er det dypt til fjell, opp til 75 m. Dybde til fjell har store usikkerheter på grunn av sin varierende resistivitet og svakhetssoner, og derfor må ikke grensen mellom fjell og løsmasser tas absolutt[39].

I 2010 har NGU utført høyoppløselig sjøbunnskartlegging og innsamling av 2D refleksjonsseismiske profiler i Botn i Rissa som en del av metodeutviklingsprosjektet "Skredkartlegging i strandsonen", som har et formål å utvikle en metodikk for kartlegging av fare for skred i strandsonen. Det er spor etter undersjøisk skredaktivitet langs mesteparten av strandsonen, da jordskredgropene har den typiske skålformen.

Sørlige Botn er karakterisert som tykke hav- og fjordavsetninger. Det er også registrert kvikkleiresoner ved Rein kirke og ved Naust. Skråningene ved strandsonen er 150-400 m lange og 20-25 m høye. Refleksjonsseismiske data viser at sjøbunnen er styrt av fjelltopografien med NØ-SV-orienterte fjellrygger. Skråningsvinkelen er lavere enn 15° [18].

I Rylbukta er det funnet spor etter en 20 m bred og opp til 1 m dyp kanalform, som er over 250 m lang. Den kan ha blitt dannet av bekkeerosjon ved munningen av Rylbekken, men det er ikke sikkert om den er aktiv.

Utenfor Hestrøa er toppen av skråningen jevn de første 100-130 m, deretter blir sjøbunnen brattere, opptil en skråningsvinkel på 25° . Ved foten av skråningen er det flere "pocketmarks", som er sirkulære forsenkninger som dannes ved kortvarig utstrømninger av gass eller væske fra undergrunnen. Dette samsvarer med de høye poretrykksmålingene som ble gjort av NGI utenfor Rein kirke i 2009[24], og kan skyldes grunnvannstrømninger fra land til innsjøen. Sedimenttykkelsen er opp til 25 m over fjell ved Hestrøa, hvor av 7 m er glasimarin avsetning, det vil si sedimenter som ble avsatt av den smeltende innlandsisen etter siste istid. Over dette laget ligger det en blanding av hav- og fjordavsetninger med skredmasser. Det kan også være spor etter elvemunningen som var i dette området for kanskje 2000-3000 år siden[18].

8.5 Resultater

På de neste sidene er en oppsummering av tidligere laboratorieundersøkelser, som treaksial- og ødometerforsøk. Bare forsøkene av god/akseptabel kvalitet er listet opp.

Målenøyaktigheten til tidligere utførte CPTU-resultater sammen med nye grunnundersøkelser er også oppsummert i tabellene 8.5 og 8.4. Nye resultater sammen med prøver av god kvalitet er brukt videre som grunnlag for korrelasjoner og bestemmelse av geotekniske parametre.

Tabell 8.2: Oppsummering, sylinderprøver med akseptabel/god kvalitet

Forsøk	$d\epsilon/dt$ [%/hr]	Dybde [m]	Kote [m]	σ'_{vo} [kPa]	w [%]	γ [kN/m ³]	s_u [kPa]	a [kPa]	$\tan\phi$ [-]	D [-]	ϵ_f [%]	ΔV [cm ³]	ϵ_v [%]	σ'_c [kPa]	$OCR\Delta e/e_o$ [-]	q_t [kPa]	u_o [kPa]	u_2 [kPa]	f_s [kPa]	I_p [%]	S_t [-]
CAUaC3	5.0	10.40	-8.20	108.8	28.5	19.8	34.5	5	0.50	-0.14	0.65	6.97	3.04	166.5	1.53	0.05	587	94	5.8	11.5	12.0
CIUaKK4	3.0	5.40	-1.90	61.3	33.0	18.6	33.0	10	0.51	-0.08	1.76	5.04	2.20	141.1	2.30	0.04	358	44	1.5	16.4	7.6
CIUaKK4	3.0	3.40	0.10	42.3	36.0	19.9	30.0	10	0.51	-0.12	1.70	3.66	1.60	122.2	2.89	0.03	311	24	2.0	8.7	11.7
CIUaKK3	3.0	6.35	-2.85	70.3	31.0	19.7	36.0	10	0.51	0.13	1.90	6.41	2.80	150.1	2.13	0.05	358	54	1.8	11.9	5.1
CIUaKK3	3.0	6.50	-3.00	71.8	29.0	19.7	42.0	17	0.51	0.00	1.50	7.10	3.10	151.5	2.11	0.05	472	55	1.9	11.9	5.1
CIUaKK3	3.0	7.45	-3.95	80.8	33.0	19.8	42.0	11	0.51	0.05	1.75	5.27	2.30	160.5	1.99	0.04	437	65	2.0	13.8	6.9
CIUaKK3	3.0	9.40	-5.90	99.3	32.0	19.9	48.0	18	0.51	-0.01	1.80	7.56	3.30	178.9	1.80	0.06	609	84	2.2	14.4	5.4

Tabell 8.3: Oppsummering av ødometerforsøkene

Borhull	Type forsøk [kPa]	$d\epsilon/dt$ [%/hr]	Dybde [m]	Kote [m]	σ'_{vo} [kPa]	w [%]	γ [kN/m ³]	σ_c [kPa]	OCR [-]	M [MPa]	m [-]	c_v [m ² /år]	ϵ_v [%]	$\Delta e/e_o$ [-]
RK12	CRS		13.44	8.46	121.0	27.8	20.3	200	1.65	4	17	31.5	3.92	0.06
RK12	CRS		21.26	0.64	191.3	27.8	20.6	275	1.44	10	11	31.5	2.33	0.04
RK14	CRS		6.43	-3.73	57.6	41.1	19.3	150	2.60	6	17	37.8	0.98	0.02
KK3	CRS	1.50	2.35	1.15	24.2	42.1	18.4	110	4.55				1.50	0.03
KK3	CRS	1.50	7.60	-4.10	71.0	32.1	19.8	163	2.30				3.00	0.05
KK4	CRS	1.50	3.60	-0.10	35.0	36.0	19.9	130	3.71				1.50	0.03
KK4	CRS	1.50	6.25	-2.75	59.0	34.0	18.6	153	2.59				4.00	0.07
C2	CRS		12.35	-3.15	143.3	25.0	21.0	300	2.09	8	21	8.2	2.20	0.03
C3	CRS	0.80	5.25	-3.08	59.9	30.2	19.6	105	1.75	1	20	26.0	3.10	0.05
C3	CRS	0.72	5.50	-3.33	62.3	33.2	19.6	105	1.69	2	20	22.0	2.00	0.03
C3	CRS	0.60	15.50	-13.33	157.3	30.3	19.6	225	1.43	8	20	39.0	2.10	0.03
C4	CRS	0.72	10.40	11.50	105.6	36.4	19.4	150	1.42	4	17	6.0	3.25	0.06
C5	CRS	0.66	9.30	3.40	95.7	33.5	19.4	150	1.57	2	18	8.0	4.05	0.07
C6	CRS	0.46	17.50	-16.31	175.3	27.7	20.1	150	0.86	5	20	18.0	4.31	0.07

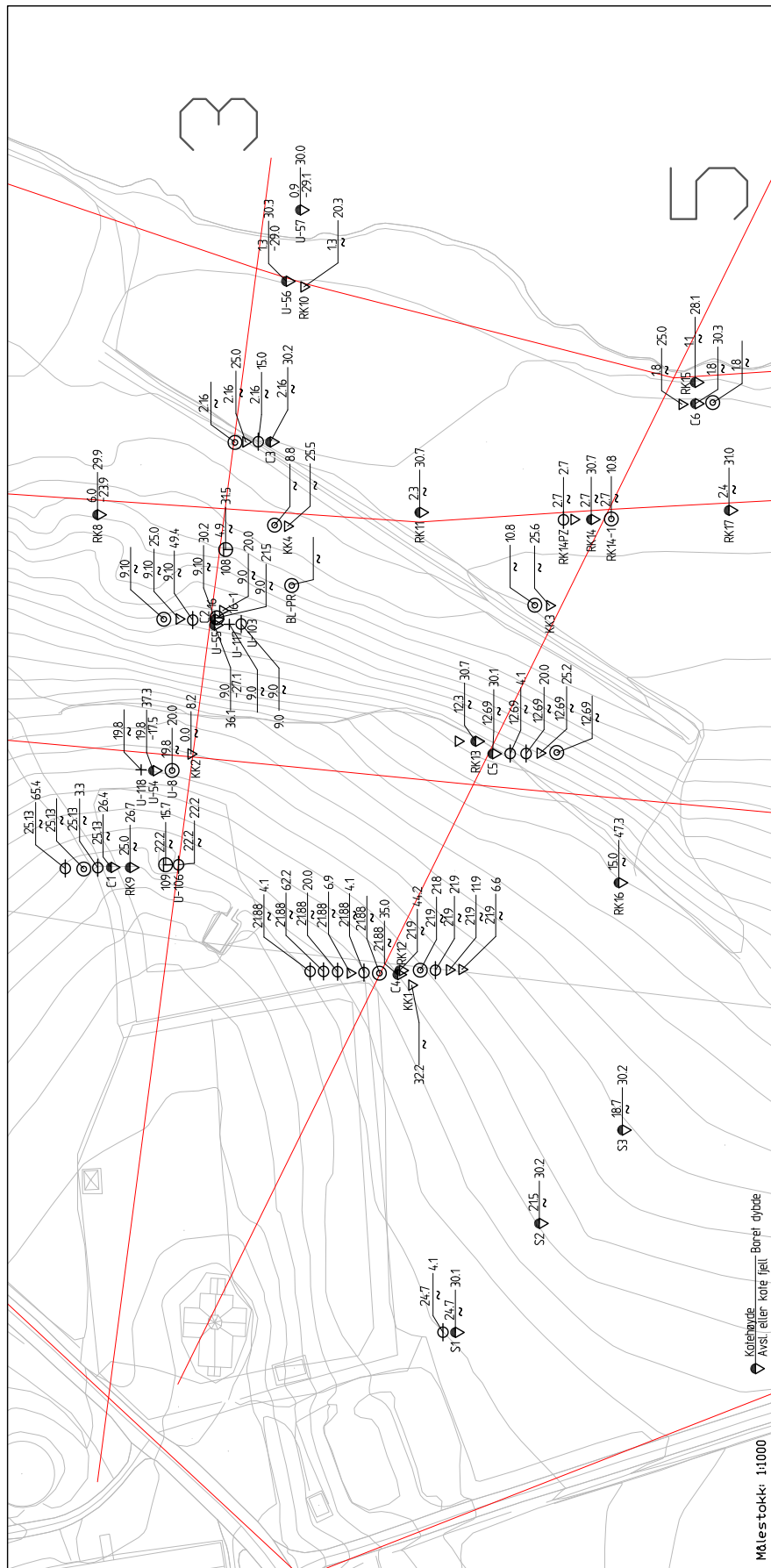
Ikke oppgitte verdier ble enten ikke nevnt eller ikke beregnet i gjennomgatte rapporter

Tabell 8.4: Nye grunnundersøkelser, 2010[35]

CPTU id.	Målenøyaktighet						Anvendelsesklasse			
	Nullpkt q Endring NA [kPa]	Nullpkt u Endring NC [kPa]	Nullpkt f Endring NB [kPa]	Max. helling [o]	Poretrykk	Annet	Spissmotstand	Poretrykk	Friksjon	
C2	-7	-0.3	-0.5	5.9	Meget god respons		1	1	1	
C3	26.7	0.1	-0.2	3.4	Meget god respons		1	1	1	
C4	-9.1	-1	0	3.9	Meget god respons		1	1	1	
C5	4.8	-0.6	-0.2	3.5	Meget god respons		1	1	1	
C6	-15.2	-0.8	-0.5	3	Meget god respons		1	1	1	
C3, 2 mm/s	4.3	-0.7	-0.3	3.8	Meget god respons		1	1	1	
C3, 200 mm/s	-21.2	0.1	-0.2	4.2	Meget god respons		1	1	1	

Tabell 8.5: Oppsummering av tidligere grunnundersøkelser[35]

CPTU id.	Målenøyaktighet					Anvendelsesklasse				
	Nullpkt q [kPa]	Nullpkt u [kPa]	Nullpkt f [kPa]	Max. helning [o]	Poretrykk	Annet	Spissmotstand	Poretrykk	Friksjon	
16	78	34	-35	Ikke målt	OK, brukbar respons		4	4	4	
17	-251	126	-34	Ikke målt	Dårlig respons		4	4	4	
106	-485	160	-158	Ikke målt	OK, brukbar respons		4	4	4	
110	-90	-15	23	Ikke målt	OK, brukbar respons		4	2	4	
111	-94	-59	54	Ikke målt	OK, brukbar respons		4	4	4	
112	-16	-65	74	Ikke målt	OK, brukbar respons		3	4	4	
RK4	126	-4	20	Ikke målt	OK, brukbar respons		3	1	4	
RK10	58	-3	-14	Ikke målt	OK, brukbar respons		3	1	4	
RK12	76	-3	8	Ikke målt	OK, brukbar respons		3	1	4	
RK13	90	-4	28	Ikke målt	OK, brukbar respons		3	1	4	
RK14	54	13	-103	Ikke målt	OK, brukbar respons		3	2	4	
RK18	44	16	-2	Ikke målt	OK, brukbar respons		3	2	4	
RT1	106	23	-4	12	Dårlig respons		3	3	4	
RT2	68	13	-3	22	Dårlig respons		2	2	4	
RT3	82	13	-3	16	OK, brukbar respons	Feil i måling	2	2	4	
RT4	-62	13	-1	33	Dårlig respons	Feil i måling	3	2	4	
RT5	524	-13	-2	11	OK, brukbar respons under 6 m		4	2	4	
RT6	52	23	-2	11	OK, brukbar respons		2	3	4	
RT7	-12	61	-3	Ikke målt	Dårlig respons		2	4	4	
RT8	-106	47	-4	11	Dårlig respons		3	3	4	
RT9	-106	24	-4	21	Dårlig respons		3	3	4	
RT9-2	88	-15	-3	Ikke målt	Dårlig respons		3	2	4	
S3	66	12	-5	Ikke målt	OK, brukbar respons		3	2	4	
S6	84	10	-4	Ikke målt	Usikker metning		3	2	4	



Figur 8.3: Oversiktskart Statens Vegvesen

Kapittel 9

Laboratoriearbeid

Høsten 2011 ble det utført omfattende feltarbeid på Rissa, med blant annet CPTU sondering, prøvetakinger, poretrykksmålinger, resistivitetsmålinger og blokkprøvetaking. Ved tidligere borhull C3 ble 4 blokkprøver tatt opp den 30 november 2011, hvor 3 bestod av leire. Blokkprøvene dekket en dybde mellom 3.5 og 4.6 m, og mistanken var at den dypeste blokkprøven inneholdt kvikkleire. Alle blokkprøver ble forseglet med flere lag av plastikkfolie og voks og ble oppbevart i et kjølerom med temperatur rundt 6°C.

Tabell 9.1: Rutineundersøkelser, blokkprøver

Blokkprøve:		3.50-3.85 m	3.85-4.20 m	4.20-4.60 m
s_u (konus)	[kPa]	13.70	18.60	13.70
s_r	[kPa]	0.69	1.45	0.69
S_t	[-]	19.86	13.36	19.86
γ	[kN/m ³]	19.43	19.58	19.3
w	[%]	33.68	36.57	37.7
w_p	[%]	18.08	16.48	19.37
w_l	[%]	26.24	25.22	29.72
I_p	[%]	8.16	8.74	10.35
I_f	[%]	3.30	2.30	4.30
n	[%]	47.73	48.43	49.55
S_r	[%]	85.56	96.45	98.64
e	[-]	1.09	1.05	1.06
S	[g/l]	6.00	4.00	2.00

9.1 Blokkprøver

Blokkprøve 3.85-4.20 m Den første blokkprøven ble åpnet 19. januar 2012, nesten 2 måneder etter prøvetakingen. Rutineunderøkselser ble gjort samme dag, sammen med den første ødometeren. Treksialforsøket ble gjort dagen etter med kunnskap om prekonsolideringstrykket. Det ble totalt utført 7 treksialforsøk (CAUa003-007), hvor den første var isotropt konsolidert (CIUa001) og den andre anisotropt. 2 passive (CAUp101 og 103) og ett aktivt (CAUa102) anisotropt konsolidert forsøk ble utført av Multiconsult på oppdrag av Statens vegvesen. 6 ødometerforsøk ble gjort, hvorav 2 var kontinuerlige (CRS001 og 004), samt en trinnvis (IL001) og 3 kontinuerlige ødometre med kryptrinn på 24 timer (CRS002,003 og 006).

Første nivået i blokkprøven har horisontal lagdeling, men går over til mindre lag med turbulent lagdeling på rundt 10 cm, se forsøkene CAUa003 og CAUa004 i vedlegg B.

Blokkprøve 3.50-3.85 m Den andre blokkprøven ble åpnet 13 februar 2012, nesten 3 måneder etter prøvetakingen. Rutineunderøkselser ble gjort samme dag, sammen med en CRS ødometer og et treksialforsøk. Totalt ble det gjort 7 anisotropt konsoliderte treksialforsøk (CAUa008-014) og 2 passive forsøk (CAUp104-105) ble utført av Multiconsult. 12 ødometre ble utført fra denne blokkprøven. De 2 første CRS ødometre ble ikke vellykkede på grunn av at filteret satt fast i ødometerringen, de ble derfor ikke tatt med. 5 av resterende ødometre var kontinuerlige (CRS009, 011, 014, 016 og 017), hvor tøyningshastigheten ble variert. 5 ødometre hadde kryptrinn i 24 timer (CRS010, 012, 013 og 015).

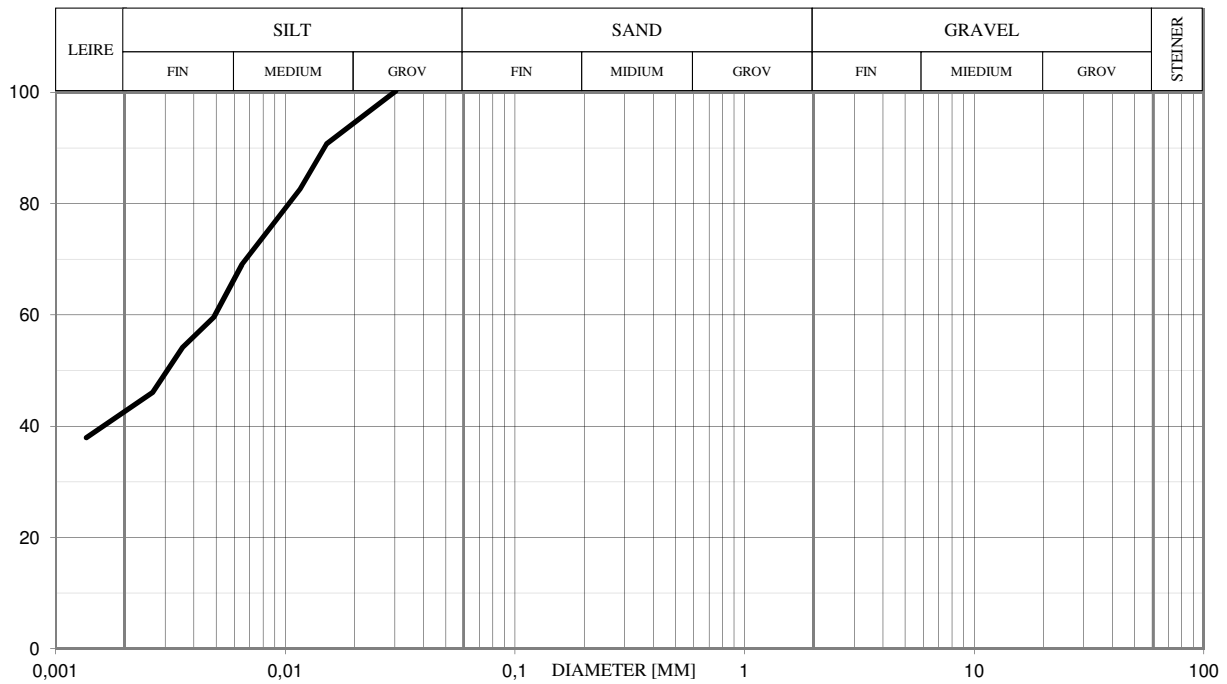
To av "kakestykkene" er fra denne blokkprøven ble gitt bort for utførelse av eksperimentelle spesialforsøk som ikke er beskrevet her.

Hele blokkprøven bestod av leire med turbulent lagdeling.

Blokkprøve 4.20-4.60 m Den siste blokkprøven ble åpnet 12 mars, nesten 3 måneder etter prøvetakingen. Rutineunderøkselser sammen med ødometer og treksialforsøk ble gjort samme dag. Totalt ble det utført 4 aktive treksialforsøk (CAUa015-018) og ett passivt (CAUp106), som ble gjort av Multiconsult. Det ble utført 6 ødometre, hvor en var kontinuerlig (CRS019) og en hadde et kryptrinn i 24 timer (CRS020). En serie av 4 trinnvise ødometre ble utført (IL002-005) hvor trinnvarigheten varierte mellom 2 og 24 timer. Bare ett nivå av blokkprøven ble brukt til vanlige geotekniske undersøkelser, resten ble gitt bort for utførelse av eksperimentelle spesialforsøk som ikke er beskrevet her.

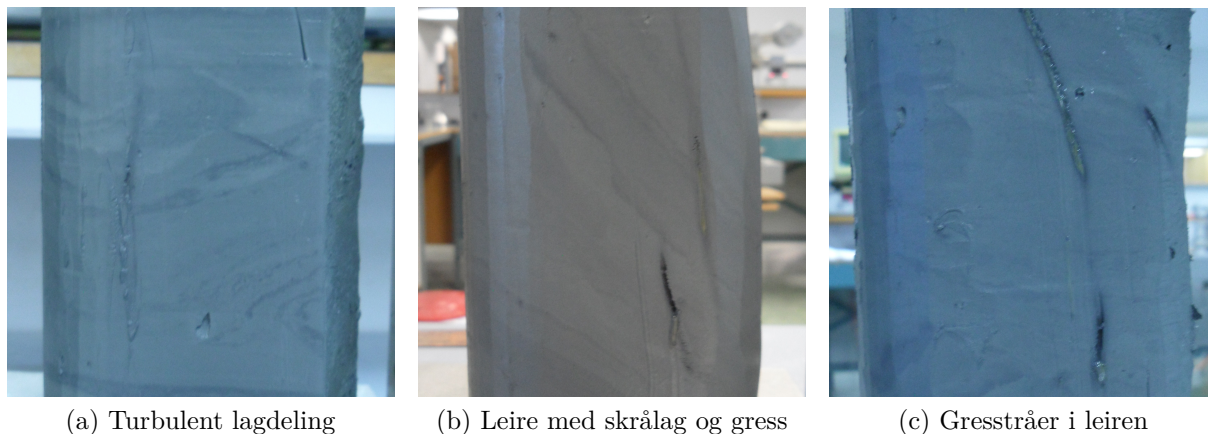
Prøver har en tydelig horisontal lagdeling, og det ble oppdaget mindre stein og gress i denne blokkprøven.

RISSA LEIRE, 4m



Figur 9.1: Kornfordeling, Rissa, blokkprøver: Siltig leire

Kornfordelingsanalyse ble utført i alle tre blokkprøver og resultatet var den samme kurven som er i figur 9.1, hvor det er 43% leireinnhold og 57% siltinnhold. Flere steder i leiren ble det oppdaget grønt gress, som kan være alger. Også flere skjellrester og små dropstein ble funnet.



(a) Turbulent lagdeling

(b) Leire med skrålag og gress

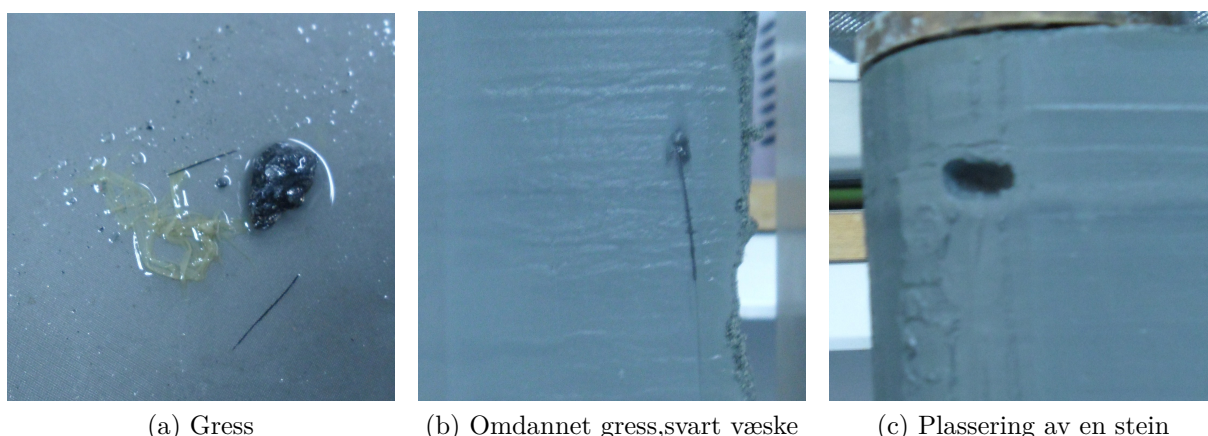
(c) Gresstråer i leiren

Figur 9.2: Snitt i Rissa leire, Geoteknisk Laboratorie, NTNU, vår 2012

Standard dimensjoner for en prøve som skal settes inn i cellen for treaksialforsøk er 54 mm i diameter og 100 mm i høyden. Store leirprøver, som blokkprøver, må derfor trimmes ned til disse standarddimensjoner med en tråsåg. Med litt erfaring i håndtering av leiren er det mulig å skjære leiren sånn at lagdelingen blir tydelig i snittet. I figur 9.2 sees tre forskjellige snitt i leiren fra blokkprøver. Figur 9.2a og 9.2b viser leiren med turbulent lagdeling mellom to horisontale lag. I alle prøver ble det funnet rester av gress eller alger som var fortsatt grønn, som kommer fram som vertikale linjer i de tre bildene i henholdsvis figur 9.2.

I figur 9.3a vises gresset fra leiren som ble skylt ren med vann, ved siden av en stein fra prøven. Noen steder var gresset mer omdannet og rant ut som svart væske når man skar gjennom, se figur 9.3b.

Det ble funnet mange steiner i forskjellige størrelser spredt i alle blokkprøver, en av gangene var plasseringen av en slik stein uheldig, se figur 9.3c.



(a) Gress

(b) Omdannet gress, svart væske

(c) Plassering av en stein

Figur 9.3: Rissa leire, Geoteknisk Laboratorie, NTNU, vår 2012

9.2 Ødometerforsøk

Ødometerforsøket kan utføres med trinnvis ødometer (IL - Incremental Loading) eller med kontinuerlig ødometer (CRS - Constant Rate Stress). Belastning, deformasjon, poretrykk og tid registreres, også i trinnvis ødometer. Ødometerforøk blir kjørt uten baktrykk ved Geoteknisk Laboratorie ved NTNU, det betyr at prøvene blir kjørt uten å være fullmettet. Norsk leire pleier å være nesten fullmettet med vann, rundt 98%, og mangel på baktrykk har derfor ikke så stor innvirkning.

Utstyr: Alle forøkene som er beskrevet her ble gjennomført med samme ødometerutstyr, filtre og ødometerring. Ødometerutstyret som blir brukt har enveis drenasje og lite plass for vannet som holder det øverste filteret mettet. Ved utførelse av krypforsøk og trinnvise ødometre ble det brukt ulltråd for å transportere vann fra vannbeholder til ødometercellen for å unngå uttørkning av filteret. Ødometerutstyret ble vasket etter hver bruk for å fjerne rester av prøvematerialet. Det samme ble filtrenne. All luft ble presset ut i en vakuumbokse, bare destillert vann uten luft blir brukt for å unngå måleforstyrrelser av luftbobler. Måleutstyr for poretrykket har stor nøyaktighet og kan derfor gi store variasjoner ved lave måledata, som på slutten av et kryptrinn. Muligheten for store spenninger er begrenset på grunn av utstyret som kan påføre opp til 1500 kPa før motoren begynner å hakke og programmet logger deformasjoner som ikke finnes. Den type måledata blir ikke tatt med i beregninger. Standard tøyningshastighet i ødometerforsøket ved NTNU er 1.5 $\mu\text{m}/\text{min}$, som derfor blir brukt i de fleste forsøkene.

Det ble lagt merke til poretrykksforandringer ved overganger mellom natt og morgen. Poretrykket økte med rundt 0.5-1 kPa, ved lave poretrykk på slutten av noen av lasttrinnene. Grunnen kan være ventilasjonen og menneskeaktivitet på laboratorie.

Prøver: Alle prøver blir oppbevart i kjøleskapet i flere lag av plastfolie og aluminiumsfolie med vått papir rundt for å bevare høy fuktighet rundt prøven. Vanninnhold og densitet blir registrert i alle prøver for å kontrollere prøve kvaliteten.

Beregninger, CRS[34]: Totalspenning, σ , og poretrykket, u_b blir registrert, effektiv spenning i en kontinuerlig ødometer er:

$$\sigma'_m = \sigma - u_b \frac{2}{3} \quad (9.1)$$

Ødometermodul uttrykker materialets motstand mot deformasjon ved et gitt effektivspenningsnivå:

$$M = \frac{d\sigma'}{d\varepsilon} \quad (9.2)$$

Konsolideringskoeffisient:

$$c_v = \frac{d\sigma}{dt} \frac{1}{u_b} \frac{H^2}{2} \quad (9.3)$$

hvor H er dreneringshøyde som er 20 mm i utstyret.

Beregninger, IL [34]: Effektiv spenning i en trinnvis ødometer pleier å være sluttverdien på trinnet, når poretrykket går teoretisk til null. Konsolideringskoeffisienten blir beregnet etter Taylors metode:

$$c_v = \frac{0.848H^2}{t_{90}} \quad (9.4)$$

Tidsmotstanden:

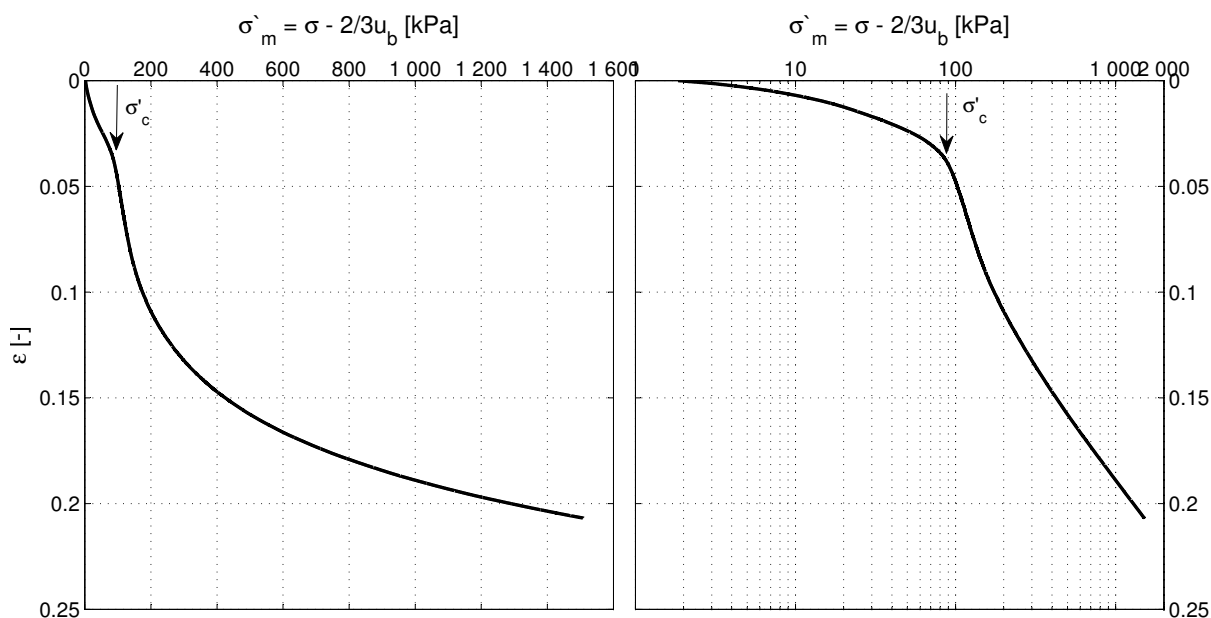
$$R = \frac{dt}{d\varepsilon} \quad (9.5)$$

Tidsmotstandstallet er stigningen i $R-t$ kurven:

$$r_s = \frac{dR}{dt} \quad (9.6)$$

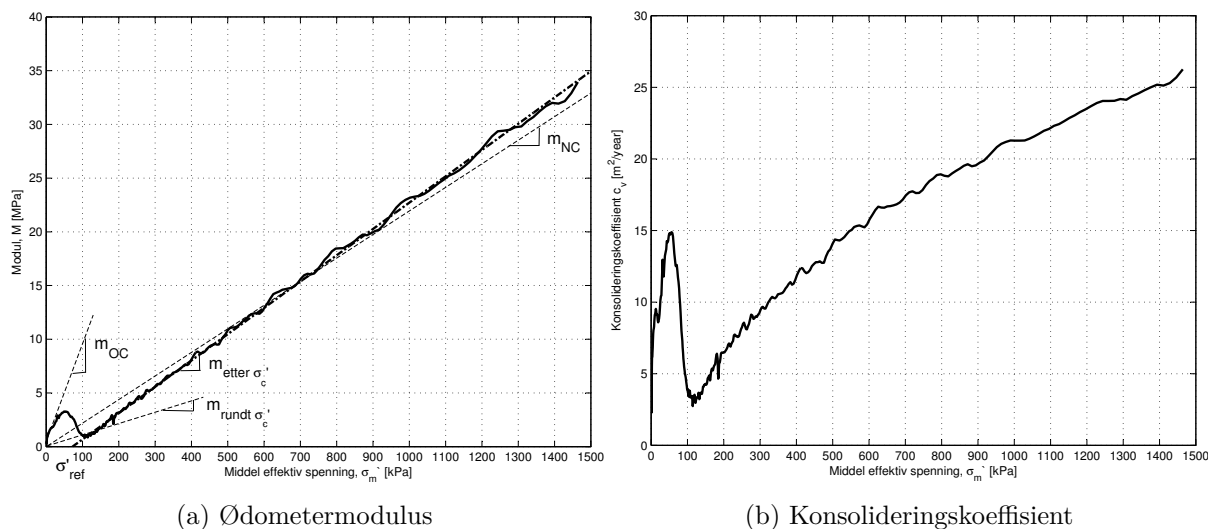
9.2.1 Resultater

Alle resultater fra ødometerforsøk er vist i detaljer i vedlegg C.



Figur 9.4: Bestemmelse av prekonsolideringstrykket i CRS011, se vedlegg C for flere detaljer

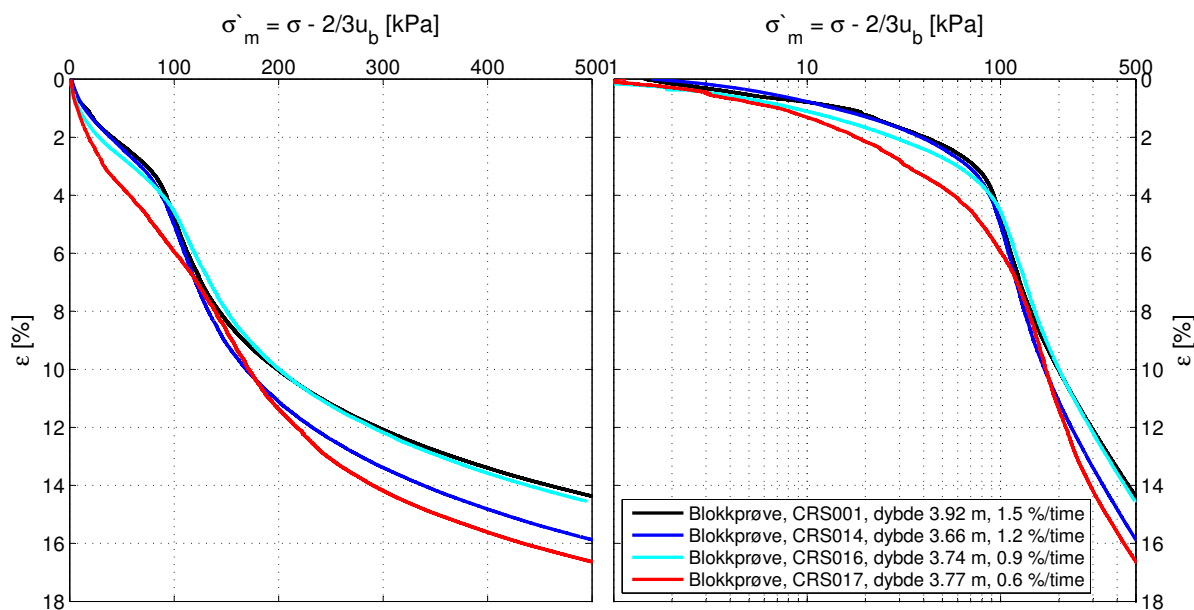
I figur 9.4 er det vist hvordan prekonsolideringstrykket ble bestemt. Det er klar overgang mellom overkonsolidert og normalkonsolidert område. Prekonsolideringstrykket for blokkprøvene ligger mellom 95 og 100 kPa basert på CRS ødometerforsøk. Alle forsøkene er av meget god kvalitet, se tabell 9.7 hvor alle resultatene er oppsummert.



Figur 9.5: Resultater fra kontinuerlig ødometerforsøk, CRS011

Ødometermodulen ligger mellom 4 og 2.5 MPa og er tydelig i alle kurver. Overgangen fra OC til NC-området er tydelig markert i alle kurvene og viser prekonsolideringstrykk rundt 100 kPa. Å kun bestemme ett modultall er vanskelig siden kurven i NC-området ikke begynner i origo. I dette tilfellet blir det en referansespenning på rundt 70-80 kPa og modultall på 24-26. Dette modultallet ikke kan anvendes på spenninger rundt σ'_c for da omstrukturer materialet seg og oppfører seg veldig bløtt. Anbefalt modultall er mellom 5.2 og 9.5. Hvis man skal korrigere modultallet i forhold til origo, ligger den rundt 20, som vil si at leiren er fast til middels fast[34].

Konsolideringskoeffisient i OC-området ligger mellom 8 og 18.5 m²/år.



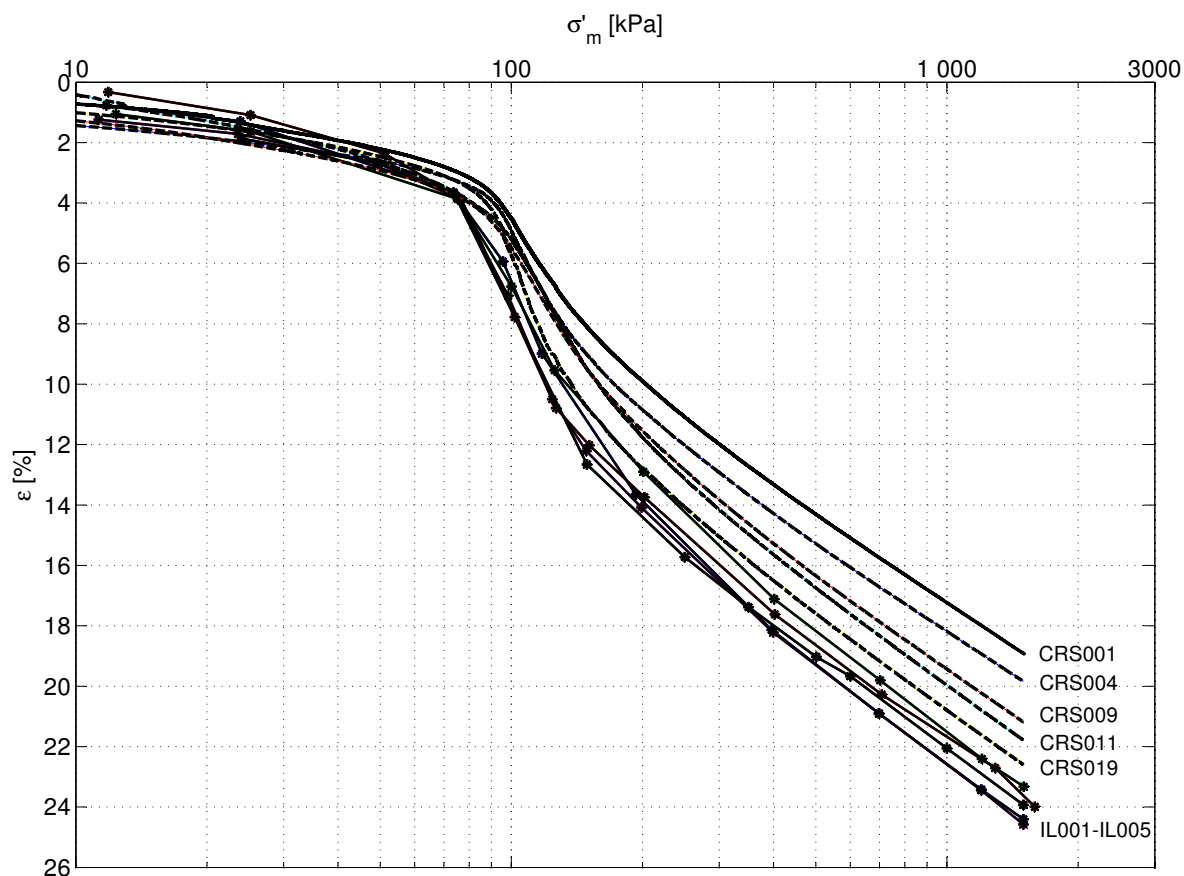
Figur 9.6: CRS ødometerforsøk med varierende deformasjonshastighet

Tre CRS-ødometre ble kjørt med saktere deformasjonshastighet enn 1.5 %/time, se figur 9.6. Det var lite forskjell mellom 1.5 og 1.2 %/time. Forsøket med 0.9 %/time gikk mer jevnere i OC-området av kurven og σ'_c var mindre tydelig. Med deformasjonshastighet på 0.6 %/time gikk kurven betydelig slakere, σ'_c var ikke lenger tydelig markert og viste en verdi på 150 kPa i prekonsolideringstrykk.

Poretrykket i CRS014 var 5-10 kPa mindre enn i de fleste CRS forsøk, men i forsøkene CRS016 og CRS017 var poretrykket mindre enn halvparten.

Verdien for konsolideringskoeffisient var ekstremt høy i CRS016, hele 80 m²/år i forhold til andre forsøk hvor den ligger mellom 8 og 14.

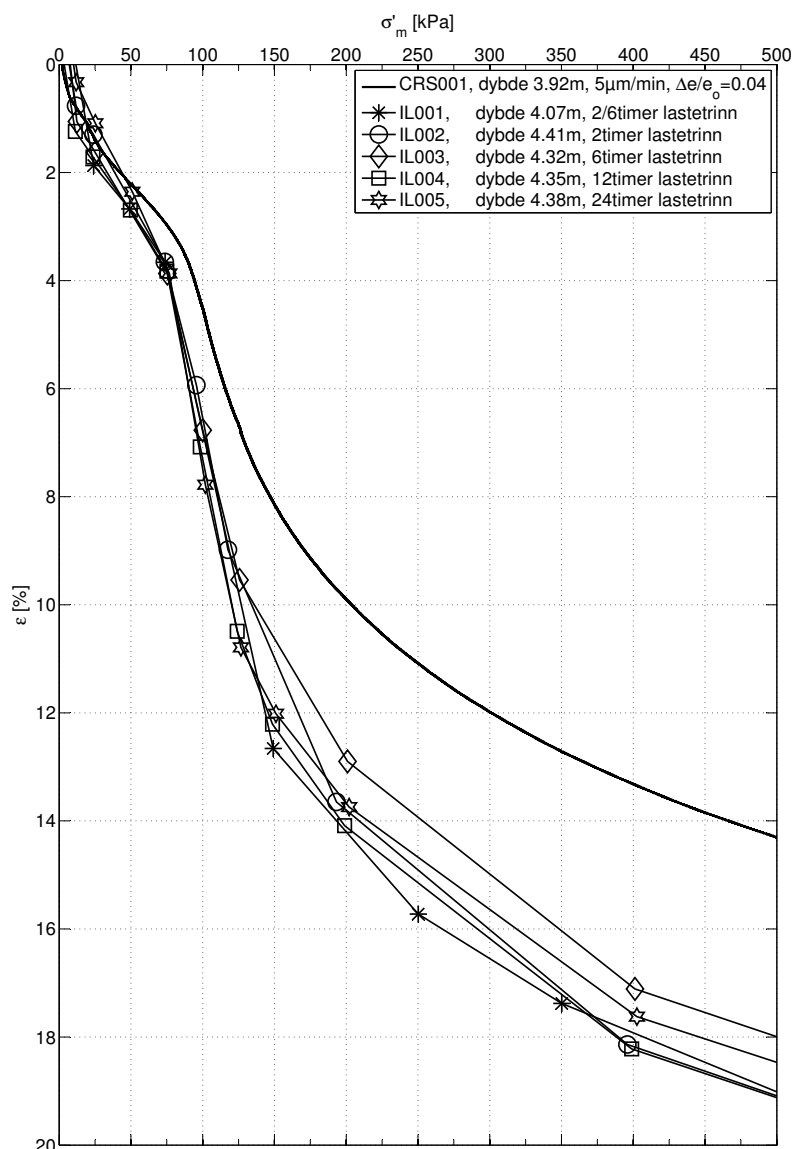
Alle forsøkene var enten av god eller meget god kvalitet.



Figur 9.7: CRS og IL ødometerforsøk på blokkprøver

I figur 9.7 er vist de fleste av CRS resultater og alle trinnvise ødometerresultater. Disse ble valgt på grunn av tilpasningen i OC-området av kurven. Noen ødometere utviklet tøyninger fortere eller saktere, se vedlegg D. Kurvene viser mindre avvik i tøyninger i OC-området enn i NC-området, hvor den varierer opp til 4% ved effektivspenning på 1500 kPa. I figur 9.8 er vist samme trinnvise ødometre mer detaljer.

CRS ødometre viser litt høyere prekonsolideringstrykk, noe som er vanlig på grunn av belastningshastighet og varighet. Prekonsolideringstrykket ligger mellom 90 og 100 kPa ifølge disse resultatene.

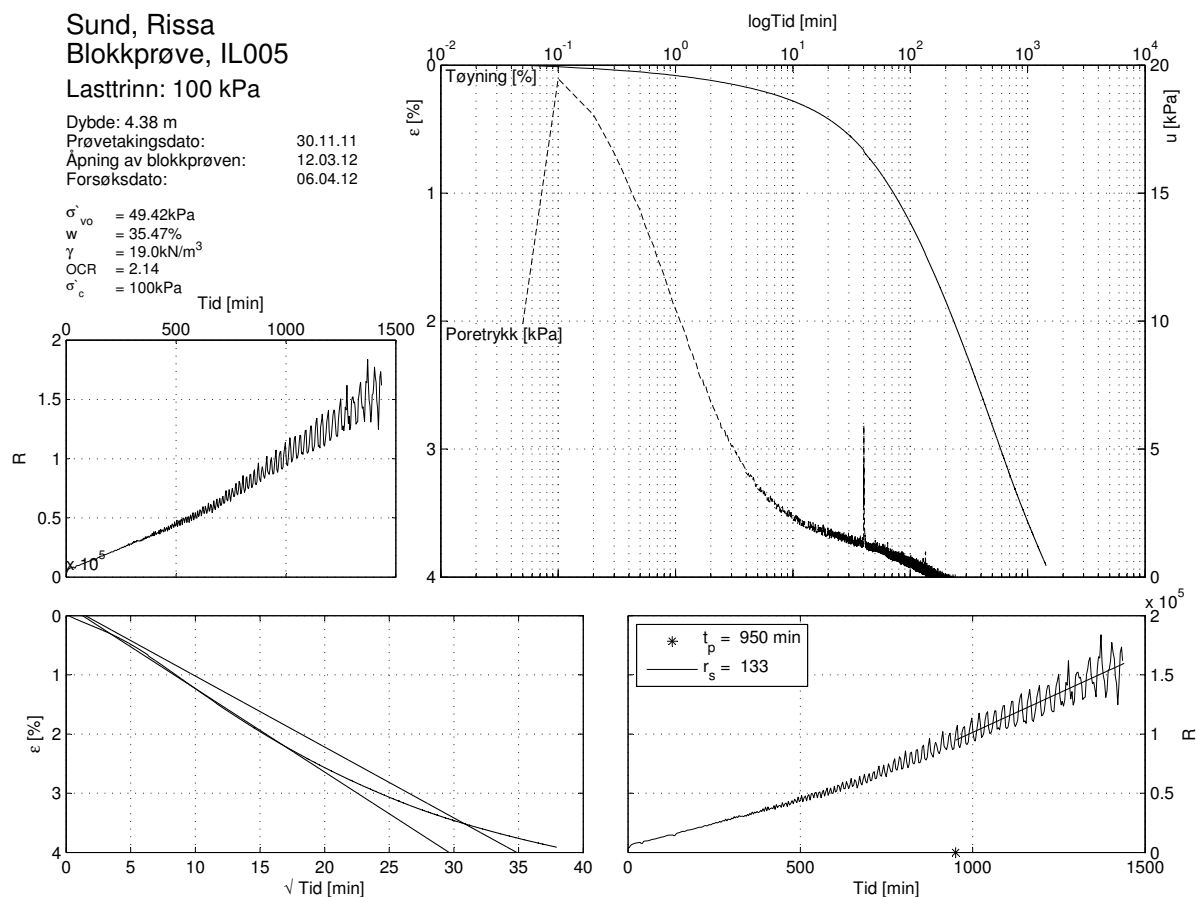


Figur 9.8: Trinnvise ødometre sammenlignet med CRS

Varigheten av lasttrinnene var 2 til 6 timer for IL001, 2 timer for IL002, 6 timer for IL003, 12 timer for IL004 og 24 timer for IL005. Resultatene fra alle lasttrinnene er vist i detaljer i vedlegg C.

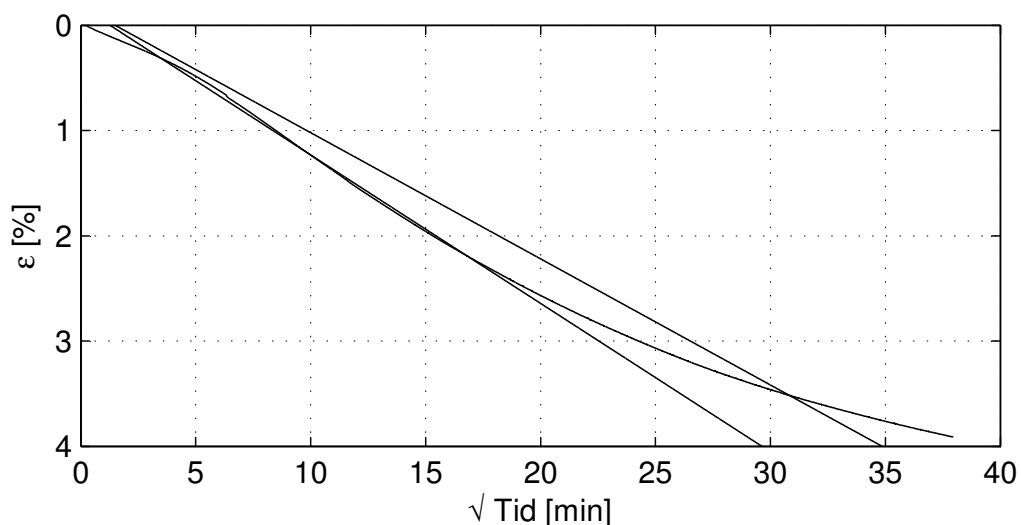
Trinnvise ødometerforsøk med 12 og 24 timers lasttrinn gir større deformasjoner etter prekonsolideringstrykket enn forsøk med lavere konsolideringstid. Ingen forskjeller mellom leire med turbulent og horisontal lagdeling ble funnet ut ifra parametrene nevnt over.

Den vanligste måten å finne primærkonsolideringstid på er Taylors konstruksjon, som også ble benyttet i bedømmelse av utførte trinnvise ødometre. I følge definisjonen er primærkonsolideringen ferdig når poretrykket går til null, da begynner sekundærkonsolideringen. Utførte trinnvise ødometre ble gjort med utstyr som også brukes for CRS, som vil si at poretrykket registreres. Det har blitt observert at ved lav primærkonsolideringstid stemmer Taylors konstruksjon bedre med registrert poretrykk. Når det tar mange timer for poretrykket å forsvinne, blir kurvene slakere og avviket i kurvetilpasningen blir større.



Figur 9.9: Lasttrinn 100 kPa i trinnvis ødometer IL005

Figur 9.9 viser et av lasttrinnene i IL005 som varte i 24 timer. Primærkonsolideringstid ble bestemt til å være 950 minutter i følge Taylors konstruksjon. På grunn av store deformasjoner i løpet av hele forsøket, ble linjen tilpasset til hele kurven. Selv med justeringer, forblir konsolideringstiden på mange. I poretrykksutviklingen plottet med tid, ser man at poretrykket begynner å nærme seg null bare etter en times konsolidering.

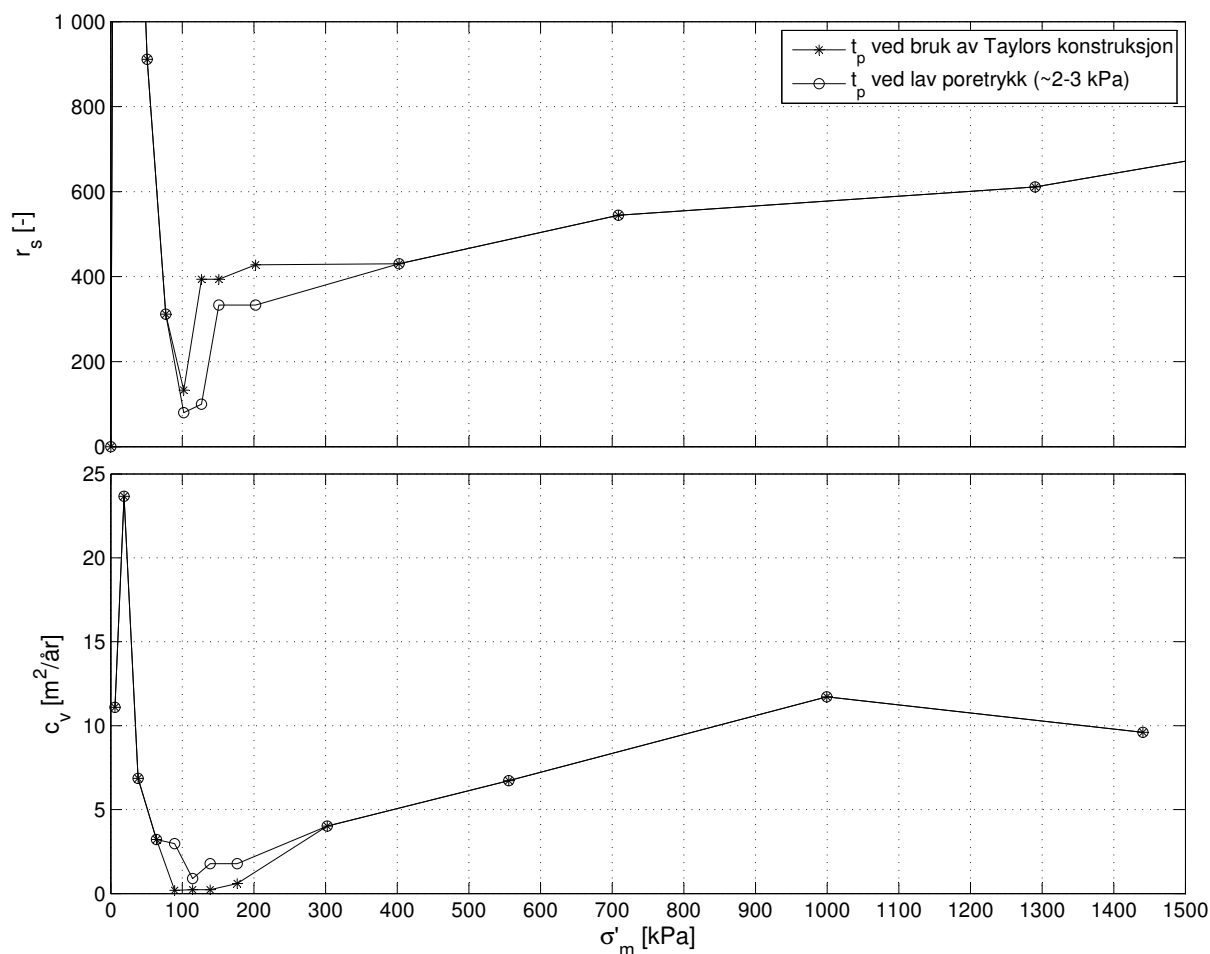


Figur 9.10: Tid-deformasjon kurve fra figur 9.9

I figur 9.10 er vist et forstørret bilde av tid-deformasjonskurve for IL005. Her er det synlig at Taylors konstruksjon ikke kunne vise primærkonsolideringstid på en time da kurven bøyer seg nedover i første time. Etter en time begynner kurven å glatte seg sakte ut, akkurat når poretrykket når lave verdier.

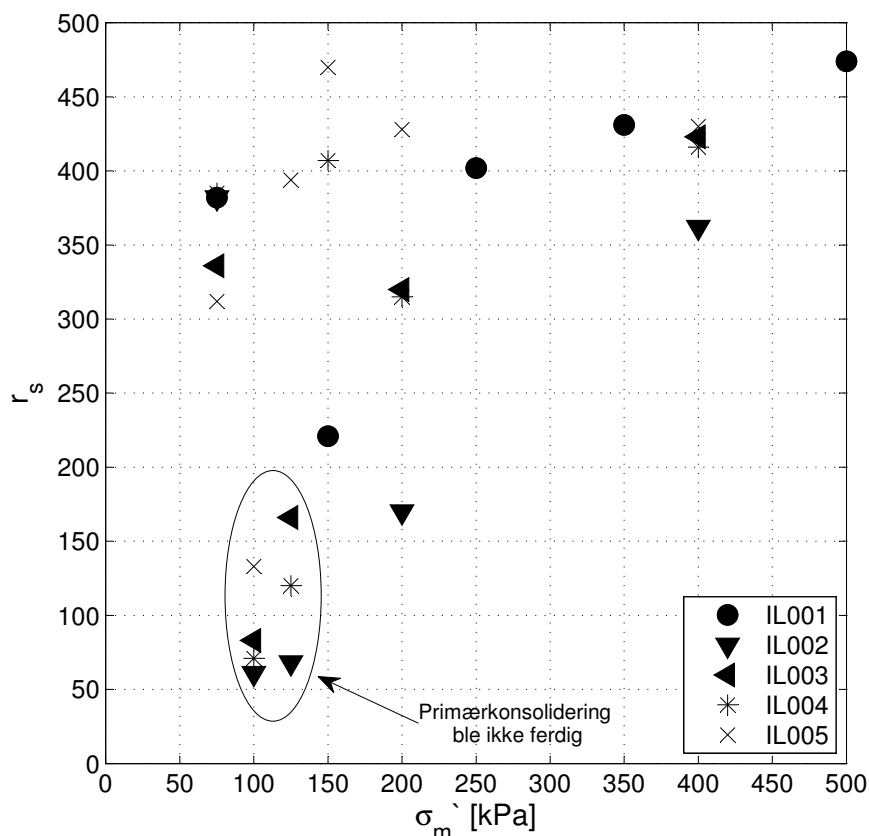
Hvis man baserer seg bare på utviklingen av poretrykket, er primærkonsolideringen ferdig etter en time. Dette påvirker parametre som kryptall, som blir på rundt 80 i stedet for 133. Konsolideringskoeffisienten øker fra 0.2 til 3 m²/år, noe som stemmer bedre med resultatene fra CRS-forsøk.

Med å justere parametrene i forhold til poretrykket, blir det korreksjon i fire punkter, se figur 9.11. Konsolideringskoeffisienten viser større verdier rundt prekonsolideringstrykket.



Figur 9.11: Korrigert t_p og r_s

Se vedlegg C for detaljerte resultater fra alle ødometre.



Figur 9.12: Kryptall fra IL ødometerforsøk på blokkprøver, se også tabell 9.2

I figur 9.12 er alle kryptallene plottet mot effektivspenning. Lasttrinnet på 125 kPa i IL003 ble nesten ferdig med primærkonsolideringen, poretrykket nærmet seg null i siste timene av forsøket.

Alle forsøk, bortsett fra IL005, ble ikke ferdig med primærkonsolidering. I lasttrinn 100 kPa ligger mange verdiene nært det riktige kryptallet etter 24 timer, men i lasttrinn 125 kPa er kryptallet mer enn det dobbelte av det som ble antatt tidligere. Disse resultatene gir en konsolideringskoeffisient på nesten null ved σ'_c . I CRS ødometre ligger den rundt 2 m²/år.

Det tar minst 24 timer med konstant belastning på 100-125 kPa rundt prekonsolideringsstrykket, som er 100 kPa, bare for å få unna primærkonsolidering. Hvis man belaster prøven med 150 kPa med en gang og hopper over spenninger som er tilnærmet σ'_c , får prøven store deformasjoner - opptil 9%, men primærkonsolideringen blir ferdig på noen få timer.

Kryptallet øker rundt σ'_c med tettere lasttrinn, se IL001 og IL005 ved 150 kPa. Prøven får mindre sjokk av økt belastning ved små lasttrinn, noe som gir mer motstand mot kryp.

Tabell 9.2: Trinnvise ødometre IL001-005, kryptall og deformasjon, til figur 9.12

Lasttrinn	IL001	2-6 t 4.07 m	IL002	2 t 4.41 m	IL003	6 t 4.32 m	IL004	12 t 4.32 m	IL005	24 t 4.38 m
[kPa]	r_s [-]	ε [%]	r_s [-]	ε [%]	r_s [-]	ε [%]	r_s [-]	ε [%]	r_s [-]	ε [%]
12.5					4676	2.4	4918	1.3	4851	1.7
25	1161	0.8	1842	0.5	2080	0.6	2713	0.5	1994	0.7
50							1199	1	911	1.3
75	382	1	382	2.3	336	2.3	385	1.2	312	1.5
100			61*	2.3	83*	2.9	71*	3.3	133	4
125			68*	3	166*	2.8	120*	3.3	394	3.9
150	221	9					407	1.7	470	1.2
200			170	4.6	320	3.2	315	1.9	428	1.8
250	402	3.1								
350	431	1.1								
400			362	4.5	423	4.3	416	4.2	430	3.8
500	474	1.7								

* Primærkonsolidering ble ikke ferdig, i følge av Taylor konstruksjon

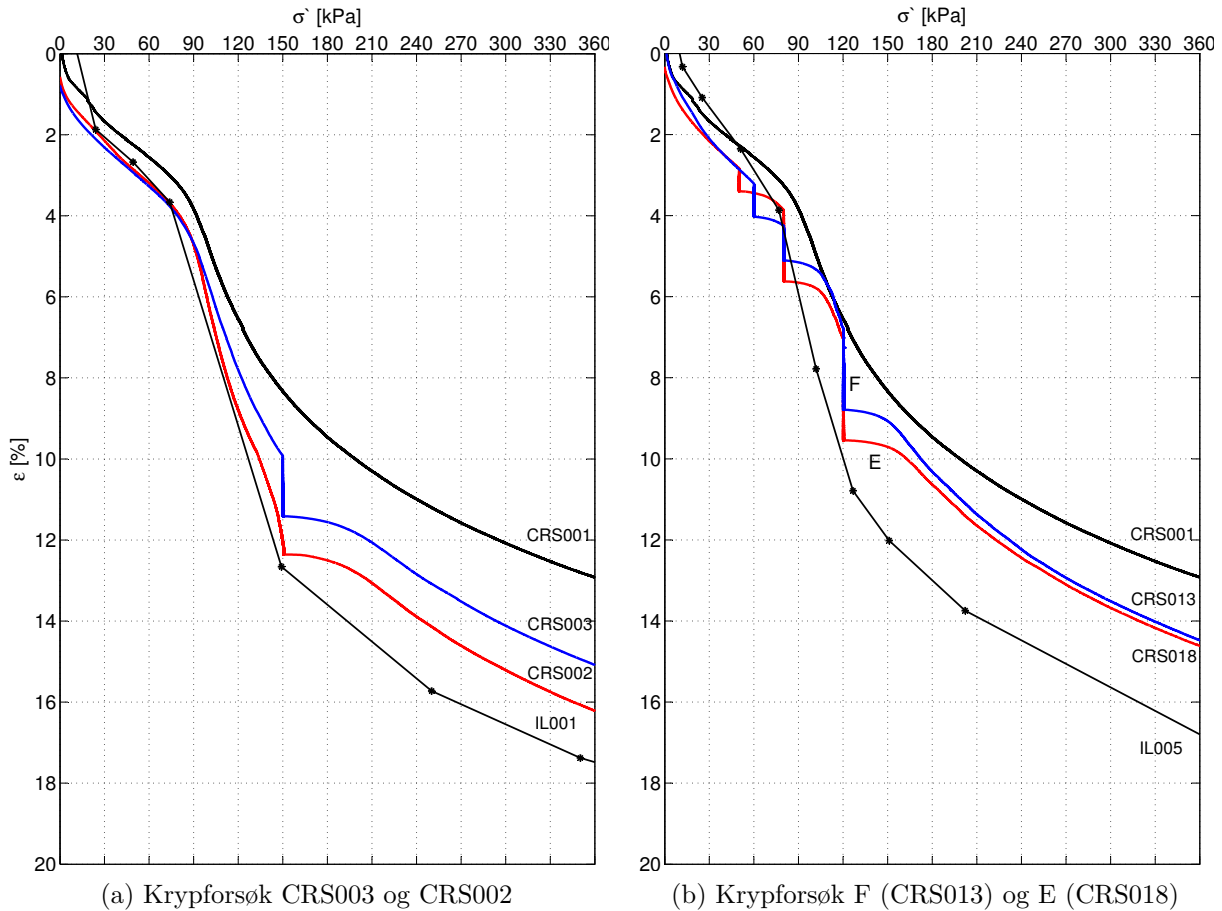
Tabell 9.3: Kryptall til forsøk vist figur 9.13.

Dybde [m]	Krypforsøk	r_s [-]	ε [%]	Dybde [m]	Trippelkrypforsøk	r_s [-]	ε [%]
3.96	CRS002 150	625	2.5	3.80	E 50	1299	0.57
3.99	CRS003 150	476	1.5	3.64	F 60	456	0.82
4.07	IL001	221	9	4.38	IL005 50	911	1.25
					E 80	226	1.76
					F 80	485	0.86
					IL005 75	312	1.5
					E 120	239	2.5
					F 120	260	2
					IL005 125	394	3

Tabell 9.4: Kryptall til forsøk vist i figur 9.14

Dybde [m]	Krypforsøk	r_s [-]	ε [%]	r_s [-]	ε [%]	r_s [-]	ε [%]		
4.10	A 80	997	0.63	A 90	764*	0.34	A 150	437	1.5
3.64	B 80	458	1.1	B 90	284*	0.65	B 150	338	1.7
3.64	C 80	279	1.5	C 90	260*	0.95	C 150	349	1.7
4.37	D 80	286	1.91	D 90	161*	1.36	D 150	437	1.6
4.32	IL004 75	385	1.2	IL004 100	71*	3.25	IL004 150	407	1.7
4.38	IL005 75	312	1.5	IL005 100	133	4	IL005 150	470	1.2

* Primærkonsolidering ble ikke ferdig, i følge av Taylor konstruksjon



Figur 9.13: Krypforøk (24 timer) sammenlignet med CRS001 og IL ødometerforsøk på blokkprøver

Flere forskjellige kryptester ble utført på Rissaleiren, se figurer 9.13 og 9.14. I figur 9.13a er vist to kryptforsøk, hvor forsøket CRS002 hadde en konstant totalspenning på 150 kPa og forsøket CRS003 hadde konstant effektivspenning på 150 kPa. Disse to forsøkene er sammenlignet med en trinnvis ødometer med store lasttrinn, en av dem går fra 75 kPa til 150 kPa.

Krypforøket CRS002 ble utført med samme betingelser som trinnvis ødometer, med konstant totalspenning. Disse to forsøkene fikk tilnærmet samme deformasjon fra 75 til 150 kPa i belastning. Prøven hadde nesten tre ganger så stor kryptmotstand i CRS002 enn i IL001. Grunnen til det kan være forskjeller i forløpet av effektivspenninger. Prøven i CRS002 hadde belastning på 133 kPa i effektiv spenning når totalspenning ble holdt konstant, mens prøven i IL001 bare hadde 80 kPa i effektivspenning. Gradvis økning av effektiv spenning gir lavere kryptall.

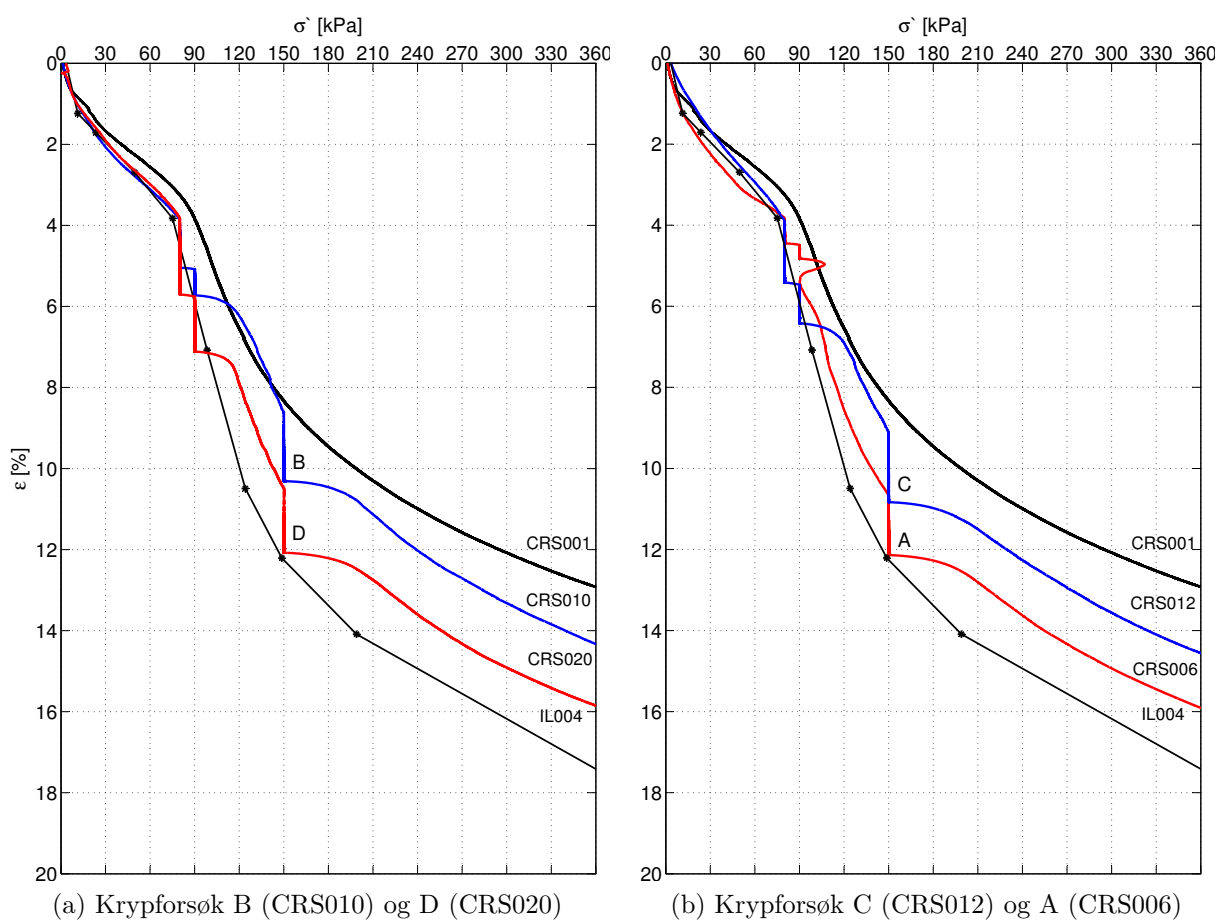
Forsøket CRS003 hadde konstant effektivspenning på 150 kPa i 24 timer, og når poretrykket ble lavere ble prøven belastet mer. På grunn av høyere effektivspenning som utgangspunkt ble kryptallet litt lavere enn i forsøket CRS002, men siden effektivspenningen ble holdt konstant ble resultatet høyere enn i trinnvis ødometer.

I figur 9.13b er plottet kontinuerlige ødometre med tre kryptrinn med CRS001 og IL005. Alle forsøkene hadde konstant effektivspenning i 24 timer. IL005 har små deformasjoner

ved lave lasttrinn og ligger høyere enn krypforsøkene i OC-området på kurvene.

Det er stor motstand mot kryp ved belastning på 50 kPa i effektivspenning, med 10 kPa ekstra i belastning blir kryptallet halvert. Ved belastning på 60-75 kPa har leiren et kryptall som tilsvarende en NC-leire, det er også spenningsområdet rett etter in situ effektivspenning.

Ved spenninger rett før prekonsolideringstrykket, 75 kPa, ligger kryptallet rundt 350. Nærmere σ'_c , som 80 kPa synker kryptallet til 300. Ved σ'_c blir kryptallet lavest, 133. Bare ett trinnvis ødometerforsøk hadde nok tid for å fullføre primærkonsolideringen, CRS005, det tok nesten 16 timer.



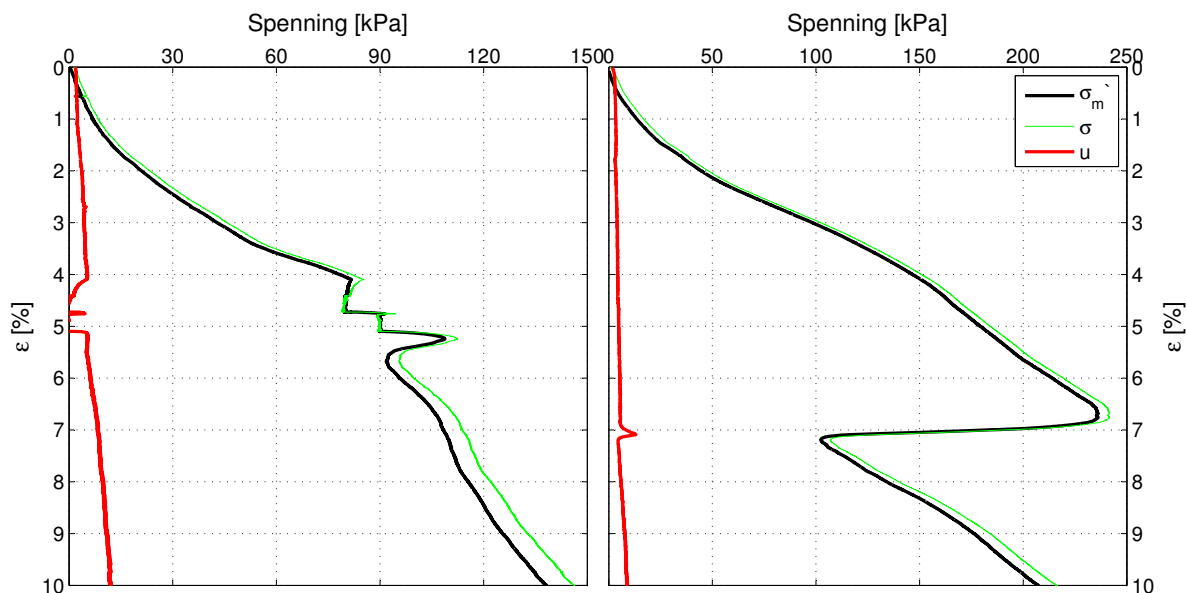
Figur 9.14: Krypforsøk (24 timer) sammenlignet med CRS001 og IL004 ødometerforsøk på blokkprøver

I figur 9.14 er fire krypforsøk utført med CRS ødometer med konstant effektivspenning i tre lasttrinn, 80, 90 og 150 kPa med varighet på 24 timer. Krypforsøkene er plottet sammen med CRS001 og IL004.

Det andre kryptrinn i krypforsøkene A, B, C og D, på 90 kPa, er plottet i vedlegg C. Poretrykket var veldig lavt, under 5 kPa, for mesteparten av forsøkene. I følge definisjonen av primær- og sekundærkonsolidering, er den utviklede deformasjonen i disse trinnene sekundærkonsolidering. Formen på kurvene ligner på poretrykk-vertikalspenning diagram i figur 5.2, hvor kurven kommer tilbake til sin opprinnelige mønster etter å ha konstant belastning i en periode.

Deformasjonene etter lasttrinn i overgangen mellom OC- og NC-området er større i krypforsøkene enn i trinnvise ødometre.

Forsøket CRS006 har et hopp i kurven rett etter det andre kryptrinnet, se figur 9.14. Prøven tar opp større spenninger ved overgangen mellom kryptrinnet og kontinuerlig pålastning, men så deformerer den seg og spenningen reduseres. I figur 9.15 er dette vist i detaljer.

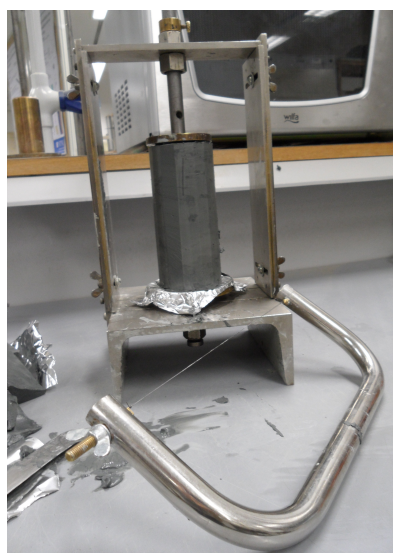


Figur 9.15: Krypforsøket CRS006 og CRS008, hvor filteret satt fast

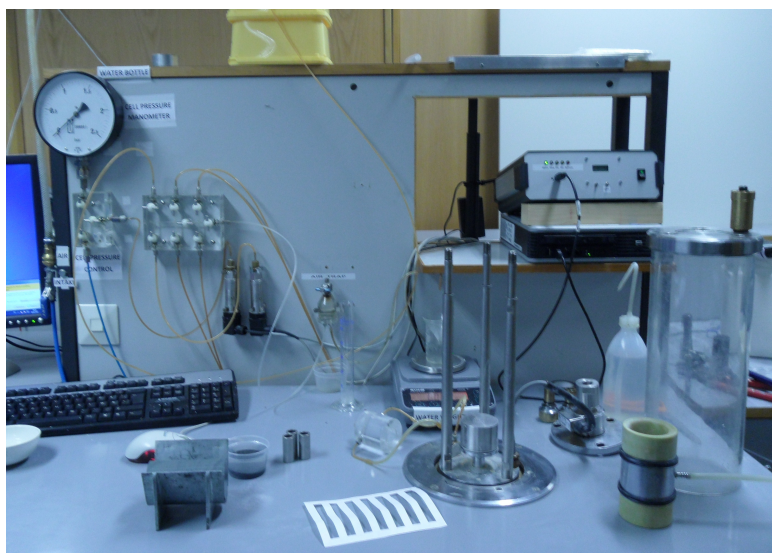
Det andre kryptrinnet i CRS006 viser stor motstand mot kryp og deformerer seg lite. Når kontinuerlig belastning fortsetter, løsner prøven eller filteret seg og store deformasjoner oppstår. Dette resultatet var et engangstilfelle og grunnen er sannsynligvis filteret som satt litt fast eller lignende. Det er nesten ingen poretrykksrespons rundt dette fenomenet, men som det er vist i figur til høyre, selv når filteret ligger skjevt på ødometerringen, gir det bare et lite hopp i poretrykket når den faller på plass. Spenningsresponsen er mye større i sånne tilfeller enn poretrykksrespons.

9.3 Treaksialforsøk

Treaksialforsøk er en metode som kan anvendes på alle typer materialer for å bestemme skjærstyrken. Forsøksutstyret er bygd for en prøve med standard dimensjoner, 54 mm i diameter og med høyde på 10 cm. Det finnes flere sylinder- og blokkprøver som har større dimensjoner og må derfor trimmes, det bør gjøres med en tynn strammet streng, se figur 9.16a.



(a) Trimming av leiren for treaksialforsøk med tråsåg

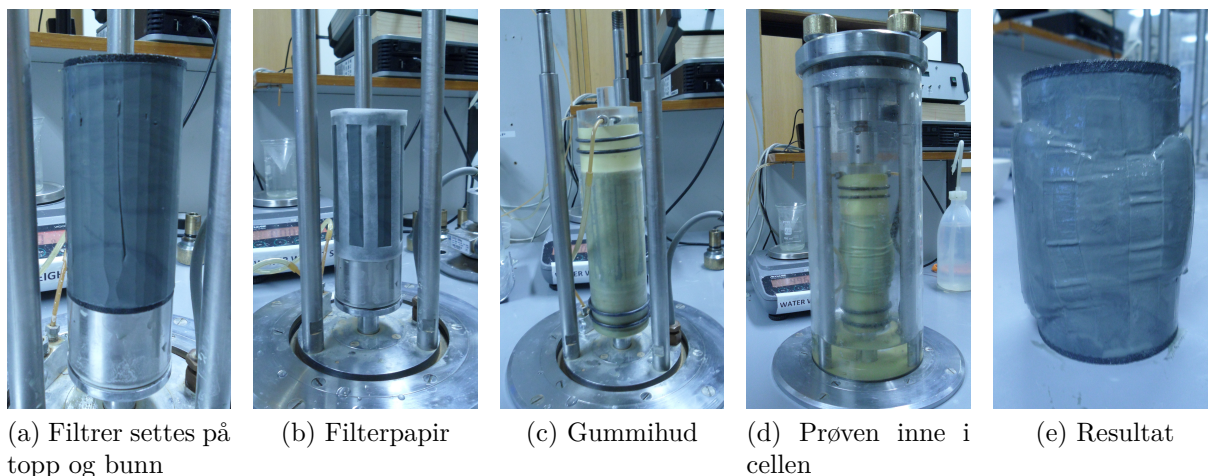


(b) Utstyr for treaksialforsøk ved NTNU

Figur 9.16: Forberedelser til utførelse av treaksialforsøk

Forsøksprosedyre og utstyr[34]: I triaksialforsøket kontrollerer man den radielle spenningen og aksialdeformasjon på prøven. Radiell spenning påføres ved hjelp vann under kontrollert trykk som omslutter prøven og monteres i treaksen slik som er vist i figur 9.17. To filtre settes på endene og et papirfilter omslutter prøven, gummiene rundt prøven er for å unngå direkte kontakt mellom vann og jordprøven. Den holdes fast med gummiringer til toppstykket og pidestallen, se figur 9.17c. Filtrene er i kommunikasjon med ledninger som fører utpresset vann til et måleglass. Filterpapir skal hjelpe utpresset porevann til å strømme mer effektivt til utløpsledninger. Ledningen som fører porevannet ut fra cellen stenges når forsøket skal være udrenert. Poretrykket måles i toppen og bunnen av prøven.

I figur 9.16b vises utstyret for treaksialforsøk som ble benyttet i alle forsøkene. Cellen består av et stempel som beveger seg opp med en gitt hastighet og deformerer prøven mens spenninger og poretrykket registreres. Systemet spyles før bruk med destillert vann uten luft for å unngå luftbobler i systemet. Filtrene vaskes grundig etter hver bruk og settes i vakuum for å presse ut luft.



Figur 9.17: Utførelse av treaksialforsøk, Geoteknisk Laboratorie, NTNU, vår 2012

Triaksialforsøket kan deles i to faser, konsolideringsfase og skjærforsøk. I konsolideringsfasen settes prøven i apparatet med porevannsledningene åpne. Man kan konsolidere prøven isotropt hvor spenningen er lik i alle retninger eller anisotropt hvor man påfører en aksial spenning i tillegg til den radielle. Prøven konsolideres til en spenning som tilsvarer den spenning som er i jorda. Porevannsledningen kan være åpen for drenert skjærforsøk eller stengt for udrenert. Skjærforsøket utføres ved å utsette prøven for forskjell i hovedspenninger slik at skjærspenninger oppstår.

Det er to måter å utsette prøven for forskjell i hovedspenninger. Aktiv treaksialforsøk utføres ved å øke aksial spenning mens radiell spenning holdes konstant. Passiv treaksialforsøk utføres ved at toppstykket og bunnsokkel trekkes fra hverandre mens radiell holdes konstant. Et treaksialforsøk blir gitt en av disse betegnelsene etter kjøreprosedyren.

Poretrykket måles i toppen og bunnen av prøven, noe som ikke nødvendigvis er representativt siden bruddet pleier å gå gjennom midten og det tar tid før poretrykksmålere registrerer forandringen.

Feilkilder: Utstyret har blitt bygd om på grunn av oppdateringer i systemet, i prosessen ble noen deler erstattet av nye. Det førte til at den delen av treaksialcellen som skal holde systemet stivt mens deformasjoner påføres, hadde noen millimeter å flytte på seg. Resultatet ble at i begynnelsen av alle forsøk ser man at prøven får en deformasjon, men ikke reagerer på den med spenninger. I virkeligheten ble prøven bare løftet opp noen millimeter i cellen, helt til den fikk kontakt i toppen. Dette gir bare et avvik i deformasjon som blir tatt hensyn til i beregninger.

I utstyret, som er vist i figur 9.16b, er det mange ledninger som fører til en kloss på veggen med et system med kraner. Ulempen med den er at luftbobler som kommer ut under spylingen av systemet setter seg fast i kransystemet. Nøye gjennomgang av ledninger er nødvendig for å unngå bobler som demper poretrykksmålinger.

Beregninger[34]: Arealkorreksjonen etter konsolideringsfasen:

$$A_a = A_o \left(1 - \frac{\Delta V}{V_o}\right) / \left(1 - \frac{\Delta V}{3V_o}\right) \quad (9.7)$$

- A_a = prøvens areal etter konsolidering
- A_o = prøvens areal ved innbygging, 23.2 cm²
- h_o = prøvens høyde ved innbygging, 10 cm
- V_o = volumet ved innbygging, $V_o = A_o \cdot h_o = 232$ cm³
- ΔV = volumforandring etter konsolideringsfasen (utpresset vann)

Deformasjon, δ , blir registrert i skjærfasen og tøyning blir:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h_o} \quad (9.8)$$

Arealkorreksjon under skjærfasen:

$$A_s = A_a(1 - \varepsilon) \quad (9.9)$$

hvor ε er tøyningen under skjærfasen. Denne korreksjonen gjøres gjennom hele forsøket med økende tøyning. Vertikal tilleggsbelastning, P , brukes for å beregne vertikal spenning:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A_s} + \sigma_3 \quad (9.10)$$

Middelspenning, radiell spenning i treaksialcellen gir $\sigma'_2 = \sigma'_3$:

$$p' = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3) = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + 2\sigma'_3) \quad (9.11)$$

Deviatorspenning:

$$q = \sigma'_1 - \sigma'_3 \quad (9.12)$$

I NTNU-plott gir S_f helningen på bruddlinjen:

$$S_f = \frac{\sin\phi}{1 - \sin\phi} \quad (9.13)$$

M_f gir helningen på bruddlinjen i $p' - q$ -plott, for aktivt treaksialforsøk:

$$M_{cf} = \frac{6\sin\phi}{3 - \sin\phi} \quad (9.14)$$

Og for passiv treaksialforsøk:

$$M_{ef} = \frac{6\sin\phi}{3 + \sin\phi} \quad (9.15)$$

Dilatansparameteren eller Janbus poretrykksparameter:

$$D = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta\sigma'_3}{\frac{1}{2}(\Delta\sigma'_1 - \Delta\sigma'_3)} + \frac{2}{3} \right) \quad (9.16)$$

hvor $\Delta\sigma_3/\frac{1}{2}(\Delta\sigma'_1 - \Delta\sigma'_3)$ er helningen i det elastiske område i NTNU-plot. Dilatansparameteren er null, det vil si elastisk oppførsel, ved helning 2:3 i NTNU-plot, 1:3 i NGI-plot og i $p' - q$ -plot er den en rett linje normalt på p' -aksen. Ved negativ D , oppfører materialet seg kontraktant og ved positiv D dilatant.

9.3.1 Baktrykk

I materialer som sand og silt er det ofte luftblærer som vanligvis ikke forsvinner etter konsolideringen. For å kontrollere metningen i prøven kan en B-test utføres, hvor parameteren Skemptions B verdi registreres:

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_3} \quad (9.17)$$

Parameteren gir indikasjon på hvor stor metning en prøve har og bør være minst 0.95, det vil si komme opp til minst 95% metning innen ett minutt. Hvis parameteren ikke tilfredsstillende kravet kan en kunstig metning påføres med baktrykk i prøven[34].

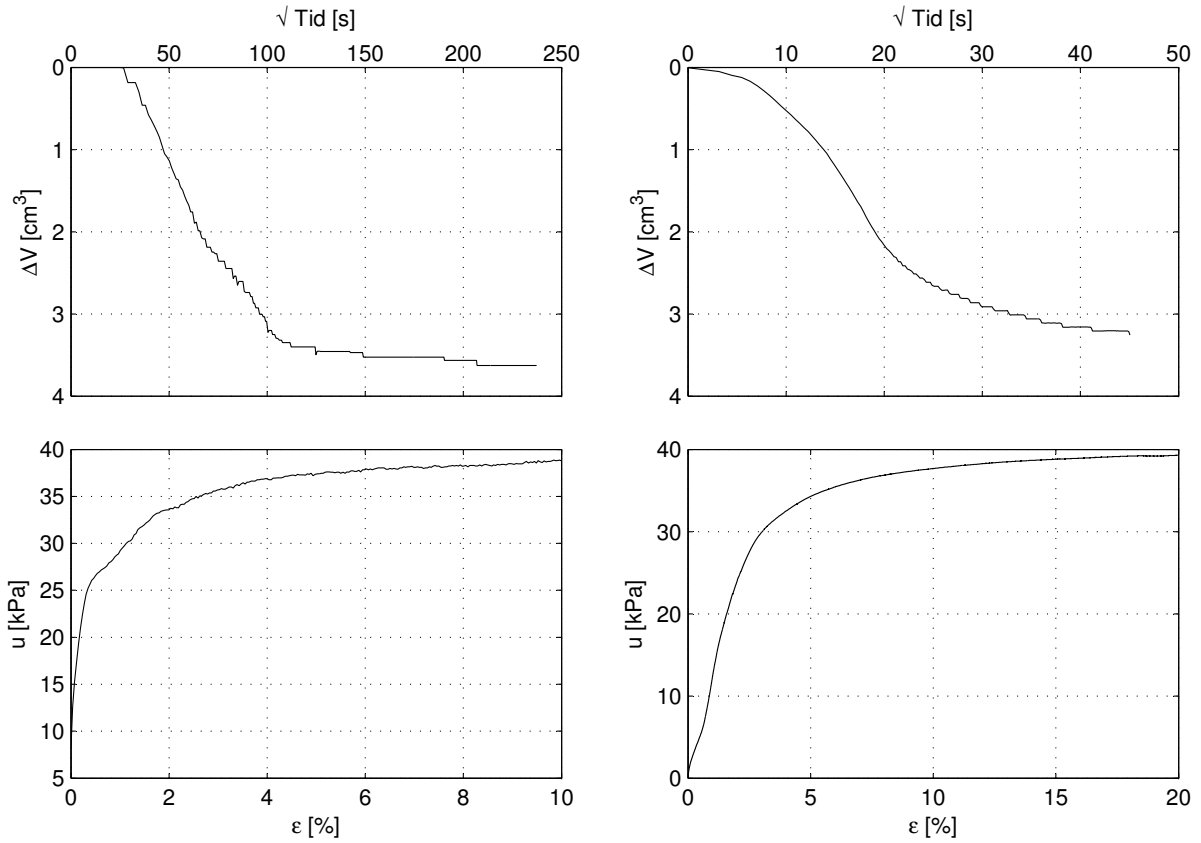
Dette gjøres ved trinnvis eller parallell økning av celletrykket og det indre trykket i prøven, noe som ikke gir forandring i effektive spenninger.

Baktrykket bør påføres sakte for å unngå deformasjoner, ikke mer enn 0.15% er tillatt. Dette kan være vanskelig å oppnå med delvis mettede bløte leirer. Baktrykket påføres før konsolideringen ved trinnvis eller parallell økningen av celletrykket. Dreneringsledningen er stengt under den prosessen.

In situ betingelser for leire som ligger under grunnvannspeilet, 1-2 m under terrenget i Norge, tilsvarer mettede betingelser. Metning med baktrykk er viktig for nøyaktige målinger av volumendring under konsolideringsfasen og poretrykksforandringen i skjærfasen. Baktrykket bør påføres ved å estimerte in situ spenninger for å minimalisere volumforandring og for å unngå at kryp eller svelling oppstår i prøven. Baktrykket på 200-300 kPa er vanligvis nok for å mette de fleste bløte leirer[15]. For fast leire kan baktrykk på 1500 kPa være nødvendig[4].

En av de aktive treaksialforsøkene på leiren fra Rissa ble utført av Multiconsult med baktrykk på 400 kPa, se figur 9.18a. Dette forsøket sammenlignes med et forsøk som ble utført ved NTNU uten baktrykk, se figur 9.18b. Prøvene kommer fra tilnærmet samme dybde, og prøven i forsøket CAUa006 ble konsolidert noen få kPa mer enn i CAUa102. Det er små forskjeller i volumendringen, 0.16% mer i forsøket CAUa102. Dilatansparameteren ligger rundt null i begge, men friksjonsvinkelen er større i CAUa102, noe som gir liten attraksjon i forhold til det andre forsøket. Poretrykket utvikler seg fortere i CAUa102, noe som får prøven til brudd ved lav tøyning, på 0.73%. Det er vanskelig å si hvor mye den feilaktige deformasjonen i begynnelsen av forsøket, se avsnitt om utstyret i treaksialforsøk, påvirker videre utviklingen av poretrykket. Forsøket CAUa006 har lavere poretrykksutvikling enn CAUa102, med rundt 6% ved lave tøyninger. Dette fører til at prøven med baktrykk oppfører seg dobbelt så stivt og får deformasjoner mye fortere. Dette har ikke

hatt innvirkning på udrenert skjærstyrke som ligger rundt 28 kPa i begge forsøkene. Det er mulig at mangel på baktrykk gir større utslag på forstyrrede prøver enn på blokkprøver med litt lang lagringstid, som i dette tilfelle.

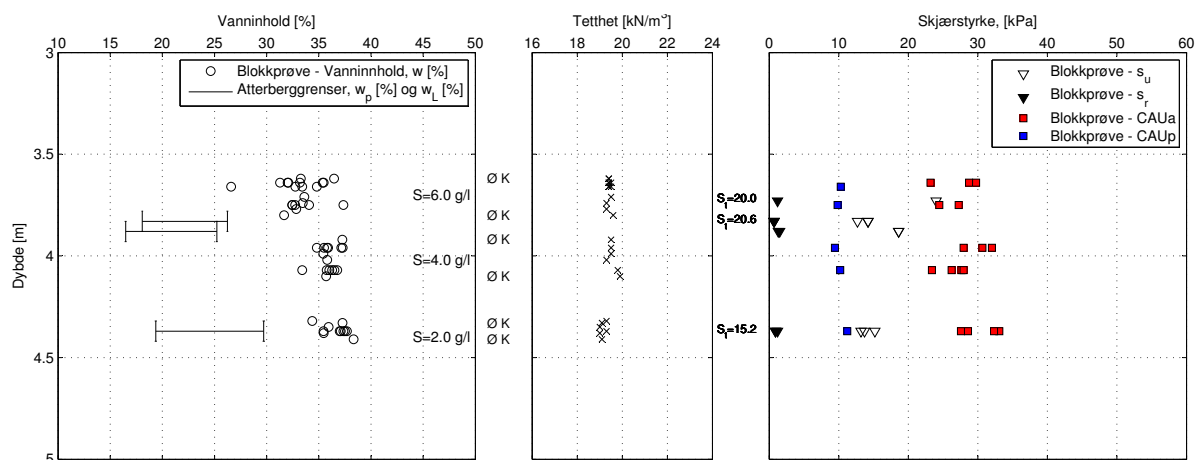


(a) Forsøk CAUa102, utført av Multiconsult med 400kPa i baktrykk, $\sigma_r = 49$ kPa og $\sigma_a = 57$ kPa, 1.2 %/time
 (b) Forsøk CAUa006, utført uten baktrykk, $\sigma_r = 40$ kPa og $\sigma_a = 50$ kPa, 1.0 %/time

Figur 9.18: Treaksialforsøk på Rissa leire, se vedlegg B for flere detaljer

9.3.2 Resultater

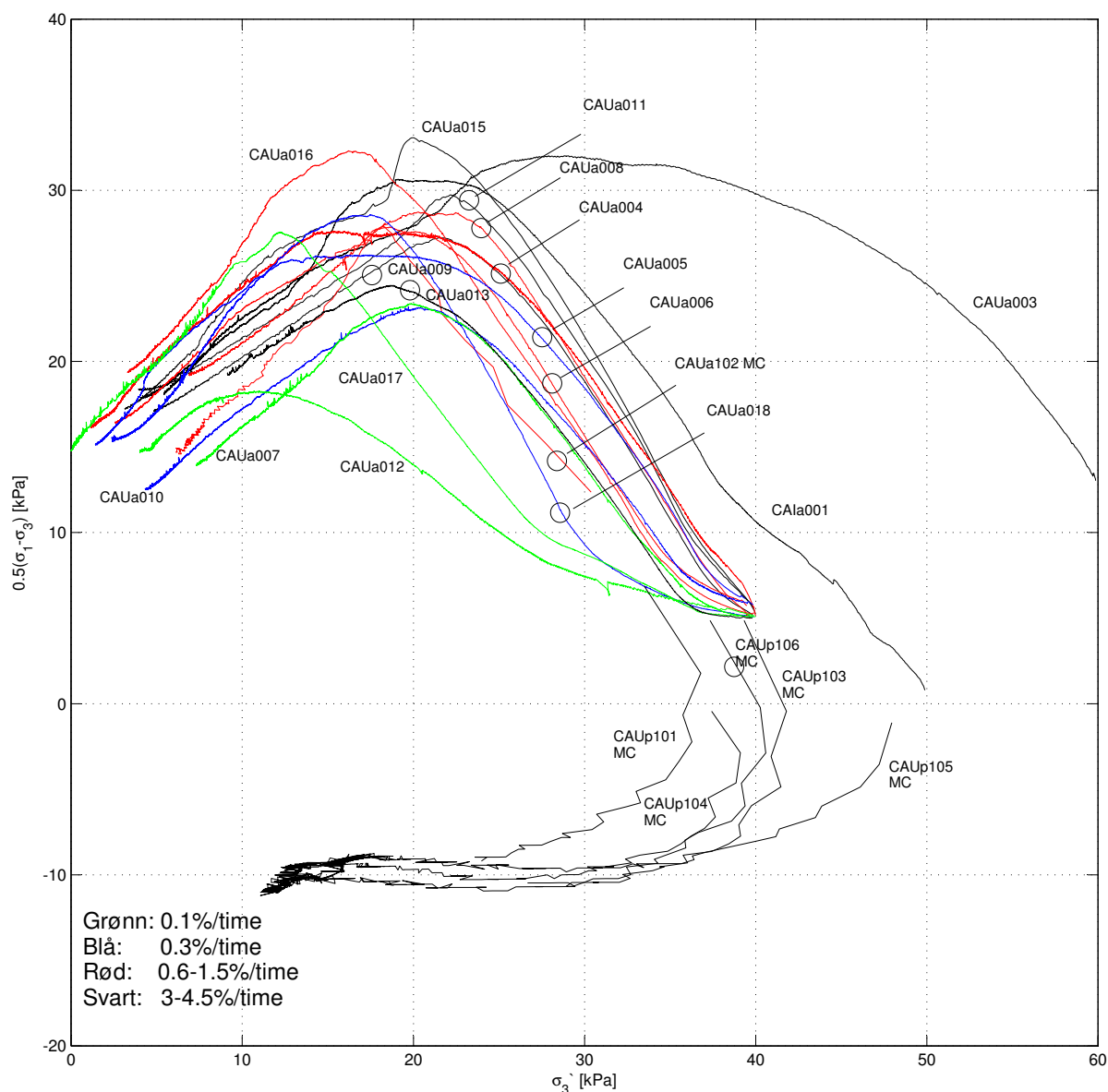
Alle resultater fra treaksialforsøk er oppgitt i detaljer i vedlegg B, dette kapitlet bør leses parallelt med vedlegget.



Figur 9.19: Samlet resultat av blokkprøveresultater

Oppsummerte resultater fra laboratorieforsøk på blokkprøver er i figur 9.19. Vanninnholdet øker med dybden, sammen med udrenert skjærstyrke i aktive treaksialforsøk og plastisitetsindeksen. Sensitiviteten minker med dybden, sammen med tyngdetettheten og saltinnholdet i porene. Det at saltinnholdet synker tyder på at det kan være svakere lag under området hvor blokkprøvene ble tatt. Samtidig øker plastisiteten og skjærstyrken med dybden noe som betyr at undersøkt saltinnhold ikke påvirker leirens styrke.

Resultater fra passive treaksialforsøk viser ingen tydelige indikasjoner på økning av udrenert skjærstyrke med dybde. Det samme gjelder også skjærstyrke funnet gjennom konusforsøket.



Figur 9.20: Alle treaksialforsøk på blokkprøver fra Rissa, se tabell 9.6 for flere detaljer (MC=Multiconsult)

I figur 9.20 er plottet alle treaksialforsøkene som ble utført på blokkprøver og i tabell 9.5 er en oversikt over tøyningshastigheten i alle forsøkene. Alle forsøkene er plottet separat med detaljer i vedlegg B.

Tabell 9.5: Tøyningshastighet i treaksialforsøk

[%/time]	Forsøk	[%/time]	Forsøk	[%/time]	Forsøk
4.5	CAUa011	1.5	CAUa008	0.3	CAUa005
3.0	CAUa001	1.2	CAUa102		CAUa010
	CAUa003	1.0	CAUa006		CAUa018
	CAUa009		CAUa016	0.1	CAUa007
	CAUa015	0.6	CAUa004		CAUa012
					CAUa017

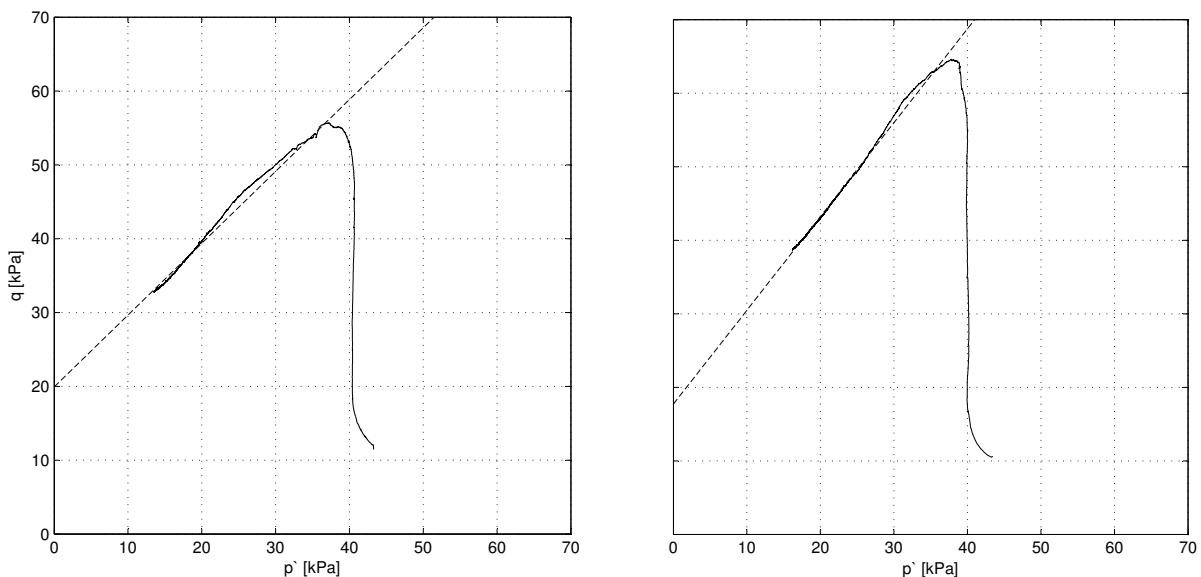
Fargekoden viser at forsøkene som ble kjørt med stor tøyningshastighet, over 3%/time, gir de største verdiene av udrenert skjærstyrke. En av forsøkene med tøyningshastighet på 1%/time skiller seg ut, forsøk CAUa016, som har en av de største styrkeverdiene, etter forsøket CAUa015. Disse to prøvene kommer fra samme blokkprøve og ble testet kort tid etter åpningen av prøven, leiren hadde horisontal lagdeling noe som påvirker styrken. Svakere prøver hadde turbulent lagdeling med uregelmessige skrå lag, disse virker som glideflater når prøven kjøres til brudd i treaksialforsøk.

Legg merke til spenningsstien i begynnelsen av alle forsøk, noen av dem har en hale. Som dette har blitt nevnt tidligere, deformasjonutstyret i treaksialforsøk ikke var fast innspent, noe forårsaket mangel på kontakt mellom prøven og utstyret. Det er vanskelig å si om styrken burde vært noen kPa høyere, for å være på den konservative siden ble ikke udrenert skjærstyrke resultatene korrigert.

Som et eksempel ble forsøkene CAUa006 og CAUa016 sammenlignet i figur 9.21. Det er små forskjeller i effektivspenning, OCR og tyngdetetthet. Vanninnhold er 35.8% for CAUa006 og 37.5% for CAUa016. Prøven i forsøket CAUa016 har fått større volumendring i konsolideringsfasen enn CAUa006.

Forsøkene CAUa010 og CAUa018 har presset ut akkurat samme mengde av vann under konsolideringsfasen og begge har volumendring på 1.73%. Begge har samme tyngdetetthet på 19.1 kN/m³. Uansett har prøven i CAUa018 forsøket 23% høyere skjærstyrke.

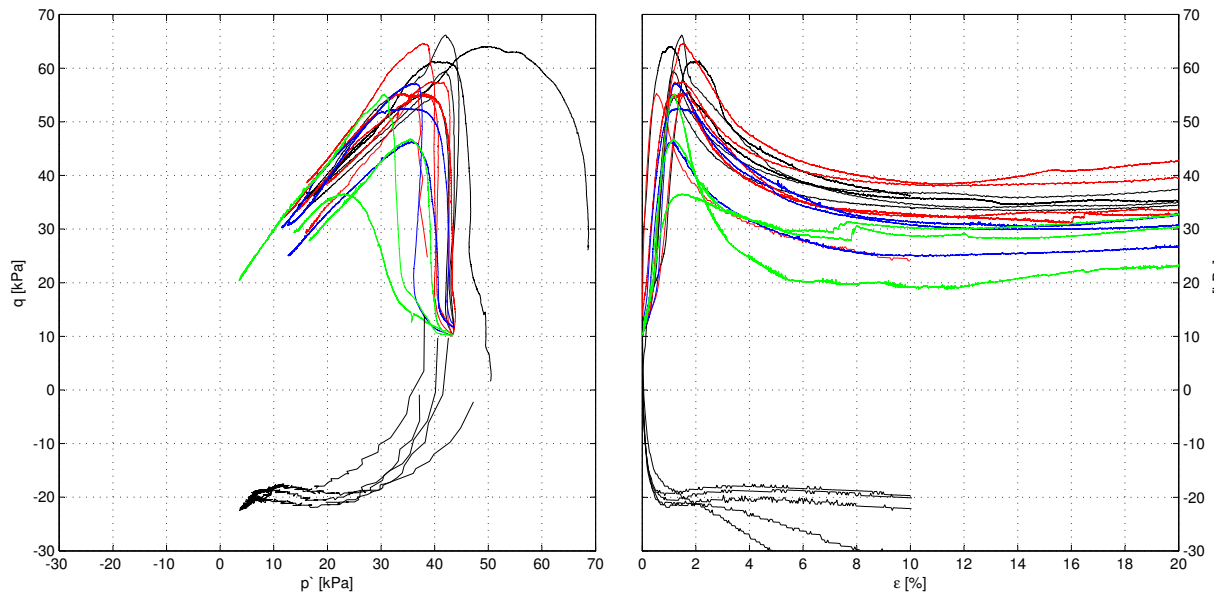
Poretrykksresponsen er tilnærmet den samme i begge forsøkene i figur 9.21, se vedlegg B. Udrenert skjærstyrke økte med 19% i forsøket CAUa016 sammenlignet med CAUa006.



(a) Forsøk CAUa006, $\sigma'_{v0} = 46.6$ kPa, $\varepsilon_v = 1.4\%$

(b) Forsøk CAUa016, $\sigma'_{v0} = 49.3$ kPa, $\varepsilon_v = 2.0\%$

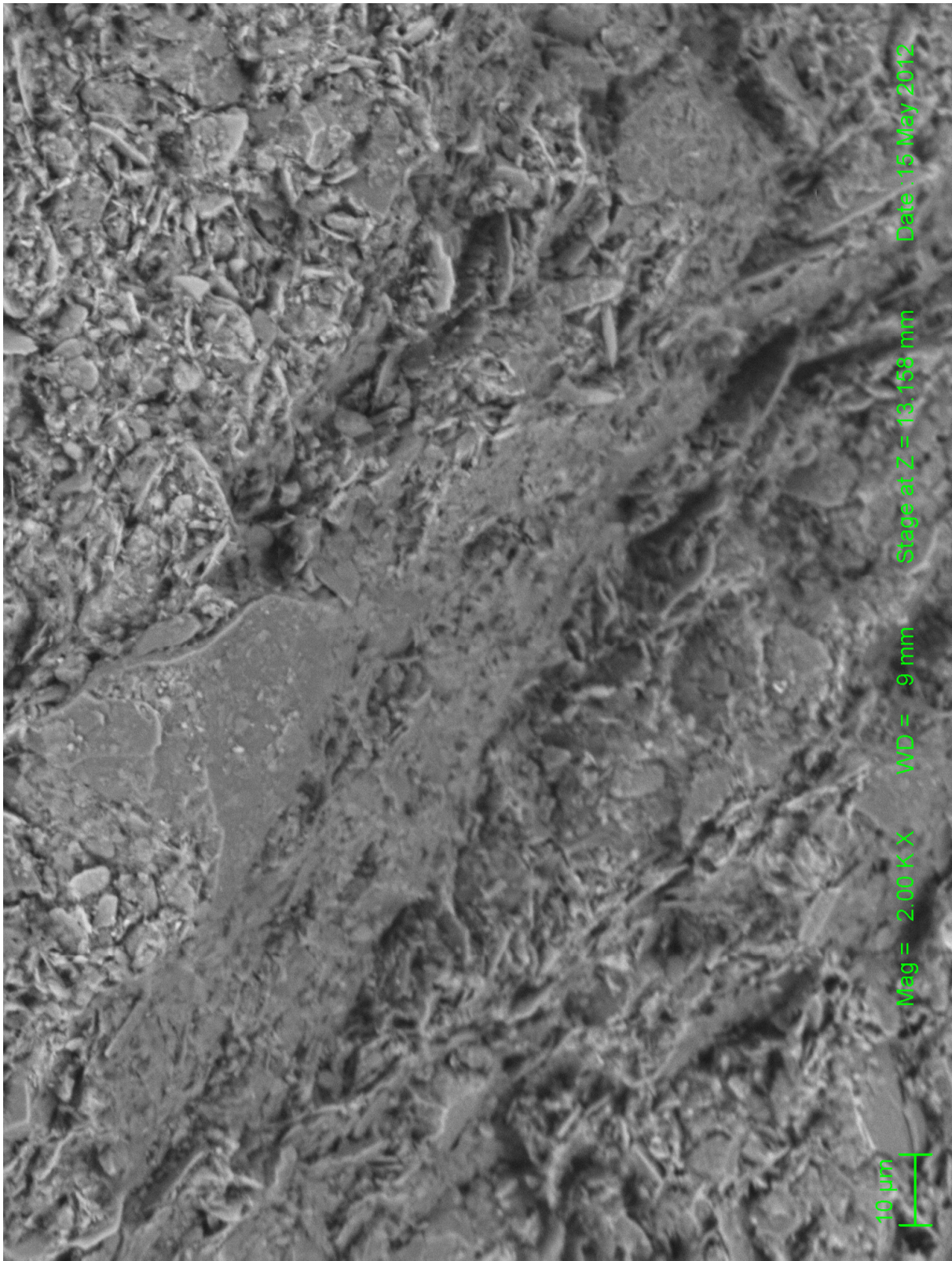
Figur 9.21: Rissa leire med forskjellige lagdeling



Figur 9.22: Samleplott av resultater fra treaksialforsøk

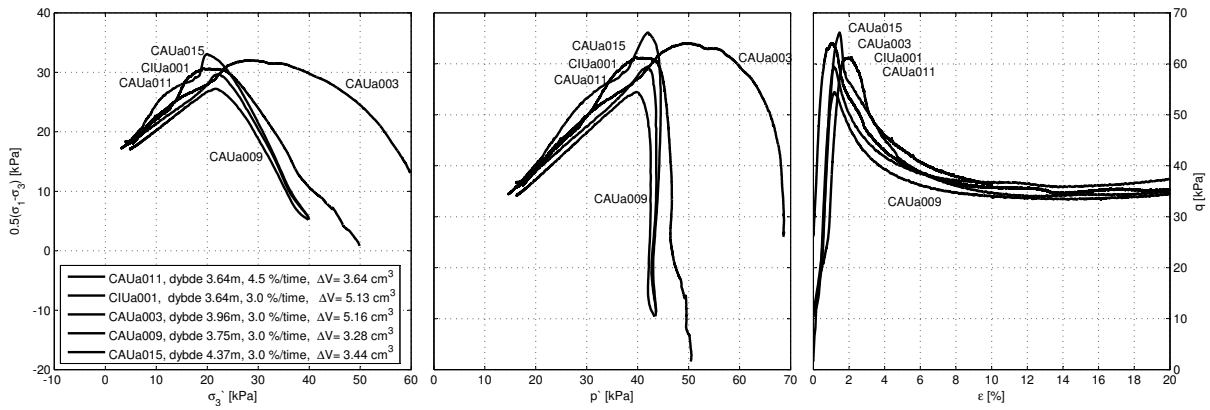
Legg merke til $q - \epsilon$ -plot i figur 9.22, hvor de fleste kurvene viser en økning av styrken etter 10% deformasjon. Årsaken til det er at ved store deformasjoner, begynner prøven å vise et tydelig bruddmønster og arealet øker ujevnt i prøven, se figurer i vedlegg B.

De fleste prøver fikk definert bruddmønster i treaksialforsøk, se vedlegget B.



Figur 9.23: Rissa leire, SEM analyse *Statens Vegvesen Rapport(2012)-Sprøbruddmateriale*

I figur 9.23 er et mikroskopbilde av bruddet i Rissa leire, utført på en av treaksialforsøkene med definert brudd. Man kan se kollapset leirestruktur på skrått i bildet og opprinnelig struktur i hjørnet.

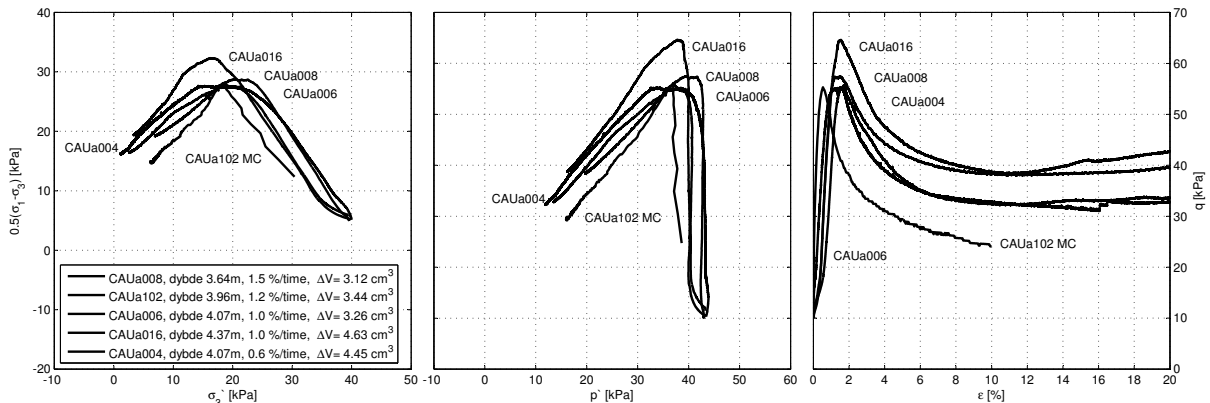


Figur 9.24: Tøyningshastighet 3.0-4.5 %/time

Tøyningshastighet: 3.0-4.5 %/time: De to første forsøkene, CAUa001 og CAUa003, ble konsolidert til en annen spenning enn resten av forsøkene, se 9.24. De skiller seg ut i det elastiske området av spenningsstien, men alle ender opp på samme bruddlinje, hvor friksjonsvinkel er 29° og attraksjon er 15 kPa.

Forsøket CAUa003 ble konsolidert til 60 kPa radielt og 75 kPa i aksielt, noe som ga stort utslag på utviklingen av spenningsstien. Med en konsolideringsspenning som er større enn in situ effektivspenning fikk ikke materialet utviklet et skarpt bruddtak og begynte med kontraktant oppførsel mye tidligere enn de andre forsøkene.

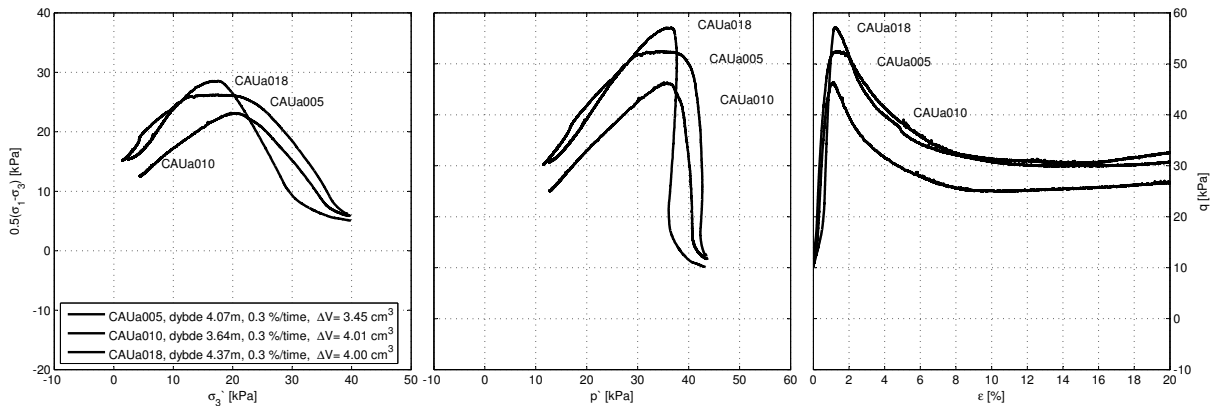
Forsøket CAUa015 skiller seg ut med 21% større udrenert skjærstyrke sammenlignet med forsøket CAUa009. Prøven kommer fra 4.37 m og har horisontal lagdeling.



Figur 9.25: Tøyningshastighet 0.6-1.5 %/time (MC=Multiconsult)

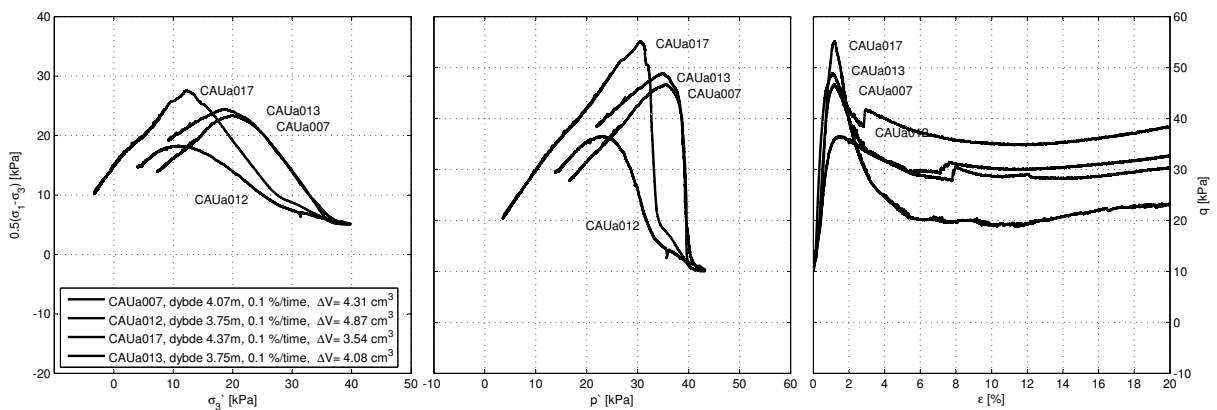
Tøyningshastighet: 0.6-1.5 %/time: Forsøket CAUa016 skiller seg ut med stor udrenert skjærstyrke, selv om forsøket ble utført med den laveste tøyningshastigheten av forsøkene i figur 9.25, 0.6%/time. Prøven kommer fra 4.37 m og har horisontal lagdeling.

Forsøket CAUa102 ble utført med baktrykk, men gir den samme udrenert skjærstyrkeverdien som andre forsøk. Det som skiller den ut er at forsøket viser lav attraksjon, 8 kPa, mens andre prøver viser dobbelt så stor verdi, på 16 kPa.



Figur 9.26: Tøyningshastighet 0.3 %/time

Tøyningshastighet: 0.3 %/time: I figur 9.26 er et samleplot av tre treaksialforsøk som ble gjennomført med tøyningshastighet 0.3%/time. Forsøkene CAUa018 og CAUa005 kommer fra dybde større enn 4 m, hvor horisontal lagdeling begynner, og viser større skjærstyrke enn forsøket CAUa010 som kommer fra 3.64 m dybde.

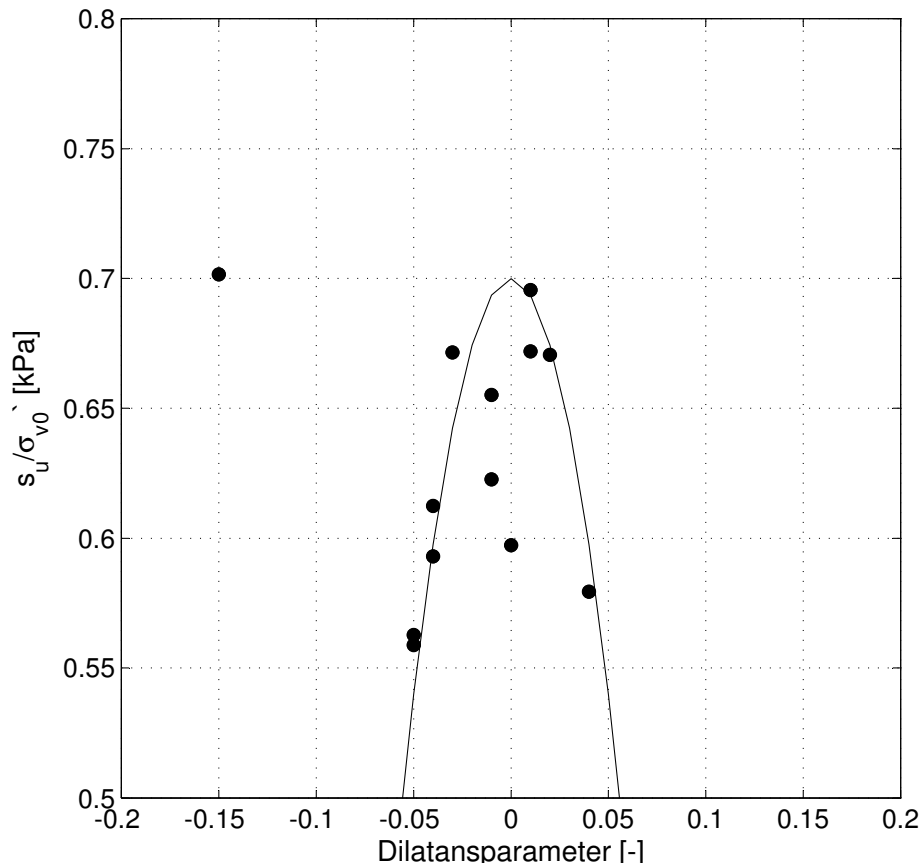


Figur 9.27: Tøyningshastighet 0.1 %/time

Tøyningshastighet: 0.1 %/time: I figur 9.27 er et samleplot av tre treaksialforsøk som ble gjennomført med tøyningshastighet på 0.1%/time. Alle forsøkene ble kjørt til 20 mm deformasjon, men siden det skulle ta over åtte døgn per prøve, ble hastigheten skrudd opp etter 5% deformasjon. Hastighetsøkningen er synlig i $q - \epsilon$ -plott, hvor q får ett hopp i grafen. I $p - q$ plottet (i midten av figur 9.27) ble dette registrert som en liten krøll på slutten av kurven og ble derfor fjernet fra plottet. Dette tyder på at materialets styrke øker med tøyningshastighet.

Det har blitt nevnt tidligere at det er vanlig at blokkprøveresultater har en dilatansparameter rundt null. Dette er også tilfellet her, men på grunn av lav tøyningshastighet kryper prøvene mer og utvikler kontraktant spenningssti. Prøvene fra dybder større enn 4 m, med horisontal lagdeling er mindre påvirkelige for krep i treaksialforsøk enn prøvene med turbulent lagdeling. Årsaken kan være forskjellige metningsgrad i disse prøvene. Prøvene fra dypere lag har større metningsgrad og siden treaksialforsøkene ikke ble kjørt med baktrykk, forblir prøvene umettet og kryper mer. I forsøket CAUa012, se figur 9.27,

utvikler poretrykket seg saktere, noe som får prøven til brudd ved høyere tøyning og lav skjærstyrke, dette gir dilatansparameter på -0.34 .



Figur 9.28: Dilatansparameter i aktiv treaksialforsøk

I figur 9.28 er vist sammenheng mellom dilatansparameter og normalisert skjærstyrke. Kurvetilpasningen i denne figuren viser en slags øverste grense for skjærstyrke ved oppståtte dilatansparametere. Avvikene kommer fra først og fremst av forskjellige konsolideringsspenninger, men også av tøyningshastigheter og volumetrisk endring under konsolideringsfase.

Ved lave tøyningshastigheter, kryper prøven og får mindre skjærstyrke, men også dilatansparameteren blir ofte noe annet enn null.

9.3.3 Effekt av belastningshastighet

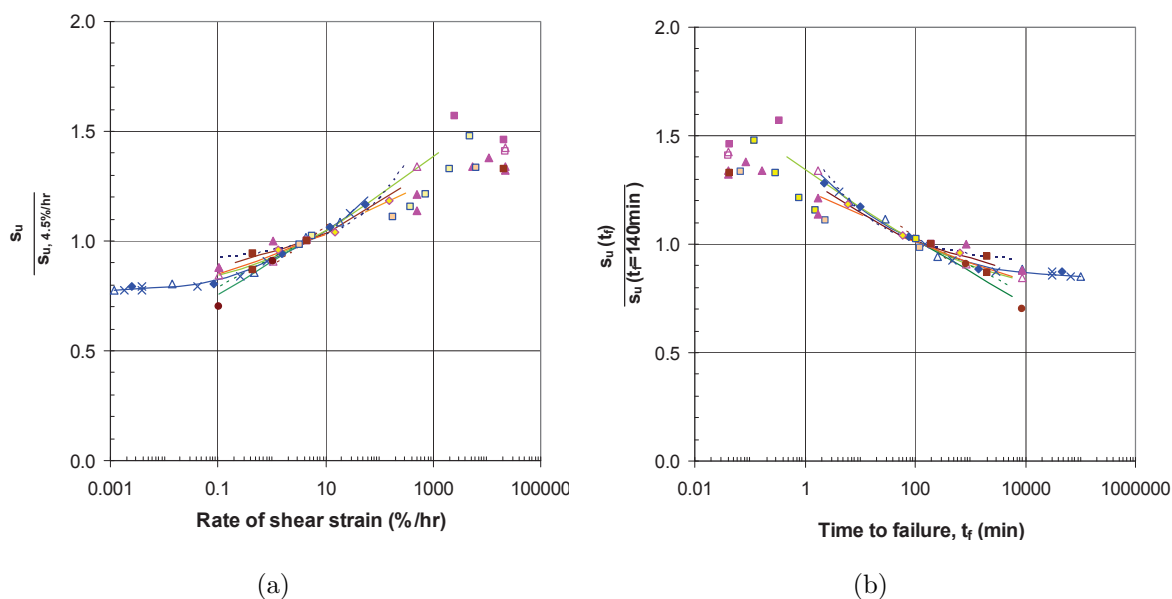
Udrenert skjærstyrke er avhengig av belastningshastighet og kan være avgjørende for forskjeller i hastighet eller varighet av belastningen mellom laboratorie og anleggsplass.

Udrenerte laboratorieforsøk kjøres vanligvis med tøyningkontrollert hastighet på 2-3 %/time i treaksialforsøk og med 4.5 %/time i DSS. Ukonsoliderte enaksialforsøk kjøres med 90-125 %/time[1].

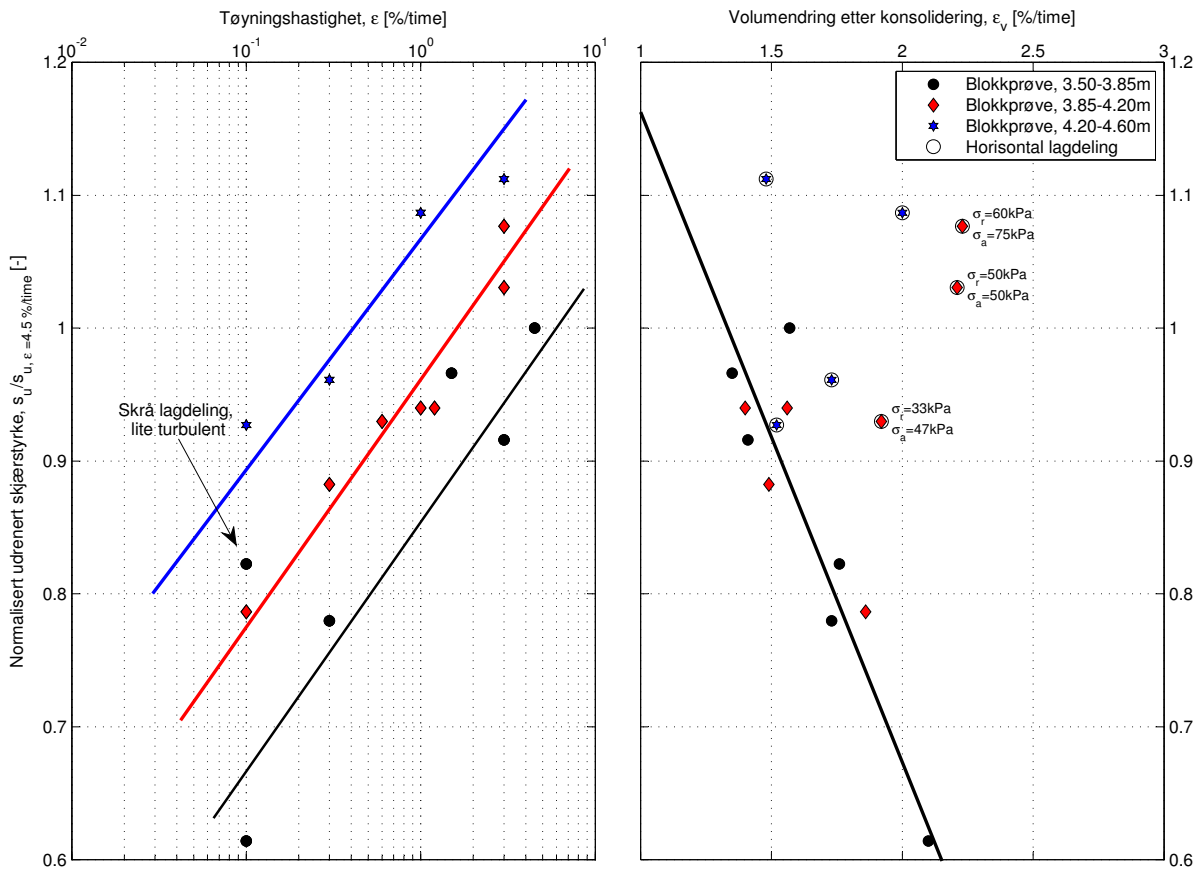
Tøyningshastighetseffekt på udrenert skjærstyrke kan være avhengig av flere faktorer som leirtype, OCR, spenningssti og prøveforstyrrelser og kan være forskjellig for en omdannet og en intakt leire. Effekt kan også være avhengig av type belastning, om den er tøyningkontrollert, spenningskontrollert eller blir belastet av en langtidslast.

Kontrollert tøyningshastighet i treaksialforsøk[1]:

- Forandring i styrke per log-periode øker med økende tøyningshastighet og med synkende tid til brudd, se figur 9.29a.
- Det er ingen systematisk effekt av plastisitetsindeks
- Det er ingen klar effekt av OCR



Figur 9.29: Effekt av tøyningshastighet[1].



Figur 9.30: Effekt av tøyningshastighet og volumendring i Rissa leire

Udrenert skjærstyrke er avhengig av tøyningshastighet, se figur 9.30, hvor styrken ble normalisert i forhold til et referanseforsøk med tøyningshastighet på 4.5 %/time. Den referansen ble valgt for å sammenligne med tidligere undersøkelser som er vist i figur 9.29b.

I venstre graf i figur 9.30 er alle blokkprøver representert. Nederste linje, i svart, er for blokkprøver med dybde 3.5-3.85 m. Prøvene ble kjørt med tøyningshastighet fra 0.1 til 4.5 %/time. Det observeres en klar økning i styrken med økende tøyningshastighet.

Det er rundt 30% økning av udrenert skjærstyrke fra tøyningshastighet på 0.1 til 3 %/time. Tallet er basert på samme type leire som kommer fra nøyaktig samme dybde, eller samme blokkprøve. Det er observert samme økning av styrke for leire med turbulent og horisontal lagdeling. Leire fra forskjellige lagdelinger gir større avvik.

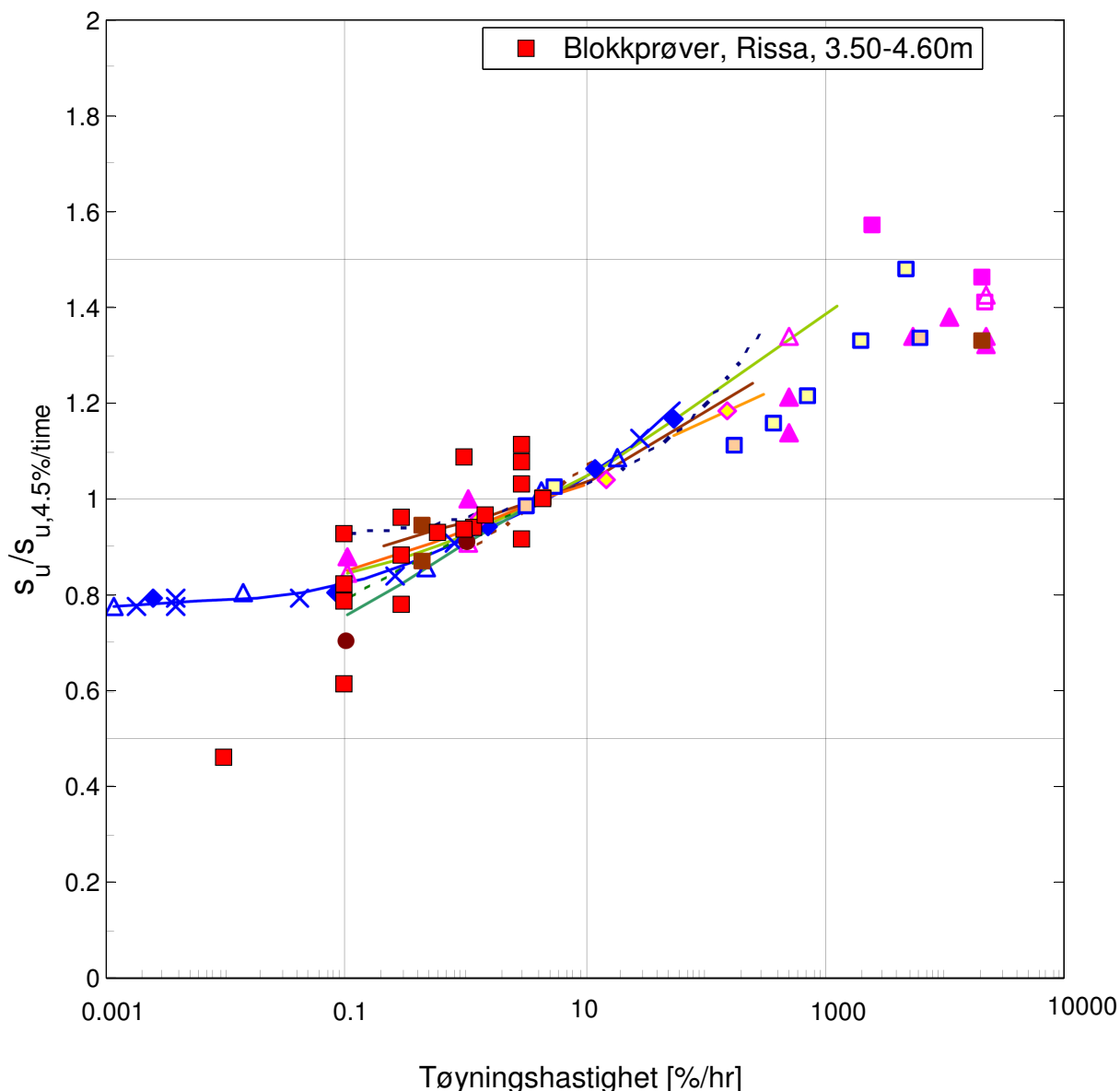
Volumendring etter konsolideringsfasen i treaksialforsøk ble registrert, se graf til høyre i figur 9.30. For å kunne sammenligne resultatene er man nødt til å kjøre forsøkene med nøyaktig samme betingelser for å unngå avvik. Størst avvik kommer fra forskjellige konsolideringsspenninger og store forskjeller i materialstrukturen. Det er markert i figuren 9.30. De fleste prøver med horisontal lagdeling passet ikke sammen med prøver med mer turbulent lagdeling. At dette er tilfellet betyr ikke at de ikke har lignende mønster, men heller at for få forsøk ble kjørt på det leirlaget for å kunne konkludere med noe. Prøver fra dybder mindre enn 4m viser en klar økning i skjærstyrke med synkende volumendring.

I en situasjon in situ hvor jorda blir belastet, er det lite eller ingen volumendring i

leiren. Det betyr at styrken kan korrigeres i forhold til volumendringen i laboratorie. Målingene viser at man kan korrigere styrken funnet i forsøkene ut i fra volumendring og tøyningshastighet.

Området for volumendring mellom 2.1 og 1.4% er kartlagt for Rissa leiren. Det er vanskelig å si hvordan kurven ser ut ved lav volumendring, og det kreves meget gode prøver for å kartlegge dette området.

Et eksempel er et forsøk som har volumendring på 2%, hvor skjærstyrken kan korrigeres med 24% hvis volumendringen skulle vært på 1.5%.



Figur 9.31: Tøyningshastighet i Rissa leire sammenlignet med tidligere undersøkelser[1].

Det er god overensstemmelse mellom tidligere undersøkelser og leiren fra Rissa. Lave og høye verdier som skiller seg ut kommer fra prøver med større volumendring og en annerledes konsolideringsspenning. Rissaleiren har også stor variasjonen i strukturen i det undersøkte området, noe som også gir mer spredning av data.

9.4 Oppsummering av resultater

På neste sidene er en oversikt av alle treaksial- og ødometerforsøk som ble utført på blokkprøver fra dybde 3.5 til 4.6 m. Disse resultatene, sammen med CPTU-resultatene fra borpunkt C3, ble tilpasset til dybden prøvene kom fra. Verdiene brukes videre for korrelasjonsanalyser.

Tabell 9.6: Oppsummering, blokkprøveresultater, treaksialforsøk

Forsøk	$d\varepsilon/dt$ [%/hr]	Dybde [m]	Kote [m]	σ'_{vo} [kPa]	w [%]	γ [kN/m ³]	s_u [kPa]	a	$\tan\phi$	E_0 [MPa]	D	ε_f [%]	ΔV [cm ³]	ε_v [%]	σ'_c [kPa]	$OCR\Delta\varepsilon/e_o$	q_t [kPa]	u_2 [kPa]	u_0 [kPa]	f_s	
CAUa001	3.0	3.96	-1.76	45.6	35.9	19.5	30.7	15	0.54	5.7	-0.03	1.75	5.13	2.21	101.2	2.22	0.04	368.9	251.6	29.6	0.1
CAUa102*	1.2	3.96	-1.76	45.6	34.8	19.2	28.0	8	0.59	11.3	-0.04	0.73	3.63	1.56	101.2	2.22	0.03	368.9	251.6	29.6	0.1
CAUa003	3.0	3.96	-1.76	45.6	37.3	0.0	32.0	23	0.43	6.6	-0.15	1.42	5.16	2.23	101.2	2.22	0.04	368.9	251.6	29.6	0.1
CAUa004	0.6	4.07	-1.87	46.6	36.3	19.5	27.7	16	0.56	5.2	-0.04	1.80	4.45	1.92	102.4	2.20	0.04	349.4	244.1	30.7	0.2
CAUa005	0.3	4.07	-1.87	46.6	36.5	19.8	26.2	10	0.69	5.2	-0.05	1.61	3.45	1.49	102.4	2.20	0.03	349.4	244.1	30.7	0.2
CAUa006	1.0	4.07	-1.87	46.6	35.8	19.8	27.9	21	0.46	4.7	0.00	1.51	3.26	1.40	102.4	2.20	0.03	349.4	244.1	30.7	0.2
CAUa007	0.1	4.07	-1.87	46.6	36.0	19.8	23.4	10	0.51	5.4	-0.06	1.21	4.31	1.86	102.4	2.20	0.03	349.4	244.1	30.7	0.2
CAUa008	1.5	3.64	-1.44	42.8	31.3	19.8	28.7	19	0.47	6.6	0.01	1.40	3.12	1.35	97.8	2.29	0.02	402.6	257.2	26.4	0.2
CAUa009	3.0	3.75	-1.55	43.8	34.1	19.5	27.2	22	0.43	7.1	-0.01	1.07	3.28	1.41	99.0	2.26	0.02	374.5	248.8	27.5	0.1
CAUa010	0.3	3.64	-1.44	42.8	32.1	19.3	23.2	12	0.48	5.4	-0.09	1.22	4.01	1.73	97.8	2.29	0.03	402.6	257.2	26.4	0.2
CAUa011	4.5	3.64	-1.44	42.8	35.4	19.4	29.7	25	0.41	7.4	0.01	0.96	3.64	1.57	97.8	2.29	0.03	402.6	257.2	26.4	0.2
CAUa012	0.1	3.75	-1.55	43.8	32.4	19.4	18.3	15	0.49	3.3	-0.34	1.69	4.87	2.10	99.0	2.26	0.04	374.5	248.8	27.5	0.1
CAUa013	0.1	3.75	-1.55	43.8	32.7	19.3	24.5	22	0.42	6.9	-0.07	1.17	4.08	1.76	99.0	2.26	0.03	374.5	248.8	27.5	0.1
CAUa014	0.01	3.75	-1.55	43.8	37.4	19.3	13.7	10	0.55	14.7	-1.34	0.29	4.40	1.90	99.0	2.26	0.04	374.5	248.8	27.5	0.1
CAUa015	3.0	4.37	-2.17	49.3	37.7	19.3	33.1	15	0.56	6.4	0.02	1.35	3.44	1.48	105.6	2.14	0.03	374.5	258.8	33.7	0.1
CAUa016	1.0	4.37	-2.17	49.3	37.5	19.3	32.3	14	0.62	6.3	-0.01	1.47	4.63	2.00	105.6	2.14	0.04	374.5	258.8	33.7	0.1
CAUa017	0.1	4.37	-2.17	49.3	37.4	19.3	27.6	14	0.60	7.8	-0.05	1.01	3.54	1.52	105.6	2.14	0.03	374.5	258.8	33.7	0.1
CAUa018	0.3	4.37	-2.17	49.3	35.5	19.3	28.6	11	0.63	7.3	0.04	0.93	4.00	1.73	105.6	2.14	0.03	374.5	258.8	33.7	0.1
CAUp101*	-1.2	3.96	-1.76	45.6	33.8	19.3	9.4			0.6		1.21	5.88	2.53	101.2	2.22	0.05	368.9	251.6	29.6	0.1
CAUp103*	-1.2	4.07	-1.87	46.6	33.4	19.1	10.2			17.0		0.58	3.77	1.63	102.4	2.20	0.03	349.4	244.1	30.7	0.2
CAUp104*	-1.2	3.66	-1.46	42.9	26.6	19.2	10.3			13.1		1.35	3.44	1.48	98.0	2.28	0.02	378	206.6	26.6	0.2
CAUp105*	-1.2	3.75	-1.55	43.8	32.5	19.4	9.8			14.9		0.84	4.94	2.13	99.0	2.26	0.04	374.5	248.8	27.5	0.1
CAUp106*	-2.4	4.37	-2.17	49.3	37.1	19.3	11.2			5.3		1.01	4.36	1.88	105.6	2.14	0.04	374.5	258.8	33.7	0.1

*Utført av Multiconsult

Tabell 9.7: Oppsummering, blokkprøveresultater, ødometerforsøk

Blokkprøve	Type forsøk	Belastning $d\varepsilon/dt$	Dybde	Kote	σ'_{vo}	w	γ	σ'_c	OCR	M	m	c_v	ε_v	$\Delta e/e_0$
		[kPa]	[%/hr]	[m]	[kPa]	[%]	[kN/m ³]	[kPa]	[-]	[MPa]	[-]	[m ² /år]	[%]	[-]
CRS001	CRS: 5 μ m/min		1.5	3.92	-1.72	45.3	37.3	95.00	2.10	4.00	25.00	13.50	2.17	0.04
CRS002	Kryptest A*	$\sigma_v=150$		3.96	-1.76	45.6	37.2	100	2.19	2.50	23.00	8.00	2.63	0.05
CRS003	Kryptest B	150	1.5	3.99	-1.79	45.9	35.4	100	2.18	2.50	23.00	8.00	2.27	0.04
CRS004	CRS: 5 μ m/min		1.5	4.02	-1.82	46.2	35.8	100	2.17	3.50	26.00	18.50	1.72	0.03
IL001	Trimnvis			4.07	-1.87	46.6	36.8	90	1.93					
CRS006	Trippelkryptest A 80-90-150			4.10	-1.90	46.9	35.7	100	2.13		22.00		3.21	0.06
CRS007	CRS: 5 μ m/min		1.5	3.64	-1.44	42.8	32.0	100	Forstyrret under testing					
CRS008	CRS: 5 μ m/min		1.5	3.66	-1.46	42.9	32.8	100	Forstyrret under testing					
CRS009	CRS: 5 μ m/min		1.5	3.62	-1.42	42.6	36.5	100	2.47	2.35	24	10	3.39	0.06
CRS010	Trippelkryptest B 80-90-150		1.5	3.64	-1.44	42.8	35.5	100	2.34		25		2.81	0.05
CRS011	CRS: 5 μ m/min		1.5	3.66	-1.46	42.9	34.8	95	2.21	3.2	24	14.1	2.26	0.04
CRS012	Trippelkryptest C 80-90-150		1.5	3.62	-1.42	42.6	33.3	100	2.35		24		2.99	0.05
CRS013	Trippelkryptest F 60-80-120		1.5	3.64	-1.44	42.8	33.2	100	2.34		25		2.91	0.05
CRS014	CRS: 4 μ m/min		1.2	3.66	-1.46	42.9	33.4	100	2.33	3	24	10.9	2.09	0.04
CRS015			1.5	3.71	-1.51	43.4	33.6	100	Forstyrret under testing					
CRS016	CRS: 3 μ m/min		0.9	3.74	-1.54	43.7	33.5	100	2.29	3.3	26	80	2.57	0.04
CRS017	CRS: 2 μ m/min		0.6	3.77	-1.57	43.9	32.8	160	3.64	2	26	6	3.45	0.06
CRS018	Trippelkryptest E 50-80-120		1.5	3.8	-1.6	44.2	31.7	100	2.26		24		2.31	0.04
CRS019	CRS: 5 μ m/min		1.5	4.33	-2.13	49.0	37.3	100	2.04	3.1	24	13.9	2.20	0.04
CRS020	Trippelkryptest D 80-90-150		1.5	4.37	-2.17	49.3	37.0	100	2.03		24		2.53	0.05
IL002	Trimnvis			4.41	-2.21	49.7	38.3	90	1.81					
IL003	Trimnvis			4.32	-2.12	48.9	34.4	90	1.84					
IL004	Trimnvis			4.35	-2.15	49.2	35.9	90	1.83					
IL005	Trimnvis			4.38	-2.18	49.4	35.5	90	1.82					

Kapittel 10

CPTU tolkning, korrelasjoner

For å kunne finne korrelasjoner man kan stole på er det viktig å bruke representative prøver av høy kvalitet. Som det ble nevnt tidligere, har prøveforstyrrelser stor innvirkning på noen viktige geotekniske parametre. Når resultater fra laboratorieforsøk skal korreleres mot CPTU-data, er det også viktig at de er av god kvalitet.

Blokkprøver fra Rissa er av akseptabel/god kvalitet, men kunne vært bedre hvis lagringstiden hadde vært kortere, og kan brukes for å finne gode korrelasjoner mellom parametrene. Bare de nyeste CPTU-resultatene med høy kvalitet har blitt brukt for å etablere korrelasjoner. Alle har meget god poretrykkrespons og fikk anvendelsesklasse en, det vil si den høyeste.

10.1 Lagdeling

For å bestemme lagdelingen ble alle CPTU-resultatene satt sammen, og etter hvert var det mulig å se en sammenheng mellom lagdeling og poretrykksutvikling. På toppen av skråningen, rett ved Rein kirke, er det store mengder av sand med gjennomsnittlig dybde på 7-10 m, men med store variasjoner på grunn av terrenget.

I figur 10.1 ser man at spissmotstanden til CPTU fra punkt KK1, C4 og C5 ligger noe høyere enn andre. Også poretrykket er høyere her. Grunnen er store mengder av sand. Spissmotstanden i resten av resultatene ligger et hakk lavere, de befinner seg også nesten 20 meter lavere i terrenget. Samtidig er formen og helningen på kurvene like, noe som tyder på samme lagdeling i skråningen under sandlaget. Poretrykket skiller seg mest i de øverste 10-15 m av leirlaget og faller bedre sammen i 25 meters dybde.

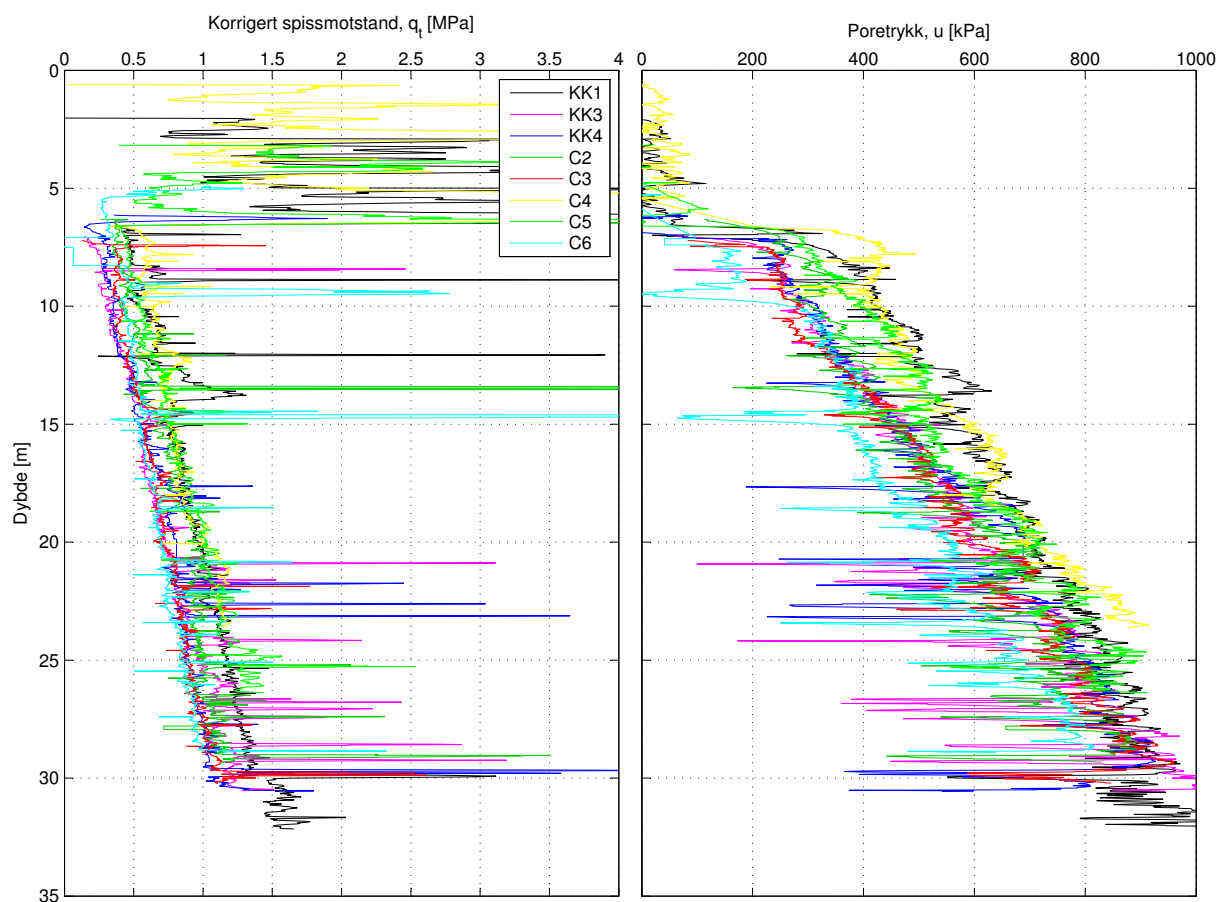
Poretrykket er avhengig av høydeforskjeller i en skråning og det er derfor naturlig å ha større poretrykk på toppen av skråningen, i tillegg til flere meter av sand som presser på, og lavere på bunnen da vannet renner fra høyere poretrykk til lavere.

I cirka 20 m dybde, i figur 10.1, har leiren mange tynne sand- og siltlag. De gir større spissmotstand og gir lav poretrykk på grunn av sine drenerende egenskaper. I 15 m dybde fås indikasjoner på at det befinner seg et noe tykkere drenerende lag, da flere CPTU-resultater peker i den retning. Det er også her man begynner skille mellom sensitiv og lite sensitiv leire, noe som er ikke tilfeldig.

Grunnet de kompliserende faktorer nevnt over ble det utført en dybdekorreksjon, se tabell 10.1, med KK1 som referanse for å få best mulig tilpasning mellom forskjellige CPTU-resultater og laboratorieforsøkene fra andre punkt, spesielt siden leiren har lignede egenskaper gjennom hele skråningen.

Tabell 10.1: Dybdekorreksjon i forhold til lagdelingen i skråningen

Borhull	Kote [m]	Dybdekorreksjon [m]	Plassering
KK1	+21.90	0	Toppen av skråningen
KK3	+3.50	+7.00	Bunnen av skråningen, ved C2
KK4	+3.50	+6.10	Bunnen av skråningen, ved C2
C2	+9.20	+4.30	Midten av skråningen
C3	+2.17	+5.20	Bunnen av skråningen
C4	+21.90	-1.41	Toppen av skråningen
C5	+12.70	+1.16	Midten av skråningen
C6	+1.19	+3.90	Bunnen av skråningen



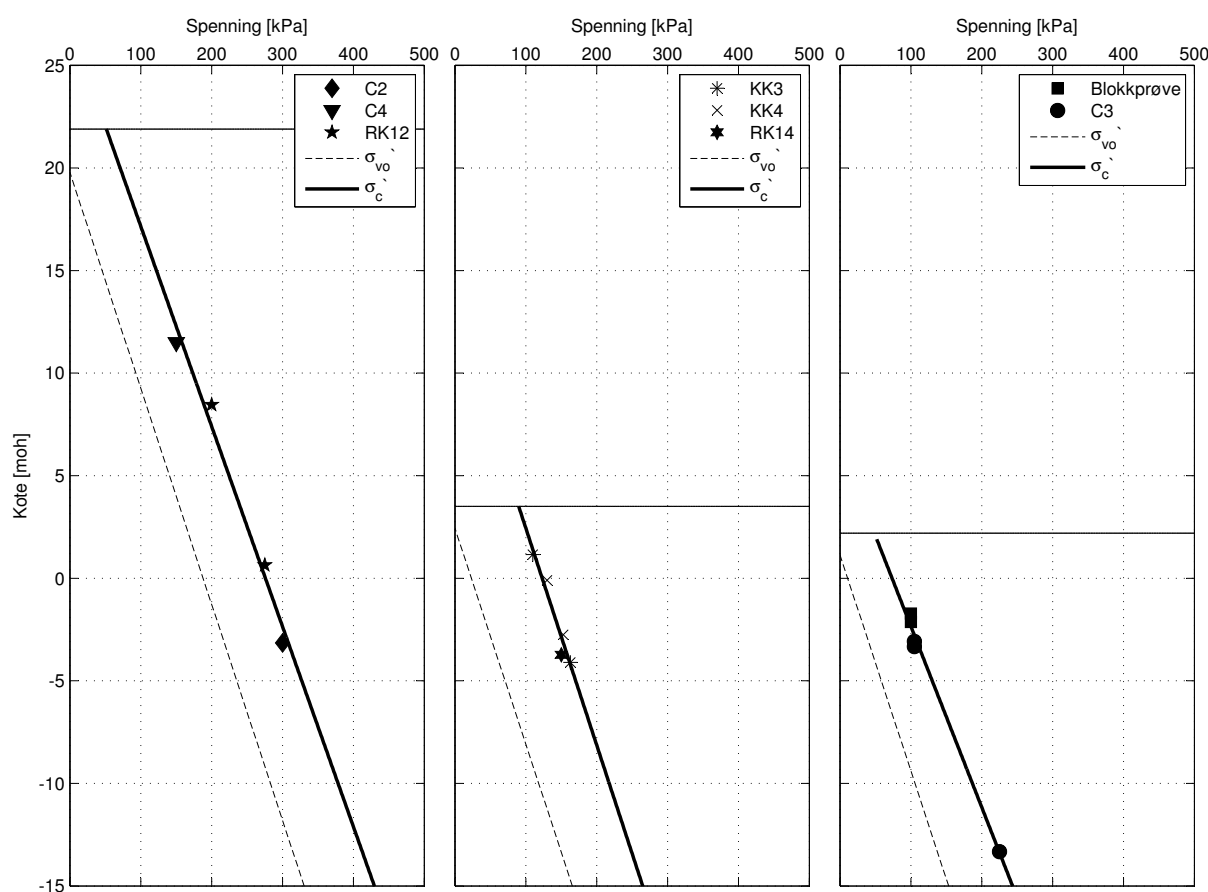
Figur 10.1: CPTU: Spissmotstand og poretrykk med justert dybde. Punkt KK1 er referanse, se tabell 10.1

Flere av poretrykkskurvene ser bøyd ut ved overgangen mellom sandlaget og leire. Det tyder på dårlig metning av poretrykket, kurvene bør generelt få et rask hopp i poretrykket i inngangen til leirlaget. Poretrykket øker tregere enn hydrostatisk poretrykk, en strømning i leire som går nedover skråningen forklarer utviklingen av poretrykket i dybden.

10.2 Spenningshistorie

10.2.1 σ'_c basert på ødometerforsøk

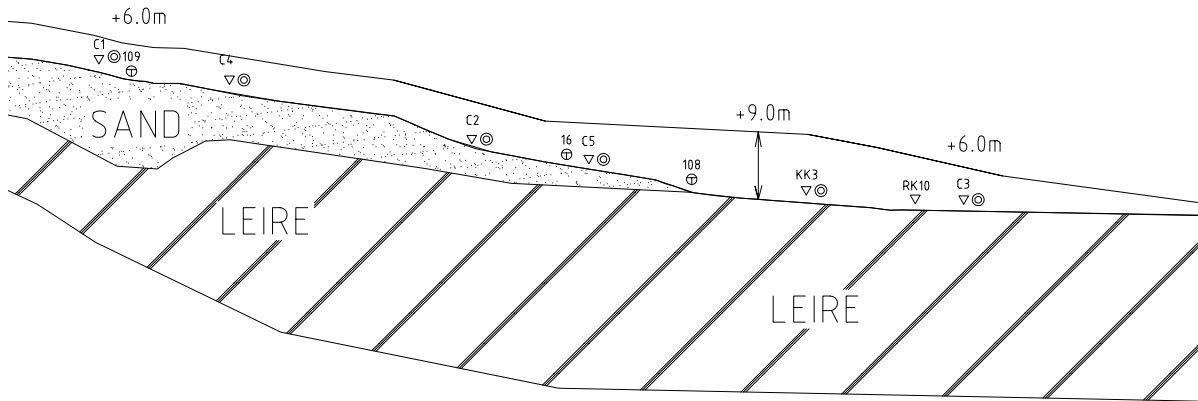
Kurvene for prekonsolideringstrykk ble konstruert etter utførte ødometerforsøk og den antatte geologiske historien. Ved å sammenfatte alle resultatene fra ødometerforsøk og sortere dem med hensyn til kote og plasseringen i skråningen, ble figuren 10.2 utviklet. Prekonsolideringstrykket øker med dybden, noe som kommer fra tidligere overlaging. Belastningen som førte til prekonsolideringstrykket ser ut til å være det samme i punktene C2, C4 og RK12 som ligger på toppen av skråningen, kote +9.2 til +21.9 m. Forsøket fra punkt C5 (kote +12.7) var dessverre forstyrret og kunne ikke sammenlignes med punkt C2 (kote +9.2), derfor ligger punktet sammen med andre verdier fra toppen av skråningen.



Figur 10.2: Prekonsolideringstrykk i skråningen

Sammenligningen av resultatene førte til konklusjonen at det kunne ha vært rundt 60 kPa belastning på toppen og bunnen av skråningen, men i midten, punkt KK3, KK4 og RK14 var belastningen noe større, 95 kPa. Det kan være kanten av et tidligere skred. Hvis man antar at grunnvannsnivået lå omtrent i terrenget hele tiden, var det kanskje 6m med sand på toppen av skråningen som eroderte bort. På bunnen av skråningen er det mer sannsynlig at var 5-6m med leire, kanskje noen meter med sand. I midten av skråningen var belastningen noe større, noe som kan tyde på at det gikk et skred i denne skråningen. Det er også noen rester av kvikkleire i punkt C2 og C5. Det kan være rester fra glideflaten

til skredet, siden det ikke er andre spor etter kvikkleire i skråningen. Sannsynligvis var leiren dekket med et tynt lag av sand her og høydeforskjellene var store, noe som førte til større drenering av leire og gjorde den kvikk. Utløsende faktor for dette skredet kunne vært mye regn som fuktet opp mange meter med sand på toppen av skråningen og overbelastet kvikkleiren. Legg merke til at POP, differansen mellom prekonsolideringstrykk og effektiv spenning, er mye større i bunnen av skråningen enn i toppen, hvor leiren er fortsatt dekket av flere meter av sandlaget. Se figur 10.3.



Figur 10.3: Tiltømnet lagdeling i skråningen med estimert forbelastning

For borpunkter KK1, C2, C4 og C5 er det brukt uttrykk for prekonsolideringstrykk:

$$\sigma'_c = \frac{5.0254 + Dybde}{0.0976} \quad (10.1)$$

Det burde vært et egen uttrykk for borpunktene C2 og C5 siden de ligger litt lengre ned i skråningen, men det ikke ble gjennomført nok forsøk for å kunne komme fra til noe.

For borpunkter KK3 og KK4 er det brukt uttrykk for prekonsolideringstrykk:

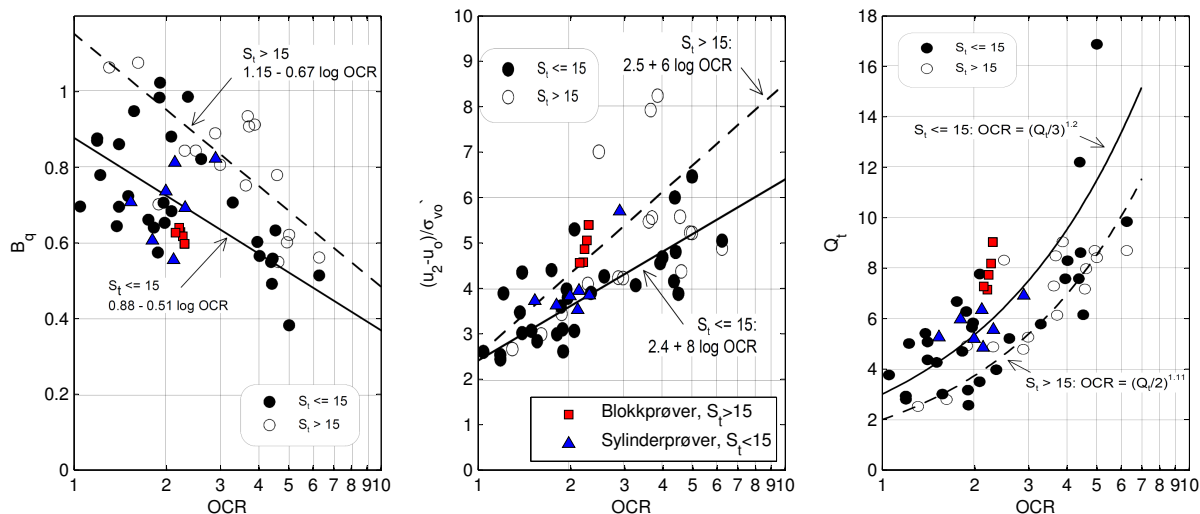
$$\sigma'_c = \frac{9.5288 + Dybde}{0.1058} \quad (10.2)$$

For borpunkter C3 og C6 er det brukt uttrykk for prekonsolideringstrykk:

$$\sigma'_c = \frac{4.3168 + Dybde}{0.0882} \quad (10.3)$$

Uttrykkene over er basert på ren kurvetilpasning og derfor kan blir forbedret med informasjon fra flere forsøk.

10.2.2 OCR basert på CPTU



Figur 10.4: Korrelasjoner mellom CPTU og OCR med utgangspunkt i erfaringsdata [11].

B_q og Q_t viser dårlig korrelasjon med OCR. Resultater fra sensitiv leire ligger i området hvor erfaringsdata viser lite sensitiv leire. Det er generelt stor spredning i korrelasjonen mellom disse to parametrene og at noen resultater ikke passer inn er vanlig. Sensitiviteten til Rissa leiren ligger i grenseområdet som definerer sensitiv og lite sensitiv leire, $S_t = 15$, det kan være årsaken til forskjellige resultater i korrelasjonene.

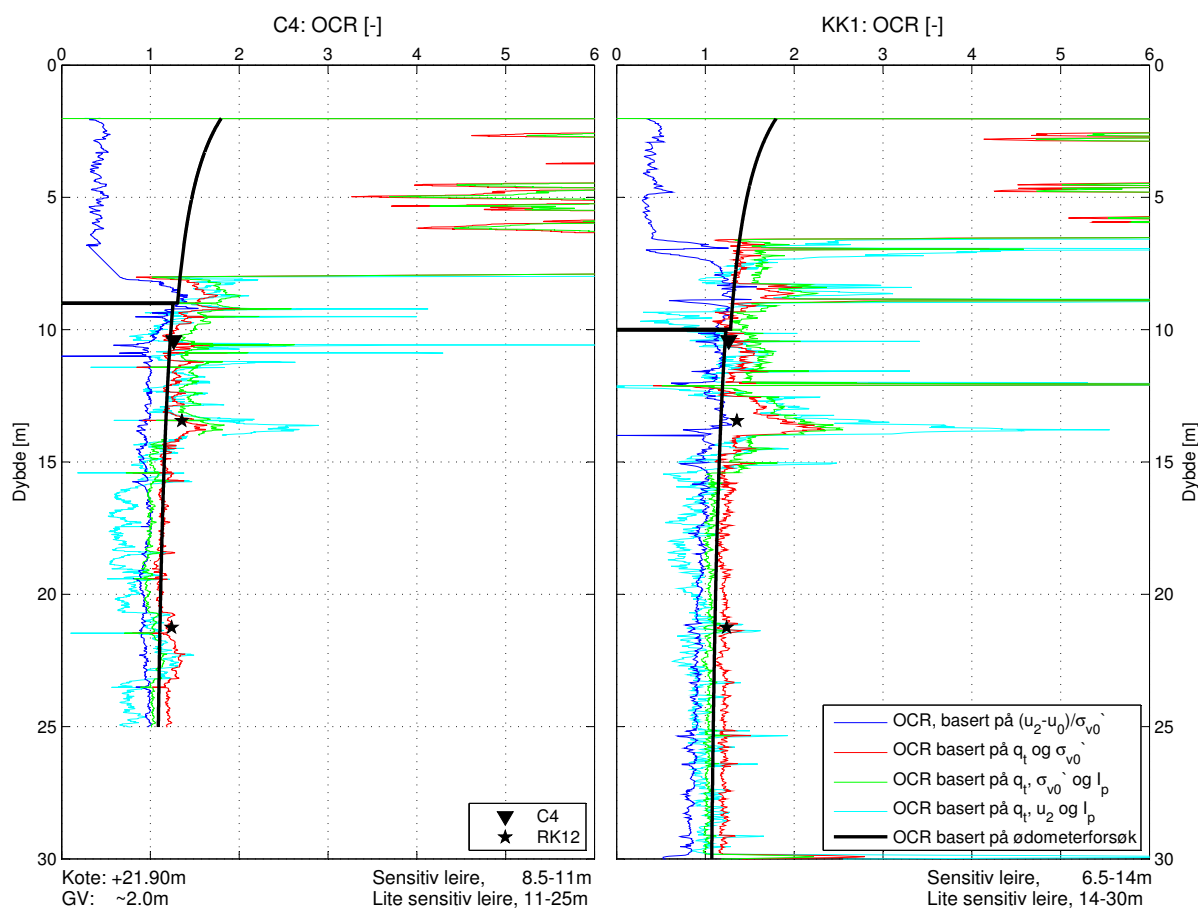
Samtidig er korrelasjonene mellom $(u_2 - u_0) / \sigma'_{v0}$ og OCR bedre, som stemmer med tidligere undersøkelser. Resultater fra blokkprøver faller sammen med referanselinjen for sensitiv leire og sylindprøver ligger i området for ikke sensitiv leire. Basert på disse resultatene er det denne korrelasjonen som blir brukt for å kartlegge utviklingen av overkonsolideringsgraden i leiren.

10.3 OCR-profiler

Flere ulike korrelasjoner mellom CPTU resultater og OCR ble presentert tidligere, men ikke alle kan eller bør benyttes for å estimere OCR. I tabell 10.2 er oppgitt formlene som ble benyttet i estimeringen av OCR-profiler i tillegg til resultater fra ødometerforsøk.

Tabell 10.2: Uttrykk for korrelasjon mellom CPTU resultater og OCR

Kilde	$S_t > 15$	$S_t < 15$
NGI [11]	$OCR = 10^{\frac{1}{6} \left(\frac{u_2 - u_0}{\sigma'_{v0}} - 2.5 \right)}$	$OCR = 10^{\frac{1}{8} \left(\frac{u_2 - u_0}{\sigma'_{v0}} - 2.4 \right)}$
Chen og Mayne [7]	$OCR = 0.305(q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$ $OCR = 0.86(q_t - \sigma_{v0})^{0.93} I_p^{-0.28} / \sigma'_{v0}$ $OCR = 0.99(q_t - u_2)^{1.05} I_p^{-0.20} / \sigma'_{v0}$	

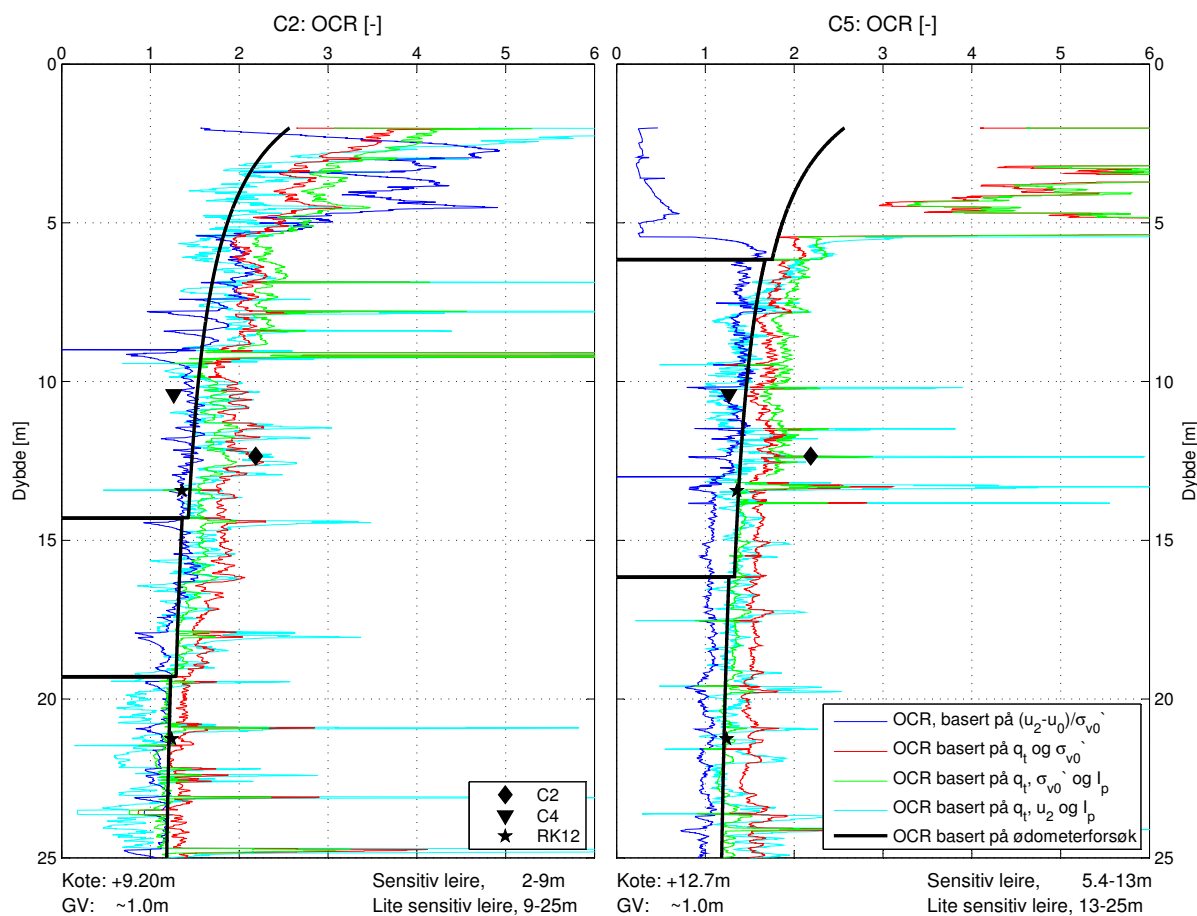


Figur 10.5: CPTU C4 og KK1 med designlinjer.

Korrelasjonsmetodene stemmer godt overens i leirlaget som bare har tynne sand/silt lag, i forhold til leirlaget som har tykkere sandlag rett under sandlaget.

Overkonsolideringsgraden varierer mellom 1.3 og 1.1 på toppen av skråningen, kote +22 m. Totalt ble det gjort tre ødometerforsøk i dette nivået som ble brukt som grunnlag

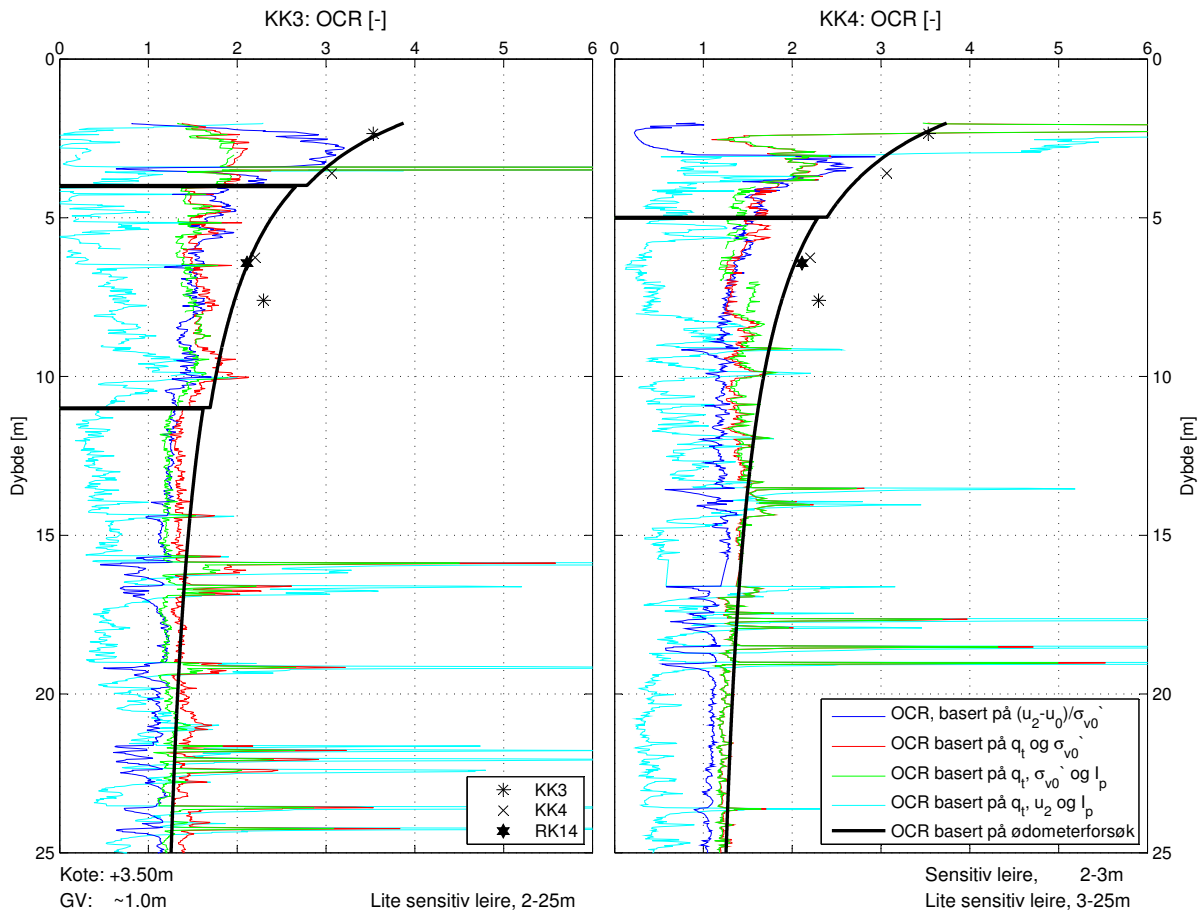
for å bestemme utviklingen av prekonsolideringstrykket. Ingen prøver ble tatt i borpunkt KK1, men på grunn av nærliggende plassering, ble det antatt samme forhold, noe som ser ut til å stemme, se figur 10.5, ut i fra korrelasjonsresultatene.



Figur 10.6: CPTU C2 og C5 med designlinjer.

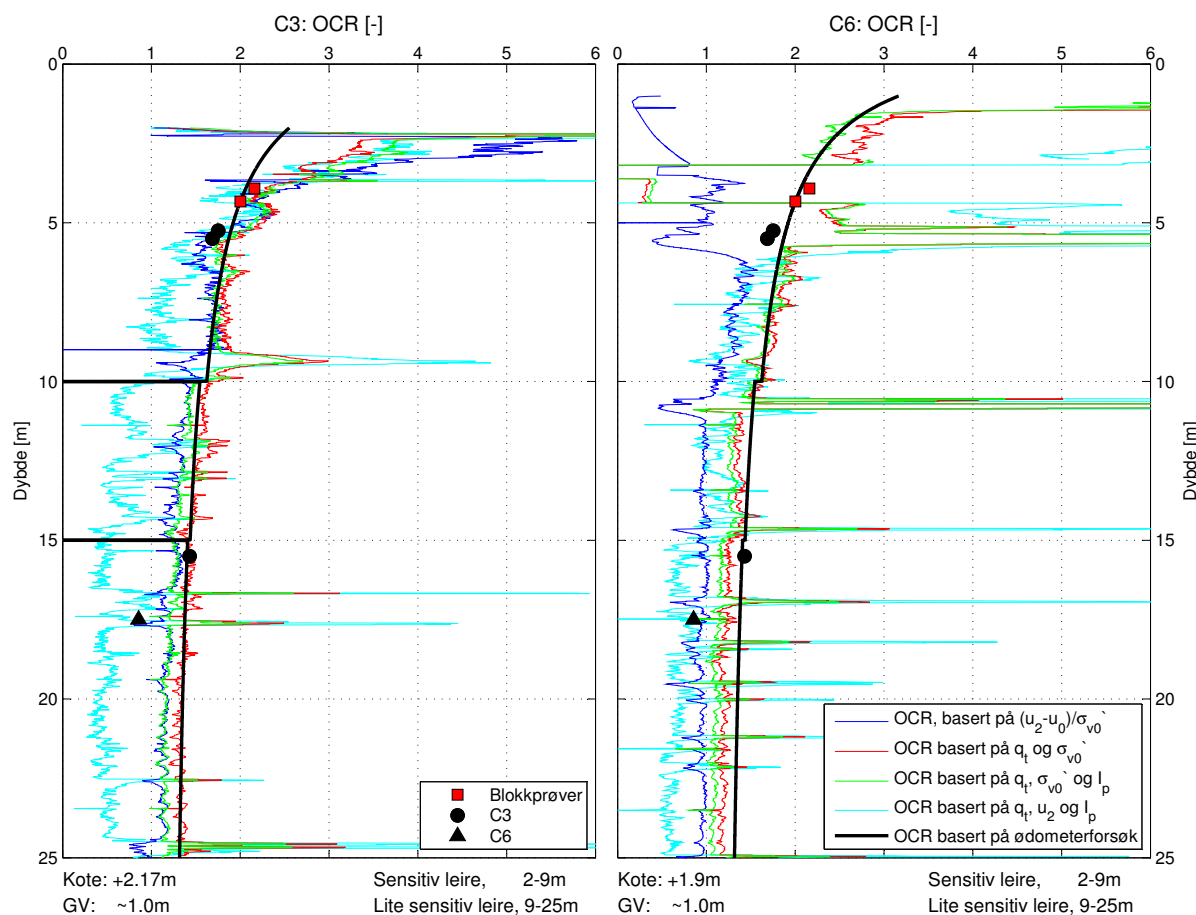
Det ble utført to ødometerforsøk, ett i borpunkt C2 og ett i C5, men det siste ble ikke vellykket. Forsøket fra C2 viser overkonsolideringsgrad over 2, som ikke passer med resultater fra kotenivå +22 m og heller ikke med korrelasjonene. På grunn av manglende informasjon ble det brukt samme funksjon for overkonsolideringsgraden som i borpunktene C4 og KK1.

Korrelasjonene gir generelt god overensstemmelse med resultater fra laborieforsøkene, spesielt i dypere lag. I figur 10.6 ser man at borpunkt C2 ikke har sandlag over seg, noe som gir større OCR-vedier. Større OCR i dette nivå er sannsynlig, spesielt hvis man sammenligner profilet med resultatene fra lavere kotenivåer, se figur 10.7. På grunn av mangel på laborieforsøk i dette området ble det antatt lavere OCR for å være på den konservative siden.



Figur 10.7: CPTU KK3 og KK4 med designlinjer.

Estimert OCR basert på korrelasjoner stemte dårlig med resultater fra ødometerforsøk i de øverste 10 m. Det stemmer bedre overens i dybder større enn 10 m. Grunnen kan være stor overkonsolideringsgrad i tillegg til store tidligere belastninger som ble borte, sannsynligvis for ikke så lenge siden. Poretrykket utvikler seg raskere her enn høyere i skråningen, noe som fører til mindre forskjell fra det hydrostatiske trykket. Differansen mellom spissmotstand og totalspenning er også mindre, noe som er utslagsgivende for andre korrelasjoner.



Figur 10.8: CPTU C3 og C6 med designlinjer.

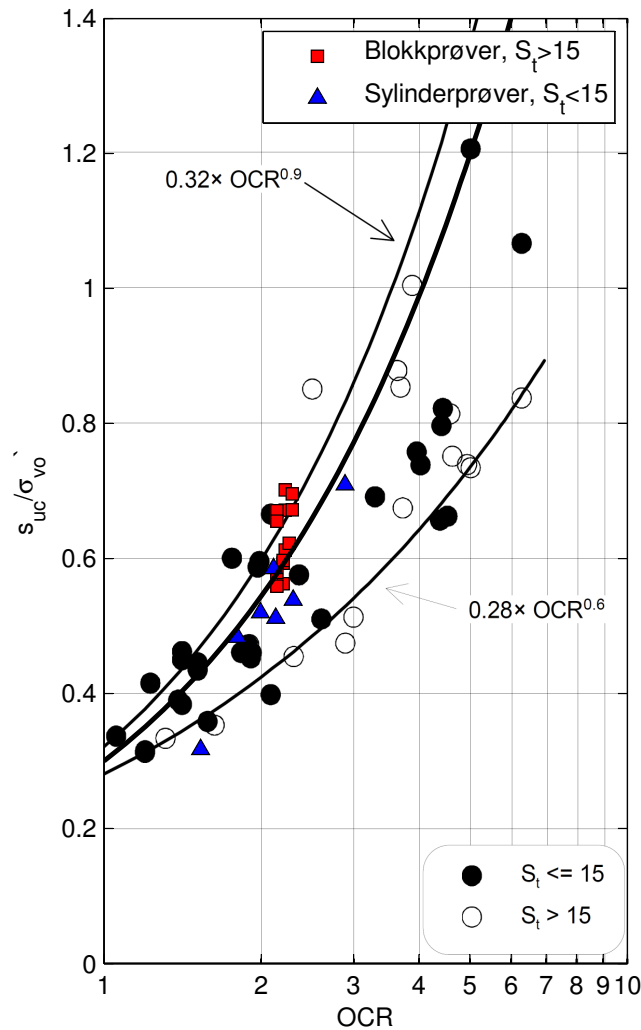
I borhull C3 ble det tatt blokkprøver, derfor ble det lagt mer vekt på blokkprøveresultater. Det ble gjort mange ødometerforsøk på blokkprøvene, men de fleste ga samme resultater, derfor er det bare to punkter som er plottet i figur 10.8. Blokkprøveresultatene stemte godt over med 54mm sylindprøver fra borhull C3, også med estimert OCR.

Korrelasjonen $OCR = 0.99(q_t - u_2)^{1.05} I_p^{-0.20} / \sigma'_{v0}$ viser store forskjellene i forhold til andre resultatert i borhullene KK3, KK4 og C3. Årsaken til det er differansen mellom poretrykket og spissmotstanden i CPTU resultatene, på grunn av stor avlastning på i dette området blir differansen mindre enn høyere i skråningen hvor leiren fortsatt ligger under flere meter av sand.

Uttrykket $OCR = 10^{\frac{1}{8} \left(\frac{u_2 - u_0}{\sigma'_{v0}} - 2.4 \right)}$ er også avhengig av poretrykket, men gir gode korrelasjoner i alle borpunktene. Det betyr at den førstnevnte korrelasjonen er altfor avhengig av poretrykket. I de nevnte borpunktene øker poretrykket raskere med dybden, i borpunktene høyere i skråningen.

Man bør være forsiktig med valget av OCR-verdier basert bare på korrelasjonene, spesielt i lagene under terrenget hvor OCR er størst er avvikene størst. Det er bedre samsvar mellom korrelasjonene etter cirka 10 m dybde og derfor trenges bare noen laboratorieforsøk som kontrollpunkt.

10.4 SHANSEP



Figur 10.9: Resultater med utgangspunkt i erfaringsdata[11]. Basert på blokkprøver og sylindrerprøver med akseptabel prøve kvalitet, hvor lav tøyningshastighet gir de laveste s_u/σ'_{v0} verdiene, $\alpha = 0.3$ og $m = 0.86$

I figur 10.9 er plottet resultater fra blokkprøver, både treaksialforsøk og ødometerforsøkene var av god kvalitet. Blokkprøverresultater grenser mer mot referanselinjen, hvor forsøkene som ble utført med høyere tøyningshastighet, 3-4.5 %/time. For sylindrerprøver er det bare ett forsøk som grenser mot den samme linjen, den ble utført med 5 %/time, resten ligger litt spredt mellom begge linjene. Alle resultatene ligger konsentrert i området med forsøkene på ikke sensitiv leire, selv om blokkprøvene har sensitivitet større enn 15.

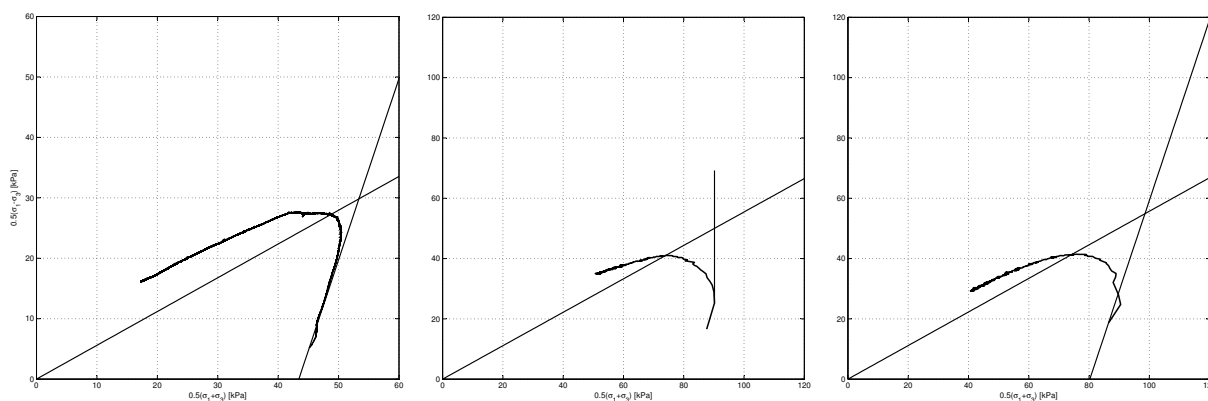
Basert på SHANSEP metode ble uttrykket for s_{uA} i Rissa leire:

$$s_{uA} = 0.3OCR^{0.86}\sigma'_{v0} \quad (10.4)$$

10.5 Korreksjon av CAUa

Basert på korreksjonsforslag for aktive treaksialforsøk som er beskrevet i kapittel om prøveforstyrrelser ble flere av treaksialforsøkene korrigert i forhold til overkonsolideringsgrad med utgangspunkt i blokkprøveresultater. Figur 10.10a viser NGI-plot fra et treaksialforsøk som ble utført på en av blokkprøvene fra Rissa. Det er tegnet inn en linje med stigning 3:1 som representerer elastisk oppførsel med dilatantparameteren lik null. Overkonsolideringsgrad for denne prøven er 2.26 og den oppfører seg elastisk, noe som stemmer med observasjoner som ble beskrevet av NGI [5].

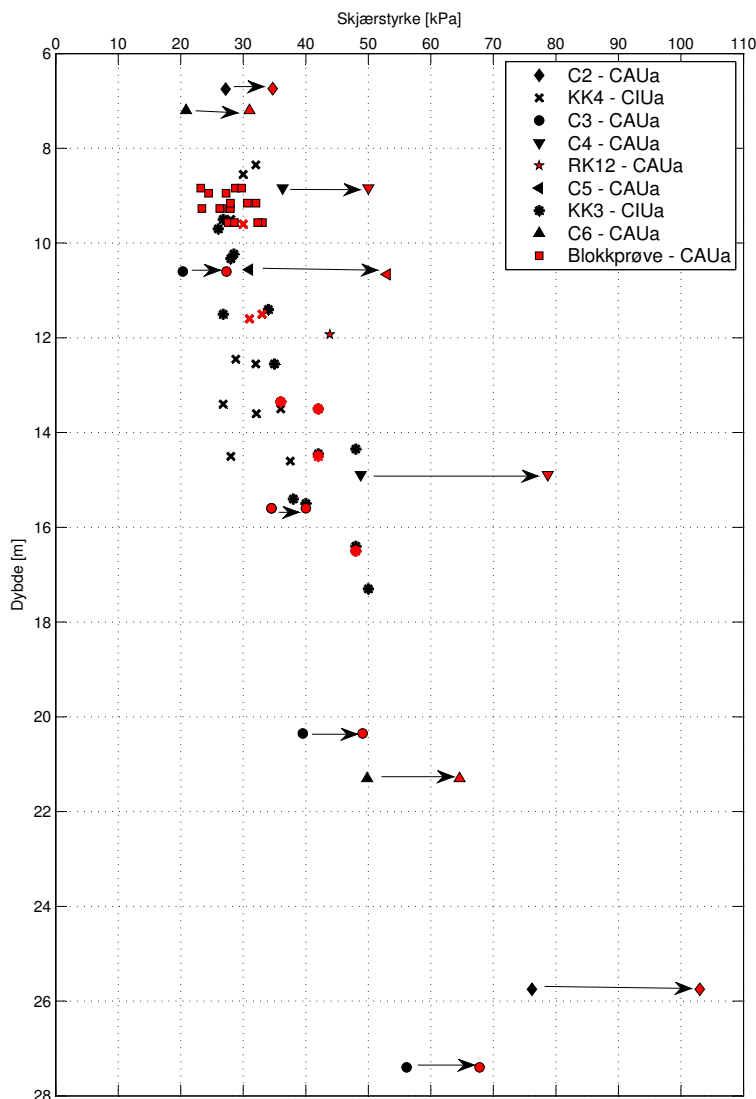
Basert på dette ble det utført korreksjoner av aktive treaksialforsøk, hvorav noen av prøvene har $OCR < 2$ og derfor ble korrigert som i figur 10.10b. De som har $OCR > 2$ ble korrigert som i figur 10.10c. Det anbefales ikke å bruke disse resultatene alene i design, men bare i kombinasjon med resultater fra høykvalitetsprøver.



(a) Blokkprøve, dybde 3.75 m, $OCR=2.26$, $\Delta V= 4.40 \text{ cm}^3$ (b) C4, 54 mm, dybde 10.25 m, $OCR=1.33$, $\Delta V= 9.63 \text{ cm}^3$ (c) C5, 54 mm, dybde 9.50 m, $OCR=2.44$, $\Delta V= 8.71 \text{ cm}^3$

Figur 10.10: Korreksjon av forstyrrede CAUa forsøk fra Rissa

Figur 10.11 viser alle aktive treaksialforsøkene som ble utført i profilene 3-3 og 5-5. Resultatene er satt sammen med en dybdekorreksjon som er beskrevet i tabell 10.1, hvor KK1 i kote +21.9 m er referansepunkt.



Figur 10.11: Korrigerte treaksialforsøk sammen med høykvalitetsprøver (justert dybde)

Pilene representerer korreksjoner som er beskrevet over. Korreksjoner ble gjort på prøver fra borehull C2-C6 på grunn av tilgang til rådatafiler. Resultater fra blokkprøver og sylindrerprøver med akseptabel/god prøve kvalitet er markert med rødt. Lengden på pilene viser hvor forstyrret en prøve er, for eksempel er en prøve fra punkt C3 fra 54 mm sylindrer av akseptabel/god kvalitet og derfor ligger korreksjonen rett ved siden av opprinnelig skjærstyrkeverdi. Verdiene fra borehull C3 og C6 legger seg bedre til med resultater fra blokkprøver og gode forøk fra borehull KK3 og KK4.

Korreksjonene for punkt C2-C5 skiller seg ut fra andre med høyere skjærstyrke. Grunnen til det kan være at de ligger mye høyere i skåningen, ved kote +9.2 m til +21.9 m, med flere meter med sand over seg. Det ble dessverre ikke tatt noen gode prøver fra dette området og korreksjonene kunne ikke bevises.

Forsøkene fra borepunkt KK3 og KK4 hadde mange gode prøver og viser tydelig sammenheng med blokkprøveresultater, i punkt KK4 ble det tatt 73 mm sylindrerprøve.

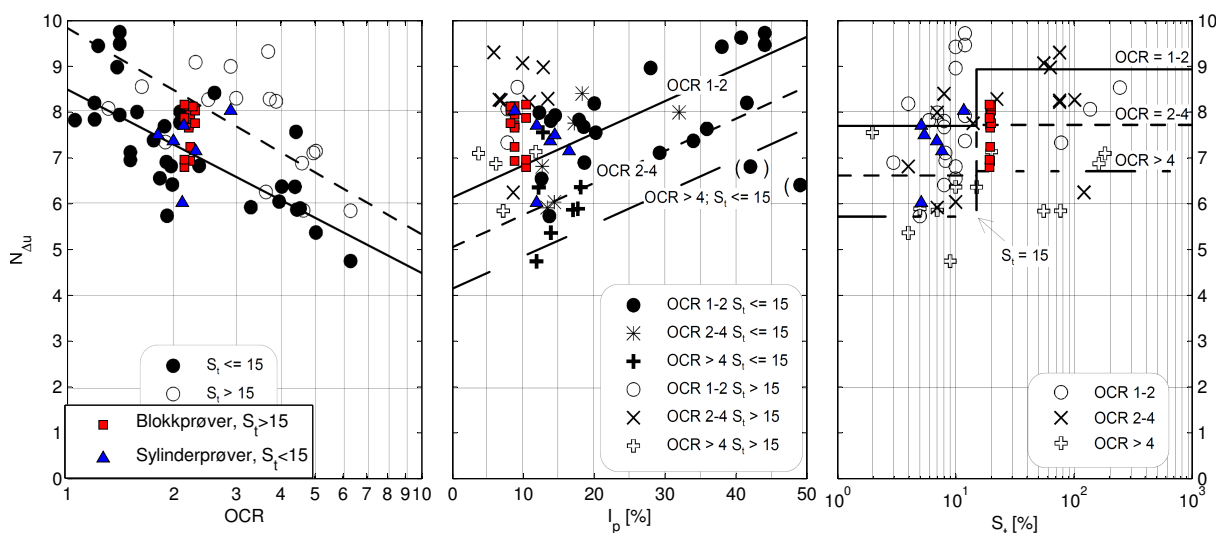
De minste verdiene i blokkprøveskyen representerer forsøkene som ble kjørt med mye lavere tøyningshastighet enn vanlig, de mest representative forsøkene ligger i midten med skjærstyrke mellom 27 og 30 kPa.

10.6 Udrenert skjærstyrke

Ved korrelasjoner av CPTU-resultater blir det brukt konfaktorer som bestemmes ut i fra resultater fra høykvalitets laboratorieforsøk. Alle faktorer, N_{kt} , N_{ke} og $N_{\Delta u}$, bør benyttes, men det er $N_{\Delta u}$ som gir beste resultater. N_{kt} bør brukes for å verifisere resultatet.

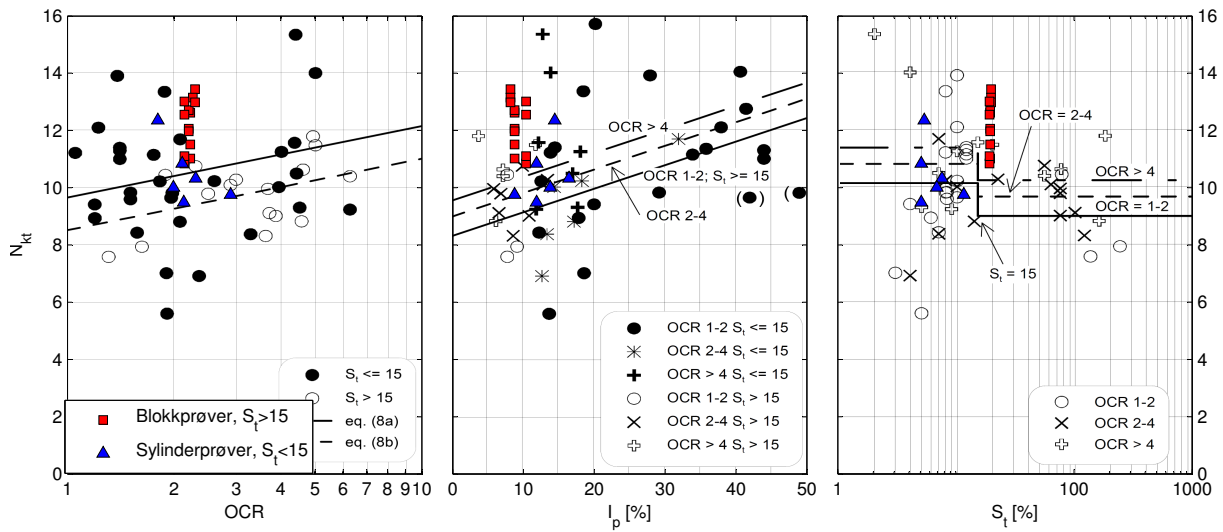
Alle tre blokkprøver kom fra det sensitive leirlaget med sensitivitet større enn 15. Ingen av sylinderprøvene fra dette laget hadde en akseptabel eller god kvalitet, men det var flere gode prøver fra det ikke sensitive laget. Grunnen til det kan være at det er mye vanskeligere å ta opp prøver fra sensitive lag og kvaliteten er vanligvis avhengig av erfaringen til riggoperatøren. De fleste av disse prøvene ble tatt med NTNUs geotekniske mannskap. Sylindrerprøver med akseptabel prøve kvalitet ble brukt for å bestemme konfaktorer i det ikke sensitive leirlaget.

10.6.1 $N_{\Delta u}$



Figur 10.12: Konfaktor $N_{\Delta u}$ basert på blokkprøver og sylindrerprøver med akseptabel prøve kvalitet, hvor lav tøyningshastighet gir de største $N_{\Delta u}$ verdiene, med utgangspunkt i erfaringsdata[11].

Poretrykksresponsen er det viktigste resultatet fra CPTU for å bestemme udrenert skjærstyrke. I figur 10.12 ser man at resultater fra blokkprøver passer sammen med erfaringsdata utført av NGI[11]. Plastisitetsindeksen i blokkprøver ligger rundt 8.5% og sensitiviteten er over 15, noe som stemmer med erfaringsdata. Alle forsøkene ligger over referanselinjen for OCR mellom 1 og 2, noe som stemmer for sylindrerforsøkene, men blokkprøvene har OCR over 2.0 og burde derfor vært lengre ned i følge diagrammet. I diagrammet med sensitivitet ser det ut som OCR-verdiene øker med økende tøyningshastighet, noe som ikke stemmer siden alle blokkprøver har nesten den samme OCR på rundt 2.20.

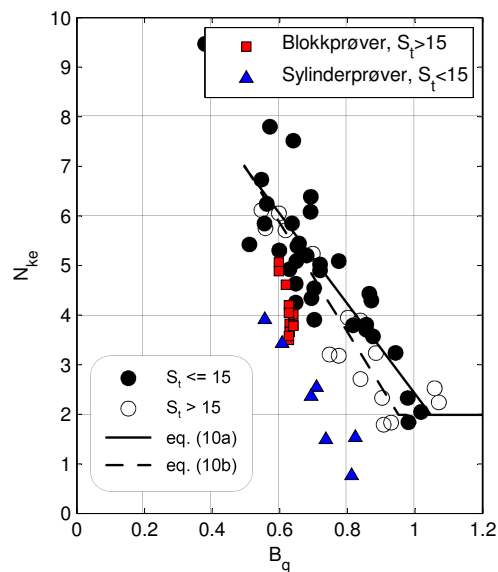
10.6.2 N_{kt} og N_{ke} 

Figur 10.13: N_{kt} basert på blokkprøver og sylinderprøver med akseptabel prøve kvalitet, med utgangspunkt i erfaringsdata [11].

Resultater fra korrelasjon mellom konfaktoren N_{kt} og OCR ga resultater som passet dårlig inn med erfaringsdata. Grunnen kan være at spissmotstanden er vanskeligere å registrere enn poretrykk, noe som gir mer spredning i data, eller at spissmotstanden er avhengig av andre parametre enn de som er representert her.

Diagrammet med plastisitetsindeksen viser motsatte resultater i forhold til OCR, sammenlignet med 10.12. Her ligger verdiene over referanselinjen for OCR 4, men i $N_{\Delta u}$ -diagrammet ligger resultatene over linjen for OCR 1-2. Heller ikke i diagrammet over sensitivitet stemmer OCR verdiene.

Konfaktoren N_{ke} gir lignede data som ikke passer sammen med tidligere undersøkelser, som ligger noe høyere.



Figur 10.14: N_{ke} basert på blokkprøver og sylinderprøver med akseptabel prøve kvalitet, med utgangspunkt i erfaringsdata[11].

Det er generelt dårlig samsvar med foreslåtte korrelasjoner, spesielt mellom OCR, I_p og S_t . Bare $N_{\Delta u}$ og OCR gir brukbar sammenheng.

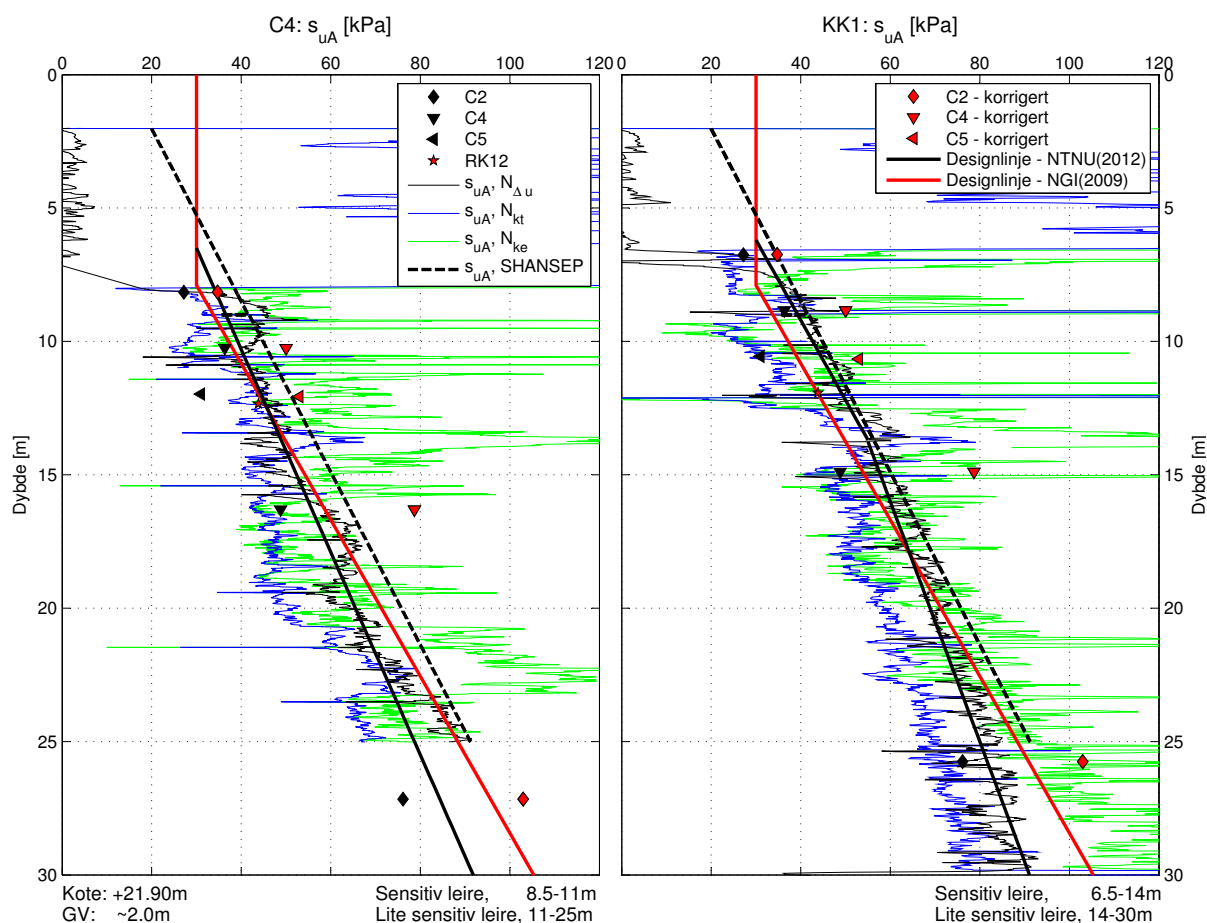
10.7 S_u -profiler

Profiler som viser udrenert skjærstyrke er basert på konfaktorer, se tabell 10.3. Konfaktorene ble valgt konservativt, basert på resultater fra blokkprøveforsøkene med lav tøyningshastighet. Konfaktorer for lite sensitiv leire er basert på sylindrerprøver med akseptabel/god prøve kvalitet på grunn av mangel av blokkprøver i dette laget.

Udrenert skjærstyrke basert på SHANSEP metode ble brukt for verifisering av valgt designlinje, den er mer viktig i noen profiler på grunn av større mengder av data som ble lagt i grunnlag for estimering av OCR.

Tabell 10.3: Konfaktorer, Rissa leire

Konfaktor	Sensitiv leire, $S_t > 15$	Lite sensitiv leire, $S_t < 15$	
$N_{\Delta u}$	8	7.5	Figur 10.12
N_{kt}	13	9.5	Figur 10.13
N_{ke}	4	2-4	Figur 10.14
Valg av konfaktorer : er basert på	Resultater fra blokkprøver	Sylinderprøver med akseptabel/god kvalitet	

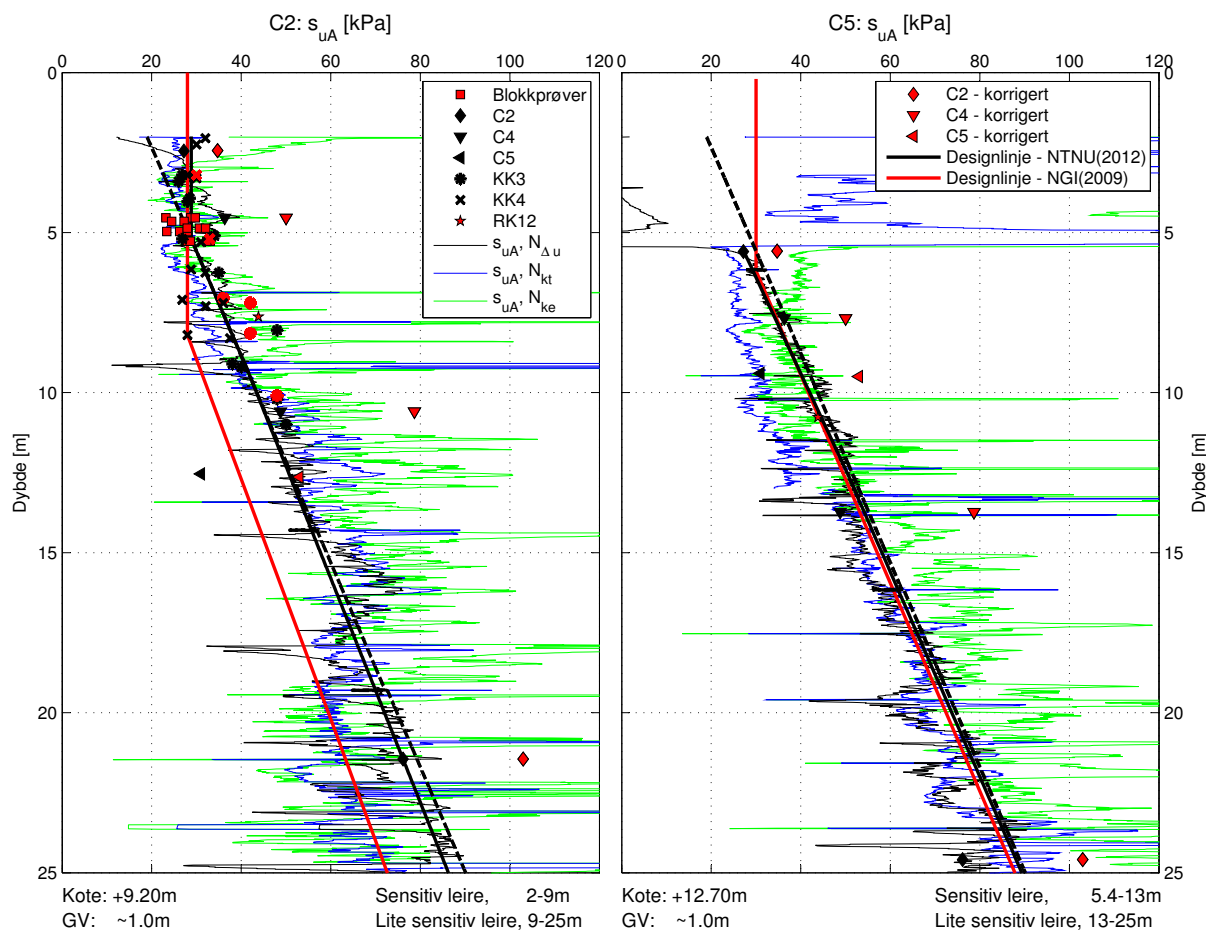


Figur 10.15: CPTU C4 og KK1 med designlinjer.

På grunn av store mengder av sand, samt høydeforskjellen, ligger poretrykket høyere i kote +22 m enn i kote +2 m, der hvor blokkprøver ble tatt. Derfor gir CPTU-resultatene

høyere udrenert skjærstyrke i borehull C4 og KK1. Korrigerte CAUa resultater er lagt til i figur 10.15, men ikke ble brukt som kontrollpunkter. Korrigerte resultater stemmer med s_u basert på SHANSEP-metode.

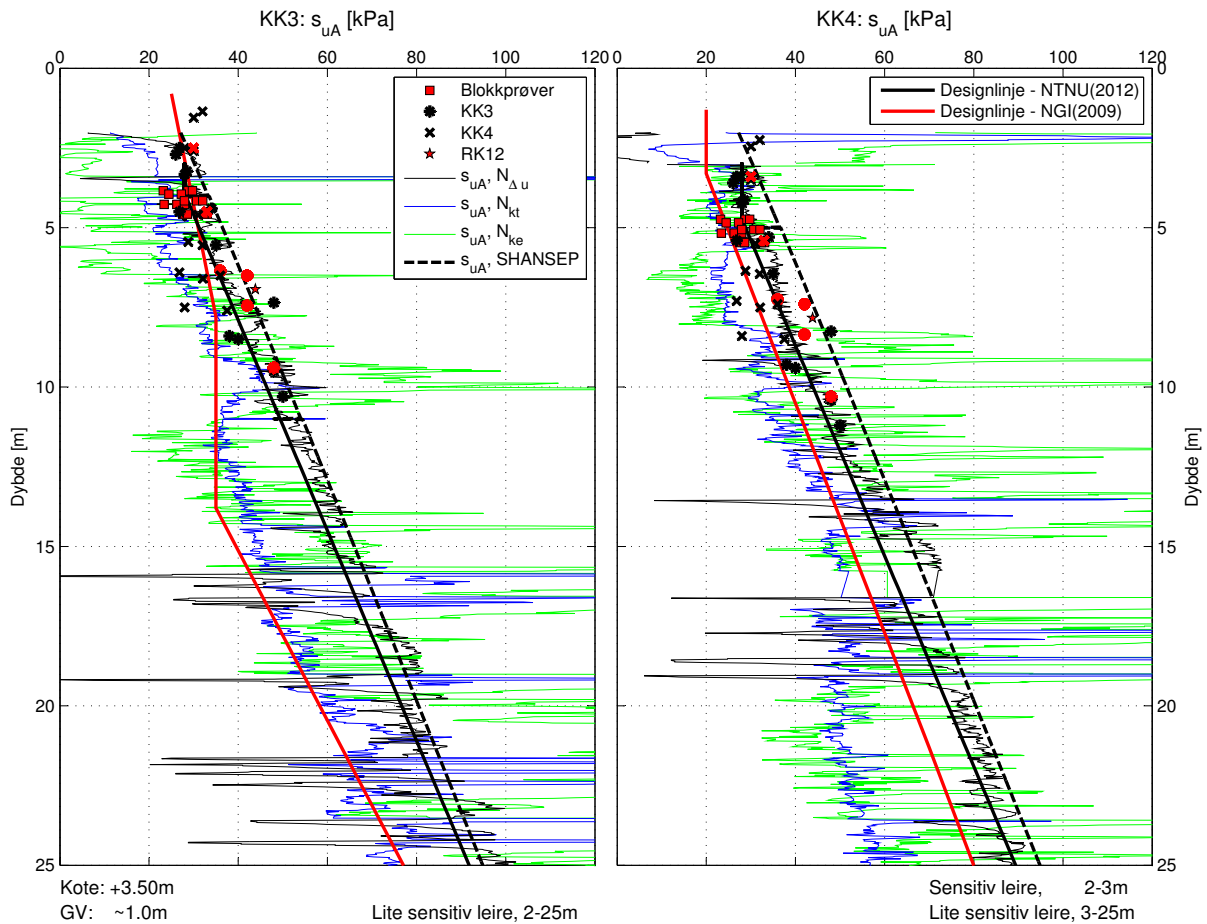
Det ble valgt å basere s_u på $N_{\Delta u}$ og bruke den som avgjørende for profilet med en kontrollpunkt fra RK12. I denne dybde ble det påvist kvikkleire, derfor ble designlinjen valgt mer konservativt. I profil KK1 er skjærstyrken høyere i følge korrelasjonene, men det anbefales å bruke det mer konservative borehull C4.



Figur 10.16: CPTU C2 og C5 med designlinjer.

Designlinjen for udrenert skjærstyrke i borehull C2, se figur 10.16, legges gjennom midten av resultater fra blokkprøveforsøkene på grunn av påvist kvikkleire i 3 m under. Videre følger linjen CPTU resultatene og SHANSEP-basert s_u konservativt rett under gode forøk fra borpunkt KK3 og KK4, se figur 10.16.

Borehull C5 ligger høyere i skråningen enn C2 og er derfor vanskelig å sammenligne med tilgjengelige resultater fra lavere kotenivåer, s_u basert på $N_{\Delta u}$ ble lagt til grunn her som også stemmer godt med s_u basert på SHANSEP metode.



Figur 10.17: CPTU KK3 og KK4 med designlinjer.

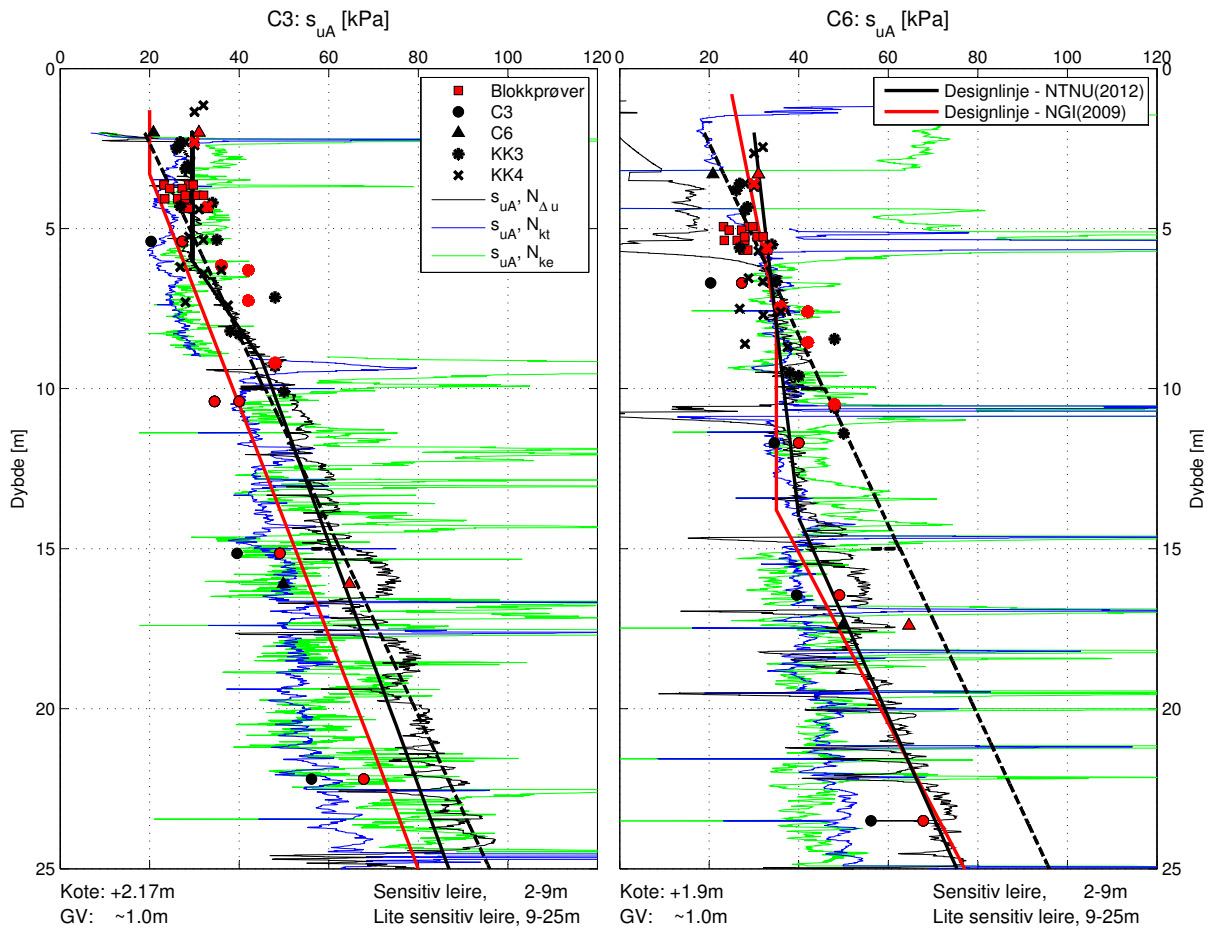
Det er godt samsvar mellom laboratorieforsøkene og $N_{\Delta u}$ -korrelasjonen. Videre er det mange gode forsøk fra disse borehullene som ble brukt som kontrollpunkt sammen med blokkprøver. Forsøk fra store dyp ble ikke gjort her.

I punkt KK3, se figur 10.17, er det gjort grundige undersøkelser og ingen sensitiv leire ble oppdaget i de øverste lagene.

I punkt KK4 er det noen få meter med sensitive masser 2-3 m under terrenget, ellers er det lite sensitiv leire som i borepunkt KK3.

I dype på over 15 m kan det være tynne drenerende sand/silt lag som får s_u verdiene til å variere.

SHANSEP basert s_u er mer aktuell her siden det finnes mange treaksial- og ødometerforsøk i disse borehullene noe som gir god grunnlag for korrelasjon. Resultatet gir høye s_u verdier, noe stemmer med utførte forsøk. Designlinjen ble valgt mer konservativt gjennom de laveste av forsøkene med god prøve kvalitet og blokkprøver.



Figur 10.18: CPTU C3 og C6 med designlinjer.

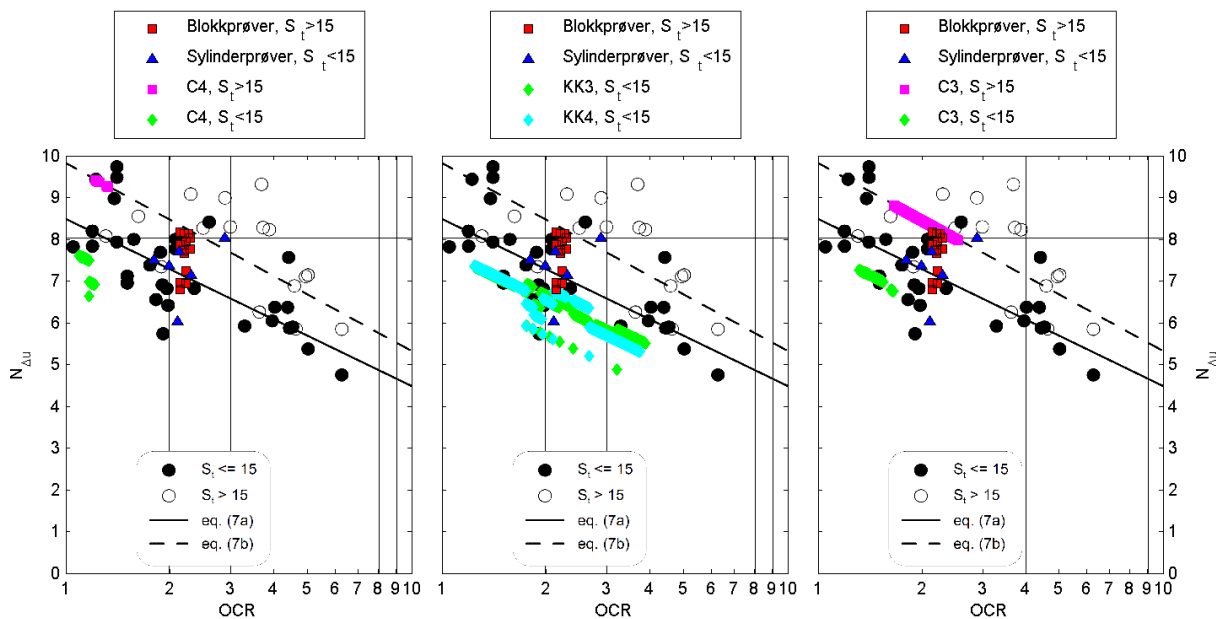
CPTU-profiler fra borpunkt C3 og C6 stemte ikke helt over med resultater fra høyere nivå i skråningen. Poretrykket er lavere i området omtrent 5 m under terrenget, rett under det dypet hvor blokkprøver ble tatt. Det var heller ingen gode treaksialforsøk fra dette området, hverken i borpunkt C3 eller C6.

SHANSEP basert s_u stemmer godt med $N_{\Delta u}$ -korrelasjonen i dybden under 5 m. Her går designlinjen gjennom CPTU-resultater for udrenert skjærstyrke siden det er ingen andre resultater man kan stole på.

10.8 Vurdering av $N_{\Delta u}$ med OCR

SHANSEP-basert s_u ble brukt for verifisering av udrenert skjærstyrke i profilene over med estimert OCR som grunnlag. Derfor blir også konfaktorene beregnet på nytt med utgangspunkt i estimert OCR.

Det ble valgt borpunkt som har flere laboratorieresultater og generelt god overensstemmelse i OCR-profiler, borpunkt C4, KK1, KK3, KK4 og C3. $N_{\Delta u}$ ble beregnet med utgangspunkt i ligning 6.12 for ikke-sensitiv leire og 6.13 for sensitiv leire, hvor OCR ble estimert basert på ødometerforsøk som i ligninger 10.1, 10.2 og 10.3.



Figur 10.19: Vurdering av $N_{\Delta u}$ med utgangspunkt i estimert OCR, med utgangspunkt i erfaringsdata [11].

OCR-basert beregning viser høyere $N_{\Delta u}$ i borpunkt C4, cirka 9.5 i forhold tidligere antatt 8.5. Samtidig viser SHANSEP-metoden høyere udrenert skjærstyrke i nesten hele profilen, se figur 10.15. Sistnevnte metode har vist bedre korrelasjon mellom parametrene for Rissa leiren, se figurer 6.14 og 6.5. Av den grunn er det valgt å ikke forandre på konfaktoren i det sensitive laget.

I borpunkt C3 stemmer de nye konfaktorene bedre med blokkprøver, men avvik oppstår i dypere lag.

Nye beregninger stemmer bedre med opprinnelige beregninger i ikke-sensitiv leire, hvor OCR er mindre enn 2.0. Ved OCR større enn 2.0 blir $N_{\Delta u}$ så liten at resultatene ikke kan stemme med laboratorieresultater.

10.9 s_{uCAUC} , s_{uCAUC} , s_{uDSS} og σ'_c

Basert på flere laboratorieforsøk på høykvalitetsprøver har NGI kommet med en korrelasjon mellom prekonsolideringstrykket og udrenert skjærstyrke for aktiv og passiv treaksialforsøk og direkte skjærforsøk[2]. Korrelasjoner er presentert som enkle linjer med uttrykk:

$$s_{uCAUa} = 0.28\sigma'_c \quad (10.5)$$

$$s_{uCAUp} = 0.18\sigma'_c \quad (10.6)$$

$$s_{uDSS} = 0.23\sigma'_c \quad (10.7)$$

Blokkprøver fra Rissa har et overkonsolideringstrykk på rundt 100 kPa og gir derfor en skjærstyrke på 28 kPa for et aktivt treaksialforsøk, noe som stemmer med laboratorieresultatene. Verdien fra passiv treaksialforsøk var nesten dobbelt så høy, 18 kPa, sammenlignet med resultater fra Rissa på ca. 10 kPa. Direkte skjærforsøk ble ikke gjennomført på leire fra Rissa, men siden skjærstyrkene for aktiv treaksialforsøk stemte godt med tidligere undersøkelser, er det sannsynlig at verdi for skjærstyrke på 23 kPa for direkte skjærforsøk kan ligge i nærheten.

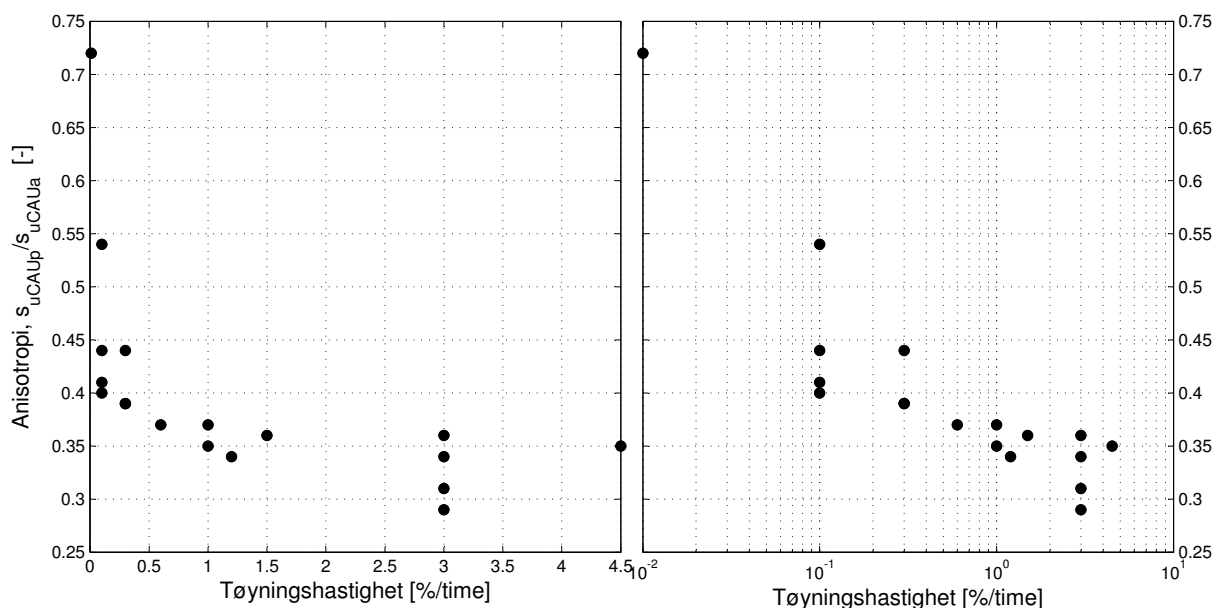
10.10 Anisotropi

Styrkeanisotropiforholdet for blokkprøver er basert på gjennomsnittsverdier fra NGIs databaser [27]:

$$s_{uDSS}/s_{uCAUa} = 0.69 \quad (10.8)$$

$$s_{uCAUp}/s_{uCAUa} = 0.42 \quad (10.9)$$

Udrenert skjærstyrke basert på aktiv treaksialforsøk for blokkprøver fra Rissa ligger på 28 kPa, noe som gir s_{uCAUa} på 19.3 kPa. Forholdet mellom s_{uCAUp} og s_{uCAUa} er uvanlig lav, det betyr at s_{uCAUp} -verdi er lavere enn de fleste marine leirer, korrelasjonene med prekonsolideringstrykket tyder også på det.



Figur 10.20: Anisotropi i Rissa leire, høye verdier er forårsaket av lave s_{uCAUa} verdier.

I figur 10.20 er alle blokkprøveresultater som er listet opp i tabell 10.4. Noen av treaksialforsøkene ble utført med andre konsolideringsspenninger og skiller seg derfor litt ut, som to av forsøkene med 3% tøyning per time. Et treaksialforsøk med fokus på krep ble gjort med 0.01% tøyning per time, som er et spesialforsøk. Det anbefales å se bort i fra dem og bruke en verdi for s_{uCAUp}/s_{uCAUa} som ligger mellom 0.35 og 0.40.

Tabell 10.4: Anisotropi i borehull C3, 3.5-4.2 m, se tabell 9.6 for detaljer

Forsøk	$d\varepsilon/dt$ [%/time]	Dybde [m]	s_{uCAUp}/s_{uCAUa} [-]
CAUa009	3	3.75	0.36
CAUa011	4.5	3.64	0.35
CAUa001	3	3.96	0.31
CAUa015	3	4.37	0.34
CAUa003	3	3.96	0.29
CAUa008	1.5	3.64	0.36
CAUa102	1.2	3.96	0.34
CAUa006	1	4.07	0.37
CAUa016	1	4.37	0.35
CAUa004	0.6	4.07	0.37
CAUa010	0.3	3.64	0.44
CAUa005	0.3	4.07	0.39
CAUa018	0.3	4.37	0.39
CAUa012	0.1	3.75	0.54
CAUa007	0.1	4.07	0.44
CAUa017	0.1	4.37	0.41
CAUa013	0.1	3.75	0.40
CAUa014	0.01	3.75	0.72

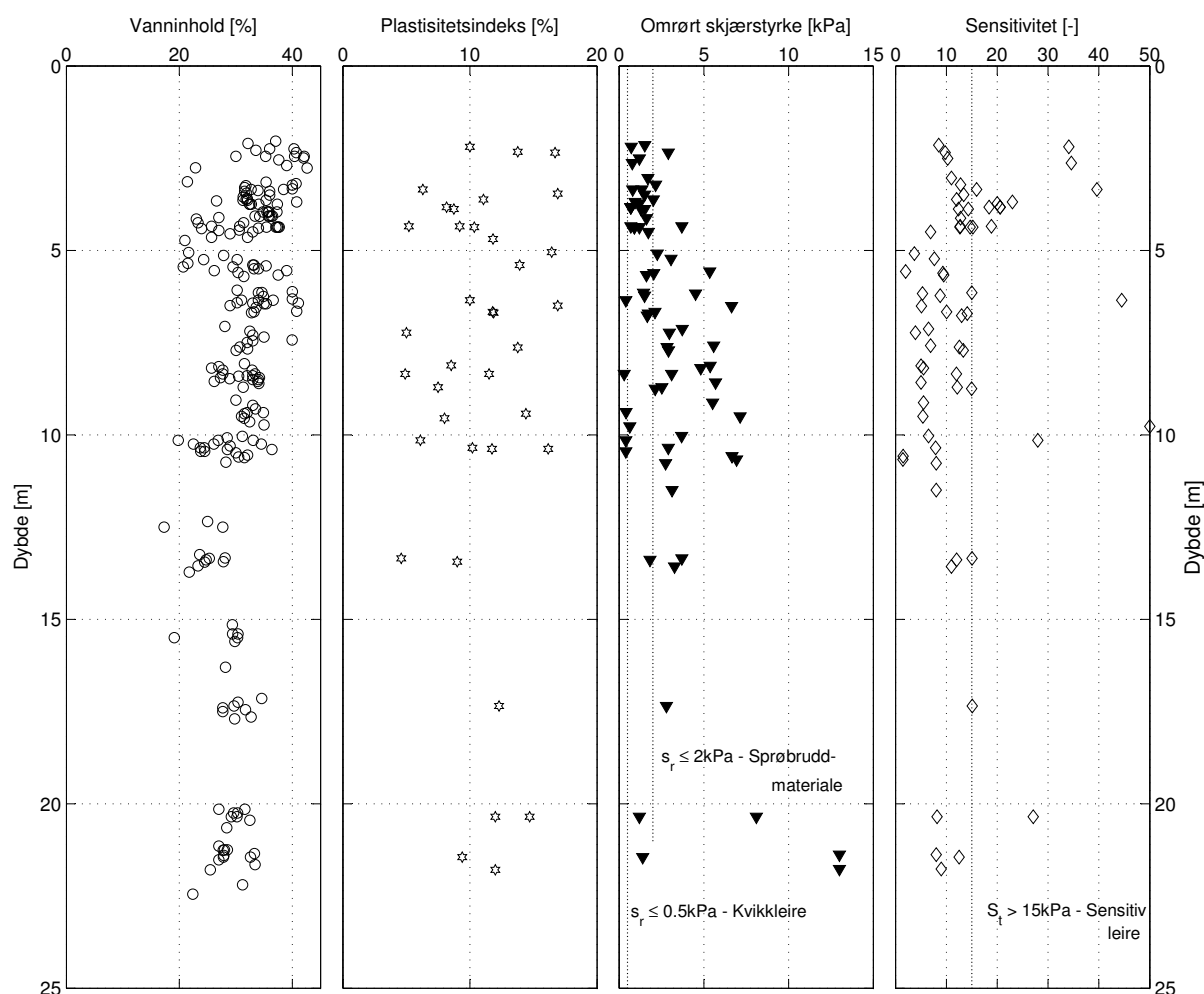
Kapittel 11

Sammenligning av resultater

11.1 Rutineundersøkelser

Dette kapittelet bør leses parallelt med vedlegg A, "Prøveserier", hvor alle resultatene fra borpunktene er plottet, etterfulgt av samleplott for profil 3-3 og 5-5.

I borpunkt C1, som ligger i kote +25.14 m, er det over 16 m med siltig sand. Vanninnholdet er rundt 23% 6m under terrenget og er større lengre ned i dypet hvor den er rundt 18%. Boringen stoppet før leirlaget ble påtruffet. I borpunkt KK2, som ligger i kote +18, ble sonderingen stoppet etter 8m med sand, ingen prøvetaking ble gjort. Borpunktene C4 og KK1 ligger i kote +21.9 m, prøvetakingen ble gjort i punkt C4, hvor det ble oppdaget et par meter med kvikkleire 10 m under terrenget.



Figur 11.1: Rissa leire: samlet resultat av rutineundersøkelser

I borpunktene C2, C4 og C5 ble det påvist et par meter med kvikkleire. Laget begynner rundt kote +12 m i punkt C4 og fortsetter til kote +8 og +7 m i punktene C5 og C2. Plastisitetsindeksen ligger mellom 5 og 10% med vanninnhold rundt mellom 33 og 25%. Flyteindeksen ligger mellom 2 og 3.3%, flytegrensen på cirka 25% er mindre enn vanninnholdet, noe som kjennetegner kvikkleire. Omrørt skjærstyrke i kvikkleiren er rundt 0.4kPa med sensitivitet mellom 28 og 94.

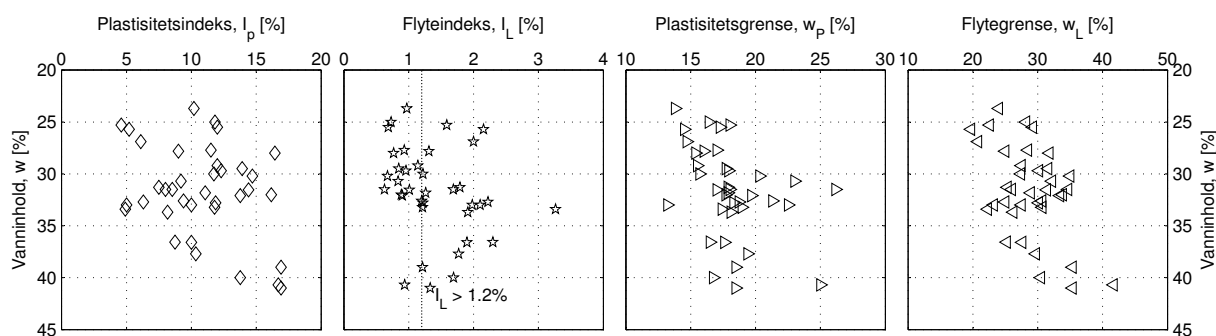
Vanninnholdet i sensitiv leire er rundt 35% og minker til rundt 30% i ikke-sensitiv leire,

se figur 11.1, hvor man kan se at sensitiv leire stopper rundt 10m under terrenget. Stedvis er vanninnholdet lavere på grunn av drenerende sand-/siltlag. Plastisitetsindeksen ligger mellom 10 og 13% i sensitive lag og rundt 15% i ikke-sensitiv leire. Mange av sensitivitetens verdier ligger rundt sensitivitetsgrensen på $S_t = 15$, se figur 11.1, spesielt i de 5 øverste metrene. Nesten alle av disse verdiene er definert som sprøbruddmateriale og har $s_r \leq 2$ kPa. I beregninger ble denne variasjonen ignorert, og sensitiv leire ble antatt for hele laget.

Det er en prøve i borpunkt C3, i dybde på over 20 m, som viser sensitivitet på over 27 og plastisitetsindeks over 10%. En meter lengre ned synker sensitiviteten til 9.8%. Det er ikke sikkert at det er et lag av sensitivt materiale i denne dybden, men det kan være et tynt lag av utvasket leire som grenser med en av de mange tynne sand-/siltlagene.

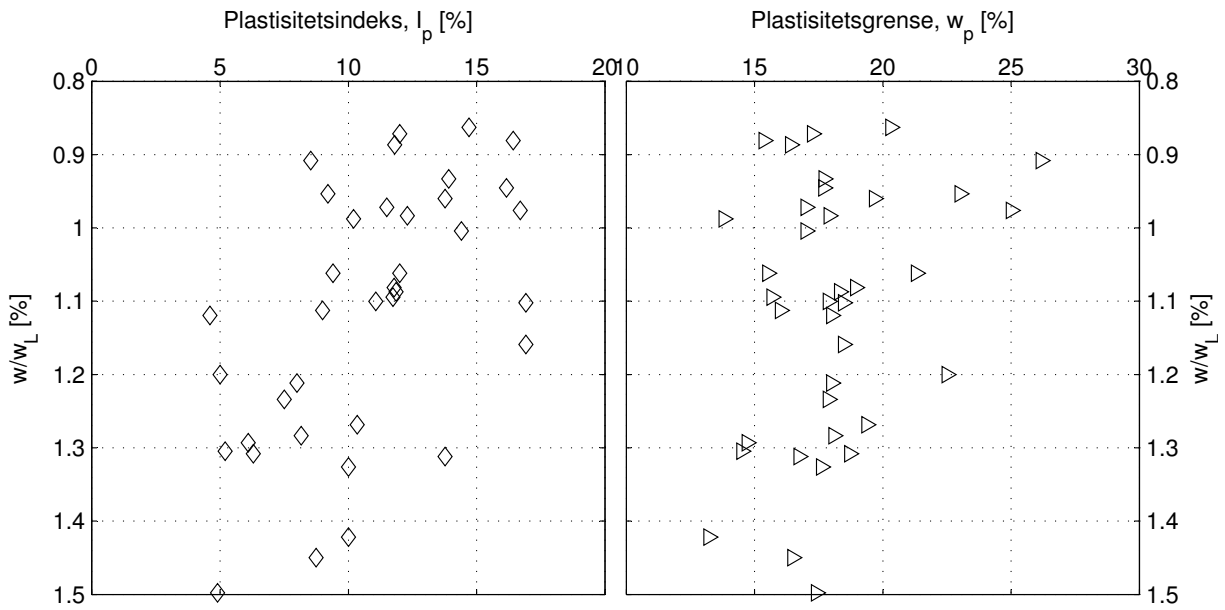
Saltinnholdet fra blokkprøvene (dybde 3.5-4.5 m) ser ut til å synke med dybden. Det samme mønster observeres også i borpunkt KK4, se vedlegg A, hvor saltinnholdet er på 2.2 g/l 5.5 m under terrenget, men øker opp til 6.7 g/l en meter lengre ned og enda en meter ned synker den igjen til 1.8 g/l. Dette tyder på mange tynne drenerede sand-/siltlag som vasker vekk saltet. Dette ser ikke ut til å påvirke leirestyrken, som øker med dybden uansett hvor stort saltinnholdet er.

Mange av prøveseriene kommer fra strandsonen på grunn vanskelige terrengforhold på toppen av skråningen.

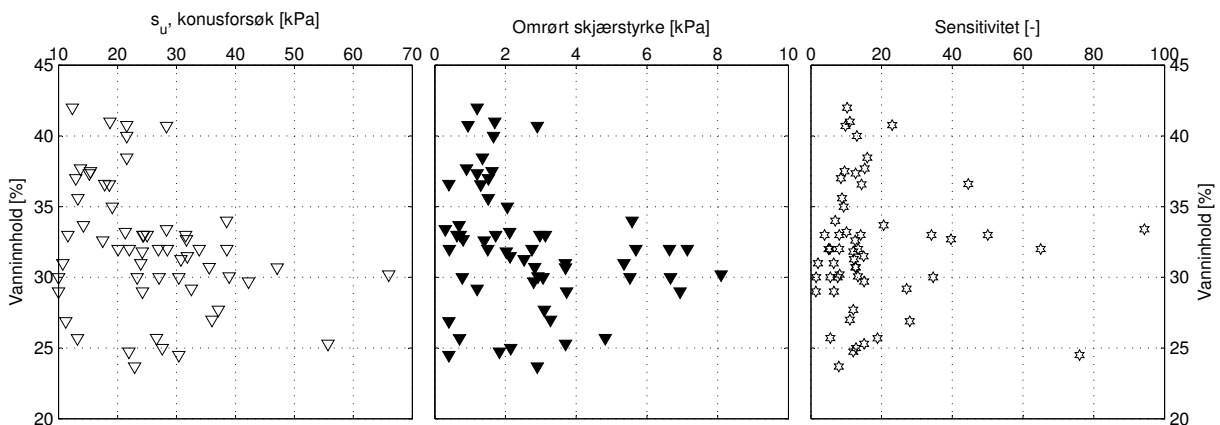


Figur 11.2: Rissa leire: forholdet mellom vanninnhold og Atterbergs grenser

I figur 11.2 er vist en sammenheng mellom vanninnholdet og Atterbergs grenser. Det er en tydelig sammenheng mellom vanninnholdet og plastisitets- og flytegrensen. Når vanninnholdet minker, minker også Atterbergs grenser, noe som er logisk. Flytegrensen minker like mye som vanninnholdet, men plastisitetsgrensen minker mer enn dobbelt så mye. Plastisitetsgrensen har større spredning i verdiene enn flytegrensen, grunnen til det kan være forsøksmetode og problemer med gjennomføring av forsøket på leire med høyt vanninnhold. Avviket er større når vanninnholdet er over 30%. Indeksene får generelt stor spredning i verdiene, men det ser ut som I_p minker like mye som vanninnholdet.



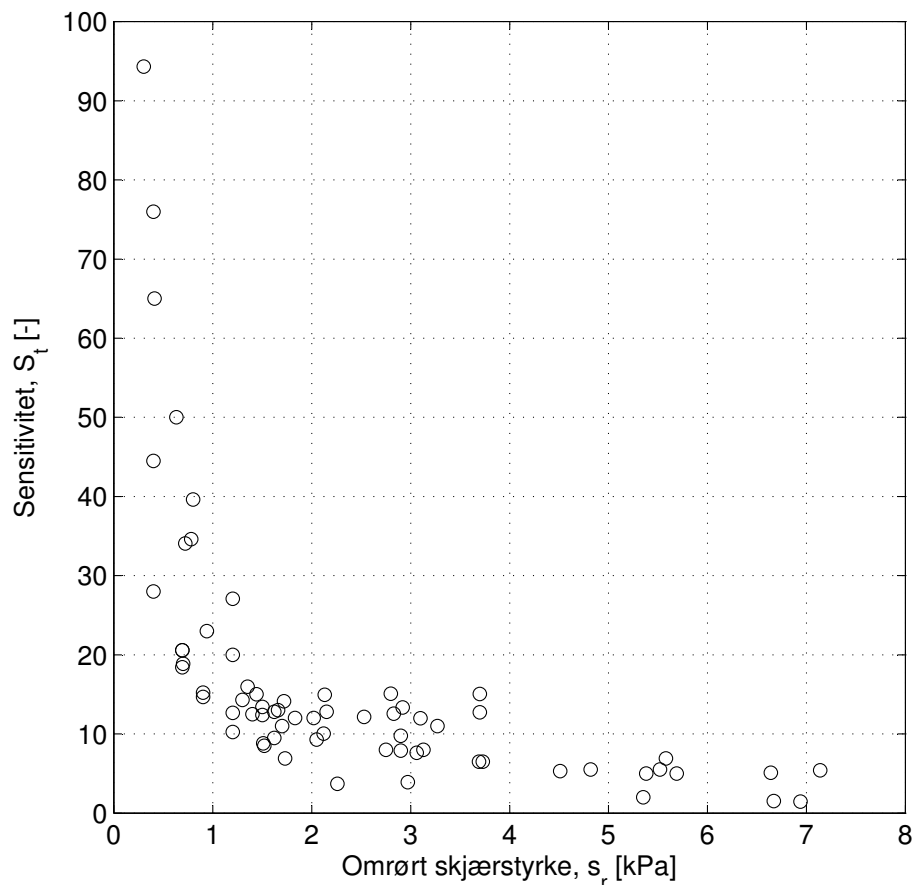
Figur 11.3: Rissa leire: forholdet mellom normalisert vanninnhold, w/w_L , og I_P og w_P



Figur 11.4: Rissa leire: forholdet mellom vanninnhold, s_u , s_r og S_t

Sammenhengen mellom vanninnholdet og parametrene fra konusforsøkene er vist figur 11.4. Det er spredning i verdiene, blant annet har omrørt skjærstyrke en ”sky” av høye verdier på over 5 kPa. De kommer fra store dyp på over 20 m, men resten kommer fra 2-11 m dybde, se også figur 11.1. De laveste vanninnholdsverdier kommer fra leire ved drenerende lag og gir derfor generelt lav skjærstyrke.

Hvis man ser bort ifra det, ser det ut som at s_u øker med 2 kPa for hver prosent reduksjon i vanninnholdet og omrørt skjærstyrke øker med 0.2 kPa. Samtidig øker sensitiviteten med omtrent 2 i leire med sensitivitet under 20.

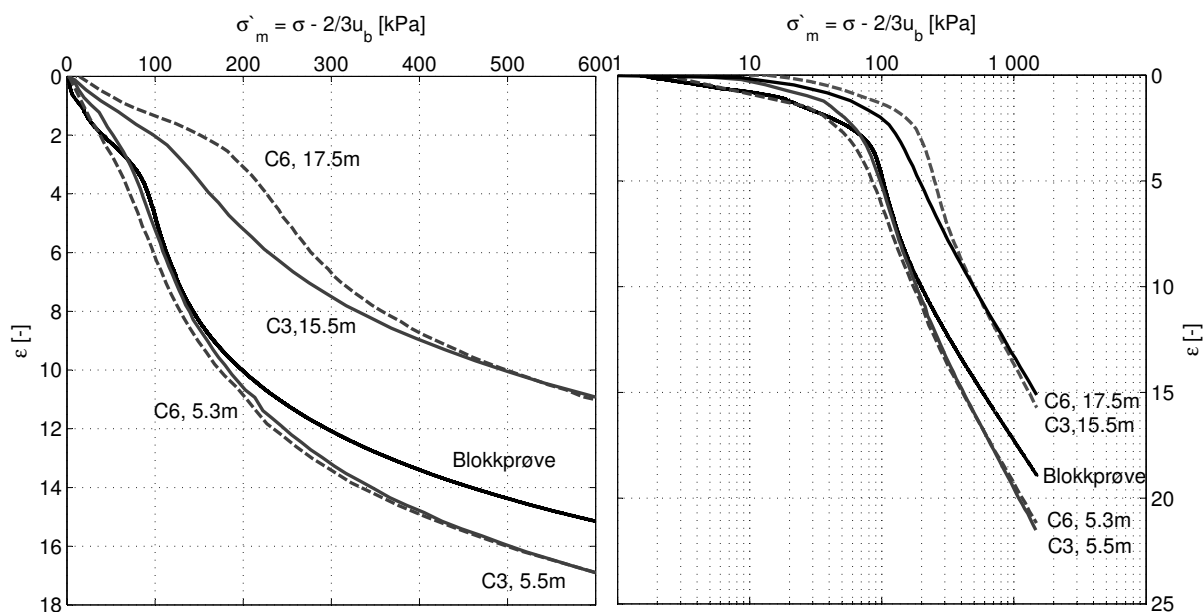
Figur 11.5: Rissa leire: forholdet mellom s_r og S_t

Figuren 11.5 viser forholdet mellom omrørt skjærstyrke og sensitivitet for Rissaleire. Mesteparten av undersøkte prøver var ikke sensitive, $S_t < 15$. Det er få prøver, blant annet blokkprøver, som hadde omrørt skjærstyrke mellom 0.5 og 1 kPa. Tidligere undersøkelser av denne sammenhengen[41] viser at retrogressive skred ikke inntreffer i leiren med omrørt skjærstyrke på over 1 kPa.

Ingen klar sammenheng ble funnet mellom udrenert skjærstyrke fra konusforsøket og treaksialforsøk.

11.2 Ødometerforsøk

NGI har vært forsiktige i sine antagelser av overkonsolideringsgraden i Rissaleiren, antatt at leiren normalkonsolidert [23].

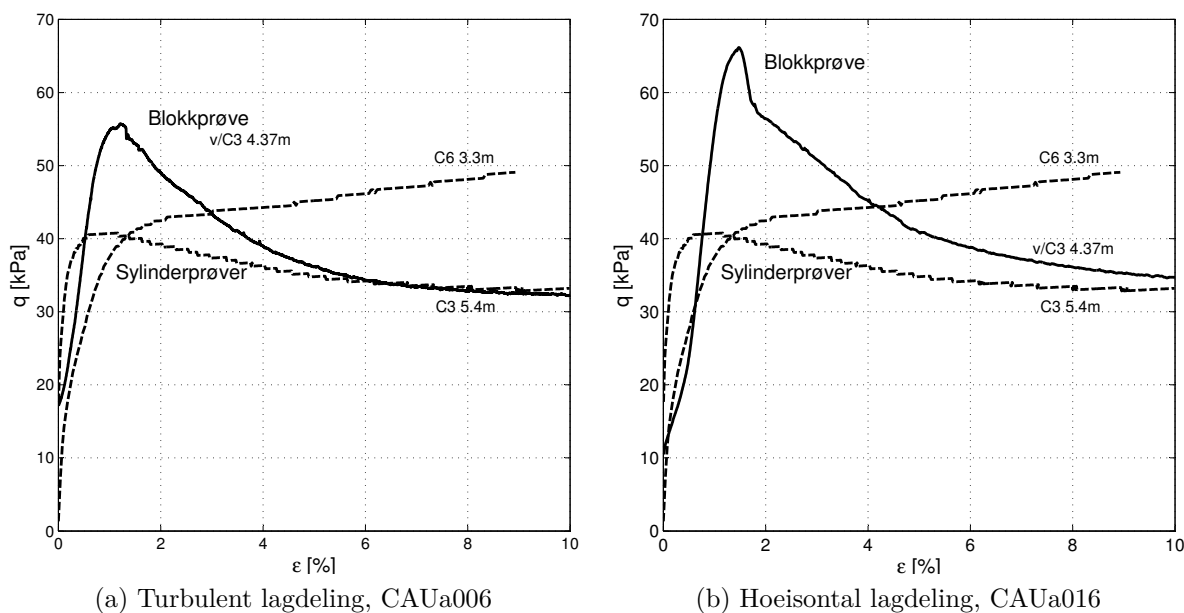


Figur 11.6: CRS ødometerforsøk utført på sylindrerprøver og blokkprøve

I figur 11.6 er resultater fra CRS ødometer utført på sylindrerprøver fra borpunkt C3 og C6, sammen med en representativ ødometer fra blokkprøve, CRS001. Alle prøvene var av meget god til god kvalitet.

Forsøket fra blokkprøven viser prekonsolideringstykket tydeligst, men det er også synlig i andre forsøk.

11.3 Treaksialforsøk



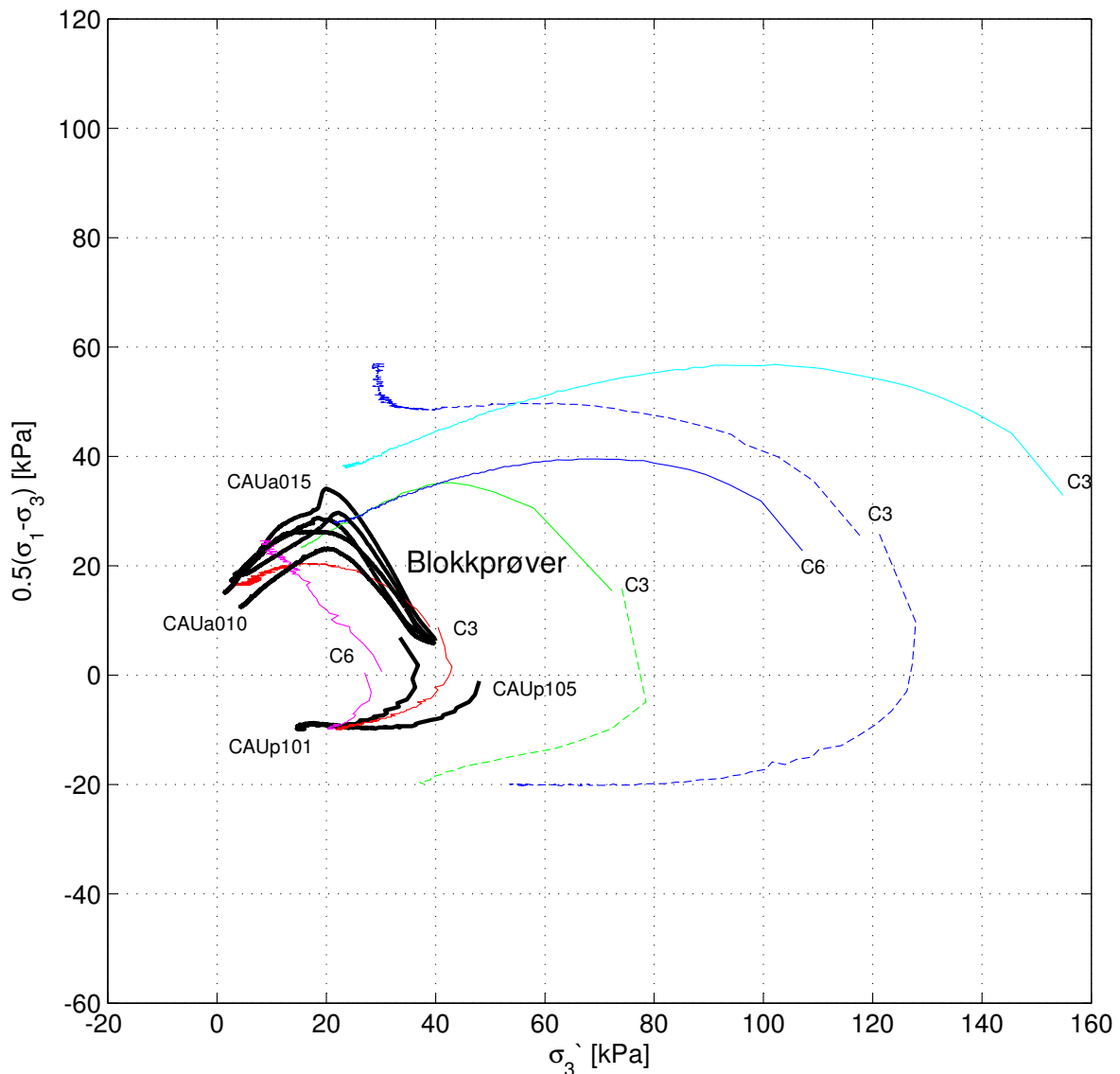
Figur 11.7: Treaksialforsøk i borpunkt C3 og C6 sammen med blokkprøveresultater

Resultater fra et treaksialforsøk på blokkprøven og sylindrerprøver er vist i figur 11.7.

Forsøket CAUa016 på blokkprøven ble utført med 0.6%/time i tøyningshastighet, C3 med 0.5 %/time og C6 med 1.2 %/time. Økningen av skjærstyrken mellom sylindrerprøve fra 5.4 m og blokkprøve fra 4.37 m er 62.3%. Korrelasjonene mellom CPTU og blokkprøveresultater, se figur 10.18, viser at skjærstyrken ikke forandrer seg før en dybde på rundt 6 m under terrenget. Det betyr at 62.3% økning i skjærstyrke er ren prøveforstyrrelse.

Forsøket CAUa006 på blokkprøven ble utført med 1.0 %/time i tøyningshastighet. Økning i skjærstyrke mellom sylindrerprøven fra 5.4 m og blokkprøven fra 4.07 m er 33.8%. Selv om forøket ble kjørt dobbelt så fort, gir det lite ekstra skjærstyrke sammenlignet med CAUa004 som ble kjørt med 0.6 %/time og har 32.9% økning fra sylindrerprøven.

Alle forsøkene ble utført på samme type leire, men det er bare blokkprøver som viser sprøbruddseffekten tydelig. Sylindrerprøve fra borpunkt C3, se figur 11.7, har en svak antydning for "strain softening", men prøven fra C6 blir sterkere med økende deformasjon. Prøveforstyrrelser i 54 mm sylindrerprøver ikke gir grunnlag for forståelsen av sprøbruddsmekanismen.

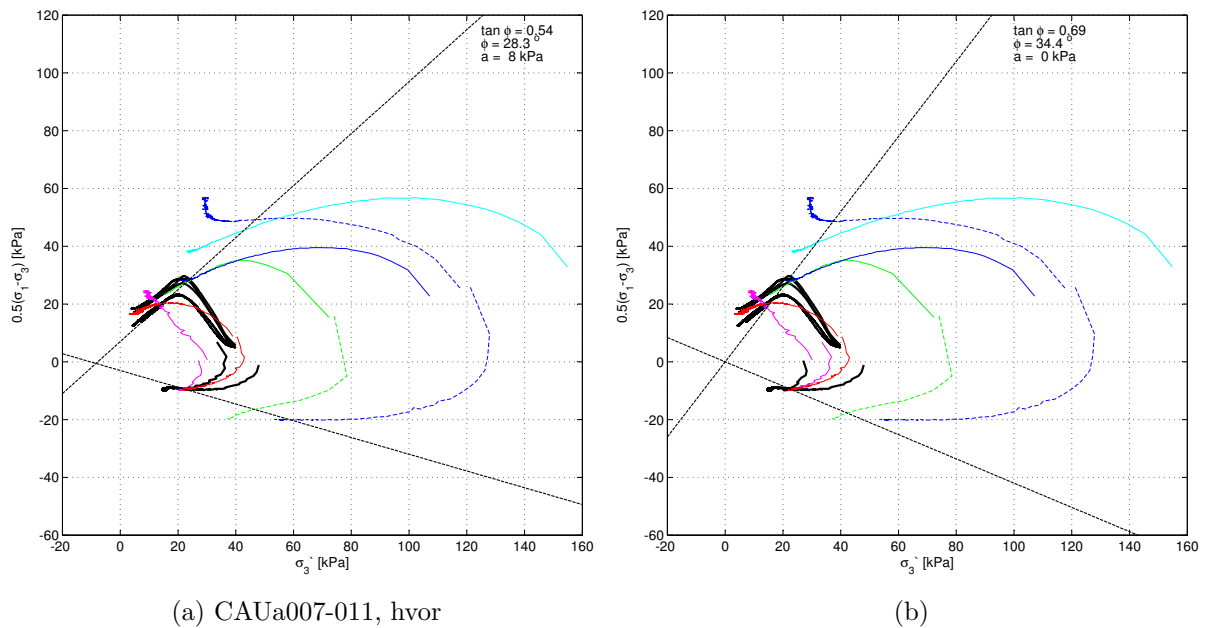


Figur 11.8: Resultater fra treaksialforsøk på sylindrerprøver (Multiconsult) i borpunkt C3 og C6 sammen med blokkprøverresultater

Forsøkene CAUa015 og CAUa010 i figur 11.8 ble plottet som grensene for forskjellige spenningsstier.

Passive treaksialforsøk viser ikke forskjeller mellom blokkprøver og sylindrerprøver fra samme dybde, alle ender opp nesten i samme punkt. Erfaring viser at passive forsøk er lite påvirket av prøveforstyrrelser [27].

På grunn av store forskjeller i resultatene mellom leire med turbulent og horisontal lagdeling, ble resultatene vurdert hver for seg for å finne bruddtaket, se figur 11.10 og 11.9.



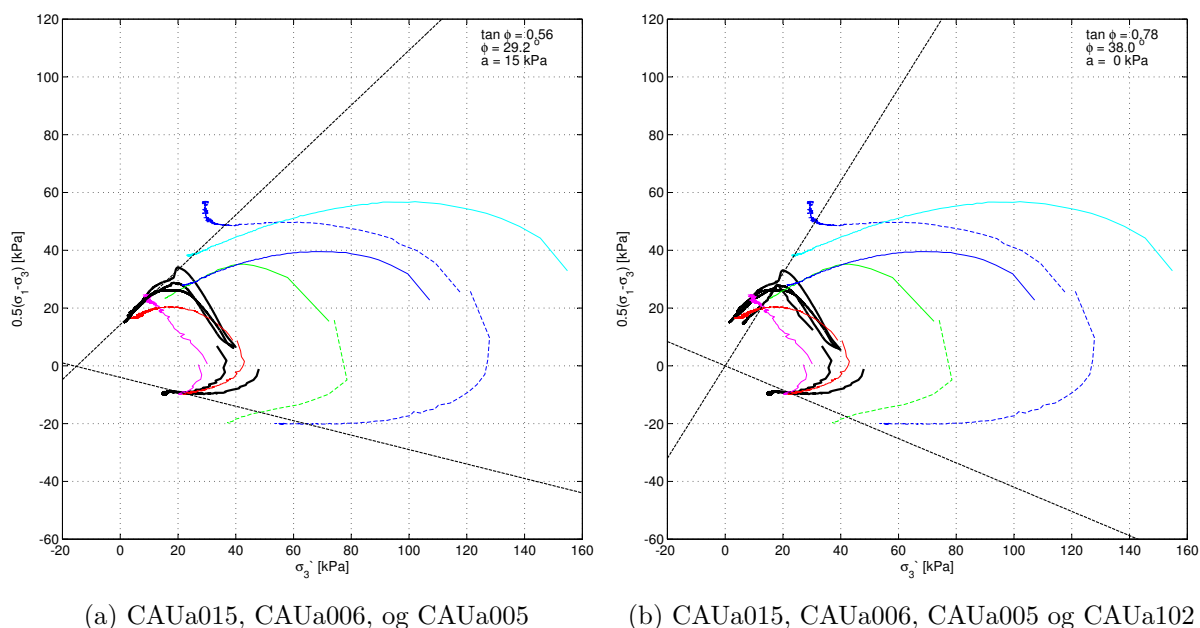
Figur 11.9: Blokkprøvene med turbulent lagdeling og sylindrerprøver(Multiconsult) fra C3 og C6

I figur 11.9a går bruddtaket gjennom bruddlinjen til to forsøk som ble kjørt med 0.1 og 0.3%/time. De viser mindre attraksjon og kohesjon enn forsøkene som ble kjørt med høye tøyningshastigheter. Dette gir en friksjonsvinkel på 28.3° og attraksjon på 8 kPa. Forsøkene CAUa010 og CAUa007 ligger lavest i figuren over.

Med å legge bruddtaket gjennom toppene av forsøkskurvene, se figur 11.9b, går linjen gjennom origo. Dette gir en friksjonsvinkel på 34.4° og attraksjon på 0 kPa.

Ingen av forsøkene viste en skarpere topp på kurven, som betyr at poretrykket utvikler seg sakte selv ved høye tøyningshastigheter.

Bruddtaket for passive forsøk er ikke tydelig og kan justeres for å treffe den andre linjen.



Figur 11.10: Blokkprøvene med horisontal lagdeling og sylindertest (Multiconsult) fra C3 og C6

I figur 11.10 er vist forsøkene fra prøver med horisontal lagdeling. I figur 11.10a er tre aktive treaksialforsøk plottet. Tøyningshastigheten varierer fra 3 til 0.3%/time. Alle forsøkene ender opp på samme bruddtak, som gir en friskjonsvinkel på 29.2° og attraksjon på 15 kPa.

En av forsøkene fra 3.96 m ble utført med baktrykk, den er plottet sammen med de nevnte resultatene i figur 11.10b. Dette forsøket passer perfekt med toppen av forsøket CAUa015 og linjen gjennom dem går også gjennom origo. Samtidig går bruddtaket gjennom toppen av forsøkene med lav tøyningshastighet. Dette gir en friskjonsvinkel på 38° og attraksjon på 0 kPa.

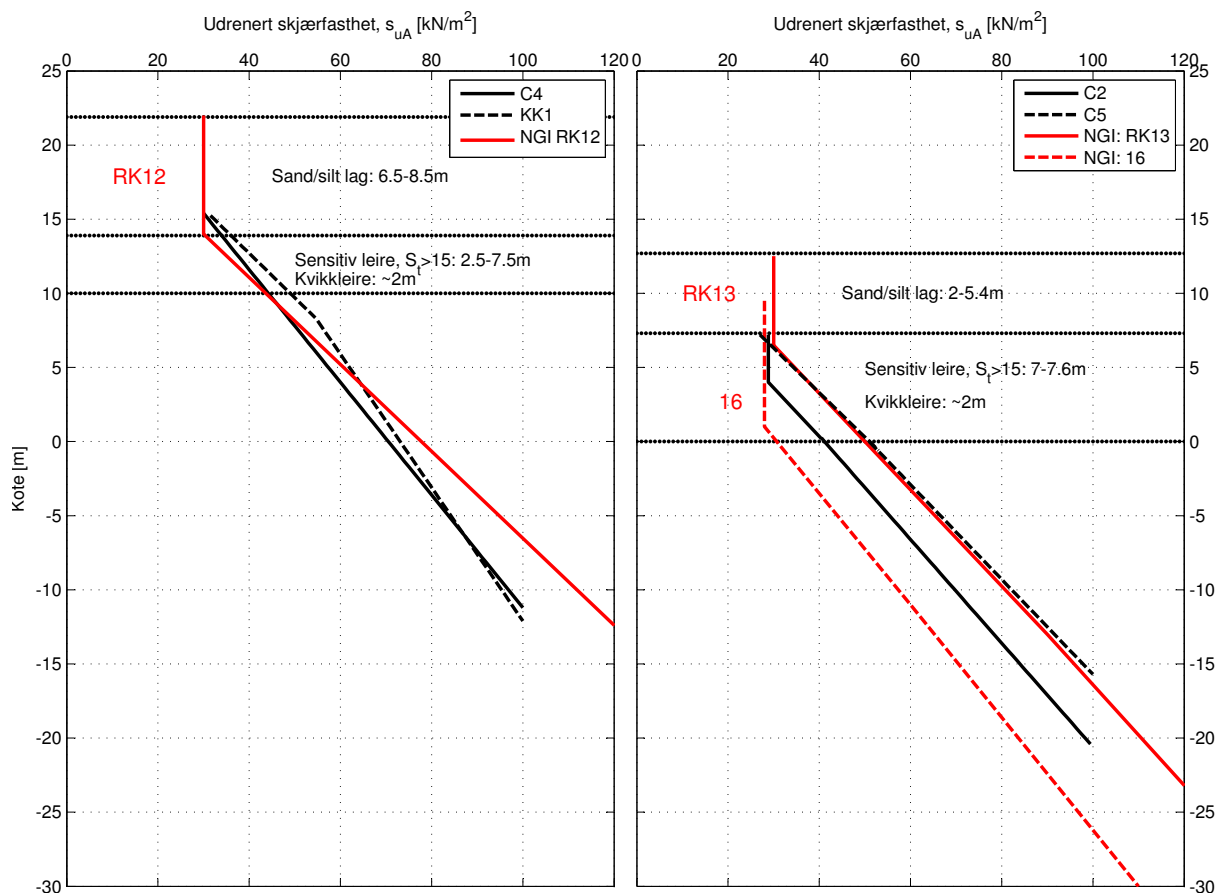
Poretrykksutviklingen er representativ i forsøket CAUa102 på grunn av baktrykk. Som resultatene viser er det mulig å registrere poretrykksendringer med høye tøyningshastigheter, men bruddlinjene legger seg på samme sted etter en viss tøying.

På grunn av mer representative forsøk blir det konkludert at attraksjonen er null og friksjonsvinkelen varierer i forhold til lagdelingen. For leire med turbulente lag er den på 34° og for horisontal lagdeling på 38° .

NGI har også konkludert med lav attraksjon, på 1 kPa. Friksjonsvinkelen i tidligere undersøkelser var på 29° , noe som er en del lavere i forhold til nye resultater.

11.4 S_u -profiler

S_u -profiler som brukes for sammenligning av skjærstyrketolkningen er fra beregningen av skråningsstabilitet[24]. Nye designlinjer er først og fremst basert på $N_{\Delta u}$ fordi den korrelasjonen viser bedre svake lag som kvikkleire.



Figur 11.11: Designlinjer, borehull KK1, C4, C2 og C5

Etter tidligere undersøkelser ble det konkludert med at et sensitivt lag i borehull RK12 ligger 6.3 m, under et 2.5 m tykt sandlag. Borehullene C4 og KK1 ligger nesten på samme sted som RK12, men nye undersøkelser viser at det er 2.5-7.5 m med sensitive lag, hvor omtrent 2 m er kvikkleire. Sandlaget er 6.5-8.5 m.

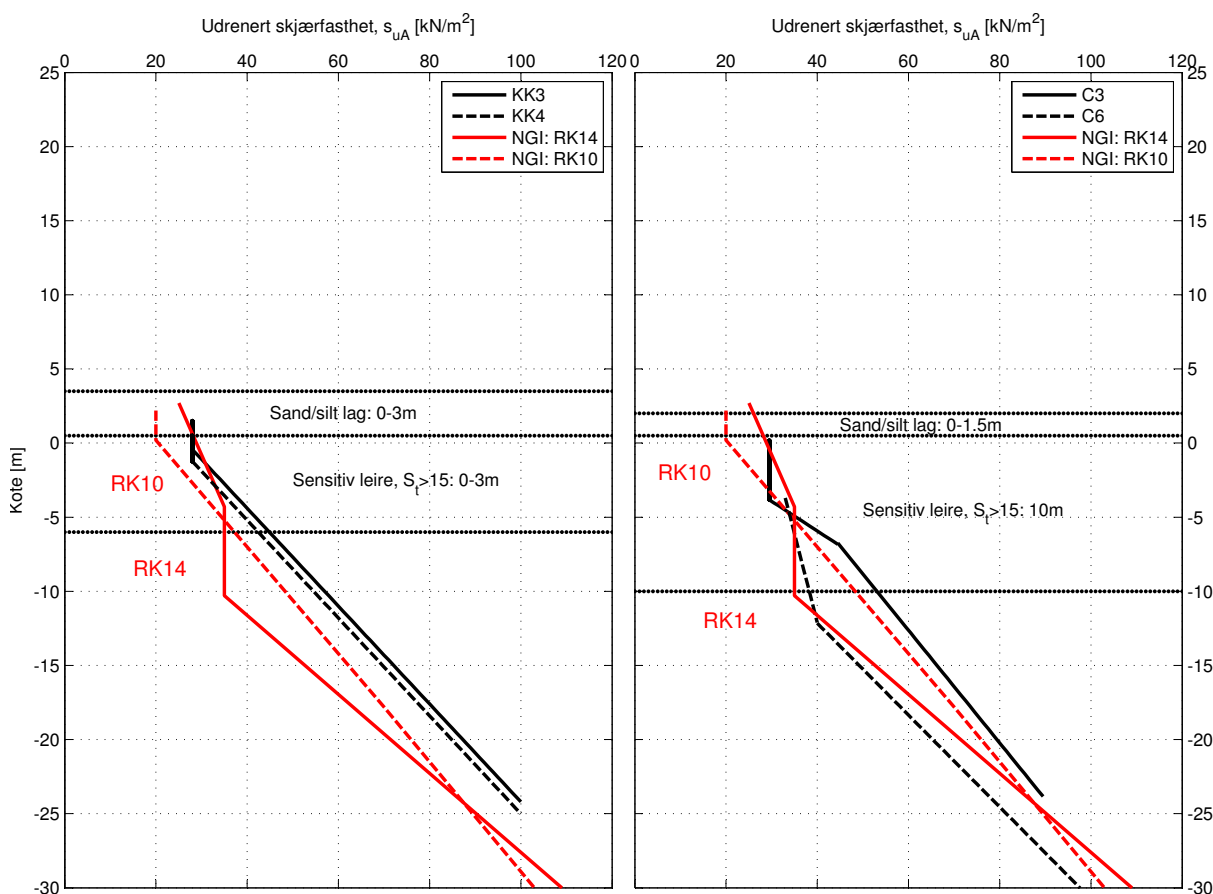
Kvaliteten av CPTU i borpunkt C4 er av høyest kvalitet, men i RK12 er det bare poretryksresponsen som er av samme kvalitet, se tabeller 8.4 og 8.5. NGI brukte SHANSEP-basert udrenert skjærstyrke som grunnlag for tolkning og ikke $N_{\Delta u}$ [24], derfor er det bare små avvik mellom designlinjene i det sensitive laget, men som blir større med dybden hvor $N_{\Delta u}$ -basert skjærstyrke viser lavere verdier.

Borpunktene C5 og KK2 ligger tilnærmet i samme kotenivå, men i forskjellige profiler. Borpunkt C5 befinner seg i profil 5-5 og har omtrent 5.4m med sand under terrenget. Borpunkt KK2 ligger i profil 3-3 og har over 8 m med sand under terrenget. I dette området er terrenget brattest og undergrunnen forandrer seg raskt. I borhull C2 som ligger i kote +9.2m er det ingen tykke sandlag, men det kan være et par meter med sand der hvor

forboringen ble gjort. Samme forhold er også i borpunkt 16 som ligger i kote +9.0 m. Både i borpunkt C5 og C2 er det påvist kvikkleire, et tynt lag på omtrent 2 m som fortsetter nedoverbakken fra borhull C4. Mest sannsynlig begynner kvikkleirelaget her siden det høyere opp i skråningen er store mengder av sand, borpunkt C1, i samme dybde som kvikkleiren skulle vært.

CPTU-resultater i borpunkt 16 er generelt av dårlig kvalitet, men i RK13 er poretryksresponsen av høy kvalitet, se tabell 8.5. Kvaliteten i borpunktene C2 og C5 er av høyest kvalitet, se tabell 8.4.

NGI baserte sine s_u -profil borpunkter 16 og RK13 på kombinasjonen av $N_{\Delta u}$ - og N_{kt} -baserte korrelasjoner[24], noe som ga store forskjeller i skjærstyrken på grunn av dårlig kvalitet av CPTU-resultatene.



Figur 11.12: Designlinjer, borehull KK3, KK4, C3 og C6

Kvikkleirelag ble ikke påvist i strandsonen i kotenivåer som varierer mellom +3.5 og +1 m. Grunnlege undersøkelser ble gjennomført i de øverste 10 metrene i borpunktene KK3 og KK4, og det ble påvist et lite sensitivt lag i KK4 som stoppet 3 m under terrenget. Det er ikke-sensitiv leire over hele dybden i begge borpunktene. Kvaliteten av CPTU-resultatene skal være høy[13] med god poretryksmetning.

På grunn av flere gode forsøk fra disse borpunktene, er det de som ble lagt til grunn for tolkningen av udrenert skjærstyrke. Designlinjen ble trukket konservativt gjennom de laveste verdiene av forsøkene med god kvalitet.

CPTU-resultater fra borpunkt RK10 er av dårlig kvalitet, bortsett fra poretryksrespon-

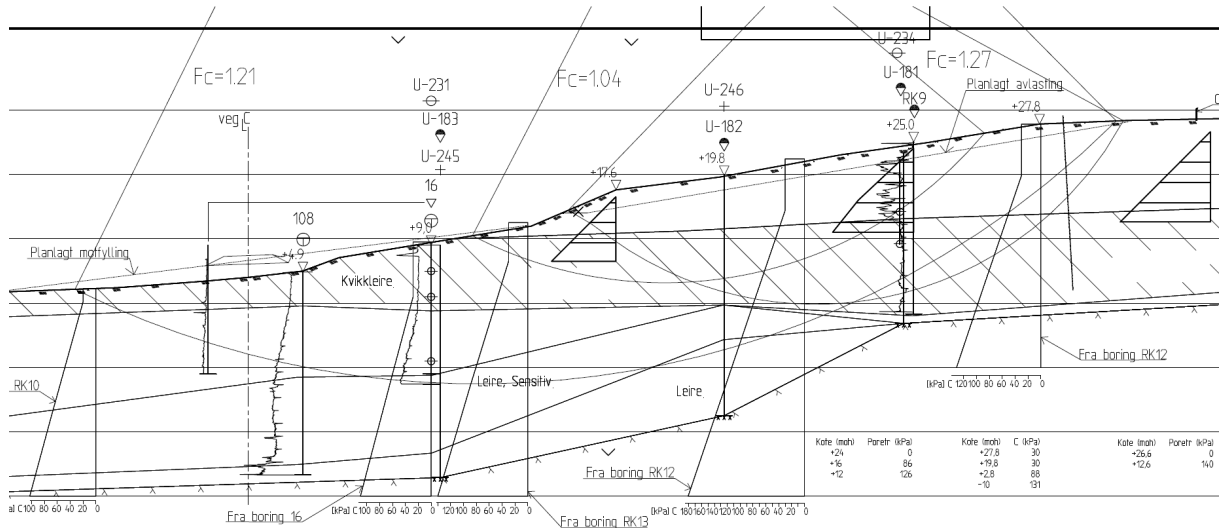
sen. NGIs tolkning av s_u er basert på SHANSEP og N_{kt} , noe som ga en skjærstyrkeutvikling som ligner på nye undersøkelser, bortsett fra at s_u ligger et hakk lavere i RK10. I borpunkt C3 og C6 ble det funnet et rundt 10 m tykt lag av sensitiv leire, men ingen av dem var kvikk. Skjærstyrken i C3 er mye høyere enn i punkt C6 rundt kote -10 m. Selv om det ble registrert god poretrykksrespons i punkt C6, passer den ikke sammen med andre undersøkelser med sitt lave poretrykk. Det kan være mange flere tykke sandlag der som reduserer poretrykket i stedet for bare å gi et lite hopp i poretrykksresponsen som det ble registrert i resten av skråningen.

Borpunkt RK14 ligger i kote +2.7 m mellom borpunktene KK3 og C6. Basert på tolkningen av CPTU, har NGI antatt at det er et sensitivt lag der ved kote -4 m. Designlinjene RK14 og C6 stemmer godt sammen i det sensitive laget, men det blir større avvik i det ikke-sensitive laget med dybden.

Kapittel 12

Skråningsstabilitet

Utgangspunktet for skråningsstabilitet er profil 3-3, som ble utført av NGI[24]. For styrkebetegnelser av løsmassene ble boringer RK12, RK13, 16 og RK10 lagt til grunn. Poretrykksprofiler ble lagt inn for å ta hensyn til grunnvannets påvirkning på styrkeparametrene. Bare skråningsstabilitet i opprinnelig skråning ble vurdert.



Figur 12.1: Profil 3-3, beregning av stabilitet i opprinnelig skrånning[24]

Tabell 12.1: Sikkerhetsfaktorer, NGI[24]

Profil	Opprinnelig skrånning	Krav	Merknader
3-3	1.04	≥ 1.23	Kritisk glideflate
	1.21	≥ 1.36	Brudd hele skråningen
	1.27	≥ 1.41	Litt høyere enn kritisk glideflate

Treaksialforsøkene fra borehull RT8 og RK7 ble brukt for å avgjøre s_{uP}/s_{uA} -forholdet. For kvikkleire ble det benyttet absolutt minste styrke med A_p -verdi på 0.28. For å ta hensyn til sprøbruddeffekt ble skjærstyrken i sensitiv leire redusert med 10% og med 15% i kvikkleire.

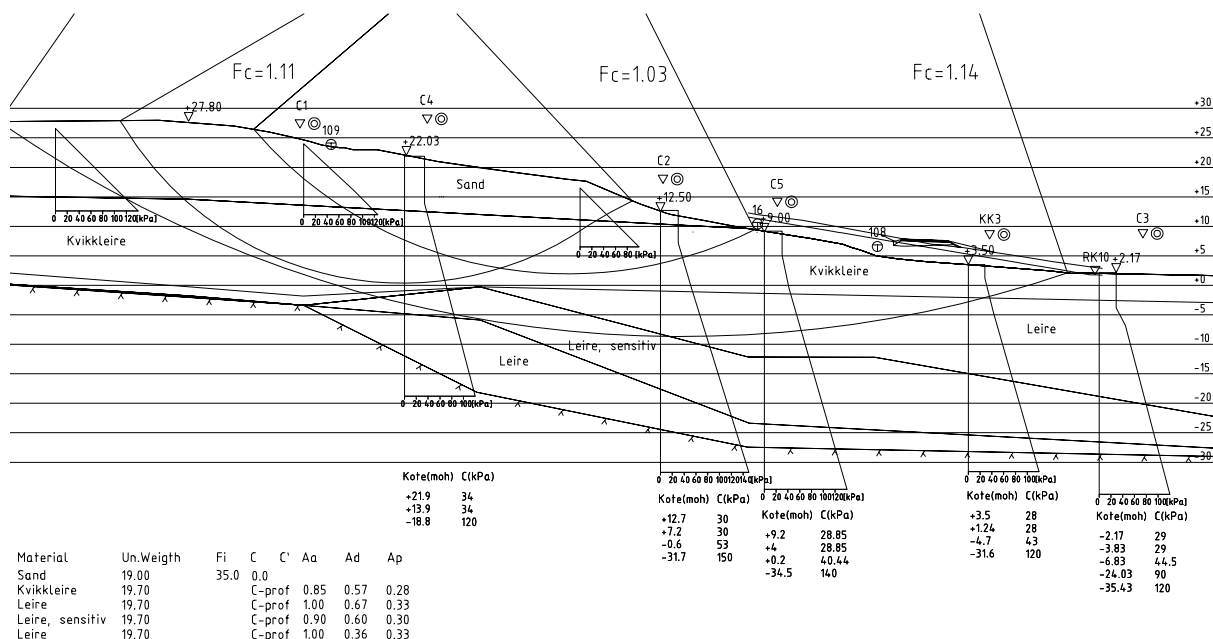
NGI tillater seg å redusere styrken med 10% i sensitiv leire på grunn av at 72mm prøver er mer forstyrret enn blokkprøver. Det ble antatt at sprøbruddeffekten er mindre markant i en sensitiv leire enn i kvikkleire.

Tabell 12.2: Lagdeling i skrånningen ved Rein kirke, NGI [24]

Materialet	Tetthet [kN/m ³]	Friksjonsvinkel [°]	Udrenert skjærstyrke [kPa]	Aa	Ad	Ap
Sand	19.0	35				
Kvikkleire	19.7		C-profil	0.85	0.57	0.28
Leire	19.7		C-profil	1.00	0.67	0.33
Sensitiv leire	19.7		C-profil	0.90	0.60	0.30
Leire	19.7		C-profil	1.00	0.36	0.33

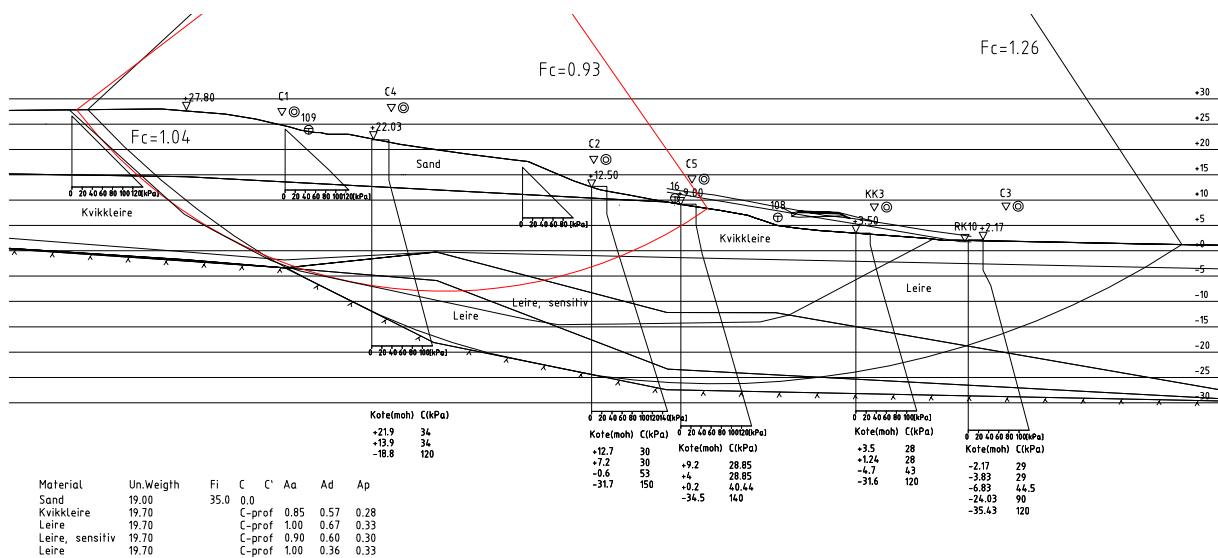
I første omgang ble beregningene som ble utført av NGI gjenskapt, med lik geometri, styrkebetegnelse og lagdeling. Etter det ble C-profiler erstattet av nye som er basert på de nyeste CPTU-resultatene korrelert med blokkprøver.

12.0.1 Profil 3-3 med nye C-profiler, ADP-faktorer uforandret



Figur 12.2: Profil 3-3: NGIs geometri og lagdeling[24] med nye C-profiler

Nye s_u -profiler gir vesentlig dårligere skråningsstabilitet hvis man bruker dem i tidligere antatt geometri. Benyttede ADP-faktorer som ble brukt i tidligere beregninger, se tabell 12.2 er uforandret.



Figur 12.3: Profil 3-3: NGIs geometri og lagdeling[24] med nye C-profiler

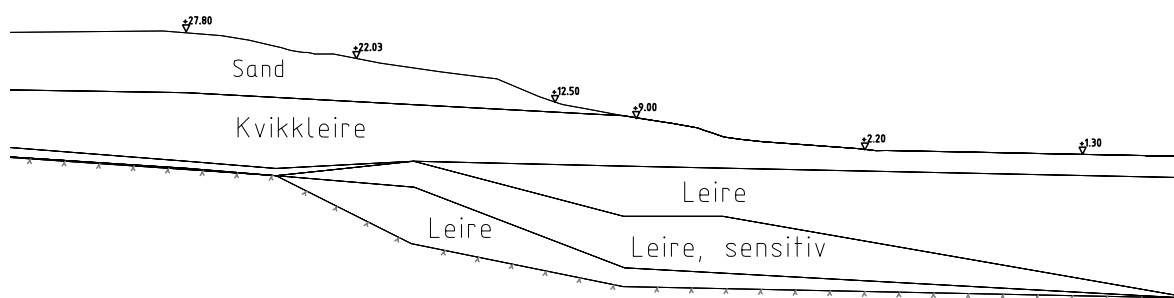
Ny kritisk skjærflate danner seg og gir en sikkerhetsfaktor på 0.93 høyt oppe i skråningen.

12.1 Lagdeling

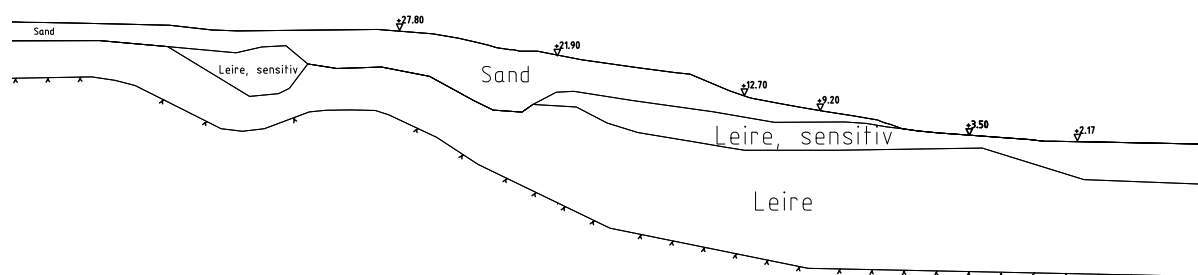
Borpunkt C1 ligger i kote +25.14 m og viser over 16 m med siltig sand. Det ble ikke boret til leire i dette punktet. Det sensitive laget ligger i kote +14 til +10 m i borpunkt C4, og under ligger det ikke-sensitiv leire. Hvis man antar at vannstrømninger går langs sandlaget nært overflaten, er det lite sannsynlig at de kunne skapt sensitiv leire i så store dyp, spesielt siden det er bevist at det ikke er sensitiv leire i denne dybden bare noen å meter unna. Av den grunn blir det videre antatt at det sensitive laget stopper opp ved borpunkt C4. Dette stemmer også med resistivitetsprofiler utført av NGU, se kapitlet om tidligere undersøkelser. Lengre ned i skråningen er det sensitive laget godt kartlagt med mange borpunkt med prøvetakinger.

Det sensitive laget som befinner seg i dypet, se figur 12.4, ble ikke oppdaget med nye undersøkelser. Kvikkleire laget viste seg å være sensitiv leire, i strandsonen.

For å kartlegge lagdelingen i profil 3-3, ble resultatene fra grunnundersøkelser i profil 5-5 også benyttet på grunn av sin likhet i mektigheter av sand og leirelagene.

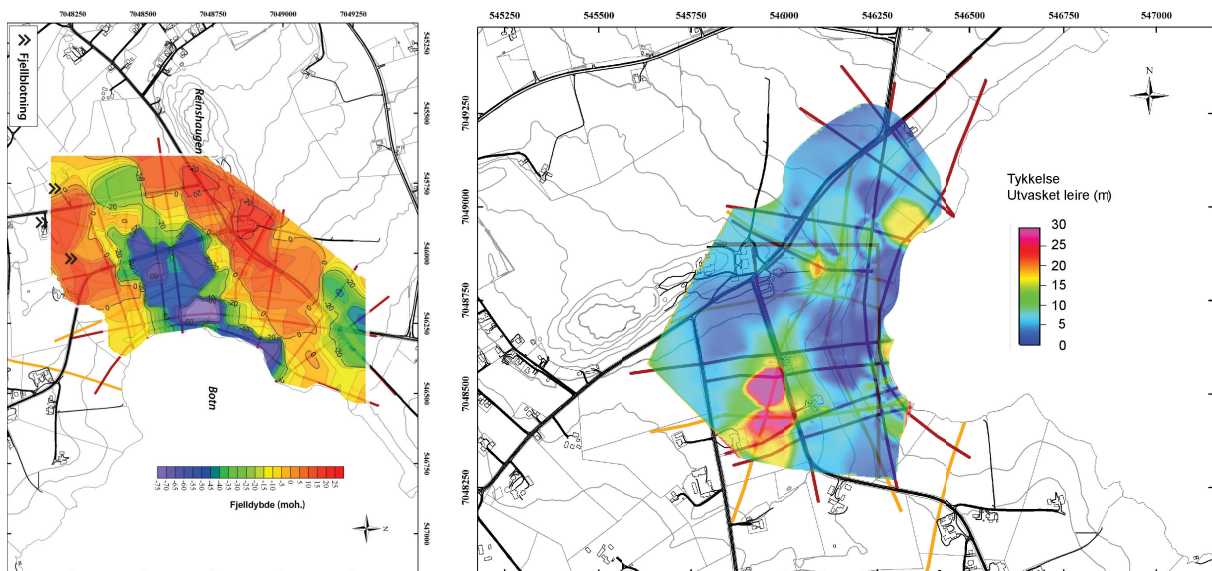


Figur 12.4: Profil 3-3: NGIs lagdeling og terreng



Figur 12.5: Profil 3-3: Ny lagdeling med utgangspunkt i NGIs terreng, se vedlegg E for store bilder

I figur 12.6 er vist en oversikt over dybde til fjell og mektigheten av utvasket leire i de øverste lagene. Figurene viser klart at det er ingen utvasket leire i strandsonen ved Rein kirke. De viser at det er noen meter med utvasket leire i midten av skråningen, noe som også stemmer med grunnundersøkelsene. Figur over fjelldybde viser en kraftig økning høyt i skråningen, ved Rein kirke. Dette ble benyttet i korrigeringen av beliggenhet av fjelloverflaten. Ingen kontrollboringer ble gjort så høyt i skråningen.



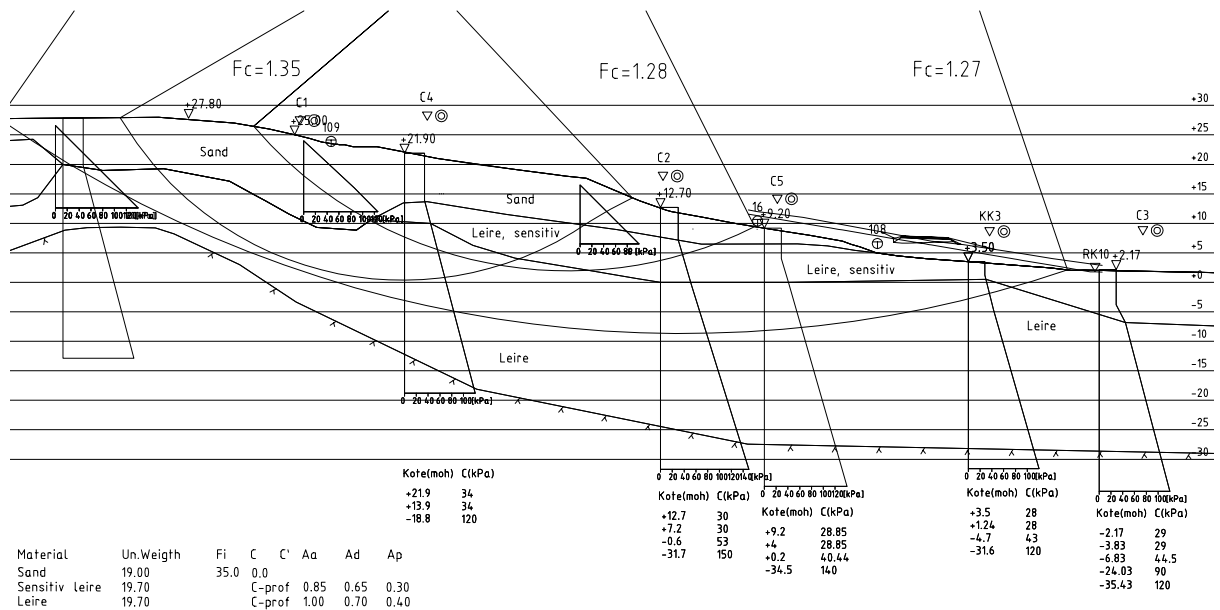
Figur 12.6: Resultater fra resistivitetmålinger utført av NGU[39]

Tettheten til leire og sand forble uforandret, men noen av ADP-faktorene ble justert. Det tynne kvikkleirelaget inngår i laget for sensitiv leire og har derfor en reduksjon på 0.85.

Tabell 12.3: Ny lagdeling i skråningen ved Rein kirke

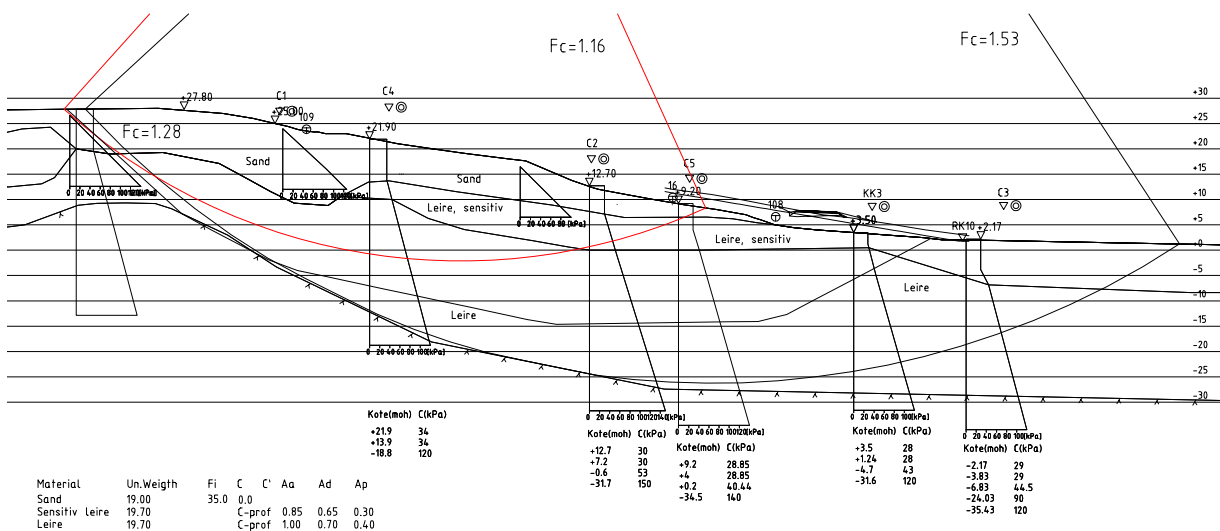
Materialet	Tetthet [kN/m ³]	Friksjonsvinkel [°]	Udrenert skjærstyrke [kPa]	Aa	Ad	Ap
Sand	19.0	35				
Sensitiv leire	19.7		C-profil	0.85	0.65	0.30
Leire	19.7		C-profil	1.00	0.70	0.40

12.1.1 Profil 3-3 med ny lagdeling, C-profiler og ADP-faktorer



Figur 12.7: Profil 3-3: Skråningsstabilitet med ny lagdeling, C-profiler og ADP-faktorer

Bruk av justert geometri gir en forbedring på skråningsstabiliteten. Sikkerhetsfaktoren ble forbedret fra 1.04 til 1.28, som beregnet fra en tidligere kritisk skjærflate av NGI.

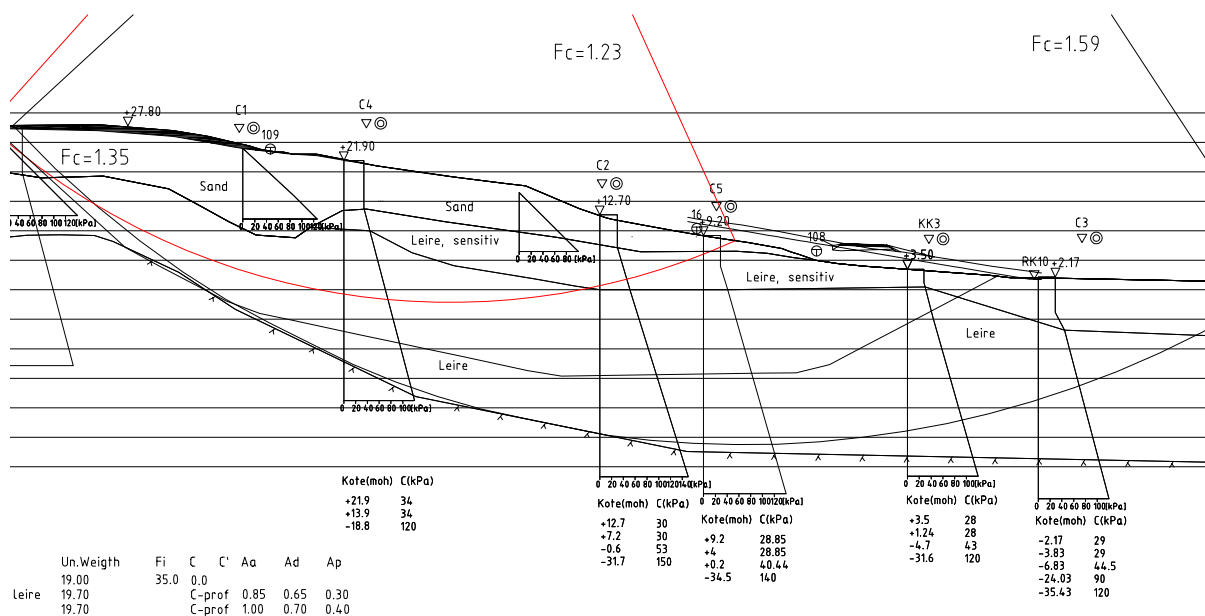


Figur 12.8: Profil 3-3: Skråningsstabilitet med ny lagdeling, C-profiler og ADP-faktorer

En ny kritisk skjærflate oppstår. Den ser ut til å være en kombinasjon av to tidligere skjærflater. Sikkerhetsfaktoren for kritisk skjærflate er på 1.16 og det er denne skjærflaten det blir fokusert videre på.

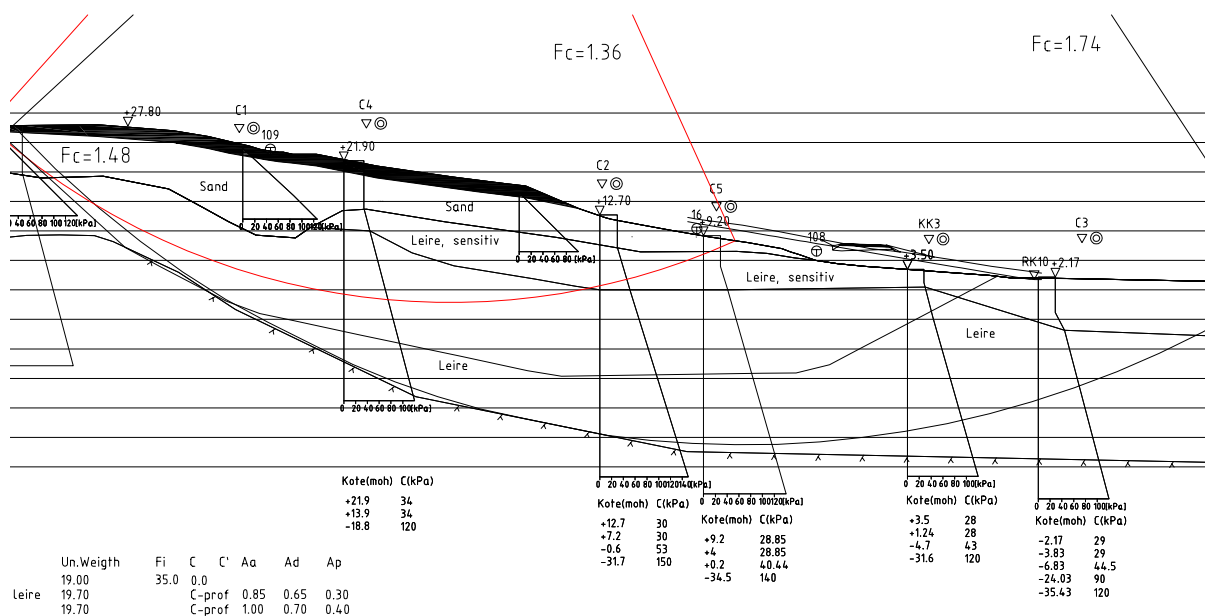
12.1.2 Avlastning

Første avlastning ble på 1 m, høyt oppe i skrånningen, se figur 12.9, hvor avlastningen er presentert som det skraverte området. Avlastningen ga en forbedring i sikkerhetsfaktorer, og den kritiske skjærflaten ble forbedret med 6%.



Figur 12.9: Profil 3-3: Skråningsstabilitet med avlastning på 1 m

Avlastningen på 2m ble mer spredt over store deler av skrånningen, lengre ned enn avlastningen på 1 m. Se figur 12.10.



Figur 12.10: Profil 3-3: Skråningsstabilitet med avlastning på 2m

12.2 Sikkerhetsfaktorer

I tabell 12.5 er en oversikt over sikkerhetsfaktorer som ble nevnt tidligere. I tillegg ble NGIs ADP-faktorer benyttet i ny geometri. Det gir lavere sikkerhetsfaktorer siden NGI antok at det er veldig sensitiv leire og kvikkleire i hele skråningen.

Tabell 12.4: Profil 3-3, sikkerhetsfaktor, nye C-profiler

NGIs terreng og lagdeling		
	NGIs C-profiler[24]	Nye C-profiler
Skjærflate:	γ_M	γ_M
NGI nr. 1	1.04	1.03
NGI nr. 2	1.21	1.14
NGI nr. 3	1.27	1.11
Kritisk skjærflate	1.04	0.93
Fjelloverflate	1.26	1.19
Usirkulær	1.12	1.04

Etter at ny lagdeling ble benyttet, forandret sikkerhetsfaktorene seg, se oversikt i tabell 12.5. Økningen er på 11.5% fra NGIs kritisk skjærflate til ny kritisk skjærflate.

Tabell 12.5: Profil 3-3, sikkerhetsfaktor, nye C-profiler

NGIs terreng, ny lagdeling							
	NGIs ADP-faktorer se tabell 12.2	Nye ADP-faktorer se tabell 12.3	Krav til forbedring				
			NVE		SVV		
			Min. [%]	Vesent. [%]	CC2 [%]	CC3 [%]	
Skjærflate	γ_M	γ_M					
NGI nr. 1	1.25	1.28	3.0	4.5	8.8	10.7	
NGI nr. 2	1.24	1.27	3.3	4.9	9.2	11.0	
NGI nr. 3	1.23	1.35	1.3	1.9	6.0	8.3	
Kritisk skjærflate	1.11	1.16	6.0	9.9	13.6	14.7	
Fjelloverflate	1.48	1.53	0	0	0	2.3	
Usirkulær	1.24	1.28	3.0	4.5	8.8	10.7	

Krav til forbedring ved topografiske endringer ble beregnet i alle skjærflater, skjærflate langs fjelloverflaten trenger minst forbedring, bare i følge Statens Vegvesens krav for konsekvensklasse CC3.

Tabell 12.6: Profil 3-3: 1 m avlastning av skråningen, oppfyllelse av krav

Skjærflate	1 m avlastning	Forbedring	NVE		SVV	
			Minste forbedring	Vesentlig forbedring	CC2	CC3
	γ_M	[%]				
NGI nr. 1	1.30	1.56	Nei	Nei	Nei	Nei
NGI nr. 2	1.34	5.51	Ja	Ja	Nei	Nei
NGI nr. 3	1.49	10.37	Ja	Ja	Ja	Ja
Kritisk skjærflate	1.23	6.03	Ja	Nei	Nei	Nei
Fjelloverflate	1.59	3.92				Ja
Usirkulær	1.35	5.47	Ja	Ja	Nei	Nei

Tabell 12.7: Profil 3-3: 2 m avlastning av skråningen, oppfyllelse av krav

Skjærflate	2 m avlastning	Forbedring	NVE		SVV	
			Minste forbedring	Vesentlig forbedring	CC2	CC3
	γ_M	[%]				
NGI nr. 1	1.50	17.2	Ja	Ja	Ja	Ja
NGI nr. 2	1.47	15.7	Ja	Ja	Ja	Ja
NGI nr. 3	1.49	10.4	Ja	Ja	Ja	Ja
Kritisk skjærflate	1.36	17.2	Ja	Ja	Ja	Ja
Fjelloverflate	1.74	13.7				Ja
Usirkulær	1.48	15.6	Ja	Ja	Ja	Ja

I tabeller 12.6 og 12.7 er en oversikt over sikkerhetsfaktorer med gradvis avlastning av skråningen, se vedlegg E for detaljerte tegninger. Først ble skråningen avlastet med en meter sand i området hvor kritisk skjærflate befant seg. Dette ga en forbedring på over 6% på kritisk skjærflate, noe som er minimumskravet ved topografiske forbedringer bestemt av NVE[32]. Alle skjærflater, bort sett fra en, tilfredsstiller NVEs minste krav ved topografiske forbedringer. Kravene til Statens Vegvesen er strengere enn NVE sine, derfor det er nødvendig med større avlastninger.

For å tilfredsstille disse kravene for alle skjærflaten ble avlastningen utvidet, og på det høyest ble det fjernet 2 m sand. Dette ga en forbedring på 17.2% på den kritiske skjærflaten, som er mer enn nok i følge NVE og Statens Vegvesen sine krav.

Samtidig med avlastninger og beregninger ut i fra eksisterende skjærflater, ble det også sjekket nye kritiske skjærflater for å kontrollere at stabiliteten ikke blir dårligere andre steder. Etter begge forbedringer flyttet den kritiske skjærflaten seg noen meter høyere opp på skråningen, men hadde samme sikkerhetsfaktor. Skråningsstabilitet ble ikke forverret andre steder etter topografisk endring i terrenget.

Kapittel 13

Diskusjon

Strandsonen ved Rein kirke i Rissa består ikke av kvikkleire, som det ble antatt av NGL. Det øverste laget er sensitiv leire, som varierer i tykkelsen, opp til 10 m, resten er ikke-sensitiv leire.

Grensen for sensitiv leire er satt til å være 15 i sensitivitet. I Rissaleiren ligger mange verdiene i nærheten av den grensen, men viser store verdier for plastisitet, noe som ikke tyder på sensitiv leire. Denne grensen bør revurderes og kanskje kombineres med andre parametre siden det ikke bare er en parameter som avgjør om en leire er sensitiv eller ikke.

Grensen for kvikkleire er 0.5 kPa i omrørt skjærstyrke, og sprøbruddmateriale defineres med omrørt skjærstyrke på 2 kPa. Omrørt skjærstyrke er under 2 kPa mange steder i det sensitive laget, men basert på nye undersøkelser av denne grensen[41], blir det konkludert at leiren har lite sannsynlighet for å utvikle retrogressivt brudd. Tidligere undersøkelser av skred viser at omrørt skjærstyrke større enn 1 kPa ikke gir retrogressivt brud. Det vil si at det er lite sannsynlig at et eventuelt skred under den planlagte vegen kommer til å forplante seg bakover i skråningen.

Grunnforholdene i bunnen av Botn innsjø ble ikke undersøkt og derfor er det fortsatt vanskelig å få et helhetsbilde av skråningsstabiliteten ved Rein kirke.

Utstyret som ble brukt i trinnvis ødometer og krypforsøk registrerte poretrykksutviklingen i løpet av hele forsøket. Taylors konstruksjon ble benyttet i bedømmelsen av primærkonsolideringstid som en kurvetilpasning. Primærkonsolideringstid skal representere tidspunktet for når poretrykket går til null og sekundærkonsolidering begynner.

Både krypforsøk og trinnvise ødometerforsøk hadde lasttrinn som lå tett rundt prekonsolideringstrykket. I disse tilfellene lå poretrykket på lave verdier, rundt 2-3 kPa, i løpet av hele forsøket. Taylors konstruksjon kunne tilpasses til kurvene flere steder i resultatene, noe som gir feilaktig primærkonsolideringstid og kryptall. Kryptallene representerer i så fall kryp i sekundærkonsolidering.

Poretrykket bør alltid registreres hvis man vil vite hva det er som foregår under forsøket. Man bør også vurdere å basere bestemmelse av primærkonsolideringstid på registrert poretrykk.

Det har blitt nevnt at dilatansparameteren har en innvirkning på udrenert skjærstyrke, se

kapittel om prøveforstyrrelser. For blokkprøver er det mer vanlig å ha dilatansparameteren rundt null, men med varierende tøyningshastigheter og konsolideringsspenninger får den avvik fra null. Hva bør dilatansparameteren være for et godt forsøk? Mye tyder på at den bør være rundt null, for det gir elastisk spenningssti. Prøveforstyrrelser har mye av skylden for store dilatansparametre, kan det være at dilatansparameteren kan benyttes for evaluering av prøve kvalitet og konsolideringsspenning? Dette gjelder spesielt blokkprøver. Eksisterende kriterier for prøve kvalitet kan være for snille med blokkprøver, da disse selvsagt har prøveforstyrrelser, men ofte blir behandlet som av perfekt kvalitet.

Det har blitt observert at mangel på baktrykk gir svakere poretrykksutviklingen, noe som påvirker dilatansparameteren som igjen påvirker udrenert skjærstyrke. Spesielt i forsøkene på prøver med lavere metningsgrad, som prøvene fra dybder mindre enn 4m med turbulent lagdeling.

Tidligere undersøkelser baserte seg på få borpunkter, mange av dem var langt unna skråningen. Det ble antatt at avsetningen er den samme som ved Reinstunnelen og SHANSEP-faktorene som ble bestemt der ble også brukt på leiren ved Rein kirke. CPTU-resultatene som ble brukt i korrelasjoner var av dårlig kvalitet med dårlig målenøyaktighet, og viste for lave verdier. Med utgangspunkt i alt dette ble det konkludert at skråningen består av kvikkleire og sensitiv leire. Til slutt viste beregninger for skråningsstabilitet en sikkerhetsfaktor på 1.04 for den kritiske skjærflaten.

Skråningen ble undersøkt grundig, men på grunn av dens komplekse geologi er det vanskelig å kartlegge lagdelingen. Resistivitetsmålinger var nødvendig for å få oversikt, noe som ble gjort i nye undersøkelser. Den avgjørende faktoren var målenøyaktigheten til CPTU-resultater, dette bekreftet den tidligere usikkerheten med å vise lave verdier. Tolkningen av resultater ble gjort veldig forsiktig, blant annet ble det antatt at leiren var normalkonsolidert til tross for ødometerresultater, som viste et prekonsolideringstrykk. Det er ikke uvanlig å tolke laboratorieresultater veldig konservativt, spesielt når det gjelder områder med potensielt stor mengde av kvikkleire. Blant annet "Rissaraset", som bestod av kvikkleire, gikk veldig nært til undersøkt området.

Nye resultater viste en helt annen lagdeling. Skråningen bestod fortsatt av sensitiv leire, men veldig lite av den var kvikk. Blokkprøver pleier å være av god kvalitet, noe som fjerner en del av usikkerheten. Selvfølgelig bør prøvene være representative og komme fra alle lagdelinger, spesielt de svakeste. Flere parametre i korrelasjoner er også avhengig av gode laboratorieforsøk, noe som også fjerner litt av usikkerheten.

Hvis alt som ble nevnt over blir tatt hensyn til, er det ingen grunn til å beholde så store reduksjonsfaktorer som 15%.

Kapittel 14

Konklusjon

Resistivitetsmålingene ved Rein kirke viser en kompleks geologi med varierende fjelloverflate. Studieområdet ligger mellom to fjellrygger og har store mengder av marin leire, hvorav noe er utvasket - spesielt i grenser mellom grove masser og leire, siden de styrer vannstrømninger i dette området og vasker vekk saltet i leireavsetninger.

Det har ikke blitt funnet kvikkleire i strandsonene, som det ble tidligere påstått av NGL. Nye omfattende grunnundersøkelser viser at det bare er noen få meter med kvikkleire høyere opp i skråningen, mellom kote +22.0 og +9.0 m. Kvikkleire ligger flere meter under sandlaget, mektigheten er mellom 2 og 3 m, resten er sensitiv leire og ikke-sensitiv leire. I kote +3.5 m er det bevist at det er ingen kvikkleire i de øverste 10 metrene, bare noen få meter med sensitiv leire og resten er ikke-sensitiv leire.

Rutineundersøkelser viser at sensitiv leire har omrørt skjærstyrke større enn 1 kPa de fleste steder i skråningen. Som det har blitt diskutert tidligere, er det lite sannsynlig at retrogressivt brudd kan inntreffe i denne type leire.

Tidligere s_u -profiler ble revurdert med utgangspunkt i nye CPTU resultater av utmerket kvalitet og blokkprøver. Blokkprøvene ble tatt ved borpunkt C3 i dybde mellom 3.5 og 4.6 m, i sensitiv leire. For å kunne tolke CPTU-resultater i ikke-sensitiv leire ble det benyttet resultater fra sylinderprøve med god kvalitet. Ingen prøver av sensitiv leire tatt med sylinderprøver var av akseptabel kvalitet, noe som er vanlig. Gode resultater fås kun for ikke-sensitiv leire. Disse resultatene, sammen med blokkprøver ble benyttet i kjente korrelasjoner for å finne best mulig tilpasning av s_u -profiler i skråningen.

Resultater fra treksialforsøk på blokkprøver ble brukt som kontrollpunkter ved tilpasningen av CPTU-tolkninger. Det ble lagt vekt på hastighetseffekter i treksialforsøkene, noe som påvirket valg av s_u -profiler, spesielt i området hvor blokkprøvene ble tatt. Det ble en liten knekk i kurvene på grunn av overgangen mellom sensitiv og ikke-sensitiv leire. Denne overgangen var synlig både på CPTU-resultater og rutineundersøkelser, hvor sensitiviteten synker under 15 og plastisiteten øker til mer enn 10%.

Ødometerforsøkene på blokkprøver viste at leire hadde et prekonsolideringstrykk rundt 100 kPa. Det stemte også med resultater utført på 54 mm sylinderprøver. Med en sammensetning av alle tidligere resultater fra ødometerforsøk, ble det funnet en utvikling av prekonsolideringstrykket i hele skråningen. Det viste seg at skråningen hadde en overbelastning på rundt 60 kPa på toppen av skråningen og ved Botn, der blokkprøvene ble

tatt. I midten av skråningen var overbelastningen rundt 90 kPa, ved borpunktene KK3 og KK4. Skråningens geometri viser en mulig skredgrop i dette området. Den tykkeste delen av utglidd materiale skulle gitt ekstra belastningen i midten. Dette ga bevis på at terrenget opprinnelig var en skråning og Botn innsjø ikke har erodert bort store masser ved strandsonen.

Nye OCR-kurver ble utarbeidet med utgangspunkt i ødometerresultater. Korrelasjonene med CPTU stemte med forsøksresultatene i dypere lag, men viste for lave verdier i de øverste 10 metrene. OCR-kurve ble først og fremst basert på laboratorieresultater og ble verifisert av CPTU tolkninger. Tidligere ble det antatt normalkonsolidert leire. Dette ble gjort grunnet stor mangel på forsøksresultater.

Flere ødometerforsøk ble utført med kryptrinn og trinnvise ødometre ble variert i forhold til varigheten av lasttrinn. Resultatene skal gi et godt utgangspunkt for eventuelle setningsberegninger ved vegutbyggingen. For å unngå kryp i Rissaleiren, bør man unngå å skape høye poretrykk ved for rask belastning. Man bør også holde seg ved in situ spenninger ved belastning for å unngå kryp. Leiren hadde lite prekonsolideringstrykk og er utsatt for kryp ved lave belastninger. Det anbefales ikke å legge ut store fyllinger i strandsonen, men bruke lett-masser.

Tidligere undersøkelser baserte seg på få borpunkter, mange av dem langt unna skråningen. Noe av tidligere prøvetaking ble utført med 73 mm sylindrerprøver for å unngå effekten av prøveforstyrrelser, men antallet var ikke nok for å kartlegge skråningens lagdeling fullt ut. Disse resultatene ble kombinert med CPTU-resultater, og de fleste av dem var av dårlig kvalitet. Poretrykksutviklingen er en av de viktigste parametrene CPTU registrerer og den beste korrelasjonen for udrenert skjærstyrke baserer seg på den. Den korrelasjonen er ofte avgjørende for bestemmelse av s_u -profiler. Poretrykket utviklet seg tregere i disse resultatene, og de minste lagene blir ikke registret på grunn av stor unøyaktighet. På grunn av lave verdier i CPTU, ble skjærstyrken antatt lavere enn den egentlig var. Undergrunnen ble antatt å bestå av store mengde av kvikkleire og sensitiv leire. Til slutt ble skråningsstabiliteten beregnet, og sikkerhetsfaktoren ble på rundt 1.04 for kritisk skjærflate.

Skråningsstabilitet ble beregnet ut i fra terrenggeometri utarbeidet av NGI[24]. I den første delen av beregningene ble det brukt NGIs terrenggeometri, lagdeling og fjelloverflate uten forandringer. I del to ble lagdelingen og beliggenhet av fjelloverflaten oppdatert, og senere også ADP-faktorene. Ny lagdeling ble utarbeidet med utgangspunkt i blokkprøver, prøveserier, CPTU-resultater og resistivitetsmålinger, spesielt for å bestemme beliggenhet av fjelloverflaten. Samme skjærflater ble benyttet for å se forandringer i sikkerhetsfaktorene, i tillegg til NGIs skjærflater ble det benyttet en som gikk lang fjelloverflaten, en usirkulær flate og en ny kritisk skjærflate. Sikkerhetsfaktorene sank ved beregninger av skråningsstabilitet med tidligere antatt lagdeling, men med nye s_u -profiler. Når ny lagdeling ble benyttet sammen med nye s_u -profiler, ga det en økning i sikkerhetsfaktoren, 20% for tidligere kritisk skjærflate beregnet av NGI. Ny skjærflate oppstod, men også den hadde høyre sikkerhetsfaktor enn tidligere resultat, med nesten 7%.

Tidligere ble det foreslått avlastning av skråningen i kombinasjon med motfylling. Bare avlastning ble vurdert her på grunn av stor fare for utvikling av nye kritiske skjærflater, spesielt mot Botn som ikke er kartlagt.

En meter avlastning på det bratteste området, på toppen av skråningen, ga en betydelig

økning i sikkerhetsfaktorer i alle vurderte skjærflater. Dette tilfredstilte alle krav for forbedringer ved topografiske endringer, men ikke for den nye kritiske skjærflaten. Den fikk bare 6% forbedring, noe som er bra nok bare som minimal forbedring etter NVEs krav[32]. Avlastningen på 2m er mer spredt og dekker større overflate enn den første på 1 m. Grunnen til det er for å få en jevnere overflate, noe som ikke trenger 2 m avlastning over store områder, men heller i en kombinasjon. Etter 2m avlastning, fikk den kritiske skjærflaten 17% forbedring, noe som tilfredstilte alle krav.

Spesiell geologi Som figur 7.3 viser, var området hvor prøvetaking ble utført sjøbunn under siste istid. Blokkprøvene fra Rissa hadde flere lagdelinger, og i de øverste 4 metrene lå leirepartiklene i en lagdeling som så veldig turbulent ut. Det kan tenke seg at det skjedde et undersjøisk skred i dette nivået, som tok med seg store mengder av sjøgress og begravde det i den turbulente leiren. Det er også sannsynlig at det skjedde i den perioden når isbreen på Fosenhalvøya gjorde et framstøt som har tatt med store mengder av løsmasser. Disse massene kunne forårsaket undersjøiske skred i dette området og tilføre nok løsmasser til å begrave sjøgress som derfor ble så godt bevart at det til og med beholdte sin grønne farge. De fine leirepartiklene fylte opp fordypninger i den ujevne fjellskråningen før isen begynte å smelte opp, da kom det sandavsetninger og la seg oppå leiren. Sanden kom med strømmende smeltevann og har gjort leireoverflaten til en svak skråning med 10-15 m sand over seg.

Kapittel 15

Videre anbefalinger

Det anbefales generelt å utføre flere grunnundersøkelser i strandsonen, helst på større dyp. Det er nødvendig å basere korrelasjonene på blokkprøveresultater av god kvalitet på grunn av forstyrrelser i sylindrerprøver. Det anbefales også å ta prøver høyere opp i skråningen, som i kote +22 m for å kartlegge leiren bedre. Det ligger også kvikkleire i dette området, som er viktig å kartlegge bedre, men flere prøvetakinger. Leiren i denne koten befinner seg under mange meter med sand og har ikke samme egenskaper som leiren i strandsonen. Problemet er tilgjengelighet, da det er problematisk å få en rigg i dette området.

Det er også nødvendig å kartlegge grunnforhold i Botn med prøveserier. Dette bør planlegges med utgangspunkt i resistivitets- og refleksjonsprofiler. Skråningen kan få nye svakhetspunkter mot Botn hvis grunnforholdene legger til rette for det.

En større gjennomgang av skråningsstabilitet er nødvendig, og geoteknisk profil 5-5 bør benyttes. Skråningsstabilitet bør beregnes ikke bare med GeoSuite, men også med PLAXIS for kanskje å finne flere kritiske skjærflater og verifisere beregnede sikkerhetsfaktorer.

Bibliografi

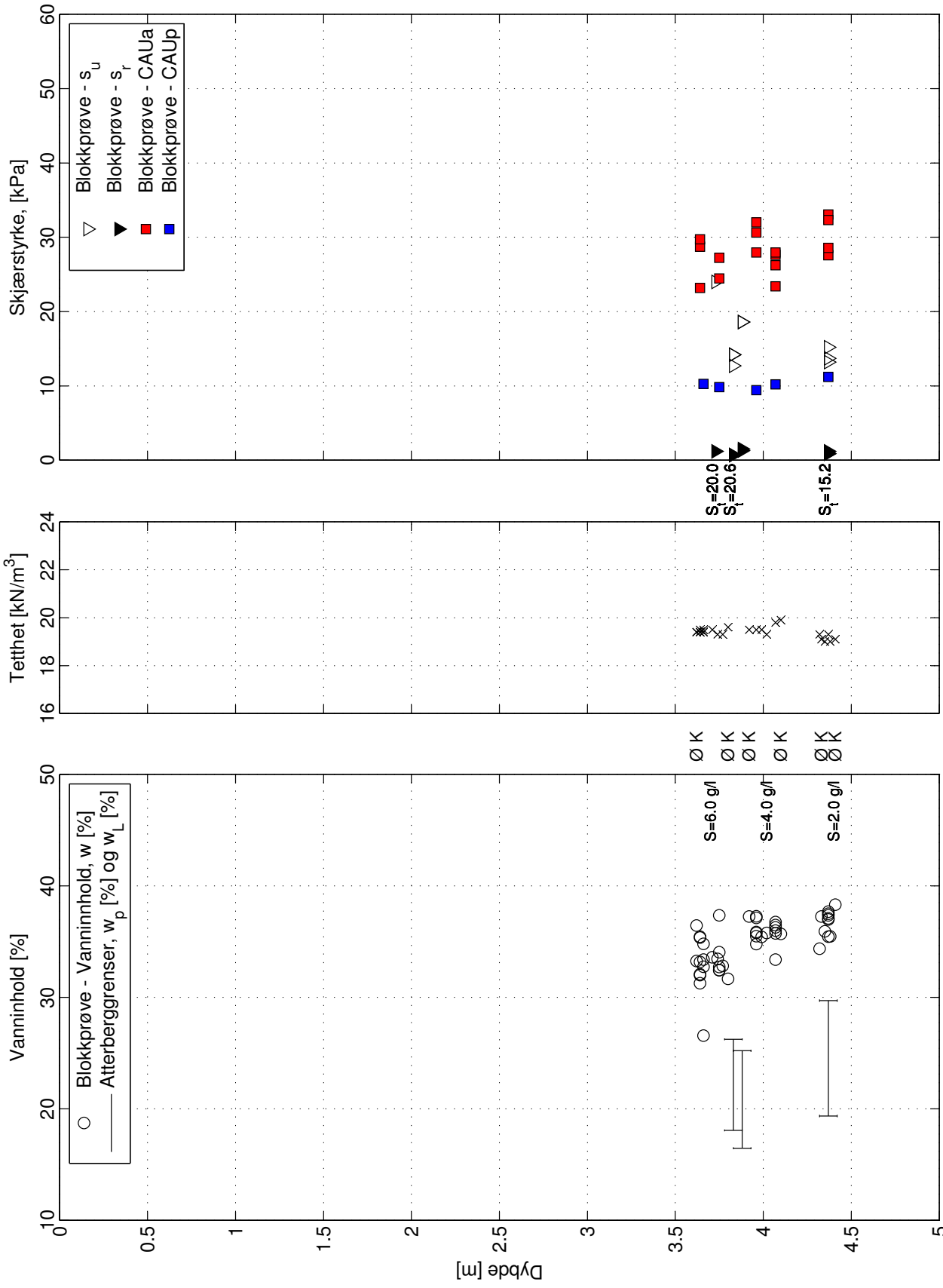
- [1] K. H. Andersen, T. Lunne, T. J. Kvalstad, C. F. Forsberg, 2008 *Deep water geotechnical engineering*, Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, 24. Aguascalientes, Mexico 2008. Proceedings, Vol. Especial, pp.209-265.
- [2] K. H. Andersen, T. Lunne, 2007 *Soft clay shear strength parameters for deepwater geotechnical design*, International Offshore Site Investigation and Geotechnics Conference, 6. London 2007. Proceedings, pp. 151-176.
- [3] T. H. Bargel, L. H. Blikra, J. Høst, K. Sletten og K. Stalsberg, *Gråsteinen- Geologi for Samfunnet i 150 år - Arven etter Kjerulf, Kap 6. Skredskartlegging i Norge, Gråsteinen*
- [4] T. Berre, 1981 *Triaxial testing at the Norwegian Geotechnical Institute*, NGI Publication No 134
- [5] T. Berre, T. Lunne, K.H. Andersen, S. Strandvik and M. Sjørnsen, 2007 *Potensial improvements of design parameters by taking block samples of soft marine Norwegian clays*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 44
- [6] L. Bjerrum, 1967 *Engineering Geology of Norwegian Normally-Consolidated Marine Clays as Related to Settlements of Buildings*, , NGI Publication No 71
- [7] B. S. Y. Chen, P. W. Mayne, 1996 *Statistical relationships between piezocone measurements and stress history of clays*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 33
- [8] E. Enlid, 2011 *Kommunedelplan for FV 717, Sund-Bradden. Gjennomgang av grunnundersøkelersrapporter og vurdering av geoteknisk vanskelighetsgrad*, Rapport 20091264-00-53-R, NGI
- [9] S. Hermann and T. G. Jensen, 2000 *CPTU combined with block sampling resulted in cost saving technical solutions at Nykirke railway link*, Fjellsprengningsteknikk
- [10] K. Karlsrud, 1995 *Block sampling in combination with CPTU gives new possibilities*, Fjellsprengningsteknikk
- [11] K. Karlsrud, T. Lunne, D. A. Kort, S. Strandvik, 2005 *CPTU Correlation for Clays*, ICSMGE 2005, Osaka, Japan
- [12] H. A. Kornbrekke, 2011 *Laboratory tests on high-quality Sherbrooke block sample from Møllenberg, Trondheim*, Project work Geotechnics, NTNU
- [13] K. Kåsin *CPTU i kvikkleire i Rissa*, Masteroppgave, NTNU

- [14] S. Lacasse, T. Berre and G. Lefebvre, 1986 *Block sampling of sensitive clays*, NGI Publication No 163
- [15] C. C. Ladd, E. K. Turner, D. J. Degroot, 2004 *Recommended Practice for Soft Ground Site Characterization: Arthur Casagrande Lecture*, 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, MIT Cambridge
- [16] Lefebvre, G. and C. Poulin, 1979 *A new method of sampling in sensitive clay*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 16, pp. 226-233
- [17] L. Leid, 2001 *Skredkartlegging og beredskap*, Skredkonferansen, Tromsø
- [18] J. S. L'Heureux, R. S. Eilertsen, L. Hansen, K. Sletten, 2011 *Morfologi og skredkartlegging i Botn, Rissa, Sør-Trøndelag*, Rapport nr: 2011.037, NGU
- [19] M. Long, 2003 *Sampling disturbance effects in soft laminated clays*, Geotechnical Engineering 156 Issue GE4
- [20] M. Long, 2004 *Sampling disturbance effects on medium plasticity clay/silt*, Geotechnical Engineering 159 Issue GE2
- [21] M. Long, K. Hagberg, E.H. Nouri, 2006 *FoU-prosjekt nr. 601369 Kvalitet i felt og laboratorieundersøkelser*, Teknologirapport nr. 2425, Statens vegvesen
- [22] M. Long, K. Hagberg, E.H. Nouri, 2009 *Quality of conventional fixed piston samples of Norwegian soft clay*, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(2): 185-198, ASCE
- [23] A. K. Lund, 2009 *RV 717 Sund-Bradden. Tolkning av grunnundersøkelser, karakteristiske materialparametre*, Rapport 20091264-00-38-R, NGI
- [24] A. K. Lund, 2009 *RV 717 Sund-Bradden. Stabilitetsberegninger*, Rapport 20091264-00-53-R, NGI
- [25] T. Lunne, P. K. Robertson and J. J. M. Powell, 1997 *Cone penetration testing in geotechnical practice*, Blackie Academic & Professional
- [26] T. Lunne, T. Berre and S. Strandvik, 1997 *Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay*, NGI Publication No 204
- [27] T. Lunne, T. Berre, K. H. Andersen, S. Strandvik, M. Sjursen, 2006 *Effects of sample disturbance and consolidation procedures on measures shear strength of soft marine Norwegian clays*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 43, No. 7, pp. 726-759
- [28] T. Lunne, T. Berre, K. H. Andersen, M. Sjursen, N. Mortensen, 2008 *Effects of sample disturbance on consolidation behaviour of soft marine Norwegian clays*, Geotechnical and Geophysical Site Characterization: Proceedings of the Third International Conference on Site Characterization ISC'3, Taipei, Taiwan 2008. CD, pp. 1471-1479
- [29] G. Løvø, 2011 *Skredaktivitet på bunnen av Botn*, www.ngu.no
- [30] NGU *Elektriske metoder*, Geofysikk, www.ngu.no
- [31] NVE *Kvikkleirekart*, Flom og skred, www.nve.no
- [32] NVE *Bygging i kvikkleireområder. Veiledning ved arealplanlegging og byggesaksbehandling*, Program for økt sikkerhet mot leirskred, NVE

- [33] A. J. Reite, 1996 *Sør-Trøndelag fylke, Kvartærgeologisk kart M 1:250 000, Veiledning til kartet*, Skrifter 96, NGU
- [34] R. Sandven, 2011 *Geotechnics, material properties*, Division of geotechnical engineering, NTNU
- [35] R. Sandven, 2012 *Tolkning av nye grunnundersøkelser. Bestemmelse av designparametre.*, Internprosjekt nr. 1 2011 Sund Rissa, Rapportnummer 414792-2, Multiconsult
- [36] R. Sandven, T. Ørbech, T. Lunne, 2004 *Sample disturbance in highly sensitive clay*, Proceedings ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Characterization, Millpress, Rotterdam
- [37] Standard Norge, 2008 *Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler*, NS-EN 1997-1:2004+NA:2008
- [38] I. L. Solberg, E. Dalsegg, L. Hansen, 2011 *Geofysiske målinger for løsmassekartlegging i Rissa, Sør-Trøndelag*, Rapport 2010.045, NGU
- [39] I. L. Solberg, E. Dalsegg, J. S. L'Heureux, 2012 *Resistivitetsmålinger for løsmassekartlegging ved Rein kirke i Rissa, Sør-Trøndelag*, Rapport 2012.018, NGU
- [40] Statens Vegvesen, 2010 *Geoteknikk i vegbygging, veiledning*, Håndbok 016, Statens Vegvesen
- [41] V. Thakur, 2012 *A critical appraisal of the definition of Brittle clays (Sprøbruddmateriale)*, Statens Vegvesen, 2012
- [42] V. Thakur, F. Oset, 2012 *Prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer*, Notat, referanse nr. 2012056523, Statens Vegvesen, 2012
- [43] M. H. de Veries, G. Eiksund, A. Emdal, S. Nordal, 2010 *Geotekniske sikkerhetsprinsipper i vegbygging med fokus på områdestabilitet i leirområder*, Rapport SBF IN F10412, Sintef Byggforsk Geoteknikk

Tillegg A

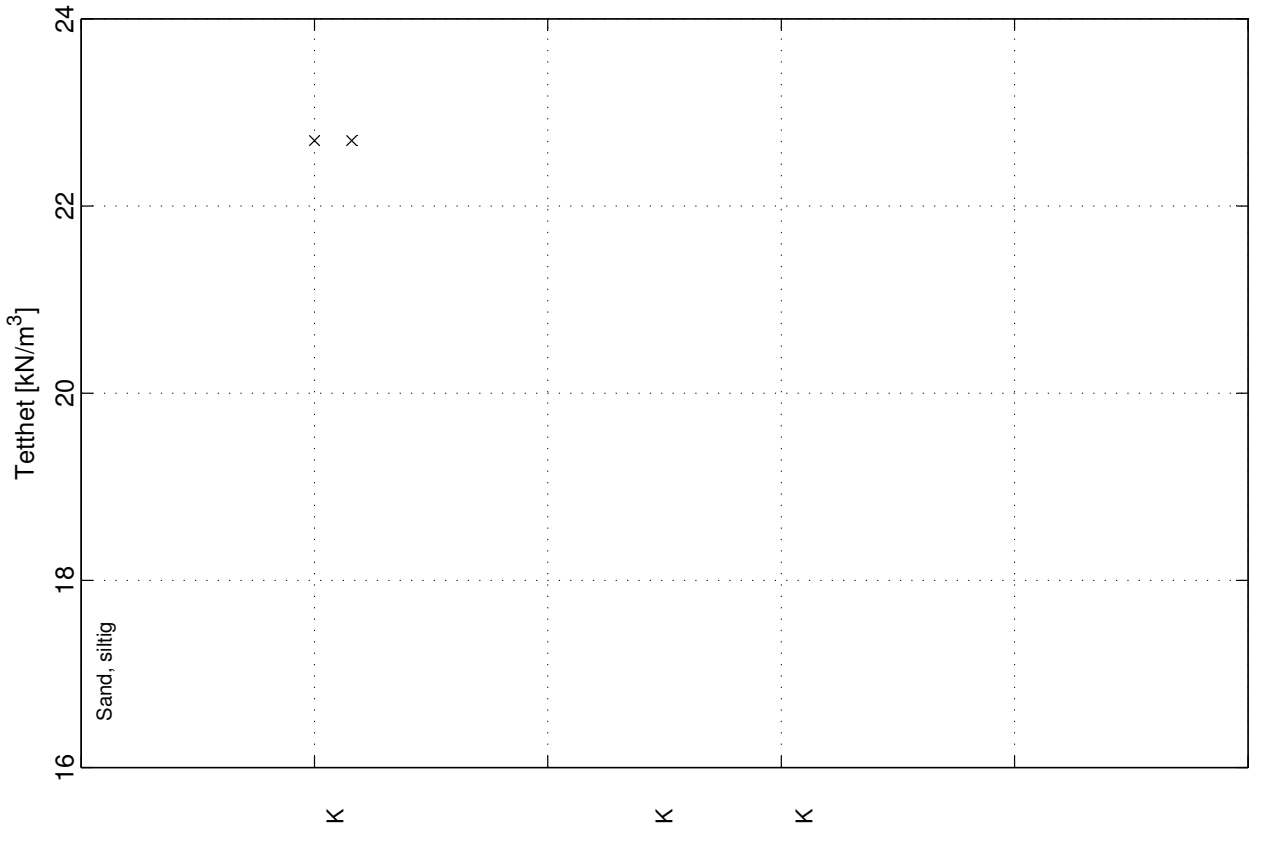
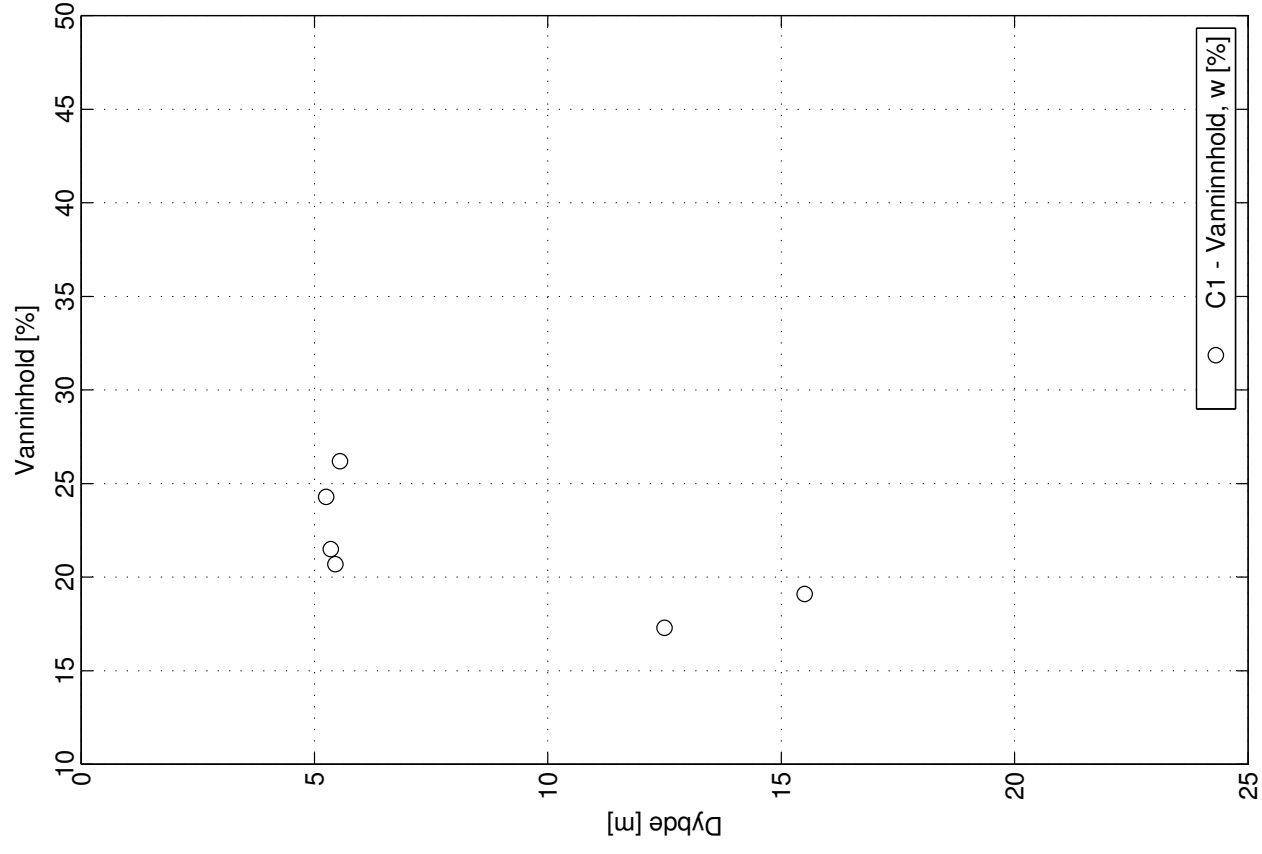
Prøveserier



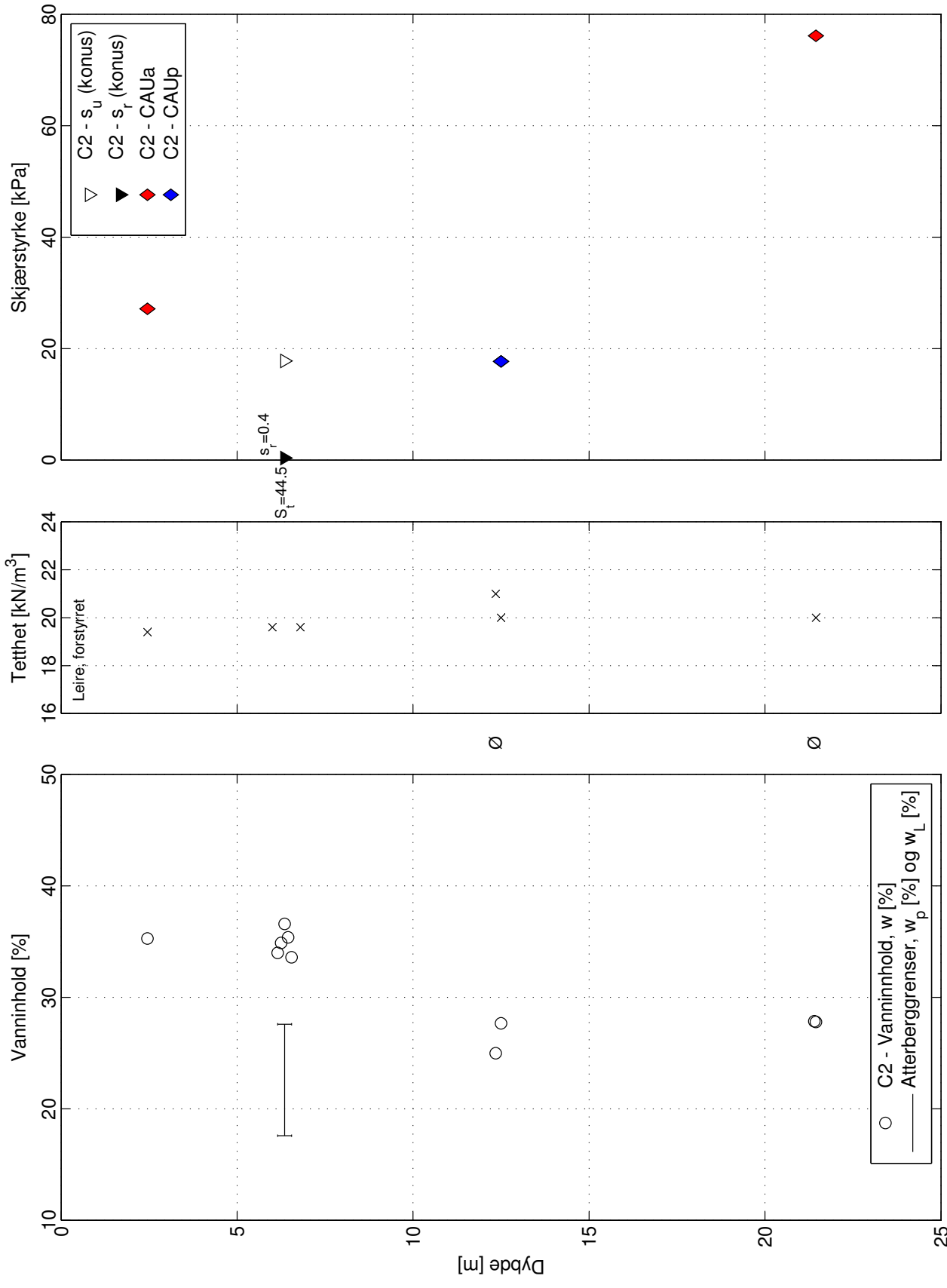
Utført av: NTNU (H. A. Kornbrekke), 2012

K - Korngraderingsanalyse
 S - Saltinnhold [g/l]
 S_i - Sensitivitet
 \emptyset - Ødometer forsøk

Borpunkt C3/C6
 Prøvetype: 250 mm
 Kote: +2.2m
 GV: ~1.0m
 Koordinater:



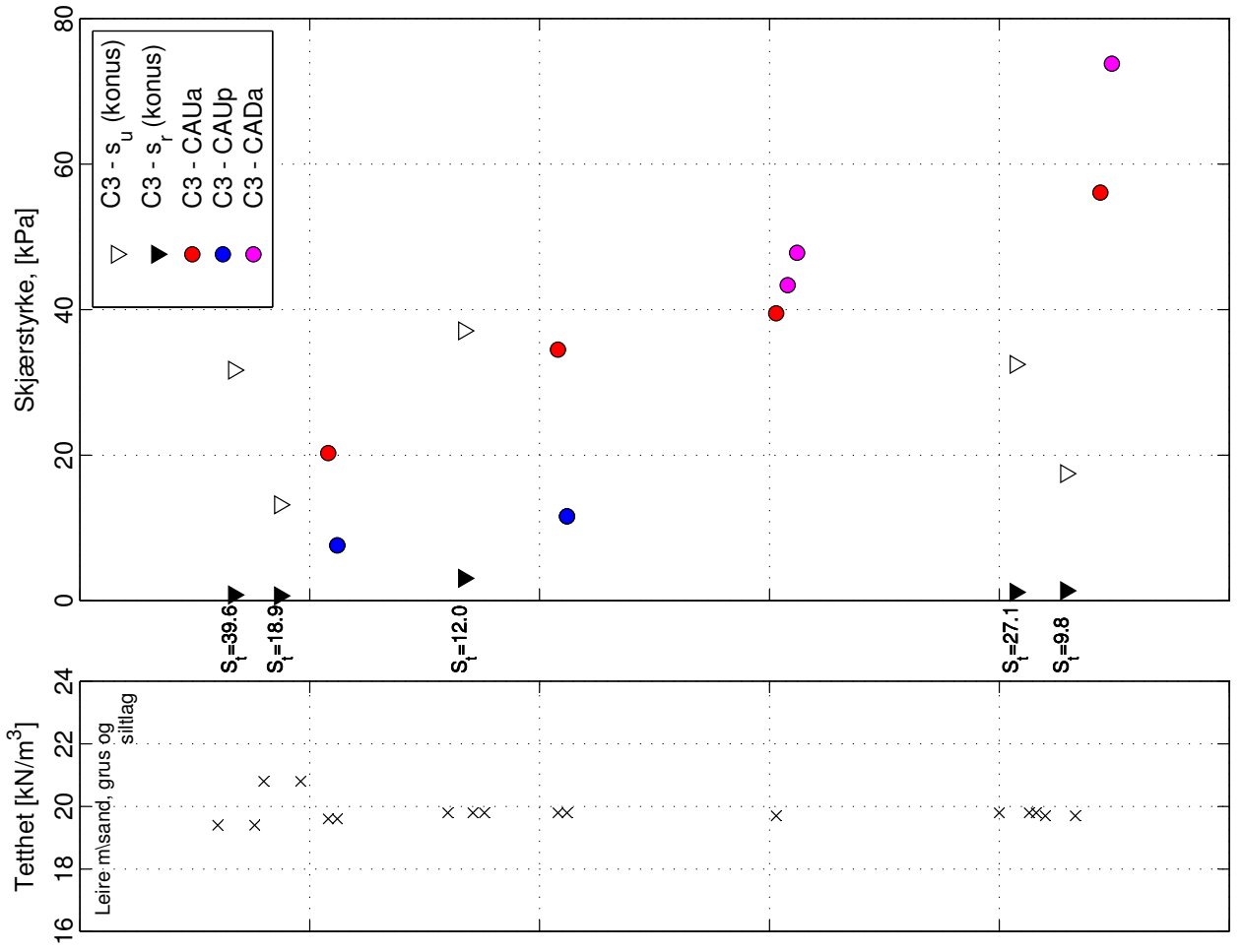
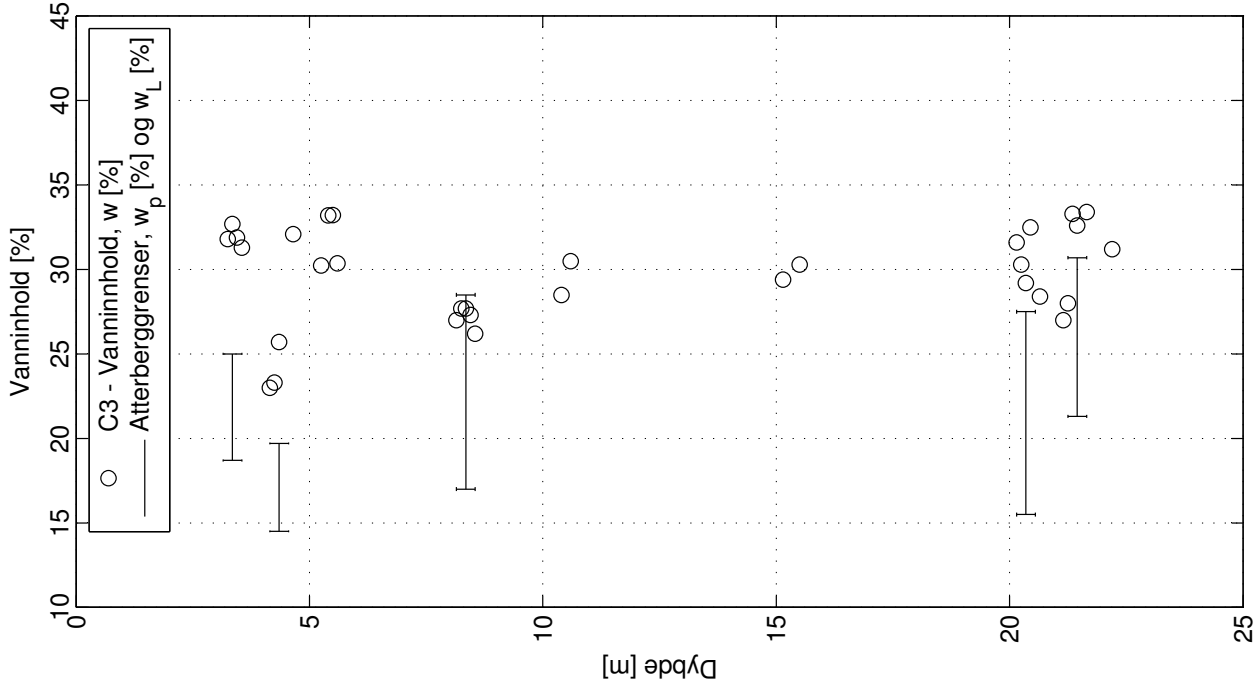
Utført av: Geo-Vest Haugland, 2011



Utført av: Geo-Vest Haugland, 2011

K - Korngraderingsanalyse
 S_r - Sensitivitet
 Ø - Ødometer forsøk

Borpunkt C2
 Prøvetype: 54 mm
 Kote: +9,1m
 GV: ~2,0m
 Koordinater: Ø546186.99 N7048828.00



Borpunkt C3

Prøvetype: 54 mm

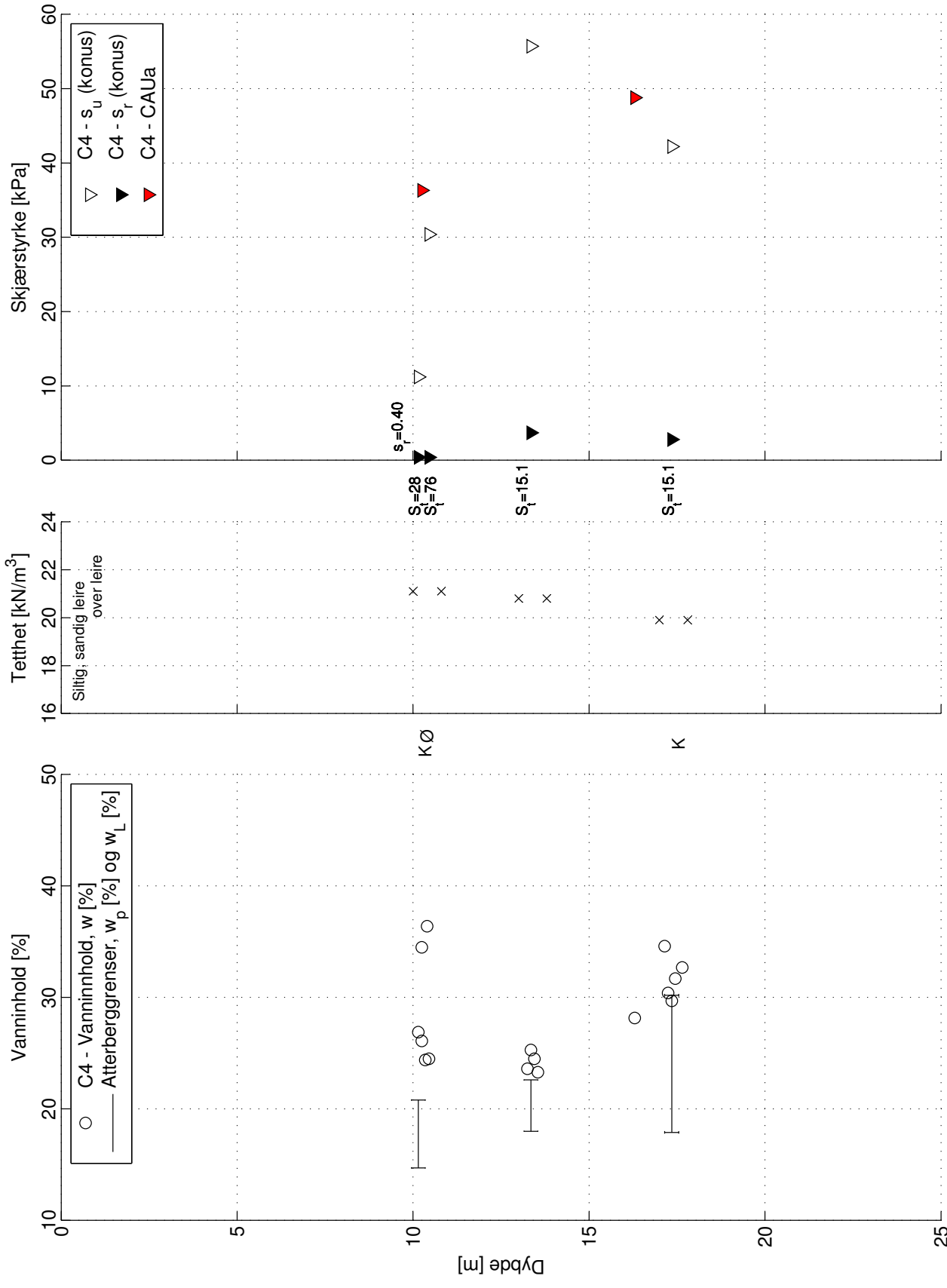
Kote: +2.17m

GV: ~1.0m

Koordinater: Ø546238.43 N7048812.01

K - Korngraderingsanalyse
 S_t - Sensitivitet
 ϕ - Ødometer forsøk

Utført av: Geo-Vest Haugland, 2011

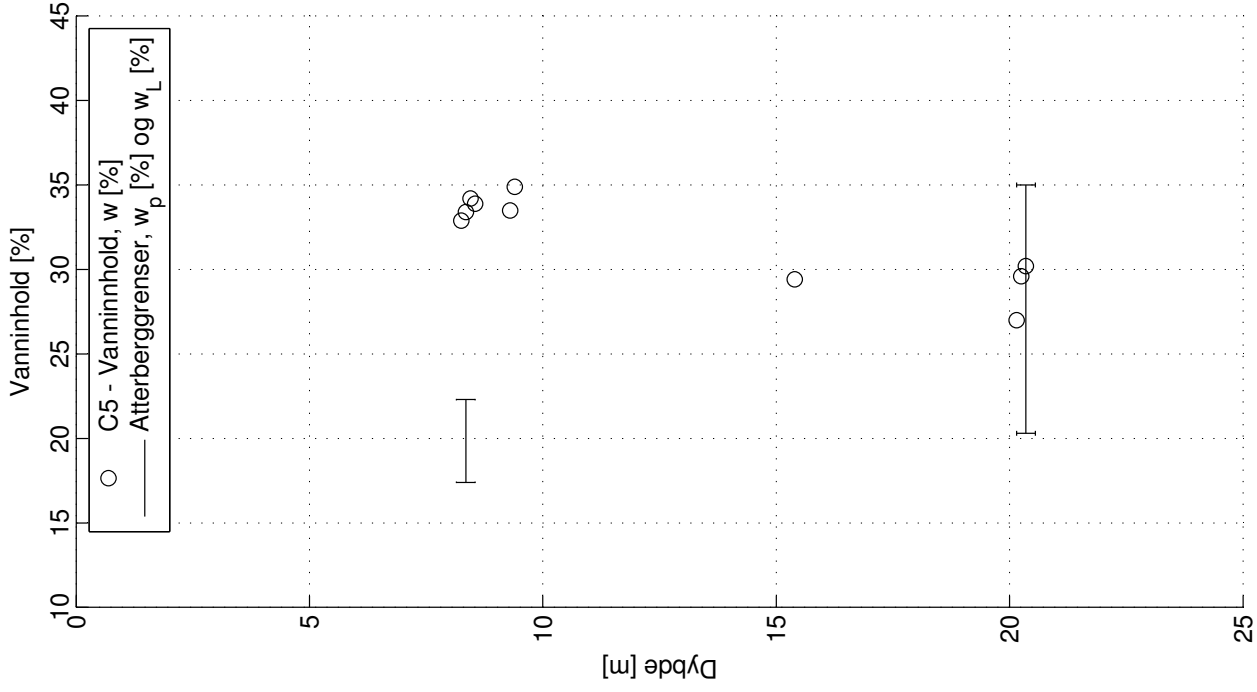


Borhull C4

Prøvetype: 54 mm
 Kote: +21.9m
 GV: ~2.0m
 Koordinater: Ø546084.06 N7048775.07

K - Korngraderingsanalyse
 S_p - Sensitivitet
 Ø - Ødometer forsøk

Utført av: Geo-Vest Haugland, 2011



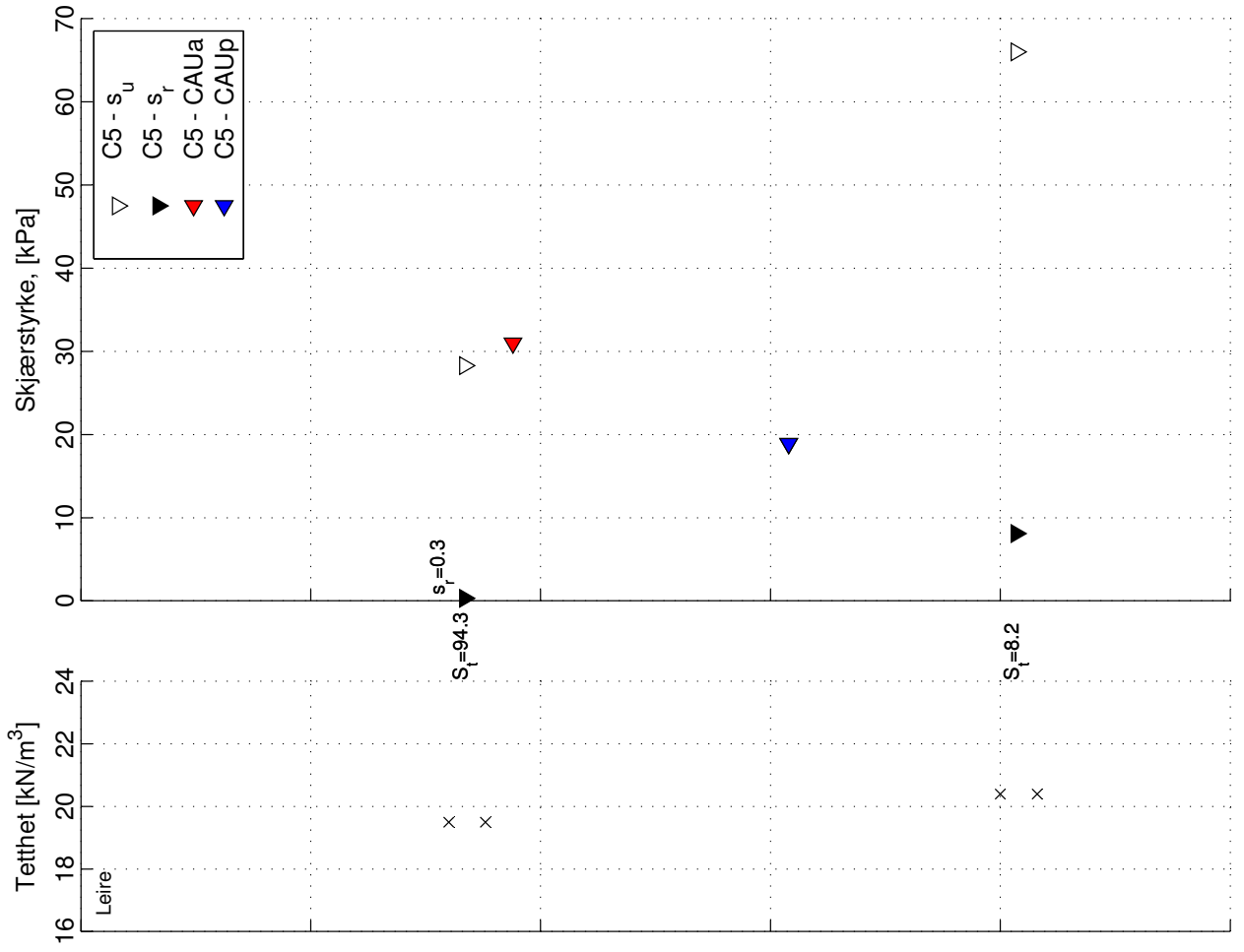
Borhull C5

Prøvetype: 54 mm

Kote: +12.7m

GV: ~1,0m

Koordinater: Ø546148.05 N7048747.57

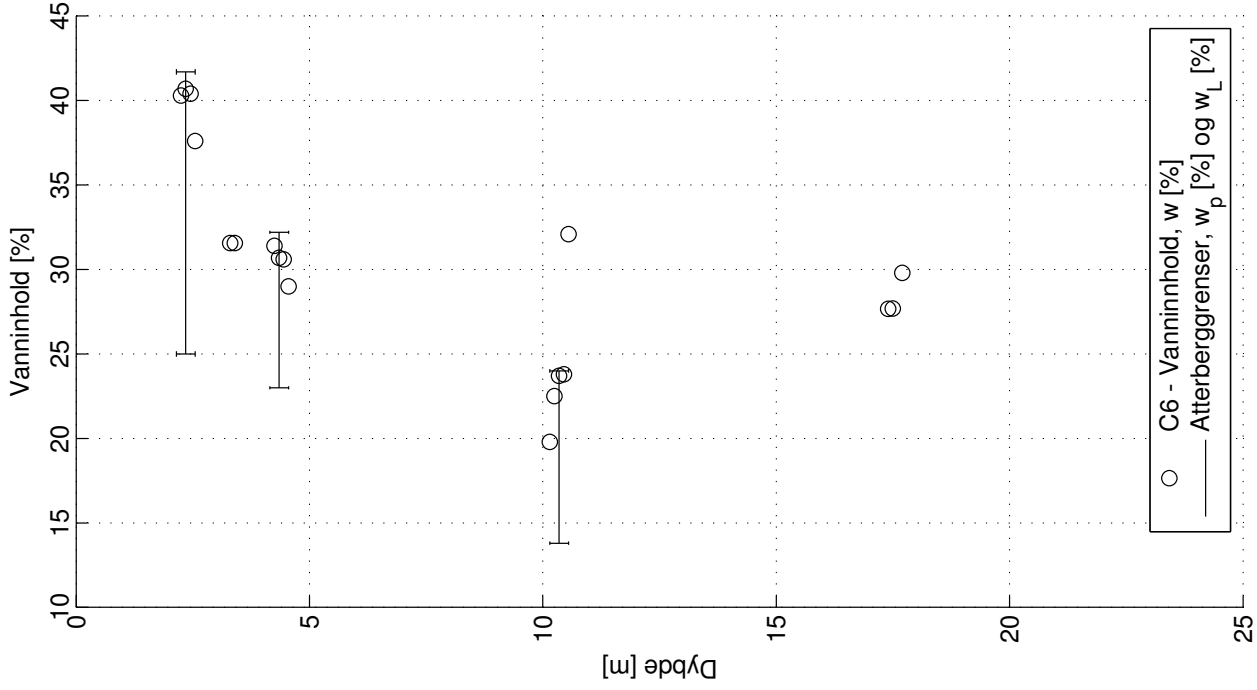


Utført av: Geo-Vest Haugland, 2011

K - Korngraderingsanalyse

S_t - Sensitivitet

Ø - Ødometer forsøk



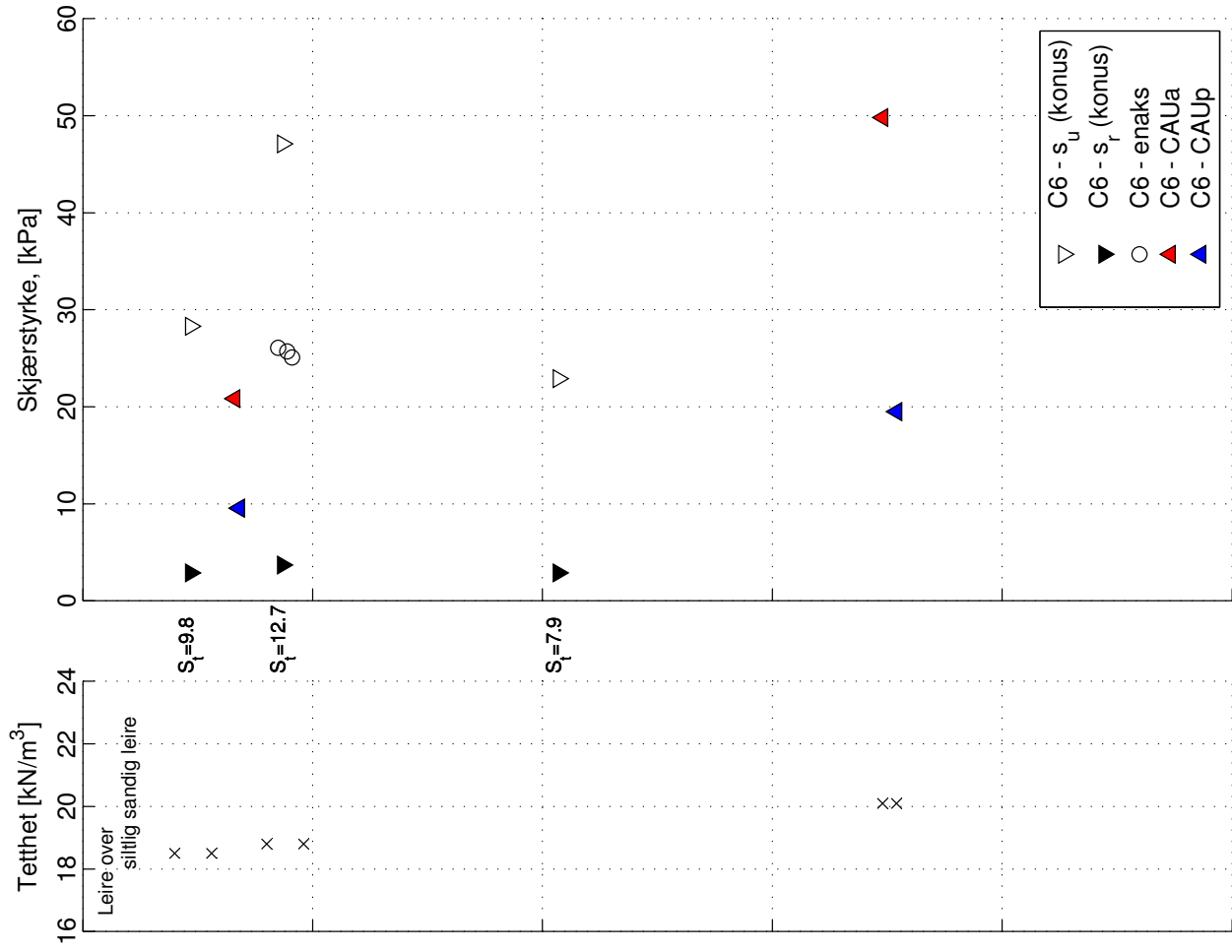
Borhull C6

Prøvetype: 54 mm

Kote: +1.89m

GV: ~1,0m

Koordinater: Ø546249.52 N7048688.79

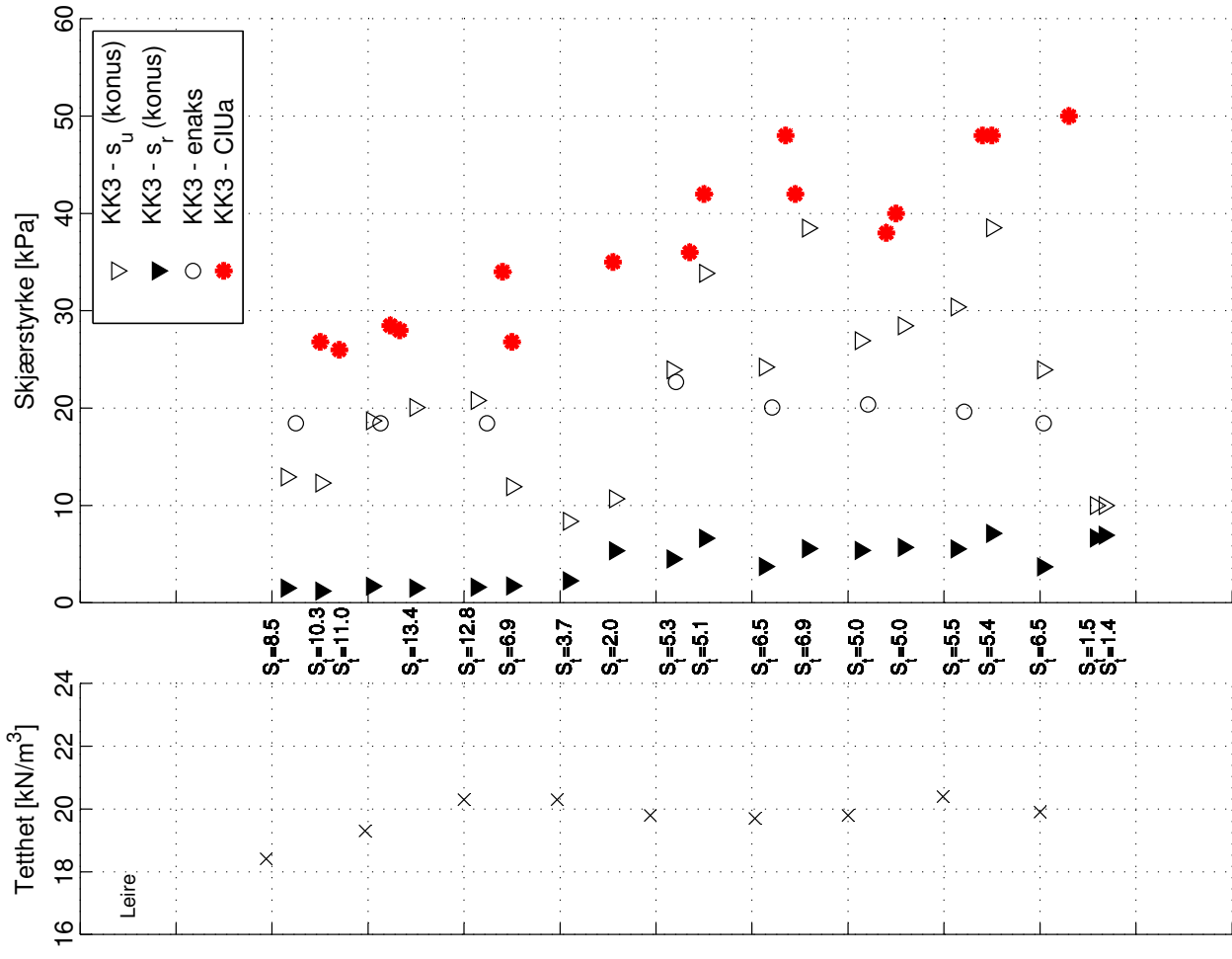
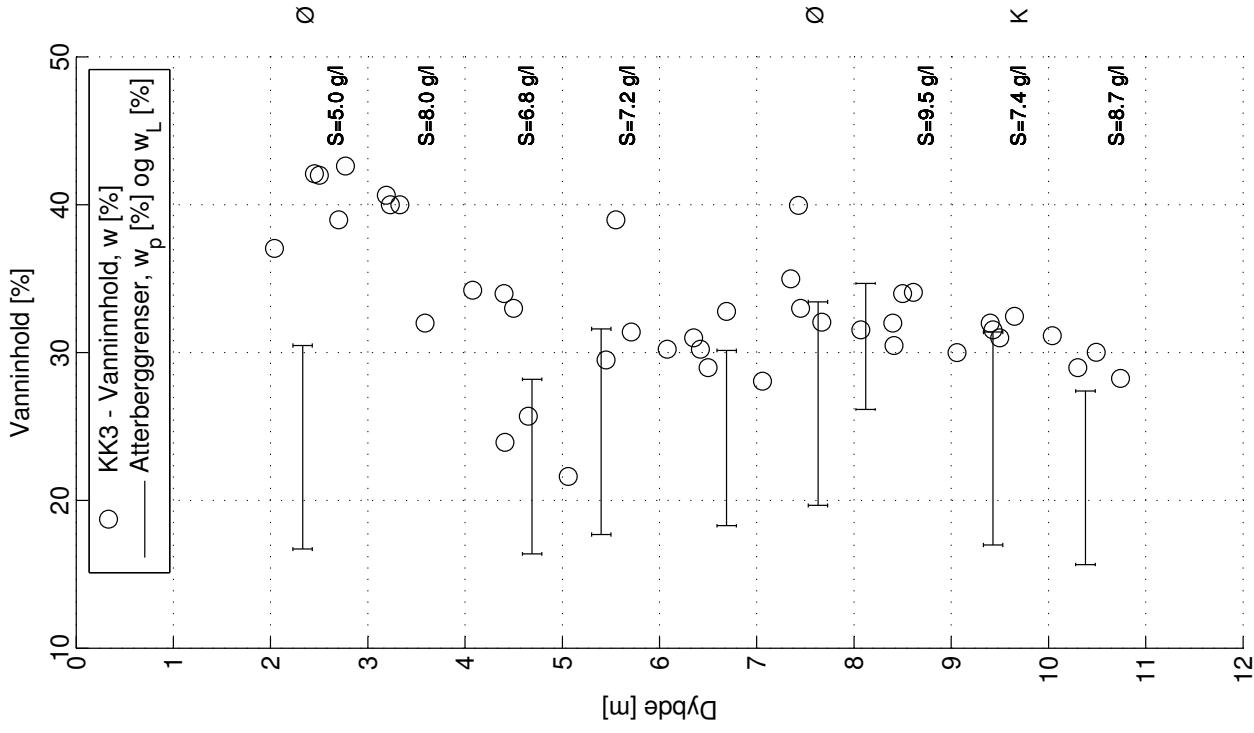


Utført av: Geo-Vest Haugland, 2011

K - Korngraderingsanalyse

S_t - Sensitivitet

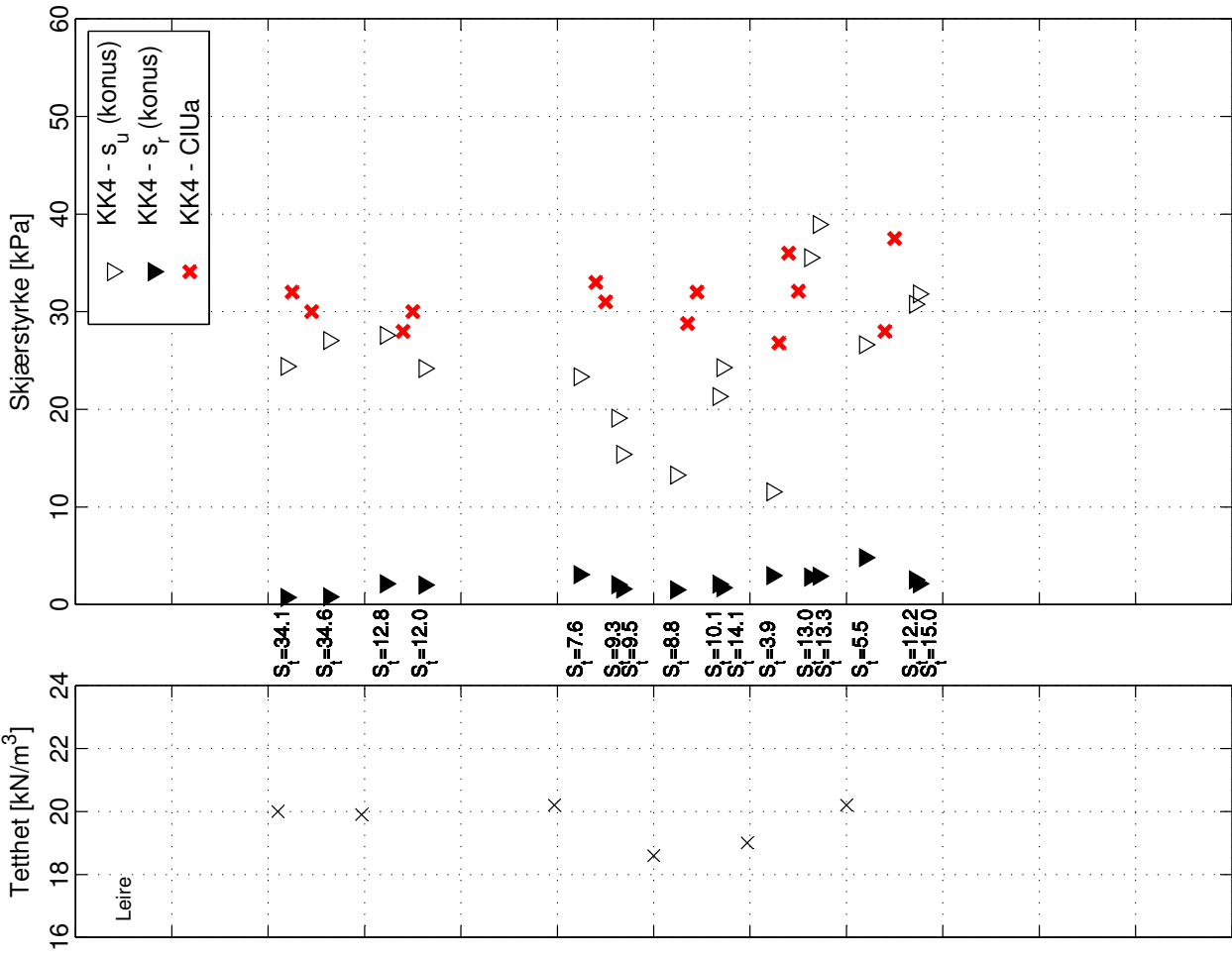
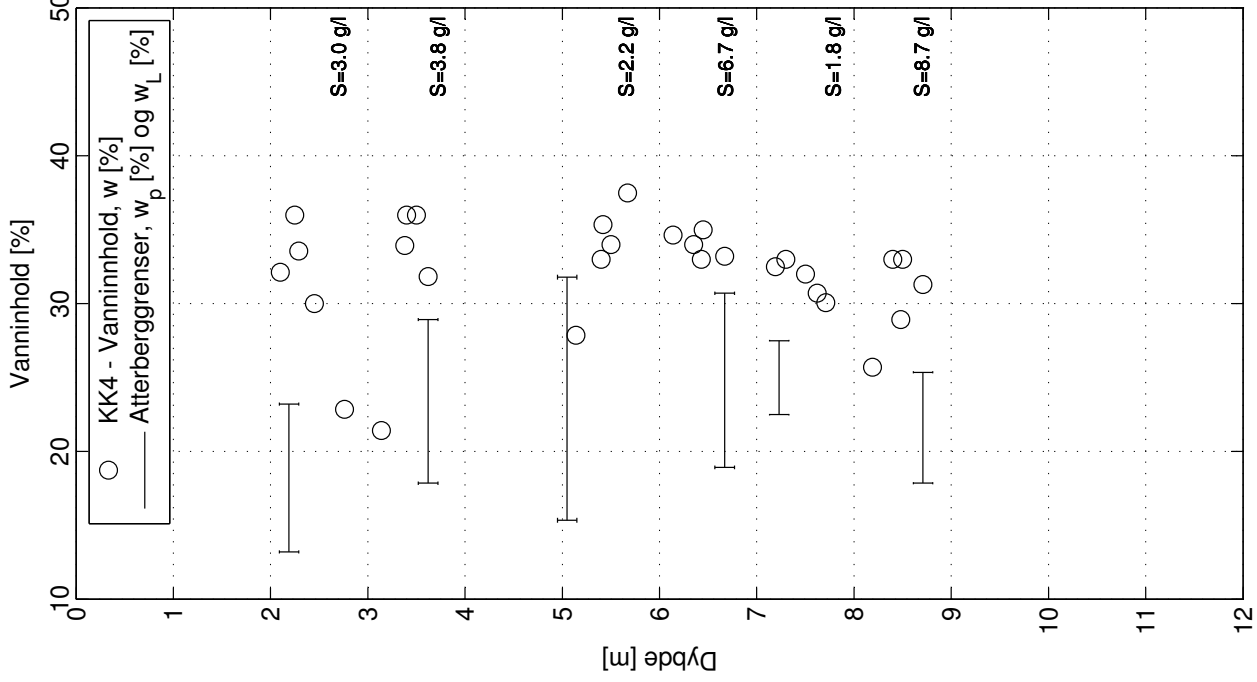
Ø - Ødometer forsøk



Borhull KK3
 Prøvetype: 54 mm
 Kote: +3.5m
 GV: ~1,0m
 Koordinater: Ø546191 N7048732

K - Korngraderingsanalyse
 S - Saltinnhold [g/l]
 S_t - Sensitivitet
 Ø - Ødometer forsøk

Utført av: NTNU (K. Kåsin), 2010

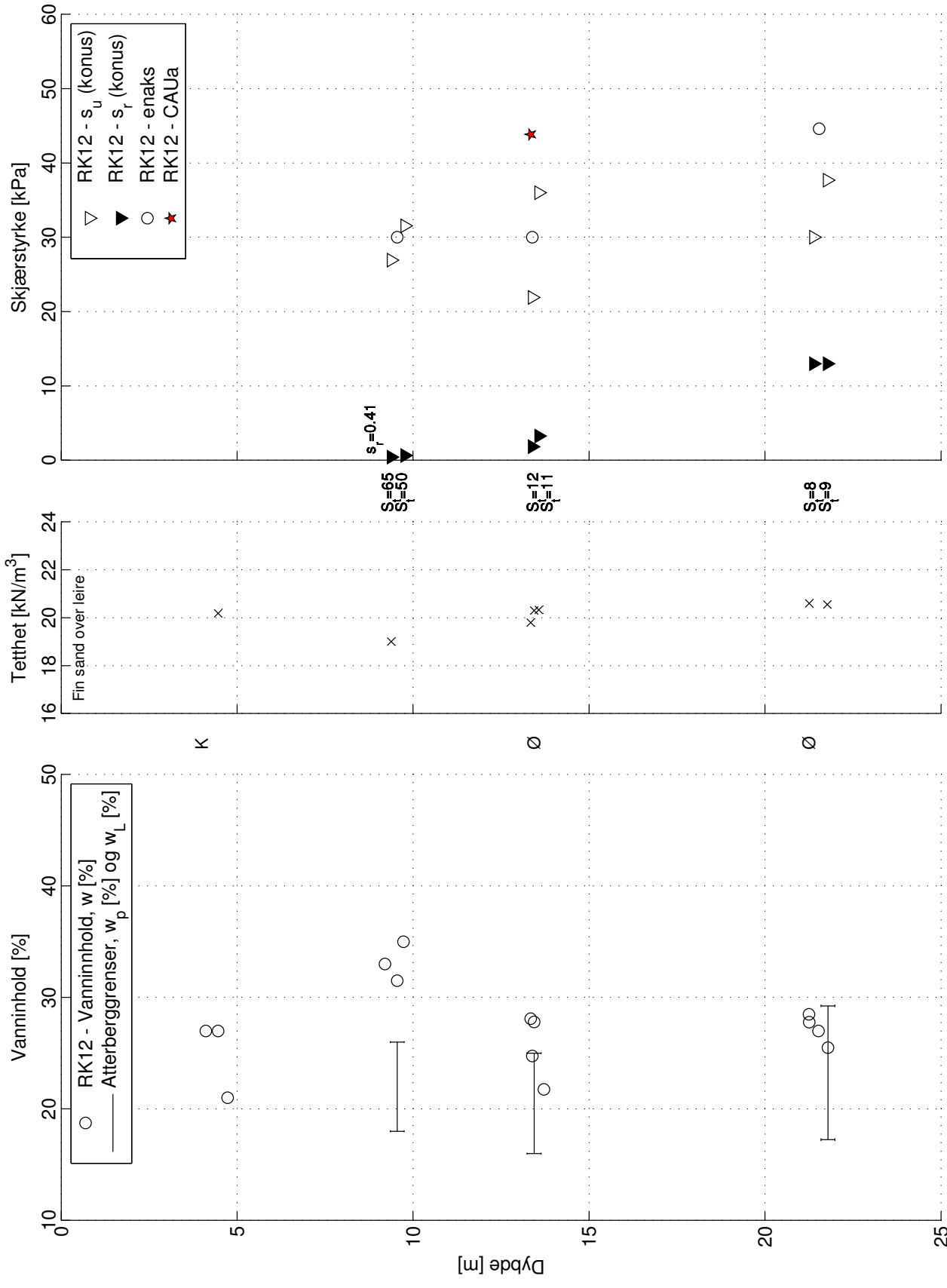


Borpunkt KK4

Prøvetype: 73 mm
 Kote: +3.5m
 GV: ~1m
 Koordinater: Ø546213 N7048809

K - Korngraderingsanalyse
 S - Saltinnhold [g/l]
 S_t - Sensitivitet
 Ø - Ødometer forsøk

Utført av: NTNU (K. Kåsin), 2010

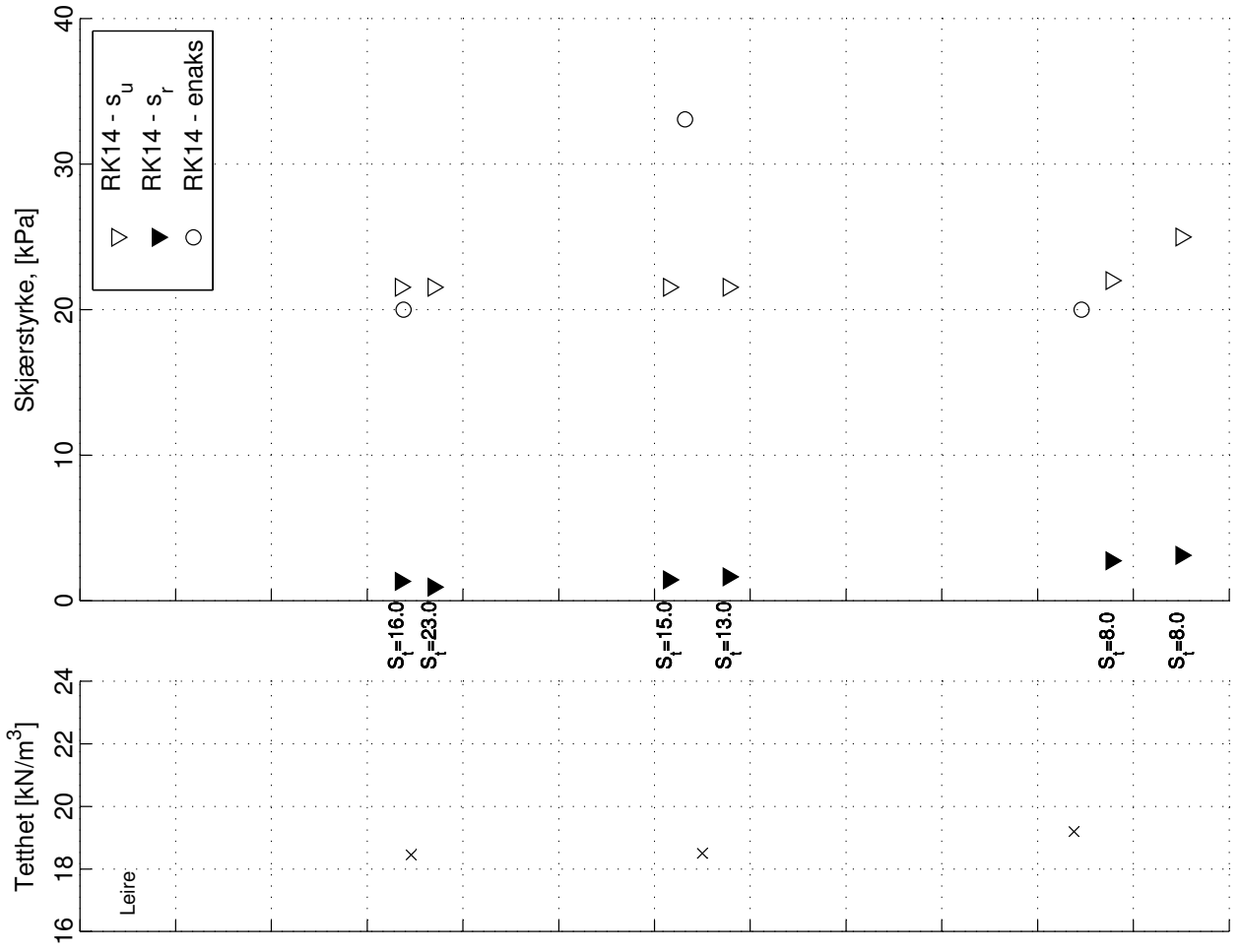
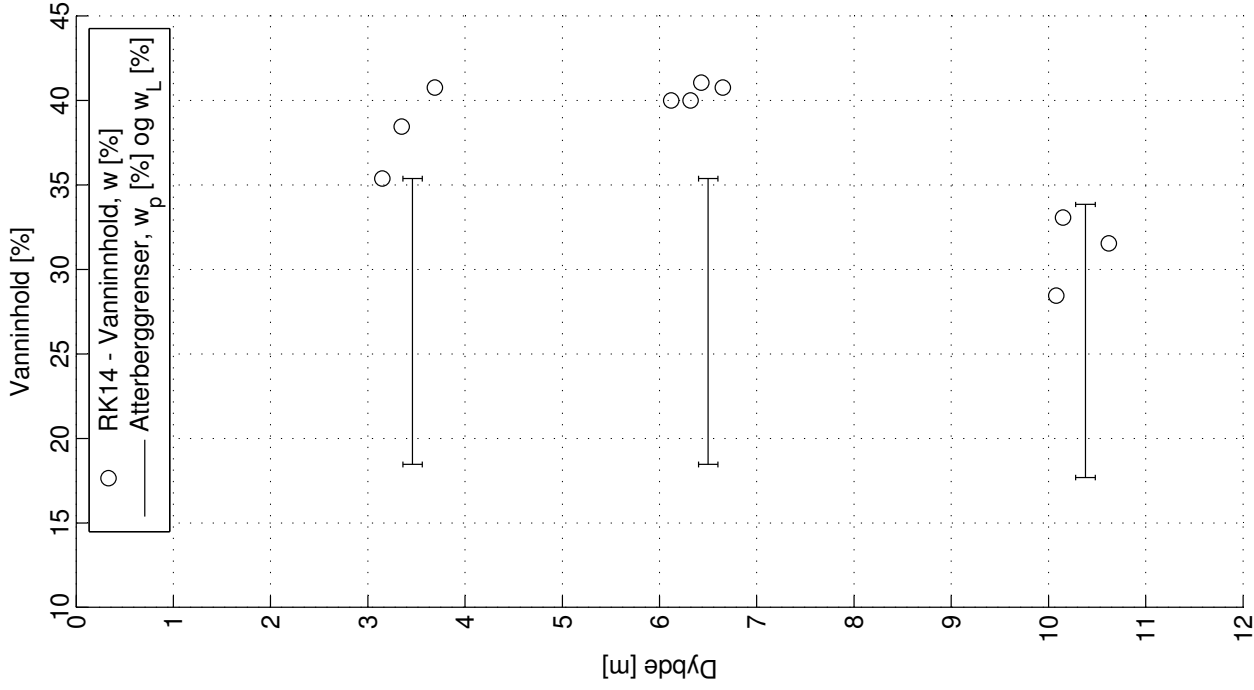


Borhull RK12

Prøvetype: 72 mm
 Kote: +21.9m
 GV: ~1.0m
 Koordinater: Ø546084.24 N7048775.33

K - Korngraderingsanalyse
 S - Sensitivitet
 Ø - Ødometer forsøk

Utført av: NGI, 2009

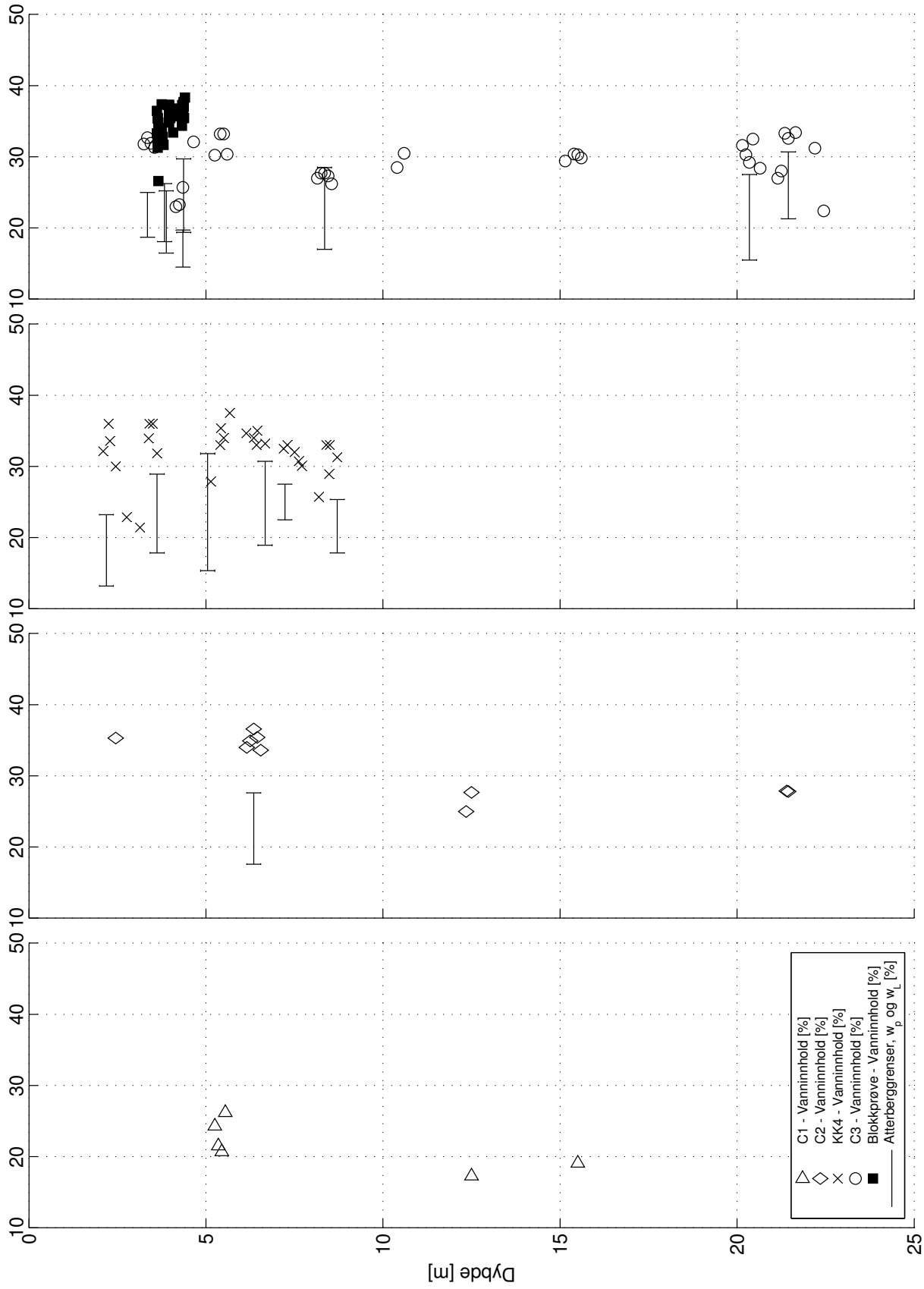


Borhull RK14
 Prøvetype: 72 mm
 Kote: +2.7m
 GV: ~1.0m
 Koordinater: Ø546216.00 N7048719.00

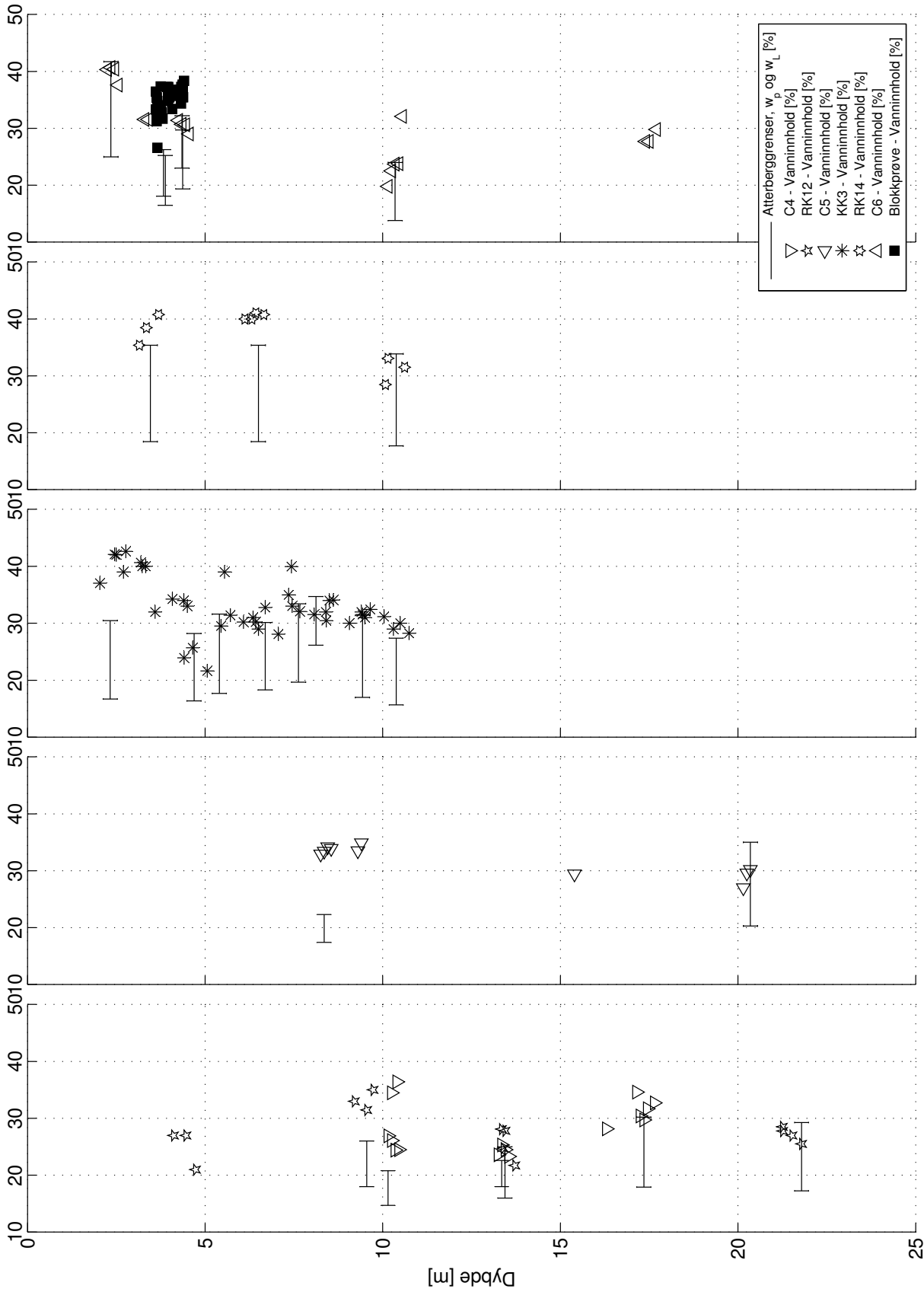
K - Korngraderingsanalyse
 S_t - Sensitivitet
 Ø - Ødometer forsøk

Utført av: NGI, 2009

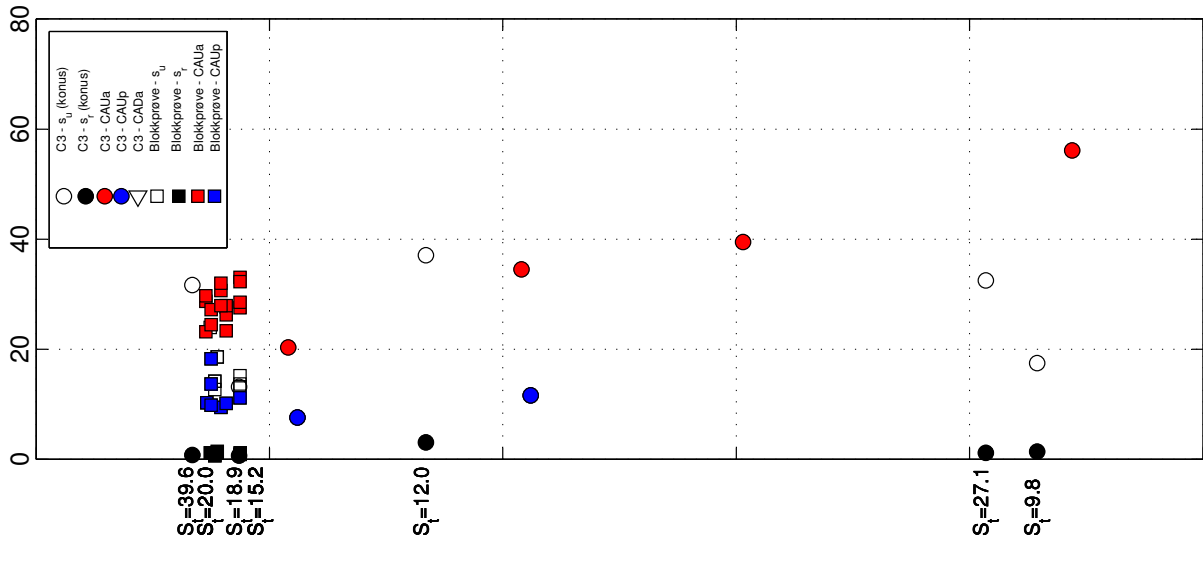
Profil 3-3, vanninnhold [%]



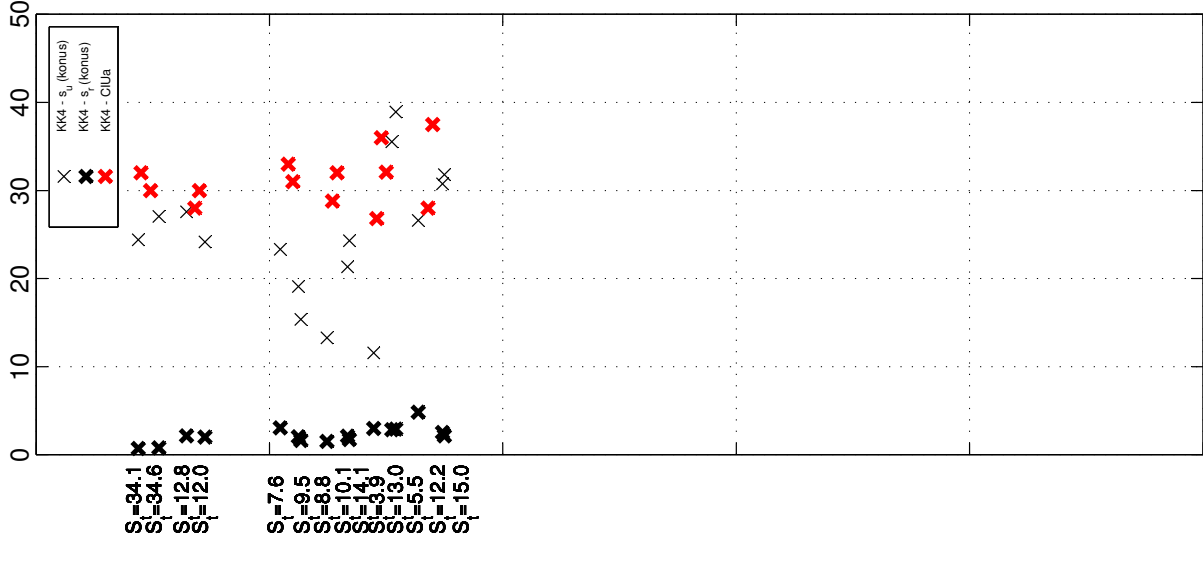
Profil 5-5, vanninnhold [%]



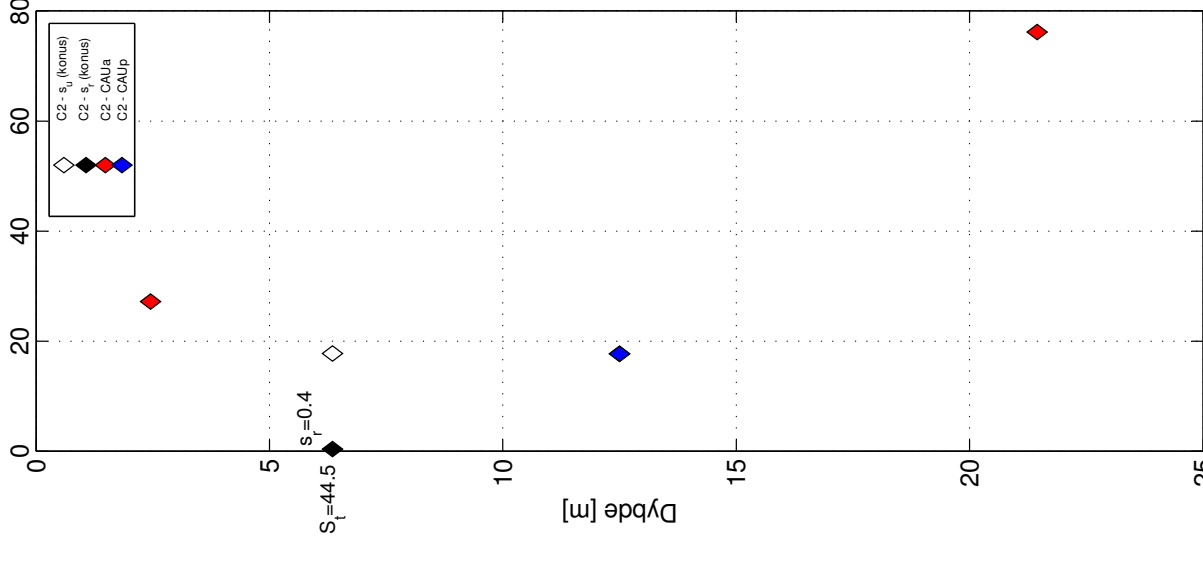
Profil 3-3, skjærstyrke [kPa]



Borpunkt C3 m/blockprøve
 Prøvetype: 54/250 mm
 Kote: +2.17m



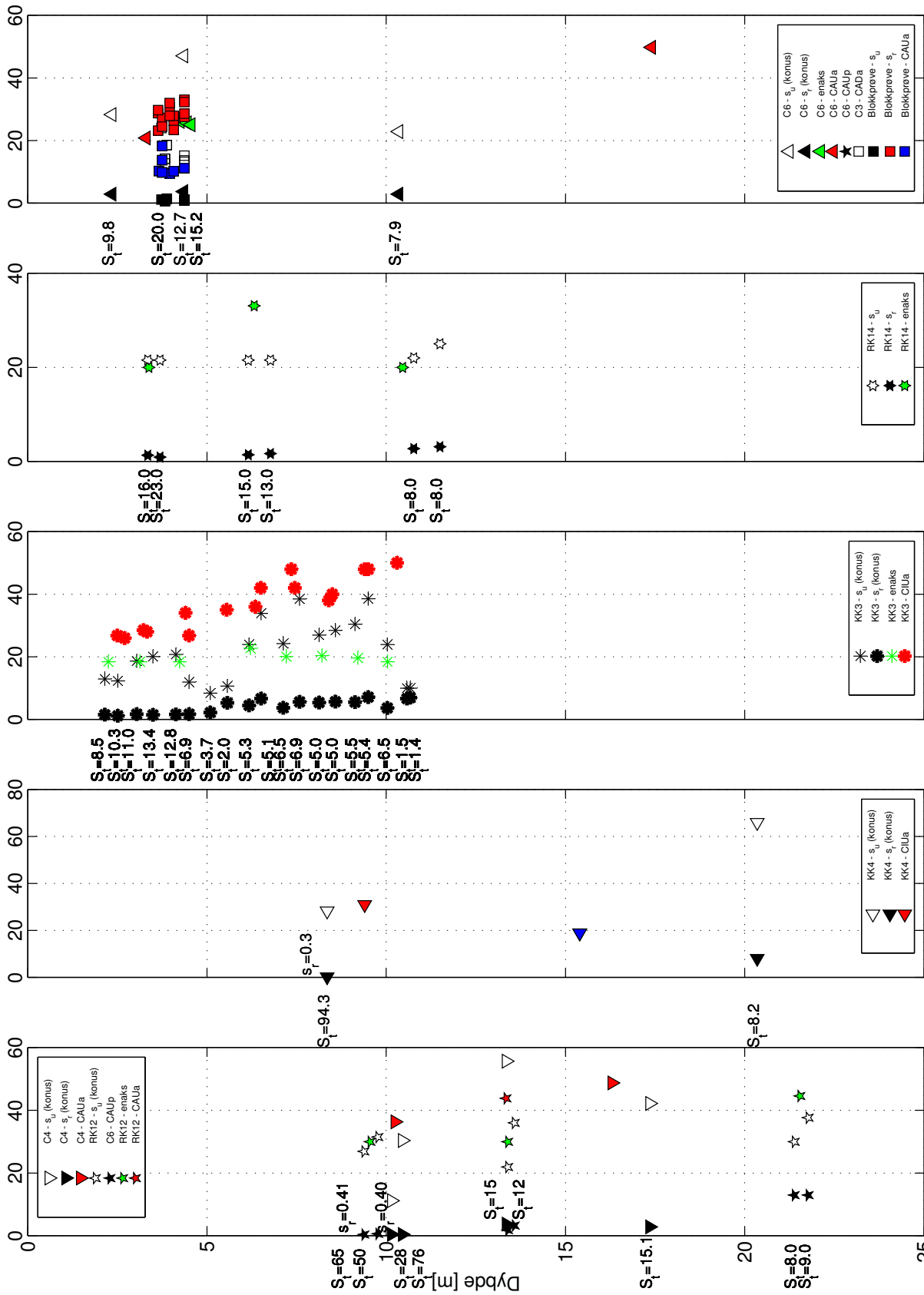
Borpunkt KK4
 Prøvetype: 73 mm
 Kote: +3.5m



Borpunkt C2
 Prøvetype: 54 mm
 Kote: +9.1m

Dybde [m]

Profil 5-5, skjærstyrke [kPa]



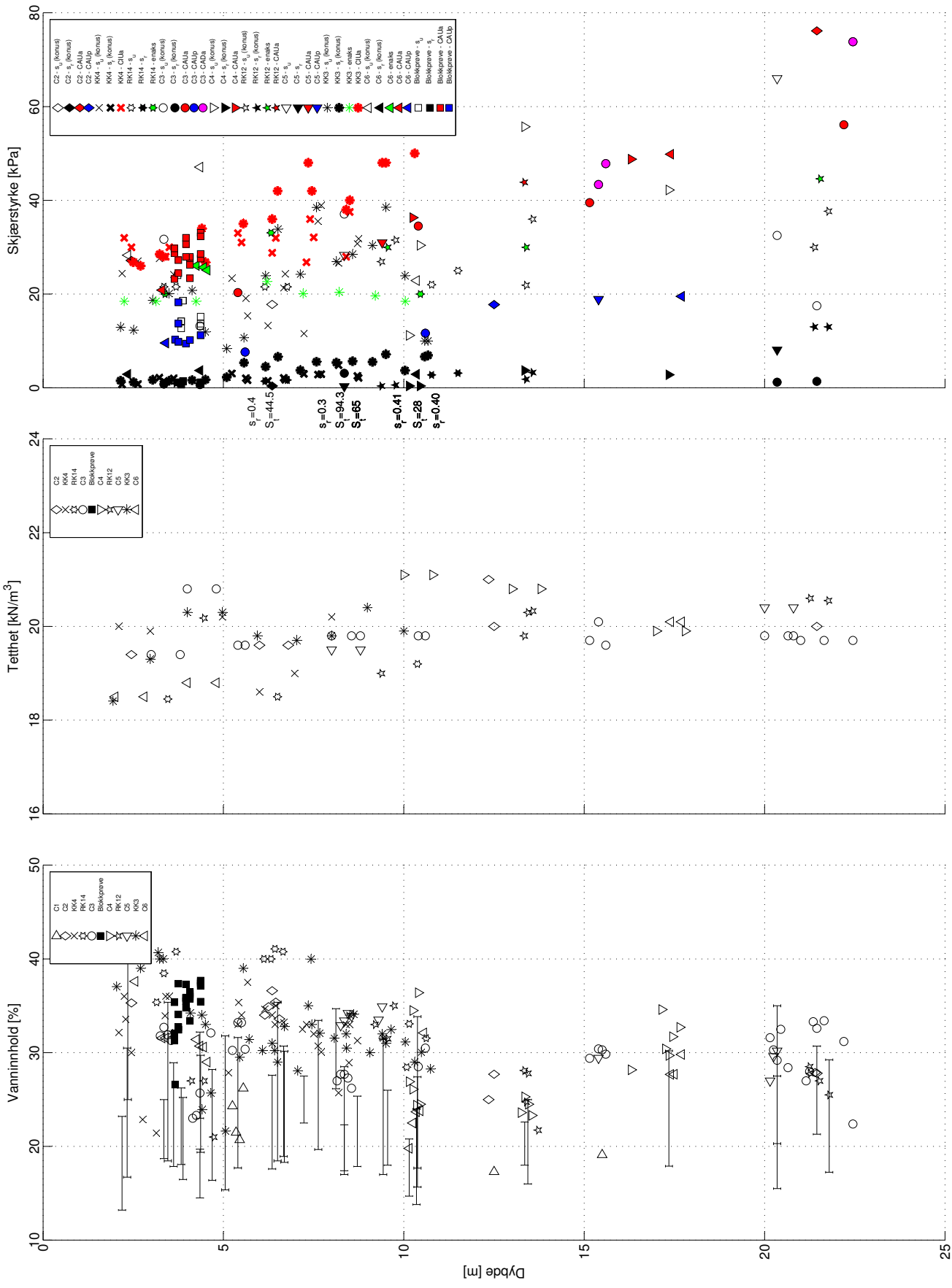
Borpunkt C6 m/blokkprøve
 Prøvetype: 54/250 mm
 Kote: +1.89m

Borpunkt RK14
 Prøvetype: 72 mm
 Kote: +2.7m

Borpunkt KK3
 Prøvetype: 54 mm
 Kote: +3.5m

Borpunkt C5
 Prøvetype: 54 mm
 Kote: +12.69m

Borpunkt C4/RK12
 Prøvetype: 54/72 mm
 Kote: +21.9m



Borhull	Prøvetype	Kote	Borhull	Prøvetype	Kote	Borhull	Prøvetype	Kote
Borhull C1	54 mm	+25.14m	Borhull C2	54 mm	+9.1m	Borhull C3 m/blokkprøve	54/250 mm	+2.2m
Borhull C2	54 mm	+9.1m	Borhull C3	54 mm	+2.7m	Borhull C4/RK12	54/72 mm	+21.9m
Borhull C3	54 mm	+9.1m	Borhull C5	54 mm	+12.69m	Borhull C5	54 mm	+12.69m
Borhull C4	54 mm	+9.1m	Borhull C6	54 mm	+1.89m	Borhull C6	54 mm	+1.89m

Tillegg B

Treaksialforsøk

Sund, Rissa Blokkprøve, CIUa001

Dybde: 3.96 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 19.01.12

Forsøksdato: 20.01.12

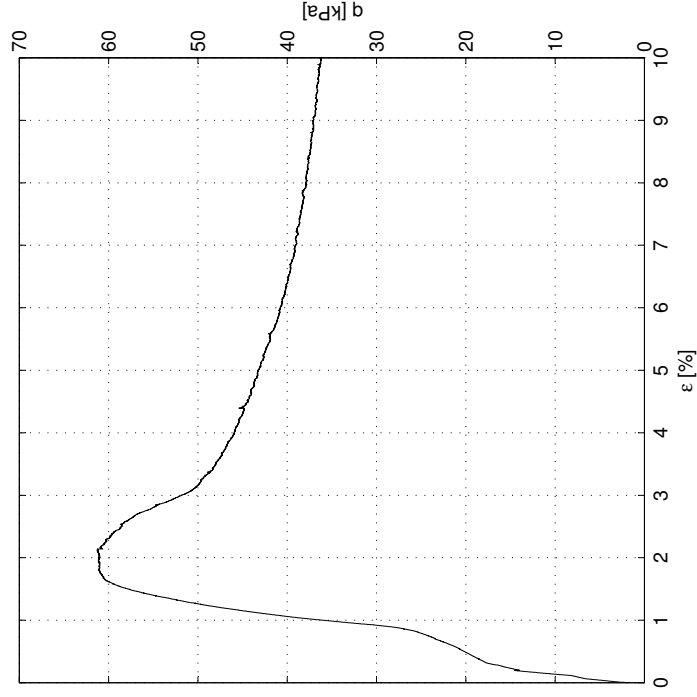
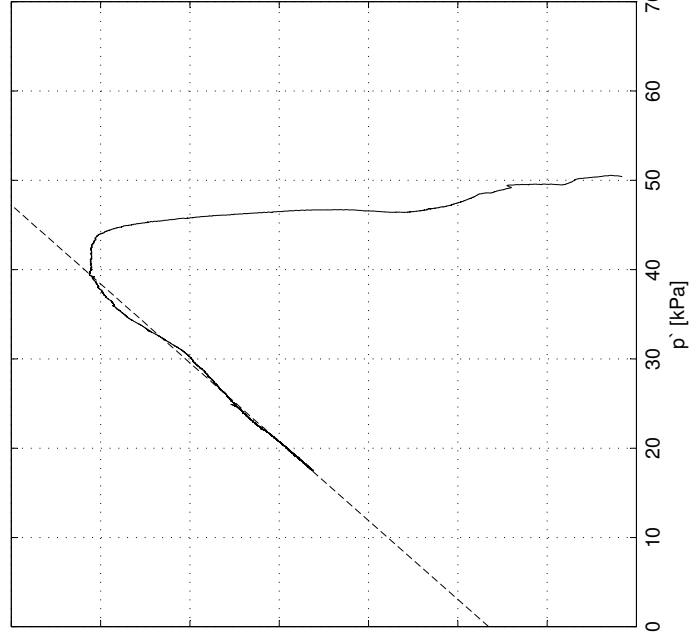
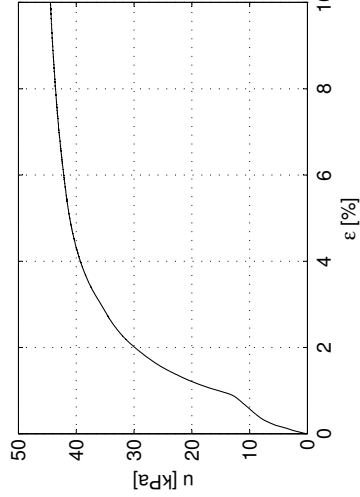
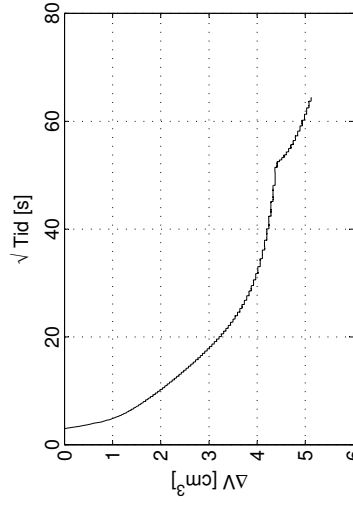
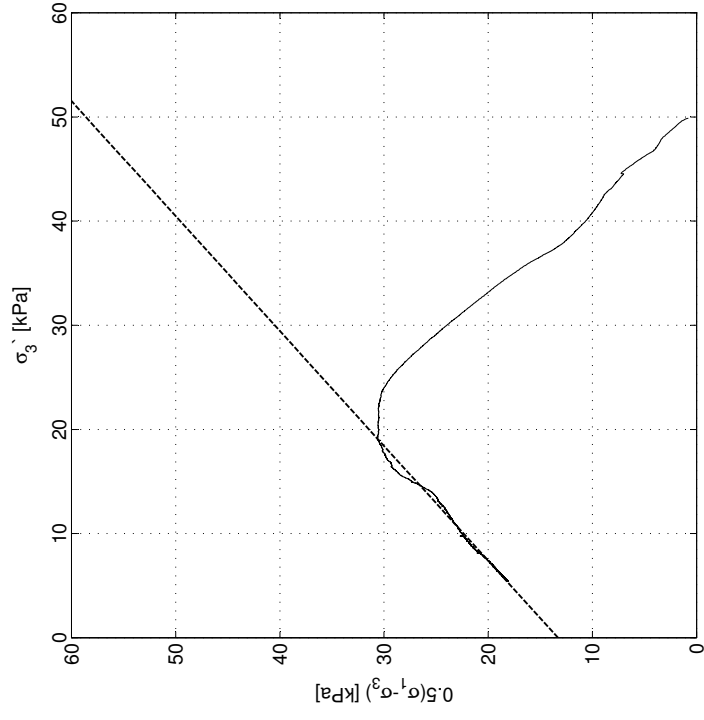
Tøyningshastighet: 3.0 %/time



σ'_{vo} = 46.64 kPa σ'_c = 100 kPa
 w = 35.88 % OCR = 2.17
 γ = 19.5 kN/m³

ΔV = 5.13 cm³ $\tan \phi$ = 0.54
 ϵ_v = 2.21 % ϕ = 28.4 °
 $\Delta e/e_0$ = 0.04 a = 15 kPa

s_u = 30.65 kPa D = -0.03
 ϵ'_1 = 1.75 % S = 0.91
 E_0 = 5.7 MPa M_f = 1.13



Sund, Rissa Blokprøve, CAUa102

Dybde: 3.96 m

Prøvetaksdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 19.01.12

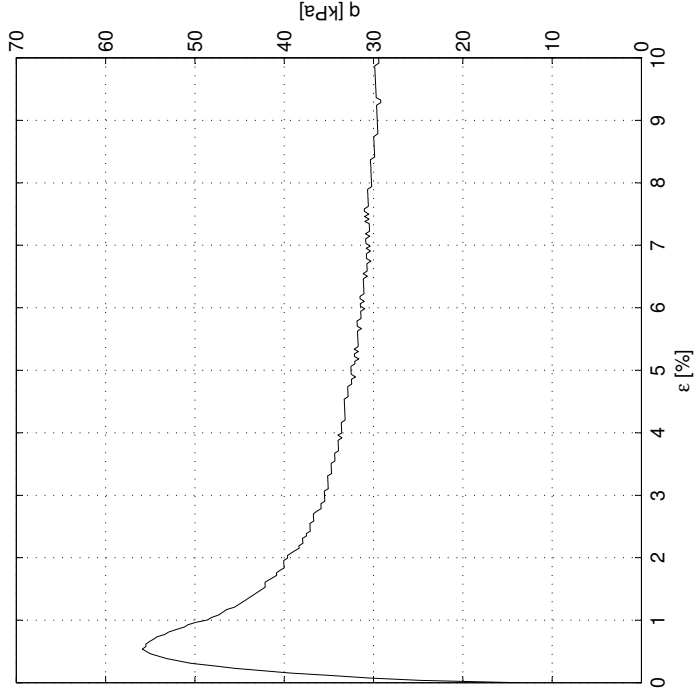
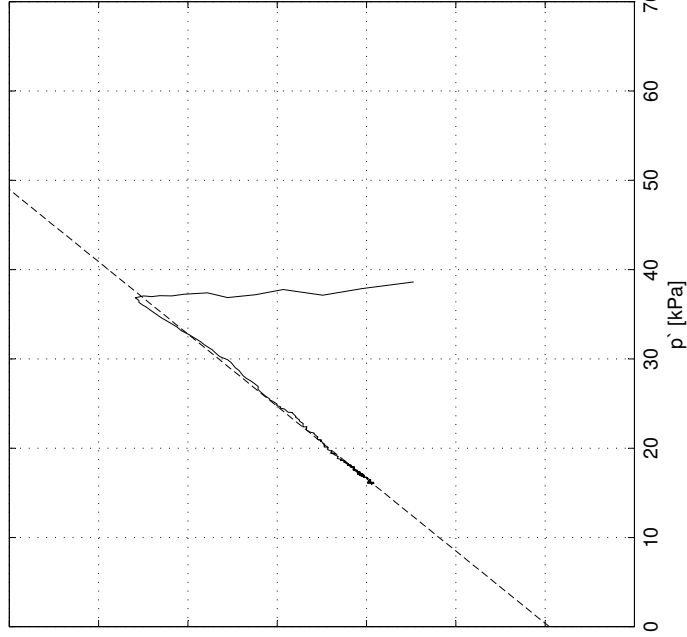
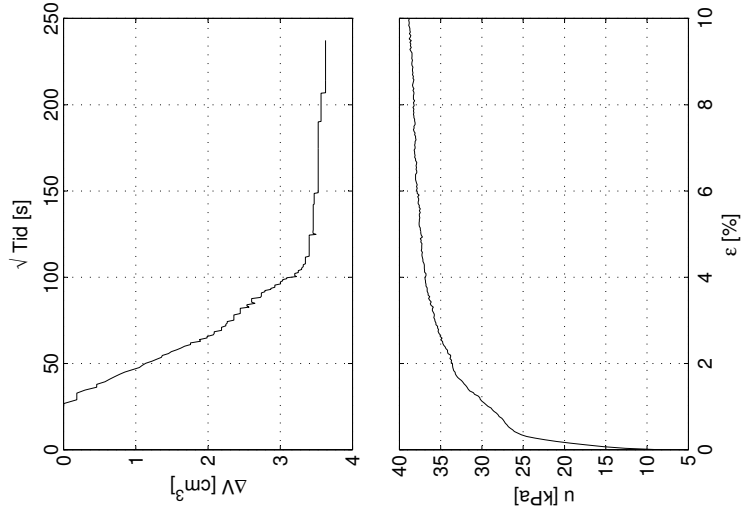
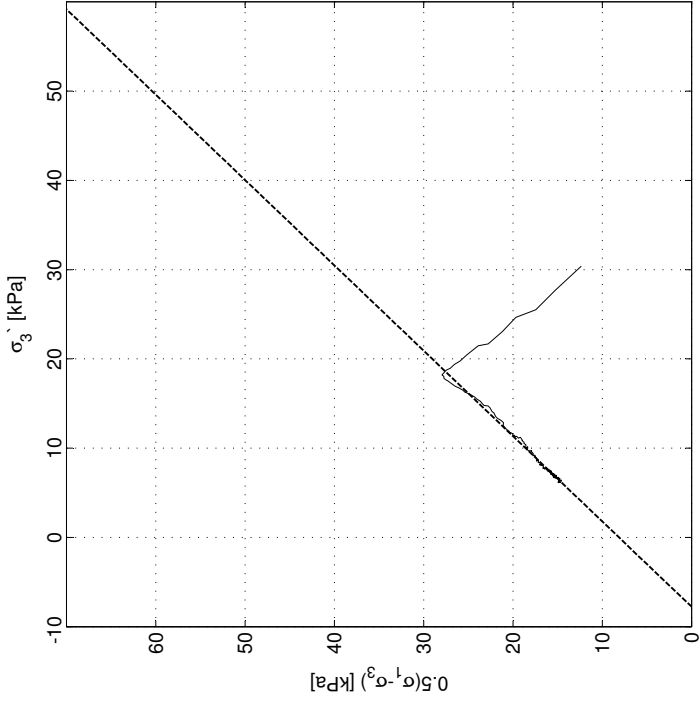
Testingsdato: 24.02.12

Tøyningshastighet: 1.20 %/time (Utført med baktrykk av Multiconsult Trondheim)

σ'_{vo} = 45.64 kPa σ'_c = 100 kPa
 w = 34.80 % OCR = 2.22
 γ = 19.1 kN/m³

ΔV = 3.63 cm³ $\tan \phi$ = 0.59
 ε_v = 1.56 % ϕ = 30.8 °
 $\Delta e/e_o$ = 0.03 a = 8 kPa

s_u = 27.95 kPa D = -0.04
 ε_1 = 0.73 % S = 1.05
 E_o = 11.3 MPa M_f = 1.23



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa003

Dybde: 3.96 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 19.01.12

Forsøksdato: 26.01.12

Tøyningshastighet: 3.0 %/time



σ'_{vo} = 45.64 kPa

w = 37.29 %

γ = 19.5 kN/m³

σ'_c = 100 kPa

OCR = 2.23

ΔV = 5.16 cm³

ϵ_v^1 = 2.23 %

$\Delta v/e_0$ = 0.04

$\tan \phi$ = 0.43

ϕ = 23.4 °

a = 23 kPa

S_u = 32.02 kPa

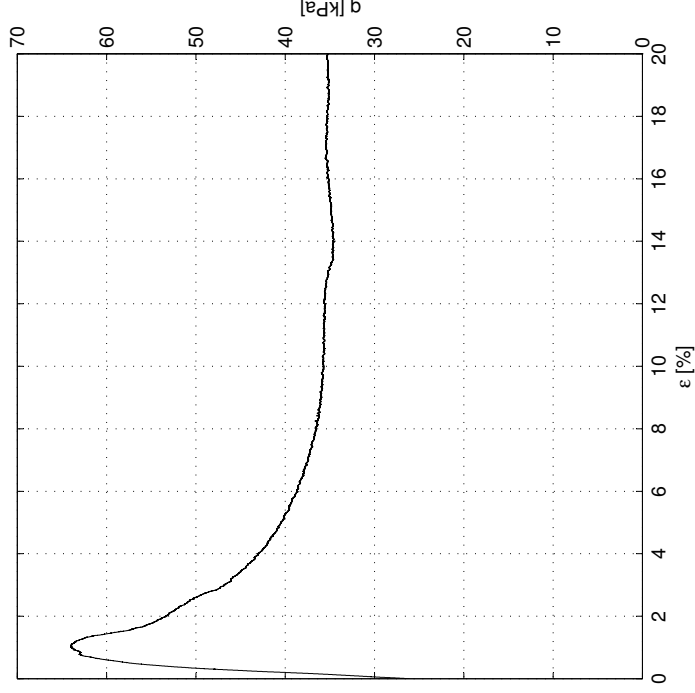
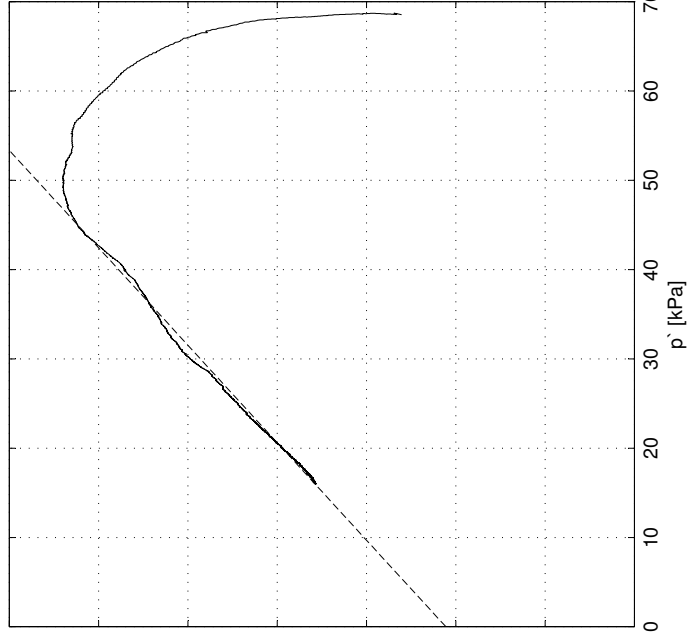
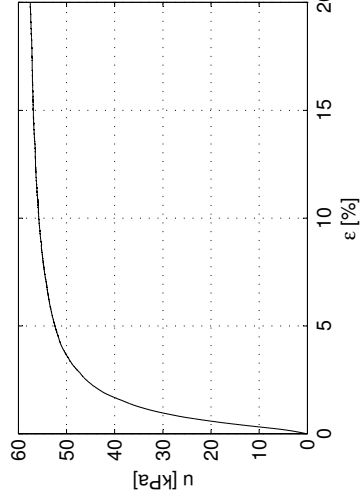
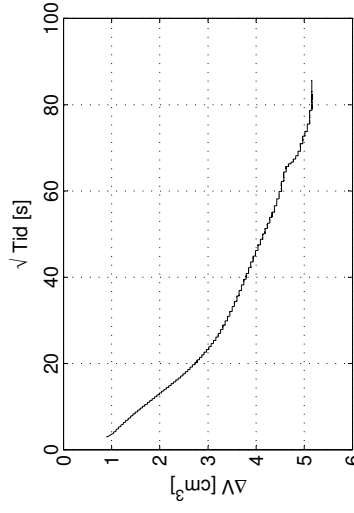
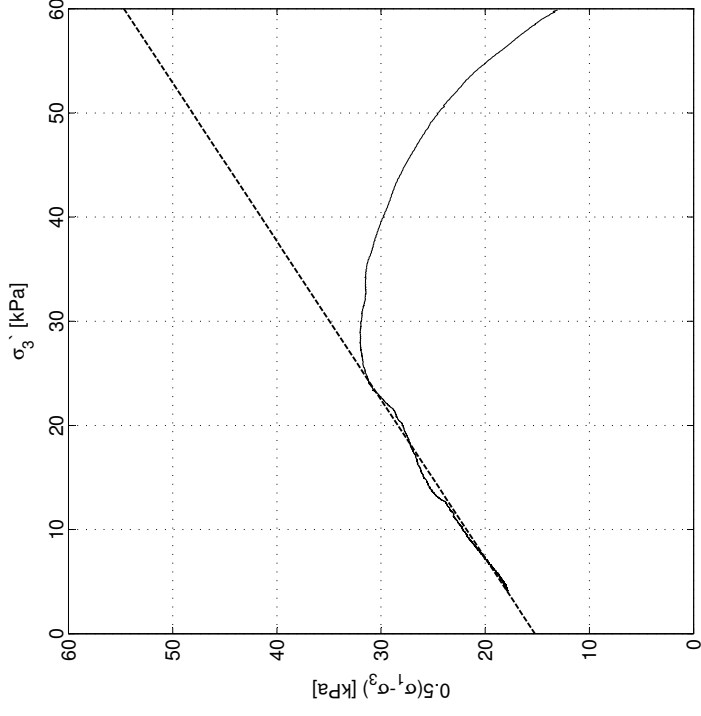
ϵ_f^1 = 1.42 %

E_0 = 6.6 MPa

D = -0.15

S = 0.66

M_f = 0.92



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa004

Dybde: 4.07 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 19.01.12

Forsøksdato: 02.02.12

Tøyningshastighet: 0.60 %/time



σ'_{vo} = 46.63 kPa
 w = 36.28 %
 γ = 19.8 kN/m³

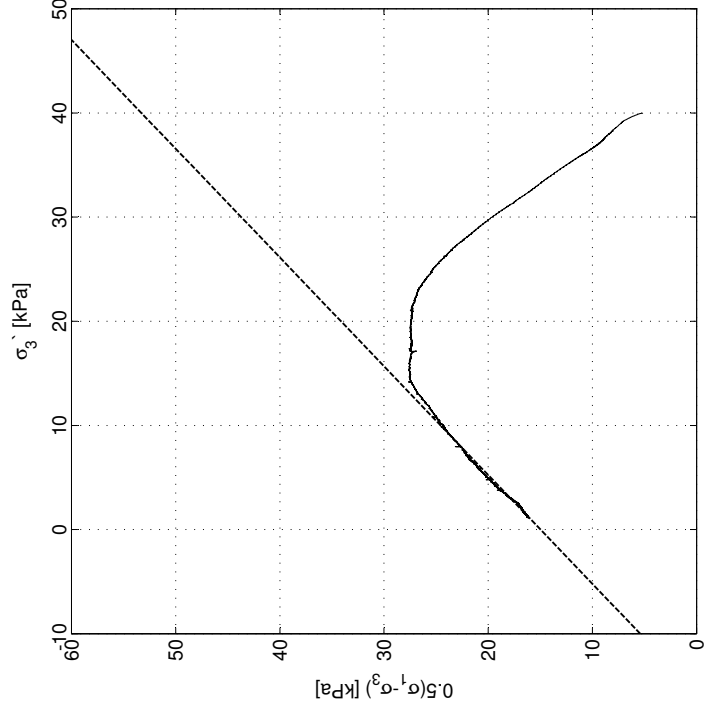
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.20

ΔV = 4.45 cm³
 ϵ_v = 1.92 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.04

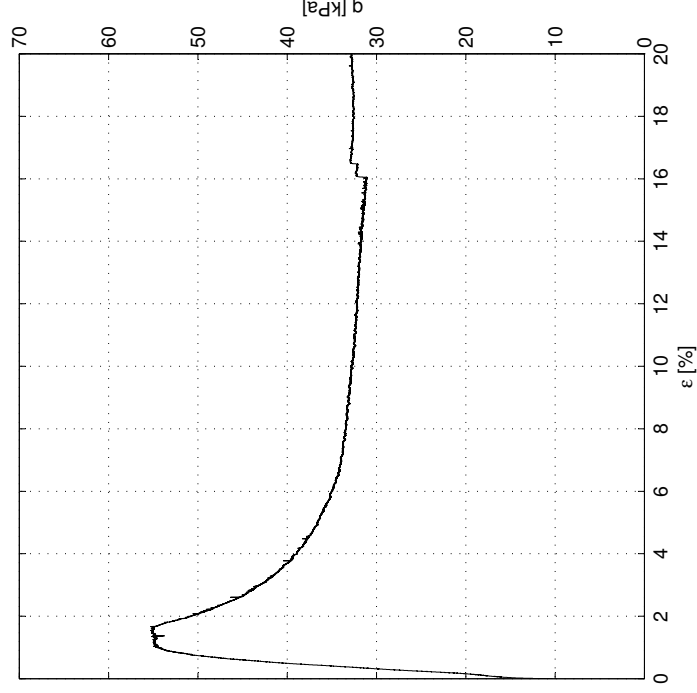
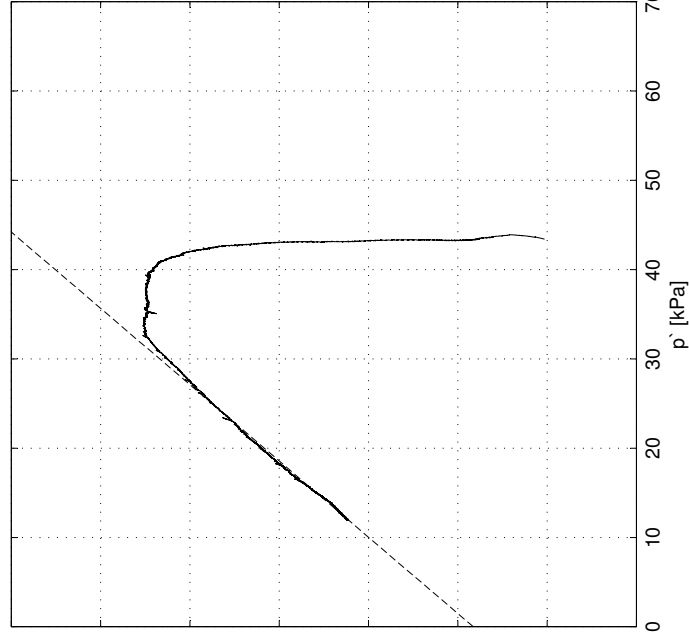
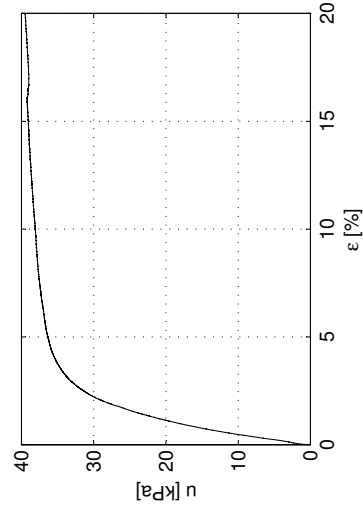
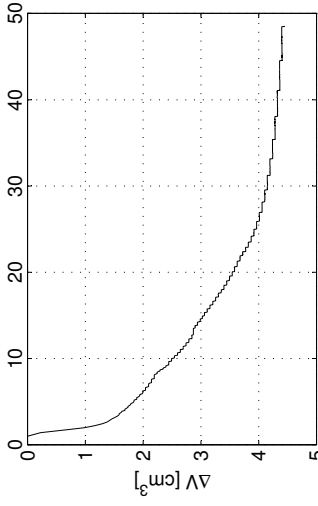
$\tan \phi$ = 0.56
 ϕ = 29.3 °
 a = 16 kPa

S_u = 27.65 kPa
 ϵ'_1 = 1.80 %
 E_0 = 5.2 MPa

D = -0.04
 S = 0.96
 M_f = 1.17



$\sqrt{\text{Tid [s]}}$



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa005

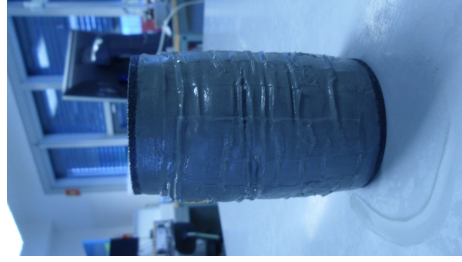
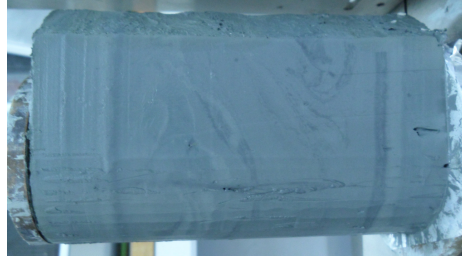
Dybde: 4.07 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 19.01.12

Forsøksdato: 03.02.12

Tøyningshastighet: 0.30 %/time



σ'_{vo} = 46.63 kPa
 w = 36.49 %
 γ = 19.8 kN/m³

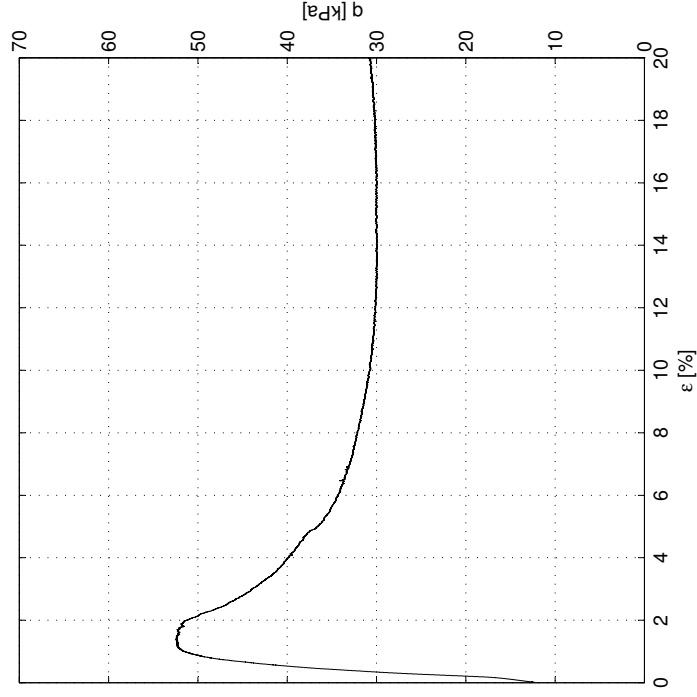
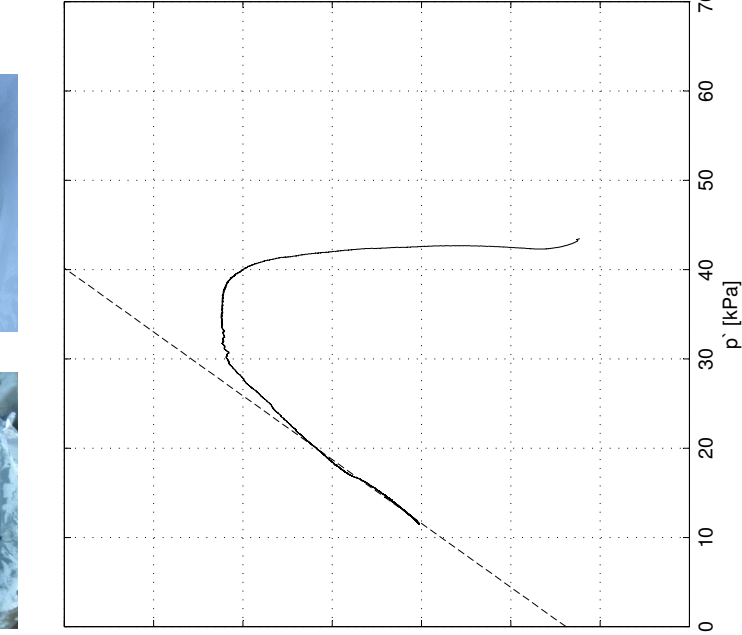
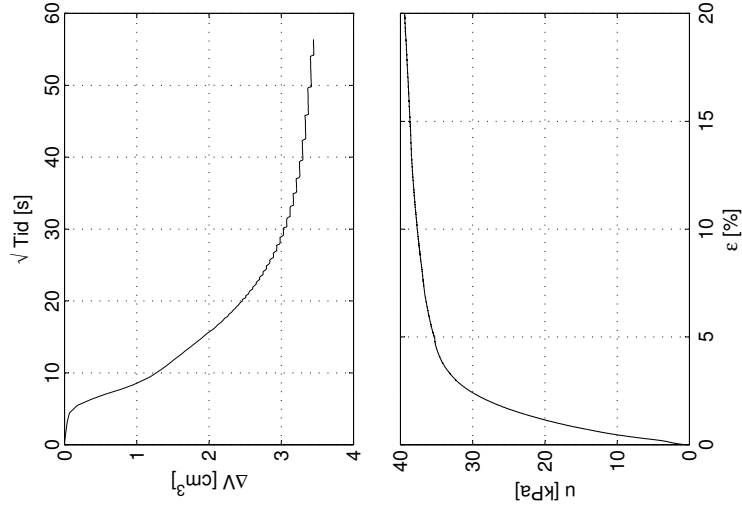
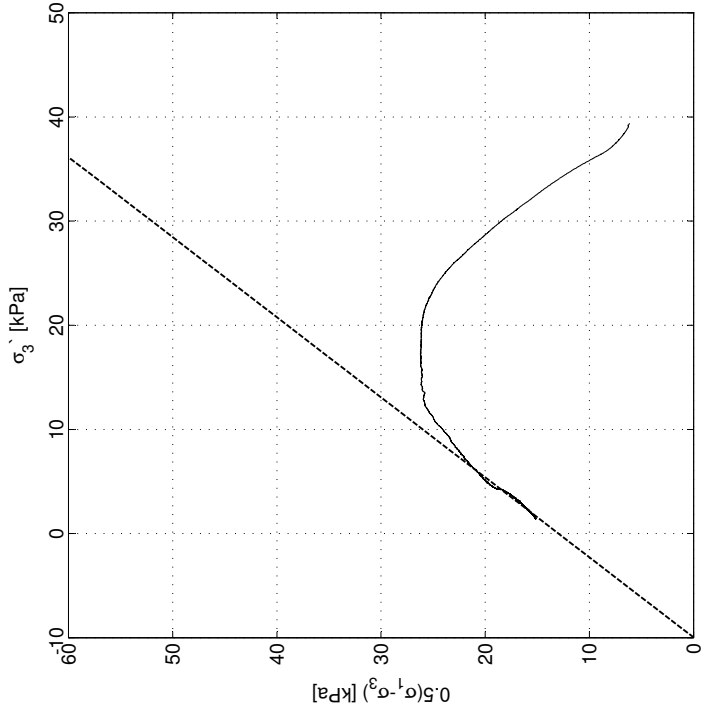
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.20

ΔV = 3.45 cm³
 ε_v = 1.49 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.03

$\tan \phi$ = 0.69
 ϕ = 34.4 °
 a = 10 kPa

s_u = 26.24 kPa
 ε_L = 1.61 %
 E_0 = 5.2 MPa

D = -0.05
 S = 1.30
 M_f = 1.40



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa006

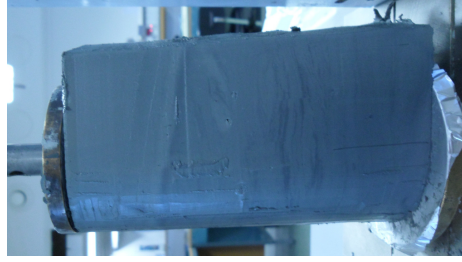
Dybde: 4.07 m

Prøvetaksdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 19.01.12

Forsøksdato: 08.02.12

Tøyningshastighet: 1.0 %/time



σ'_{vo} = 46.63 kPa

w = 35.75 %

γ = 19.8 kN/m³

σ'_c = 100 kPa

OCR = 2.20

ΔV = 3.26 cm³

ϵ_v = 1.40 %

$\Delta e/e_0$ = 0.03

$\tan \phi$ = 0.46

ϕ = 24.5°

a = 21 kPa

S_u = 27.85 kPa

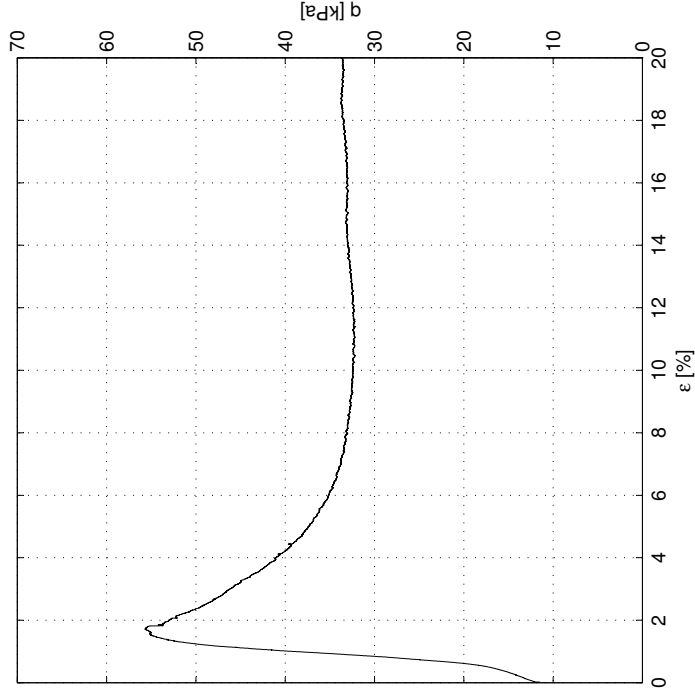
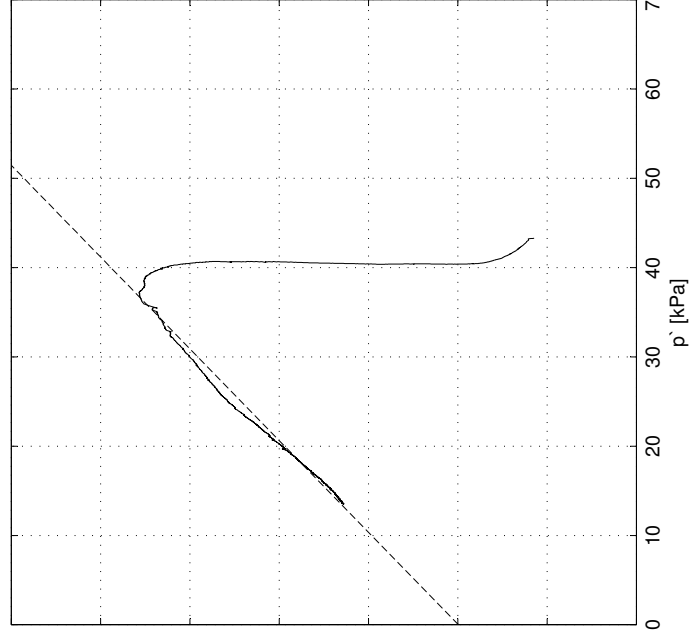
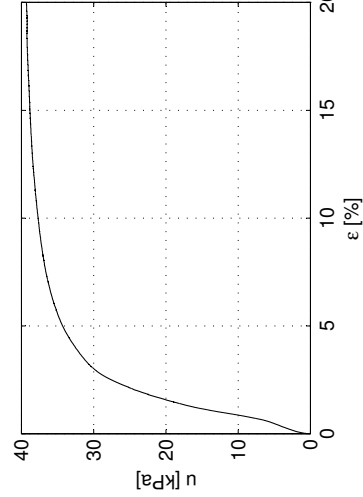
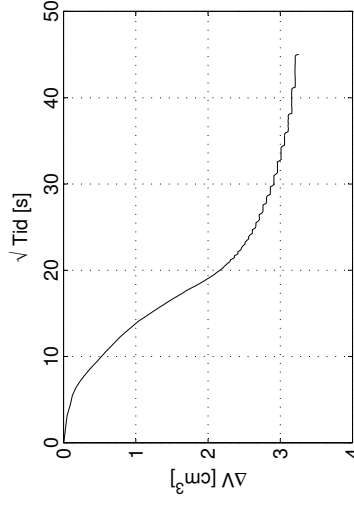
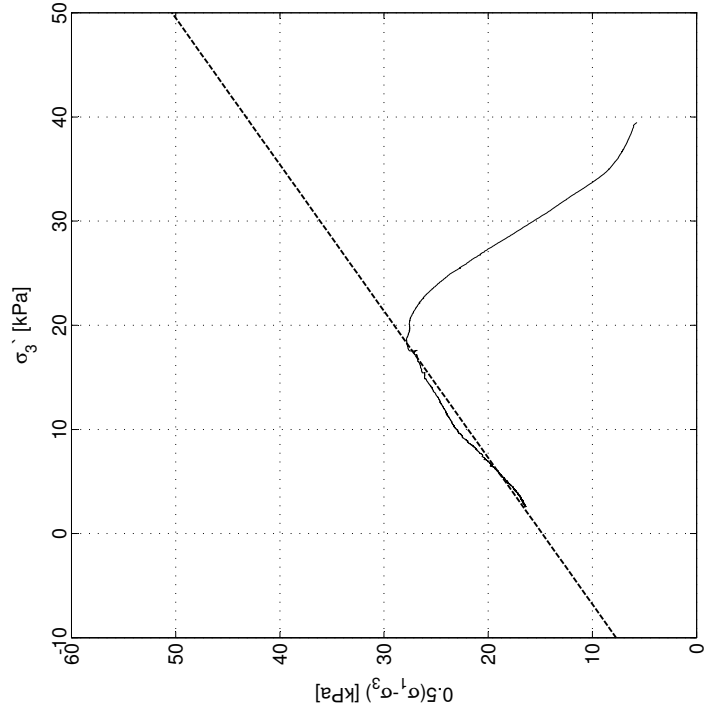
ϵ'_I = 1.51 %

E_0 = 4.7 MPa

D = 0.00

S = 0.71

M_f = 0.97



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa007

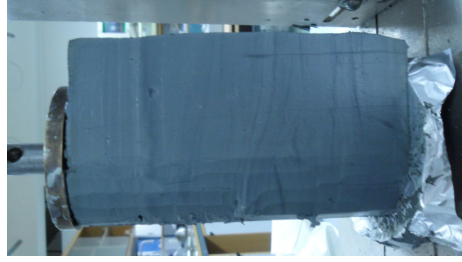
Dybde: 4.07 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 19.01.12

Forsøksdato: 09.02.12

Tøyningshastighet: 0.1 %/time



σ'_{vo} = 46.63 kPa

w = 36.00 %

γ = 19.8 kN/m³

σ'_c = 100 kPa

OCR = 2.20

ΔV = 4.31 cm³

ϵ_v = 1.86 %

$\Delta e/e_0$ = 0.03

$\tan \phi$ = 0.51

ϕ = 26.9 °

a = 10 kPa

s_u = 23.39 kPa

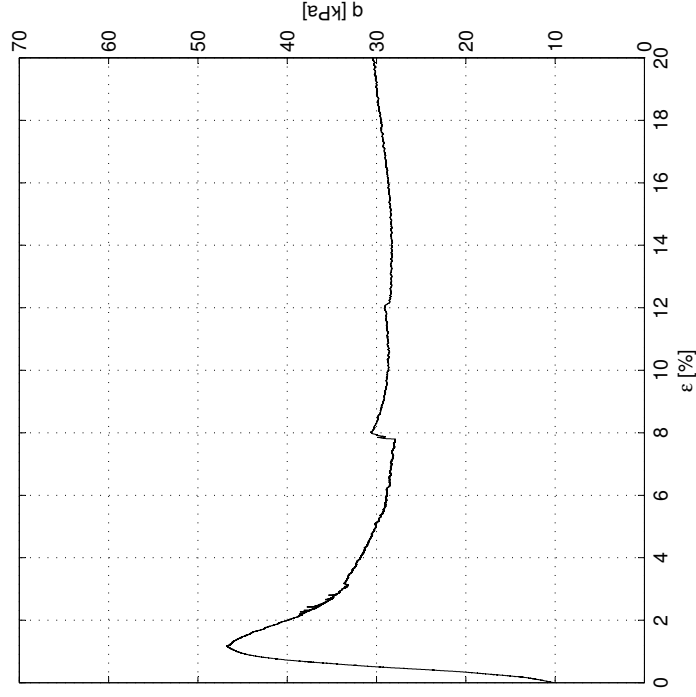
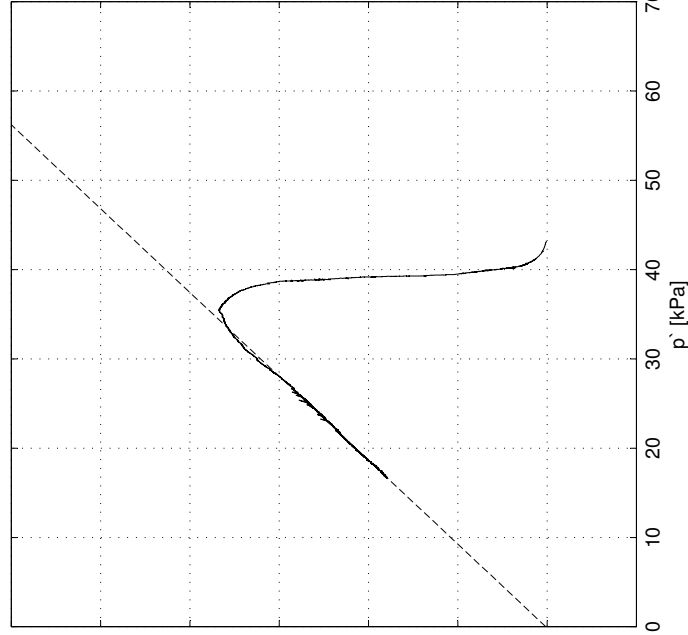
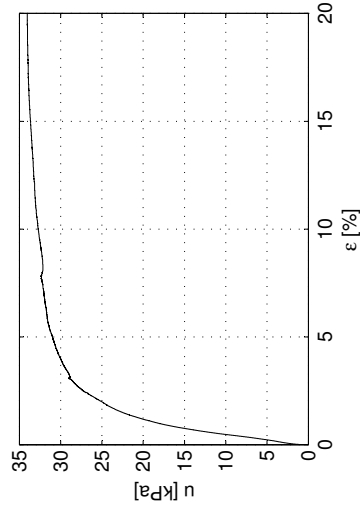
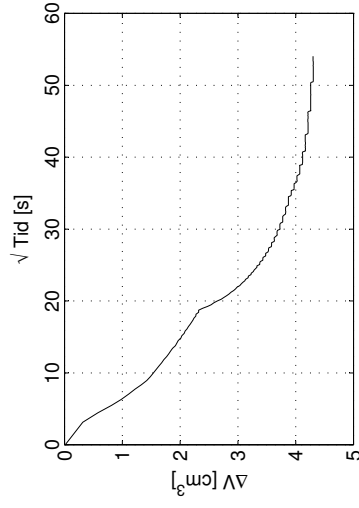
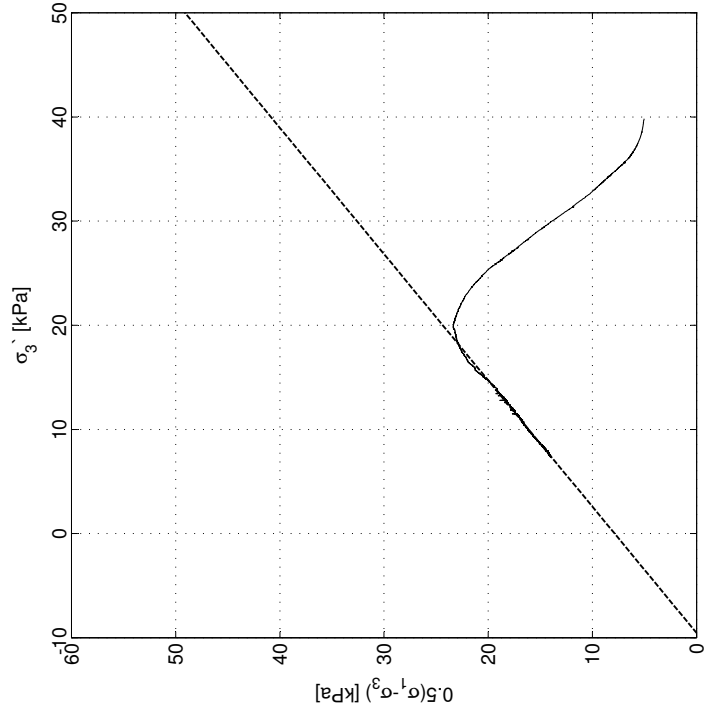
ϵ'_1 = 1.21 %

E_0 = 5.4 MPa

D = -0.06

S = 0.82

M_f = 1.06



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa008

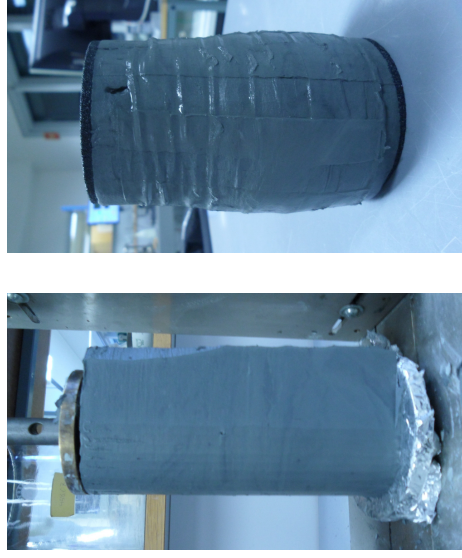
Dybde: 3.64 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

Forsøksdato: 13.02.12

Tøyningshastighet: 1.5 %/time



σ'_{vo} = 42.76 kPa
 w = 31.28 %
 γ = 19.5 kN/m³

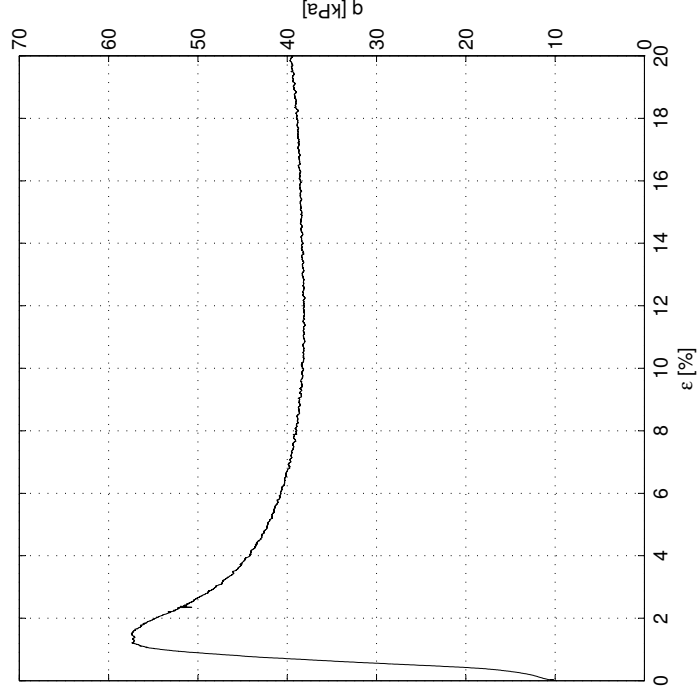
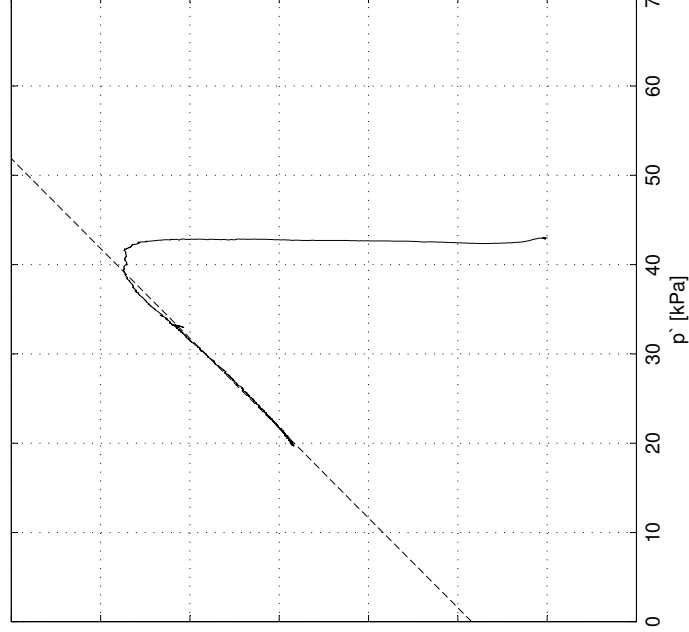
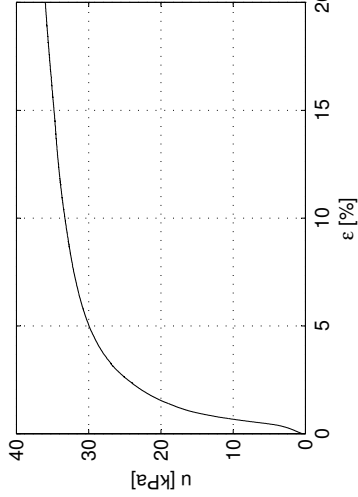
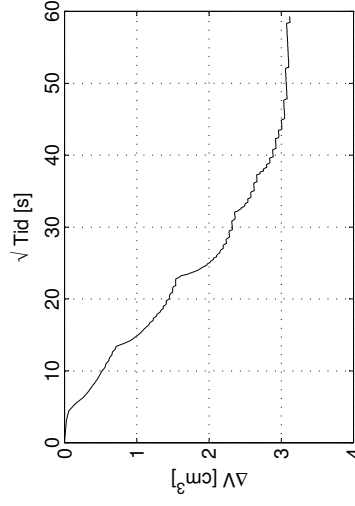
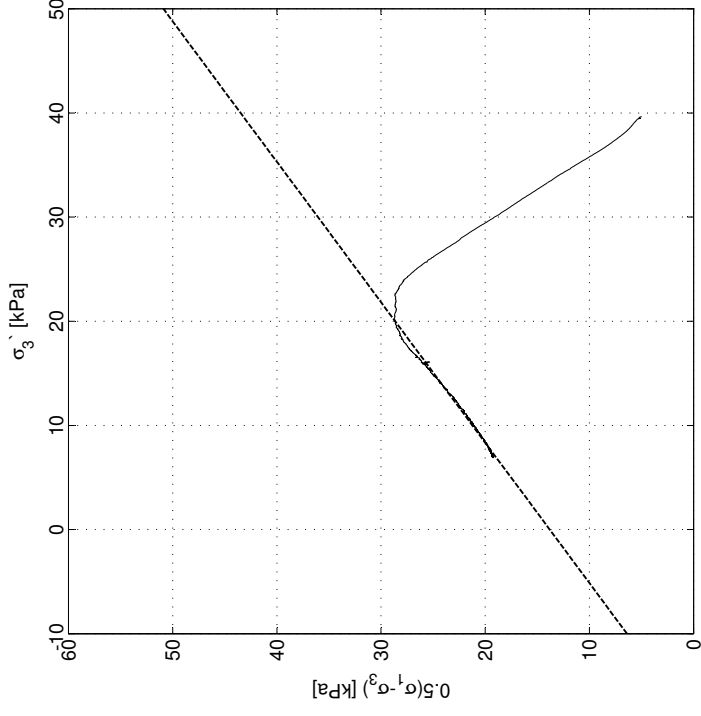
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.29

ΔV = 3.12 cm³
 ϵ_v = 1.35 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.02

$\tan \phi$ = 0.47
 ϕ = 25.2 °
 a = 19 kPa

s_u = 28.73 kPa
 ϵ_{1f} = 1.40 %
 E_0 = 6.6 MPa

D = 0.01
 S = 0.74
 M_f = 0.99



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa009

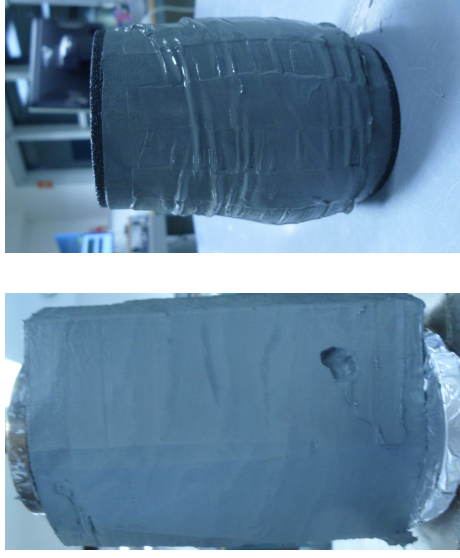
Dybde: 3.75 m

Prøvetaksdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

Forsøksdato: 15.02.12

Tøyningshastighet: 3.0 %/time



σ'_{vo} = 43.75 kPa
 w = 34.07 %
 γ = 19.3 kN/m³

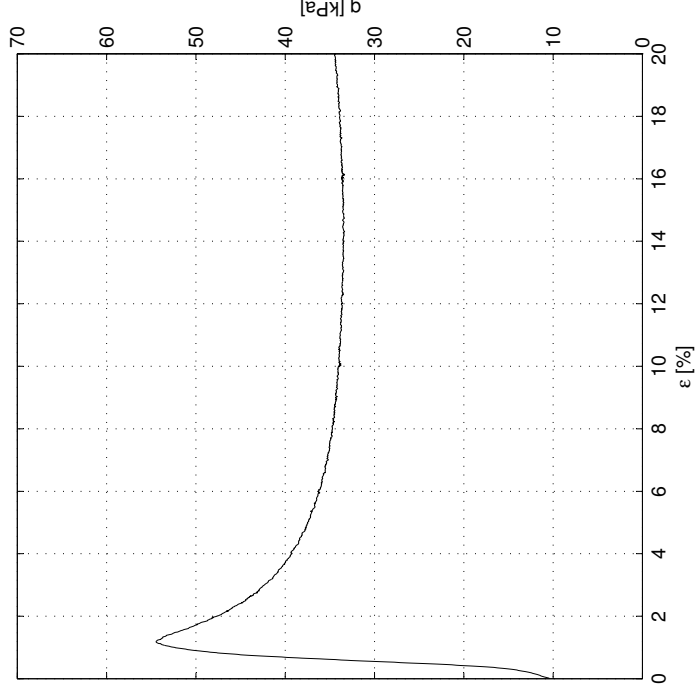
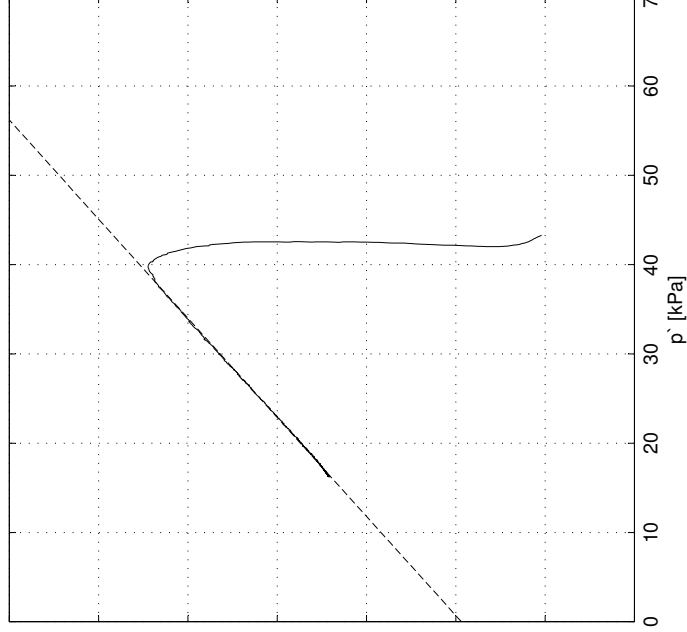
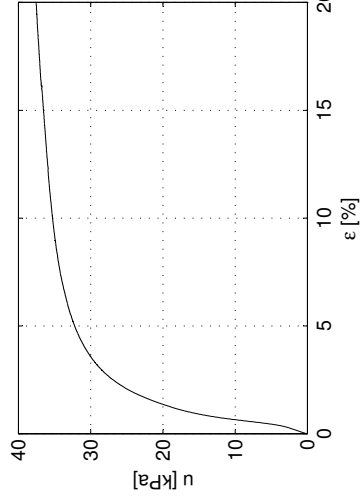
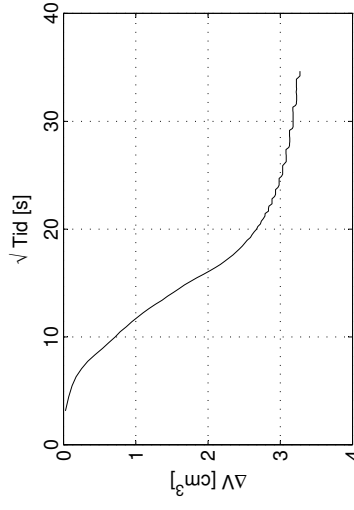
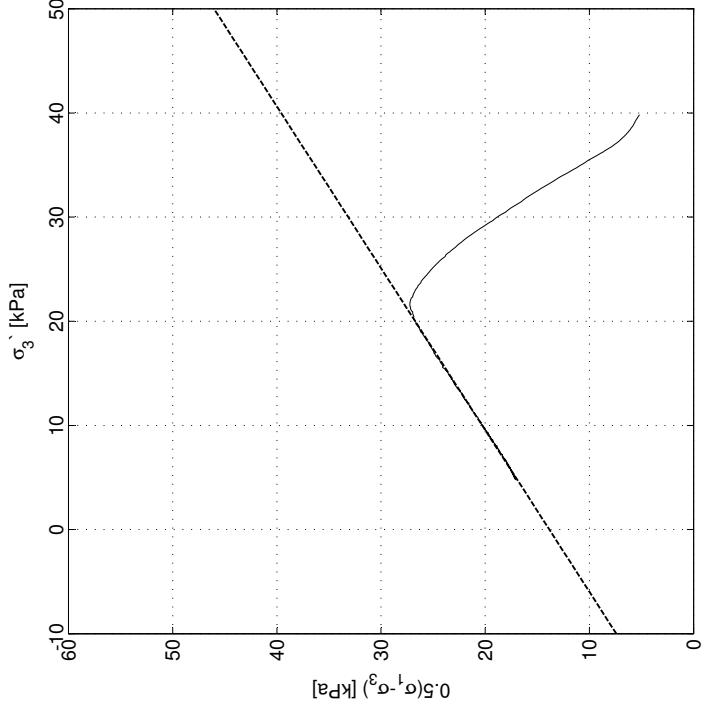
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.26

ΔV = 3.28 cm³
 ϵ_v = 1.41 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.02

$\tan \phi$ = 0.43
 ϕ = 23.1 °
 a = 22 kPa

s_u = 27.24 kPa
 ϵ'_1 = 1.07 %
 E_0 = 7.1 MPa

D = -0.01
 S = 0.64
 M_f = 0.90



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa010

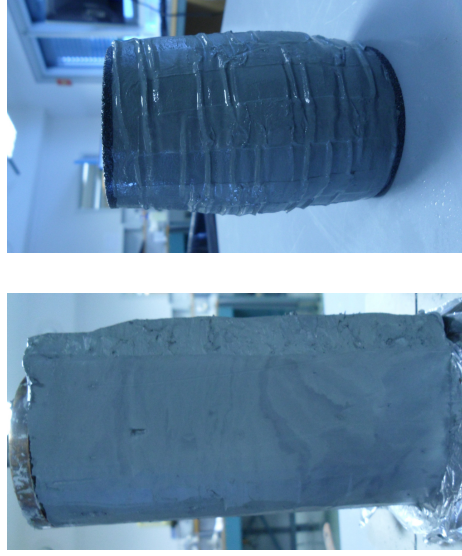
Dybde: 3.64 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

Forsøksdato: 17.02.12

Tøyningshastighet: 0.30 %/time



σ'_{vo} = 42.76 kPa

w = 32.08 %

γ = 19.4 kN/m³

σ'_c = 100 kPa

OCR = 2.29

ΔV = 4.01 cm³

$\tan \phi$ = 0.48

ϵ_v = 1.73 %

$\Delta e/e_0$ = 0.03

a = 12 kPa

s_u = 23.19 kPa

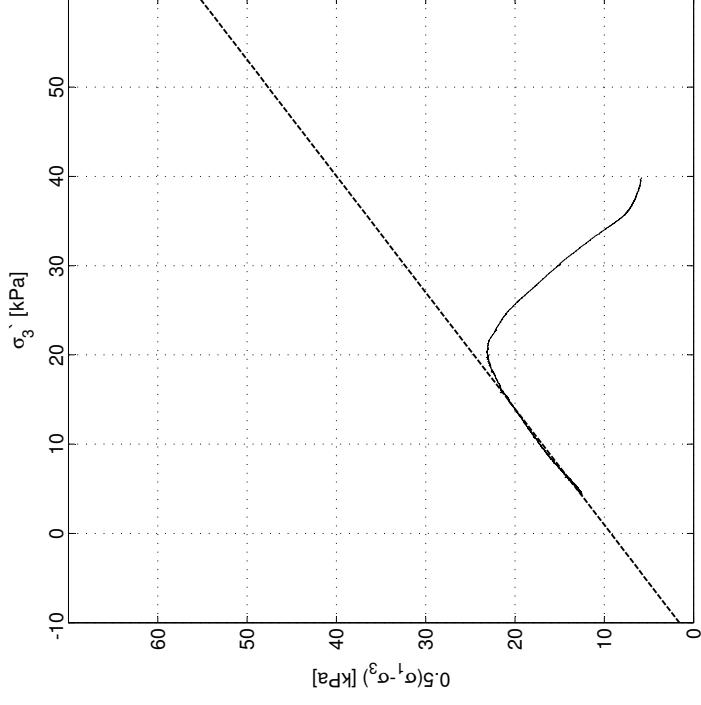
ϵ'_1 = 1.22 %

E_0 = 5.4 MPa

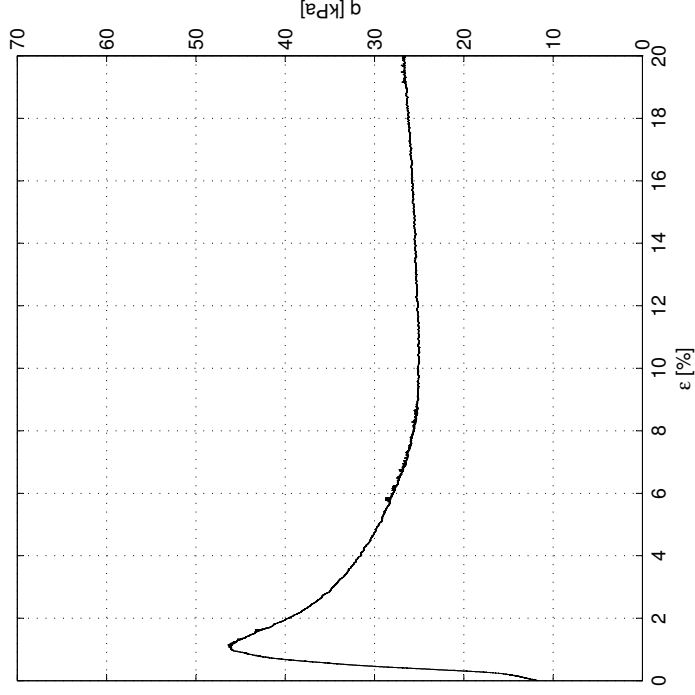
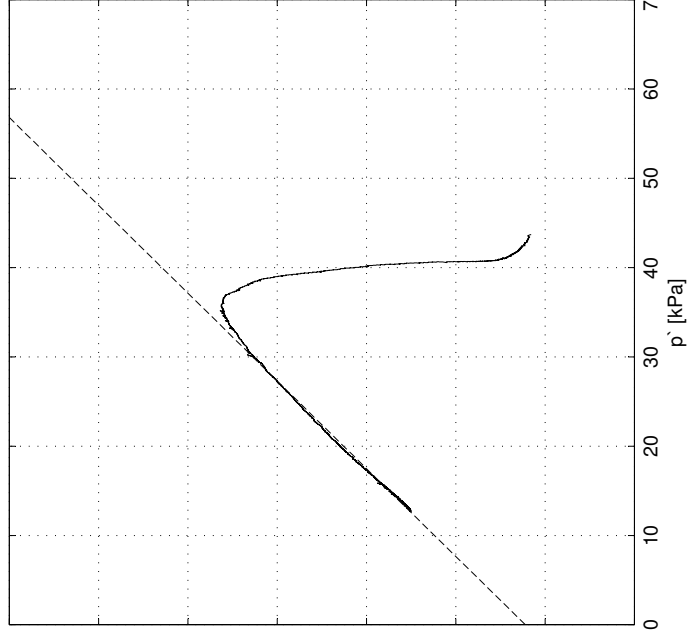
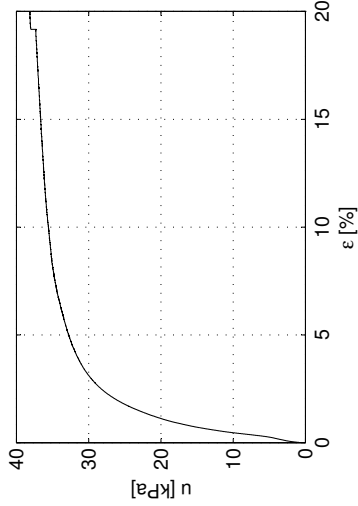
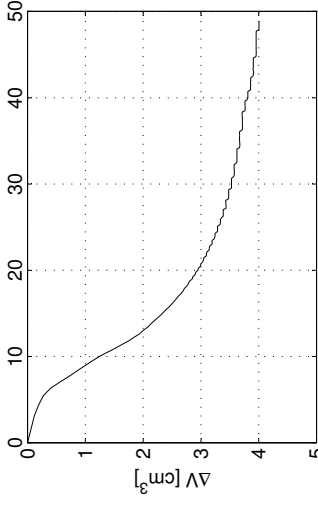
D = -0.09

S = 0.77

M_f = 1.02



$\sqrt{\text{Tid [s]}}$



Sund, Rissa Blokkrøve, CAUa011

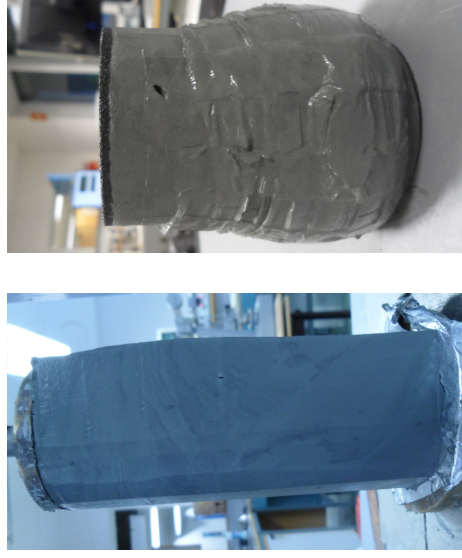
Dybde: 3.64 m

Prøvetaksdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

Forsøksdato: 20.02.12

Tøyningshastighet: 4.50 %/time



σ'_{vo} = 42.76 kPa

w = 35.37 %

γ = 19.4 kN/m³

σ'_c = 100 kPa

OCR = 2.29

ΔV = 3.64 cm³

ϵ_v = 1.57 %

$\Delta e/e_0$ = 0.03

$\tan \phi$ = 0.41

ϕ = 22.3 °

a = 25 kPa

s_u = 29.74 kPa

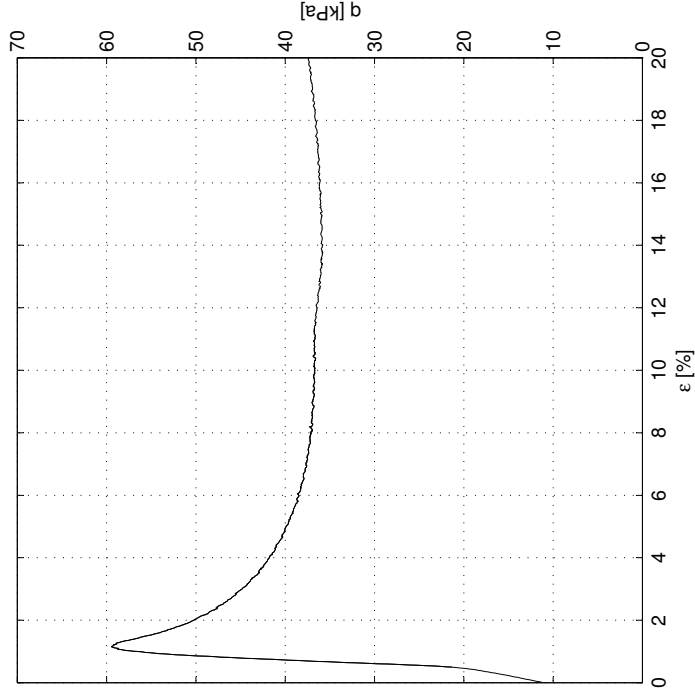
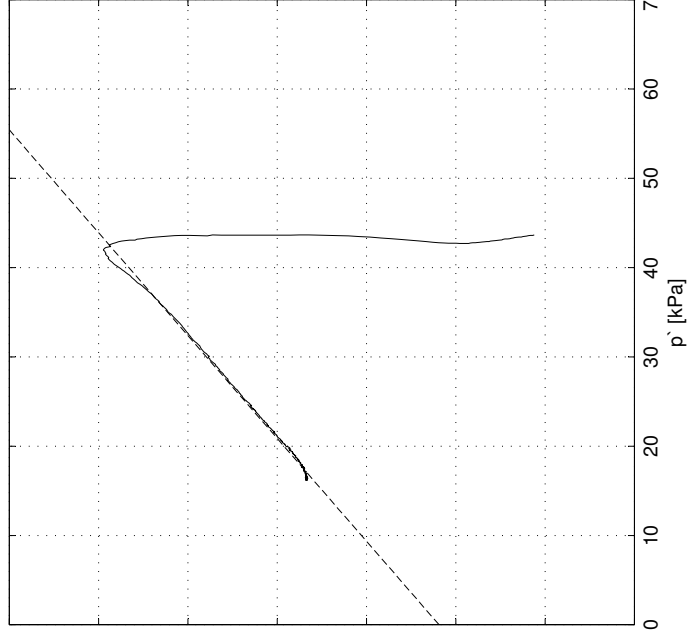
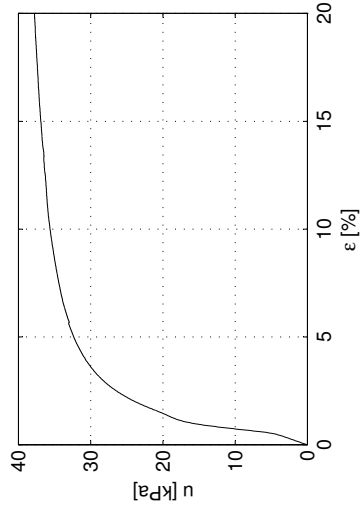
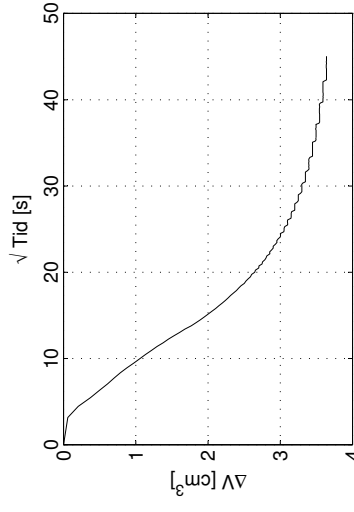
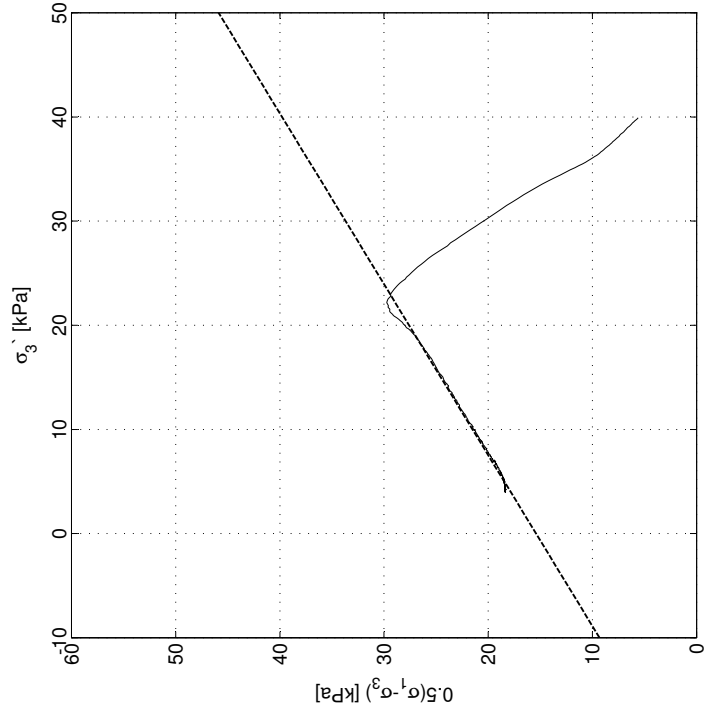
ϵ'_1 = 0.96 %

E_0 = 7.4 MPa

D = 0.01

S = 0.61

M_f = 0.87



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa012

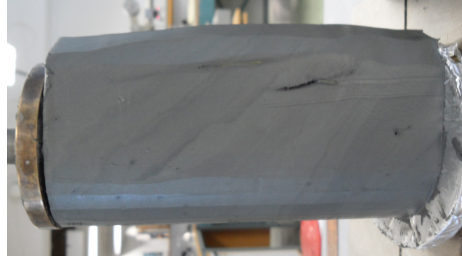
Dybde: 3.75 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

Forsøksdato: 22.02.12

Tøyningshastighet: 0.10 %/time



σ'_{vo} = 4.75 kPa
 w = 32.44 %
 γ = 19.3 kN/m³

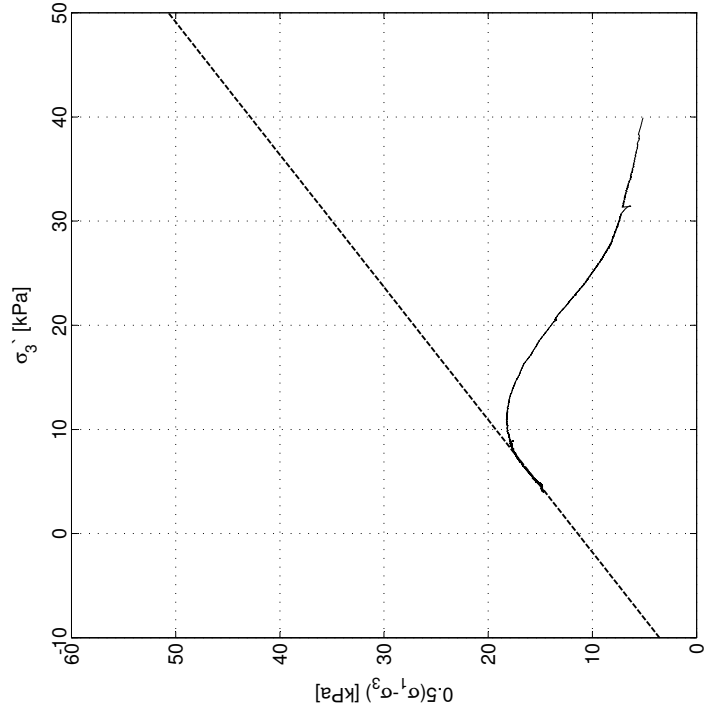
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.26

ΔV = 4.87 cm³
 ϵ_v = 2.10 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.04

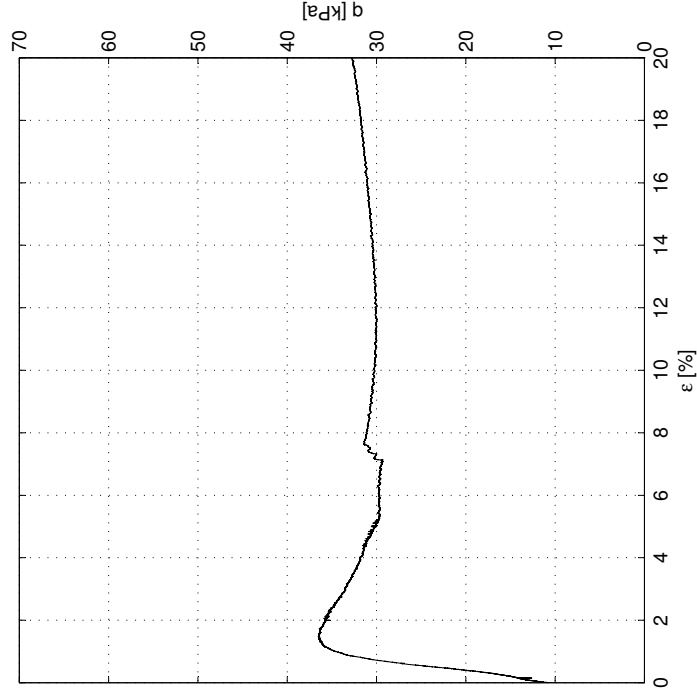
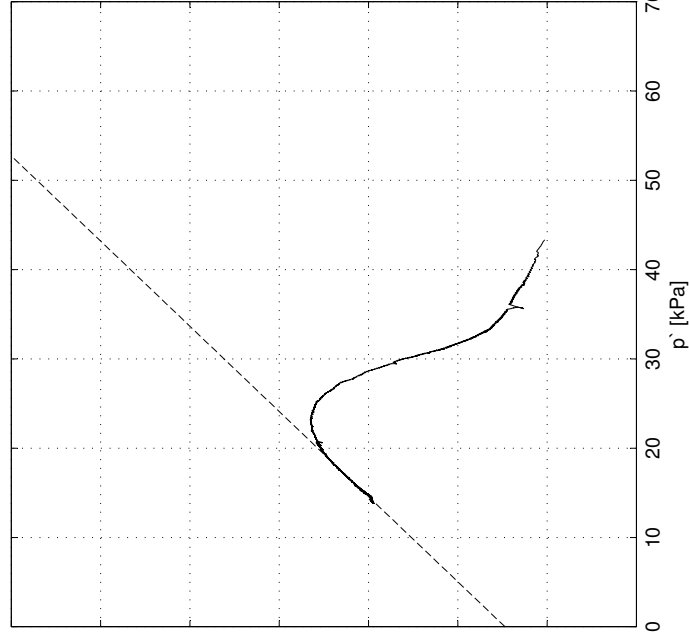
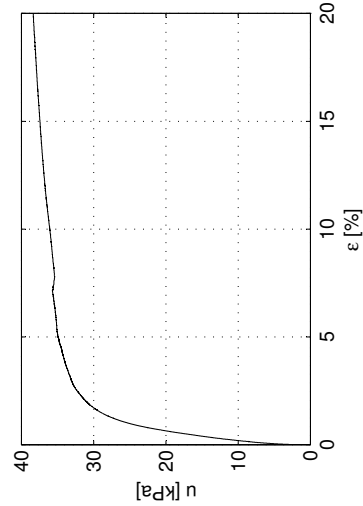
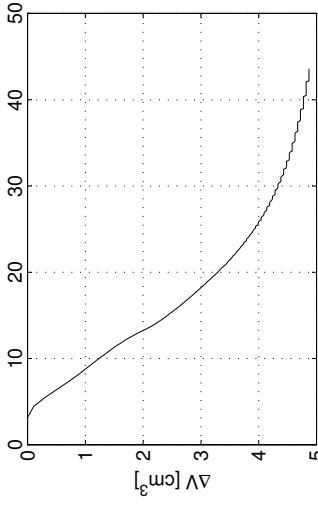
$\tan \phi$ = 0.49
 ϕ = 26.1 °
 a = 15 kPa

S_u = 18.26 kPa
 ϵ'_I = 1.69 %
 E_0 = 3.3 MPa

D = -0.34
 S = 0.79
 M_f = 1.05



$\sqrt{\text{Tid [s]}}$



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa013

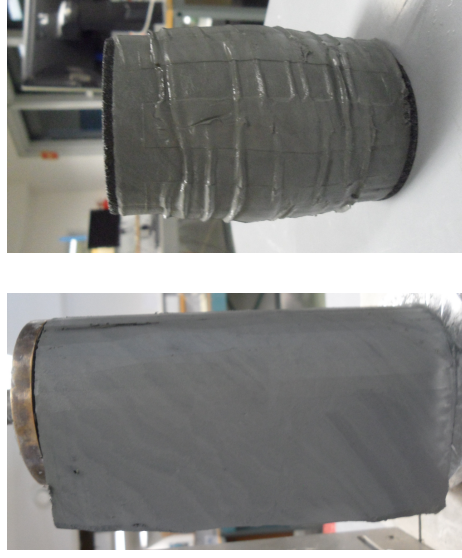
Dybde: 3.75 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

Forsøksdato: 26.02.12

Tøyningshastighet: 0.10 %/time



σ'_{vo} = 43.75 kPa
 w = 32.74 %
 γ = 19.3 kN/m³

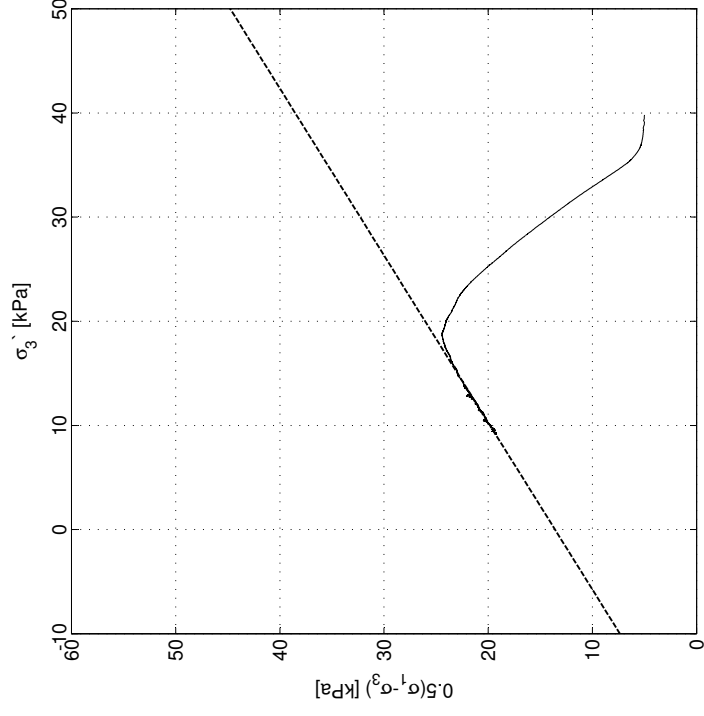
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.26

ΔV = 4.08 cm³
 ϵ_v = 1.76 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.03

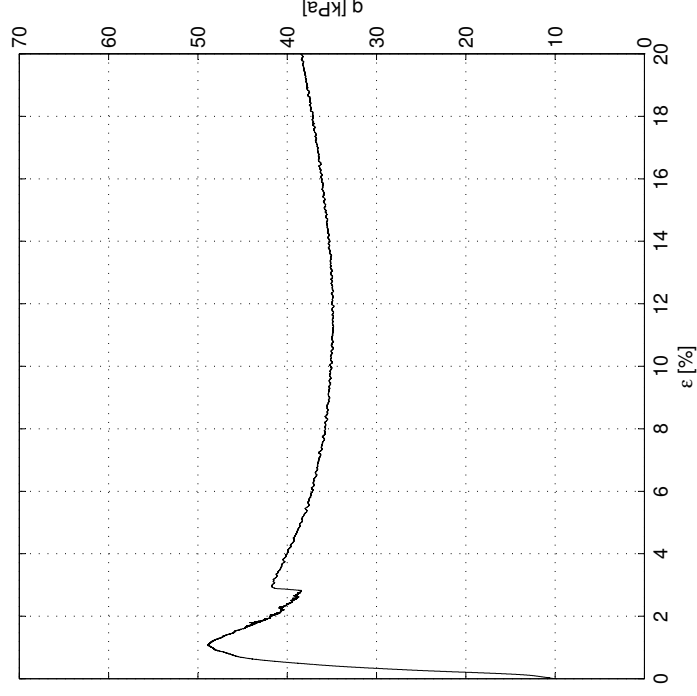
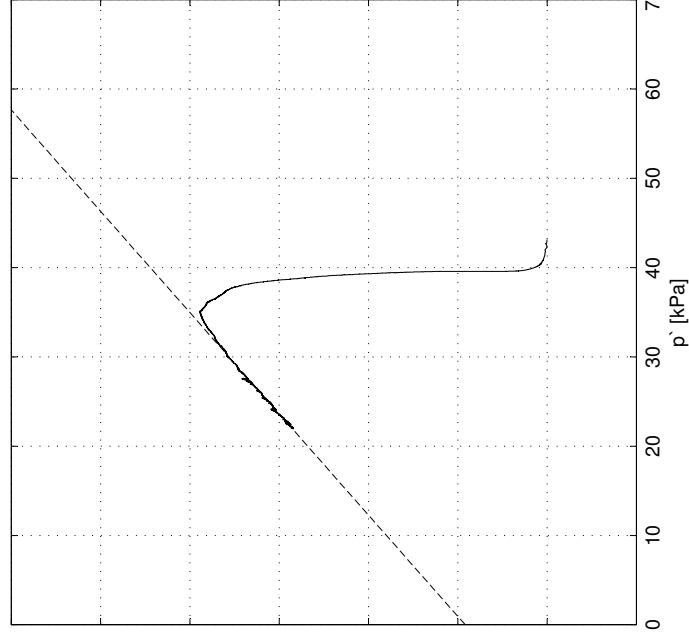
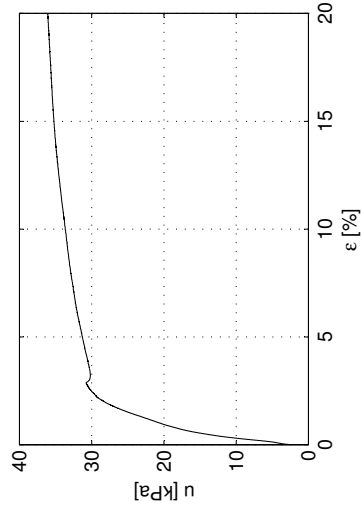
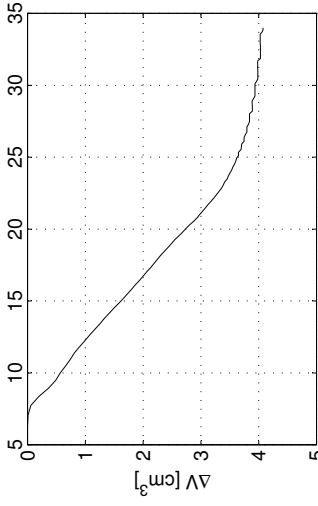
$\tan \phi$ = 0.42
 ϕ = 22.6 °
 a = 22 kPa

S_u = 24.46 kPa
 ϵ'_I = 1.17 %
 E_0 = 6.9 MPa

D = -0.07
 S_f = 0.62
 M_f = 0.88



$\sqrt{\text{Tid [s]}}$



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa014

Dybde: 3.75 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

Forsøksdato: 02.03.12

Tøyningshastighet: 0.01 %/time



σ'_{vo} = 43.75 kPa
 w = 37.36 %
 γ = 19.3 kN/m³

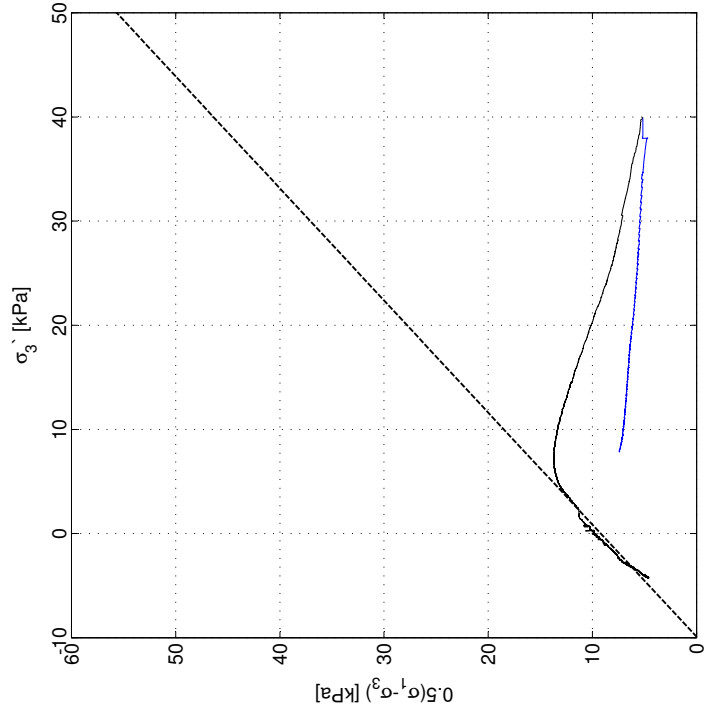
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.26

ΔV = 4.40 cm³
 ε_v = 1.90 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.04

$\tan \phi$ = 0.55
 ϕ = 28.8 °
 a = 10 kPa

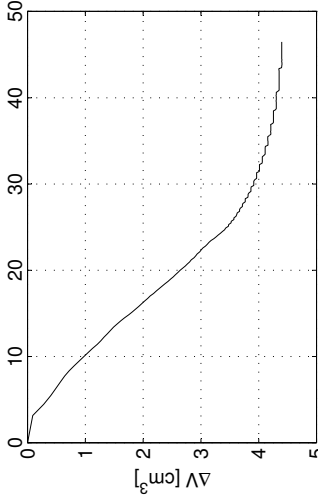
S_u = 13.72 kPa
 ε_L = 0.29 %
 E_0 = 14.7 MPa

D = -1.34
 S = 0.93
 M_f = 1.15

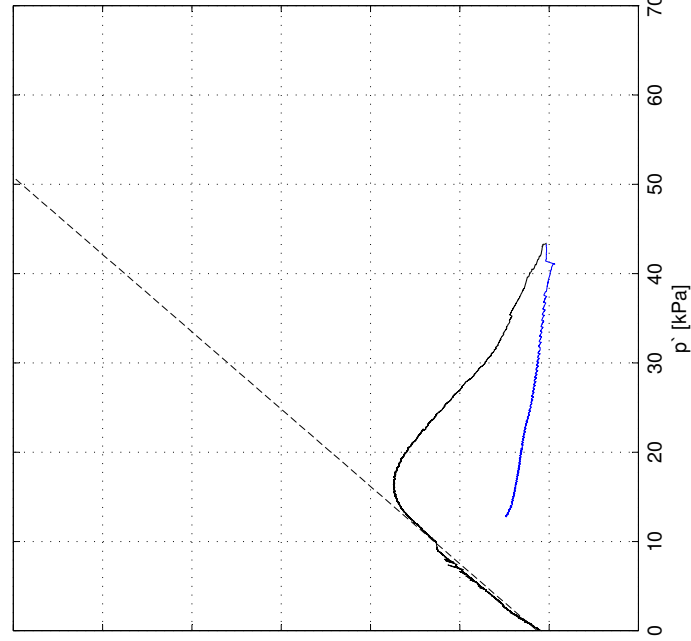
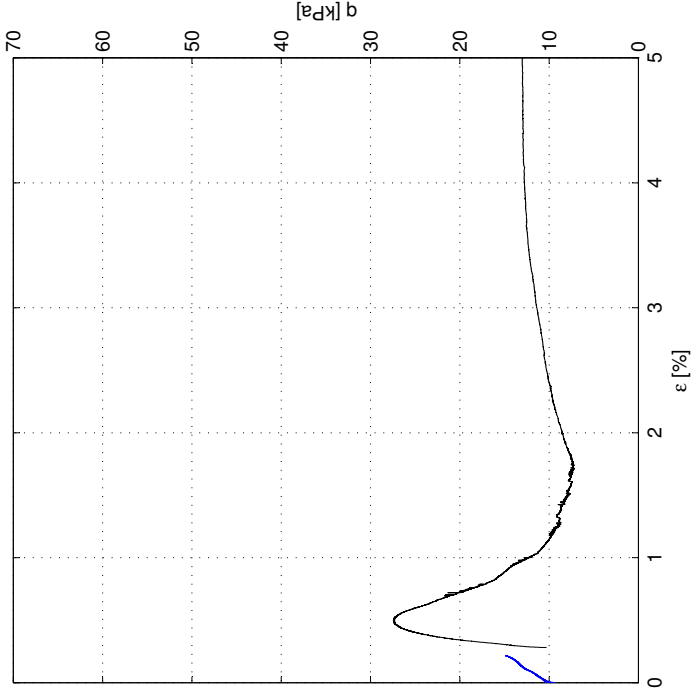
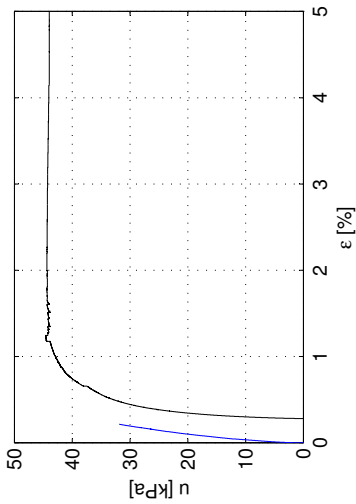


$\sqrt{\text{Tid [s]}}$

ΔV [cm³]



u [kPa]



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa015

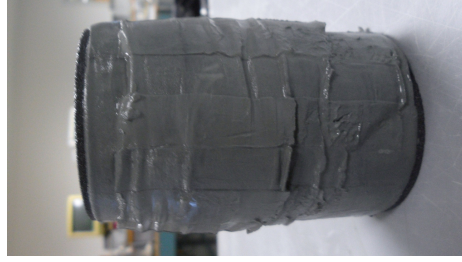
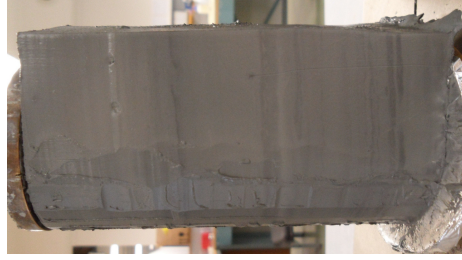
Dybde: 4.37 m

Prøvetaksdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

Forsøksdato: 12.03.12

Tøyningshastighet: 3.0 %/time



σ'_{vo} = 49.33 kPa
 w = 37.70 %
 γ = 19.3 kN/m³

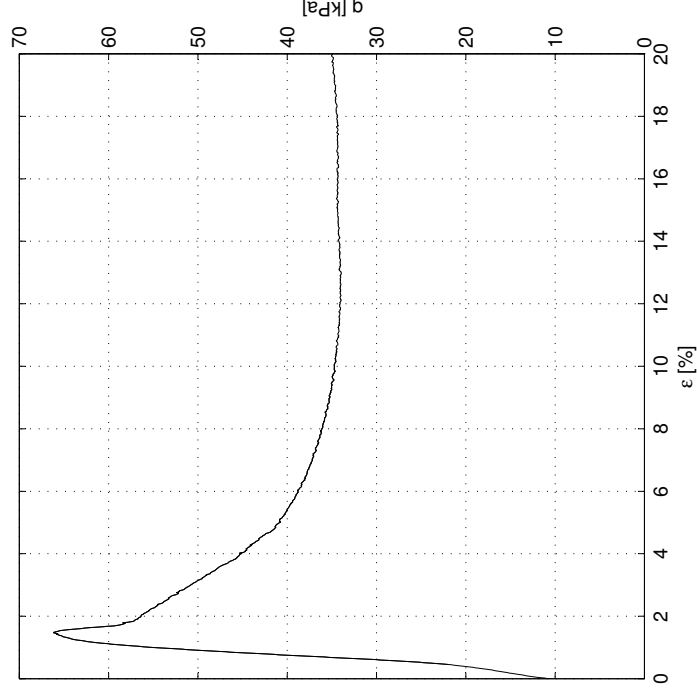
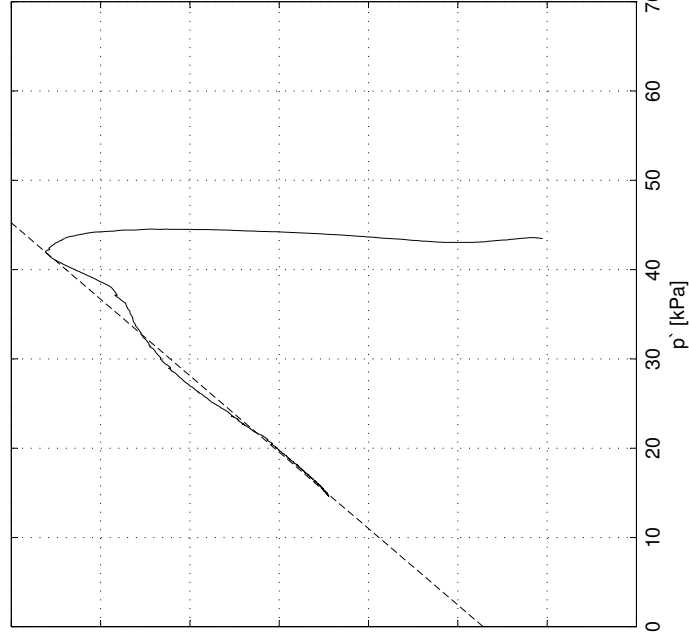
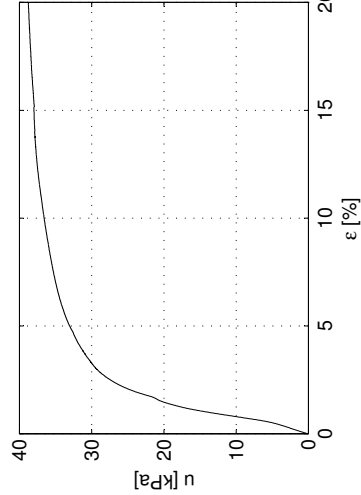
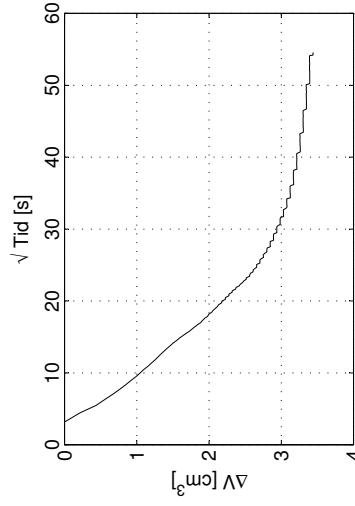
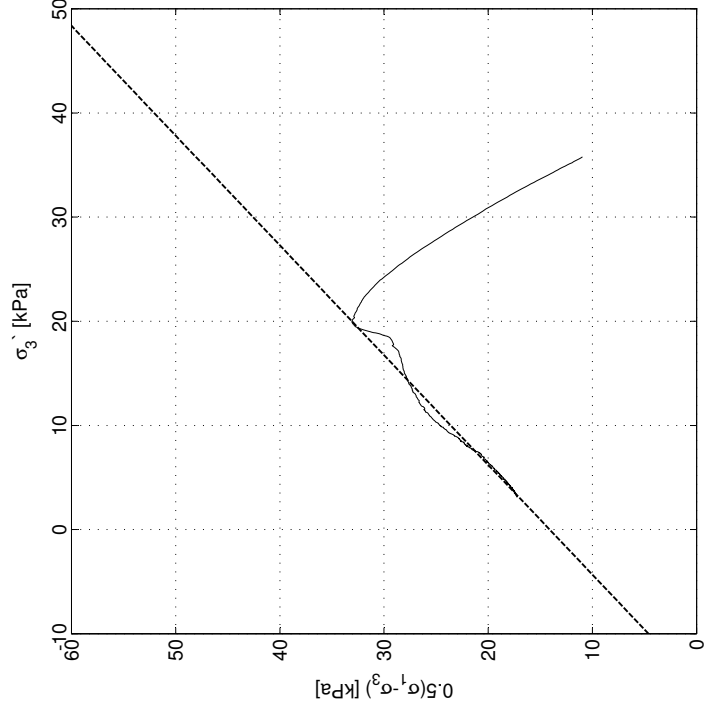
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.14

ΔV = 3.44 cm³
 ϵ_v = 1.48 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.03

$\tan \phi$ = 0.56
 ϕ = 29.1 °
 a = 15 kPa

s_u = 33.08 kPa
 ϵ'_f = 1.35 %
 E_0 = 6.4 MPa

D = 0.02
 S = 0.95
 M_f = 1.17



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa016

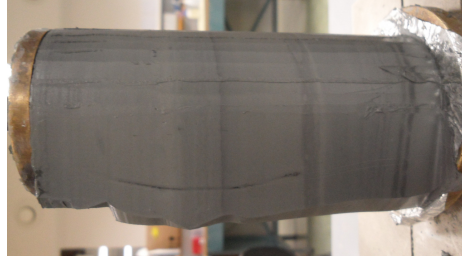
Dybde: 4.37 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

Forsøksdato: 13.03.12

Tøyningshastighet: 1.0 %/time



σ'_{vo} = 49.33 kPa

w = 37.51 %

γ = 19.3 kN/m³

σ'_c = 100 kPa

OCR = 2.14

ΔV = 4.63 cm³

ϵ_v = 2.00 %

$\Delta e/e_0$ = 0.04

$\tan \phi$ = 0.62

ϕ = 31.6 °

a = 14 kPa

S_u = 32.32 kPa

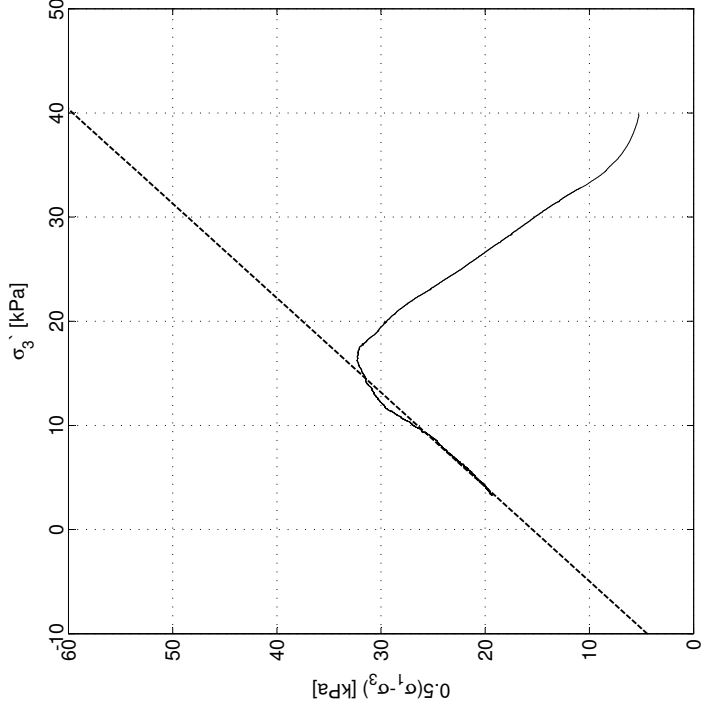
ϵ'_1 = 1.47 %

E_0 = 6.3 MPa

D = -0.01

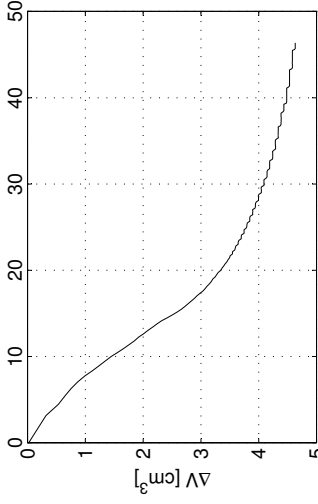
S = 1.10

M_f = 1.28



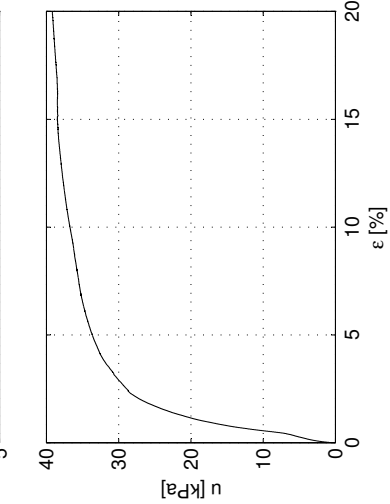
$\sqrt{\text{Tid [s]}}$

ΔV [cm³]

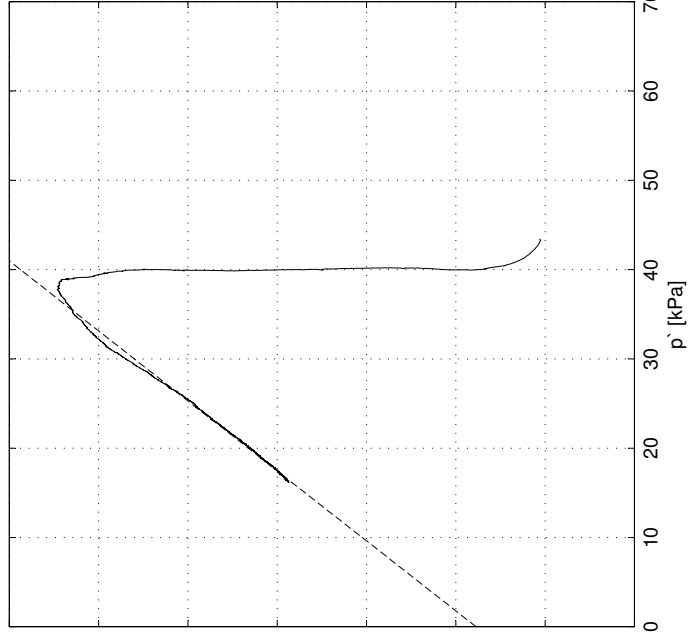


u [kPa]

ϵ [%]

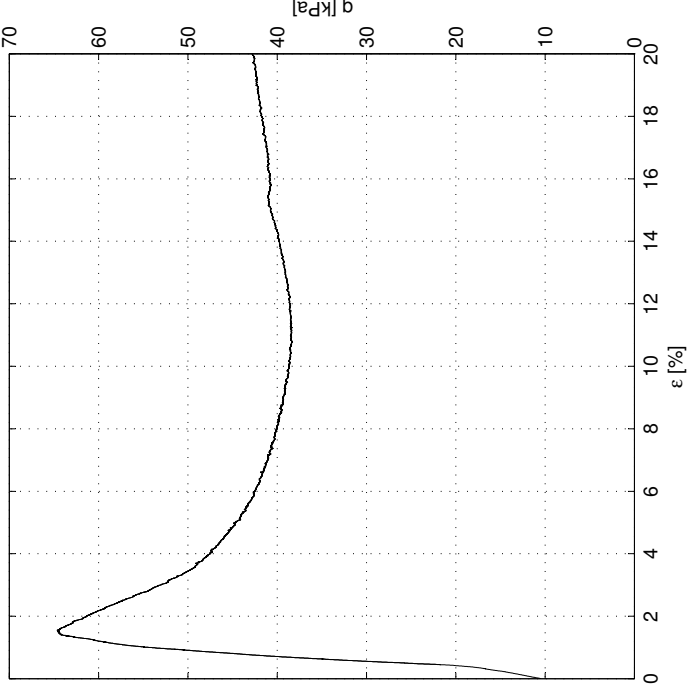


p' [kPa]



q [kPa]

ϵ [%]



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa017

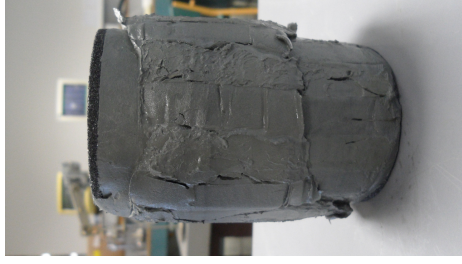
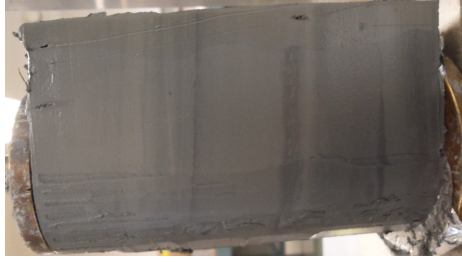
Dybde: 4.37 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

Forsøksdato: 14.03.12

Tøyningshastighet: 0.10 %/time



σ'_{vo} = 49.33 kPa
 w = 37.36 %
 γ = 19.3 kN/m³

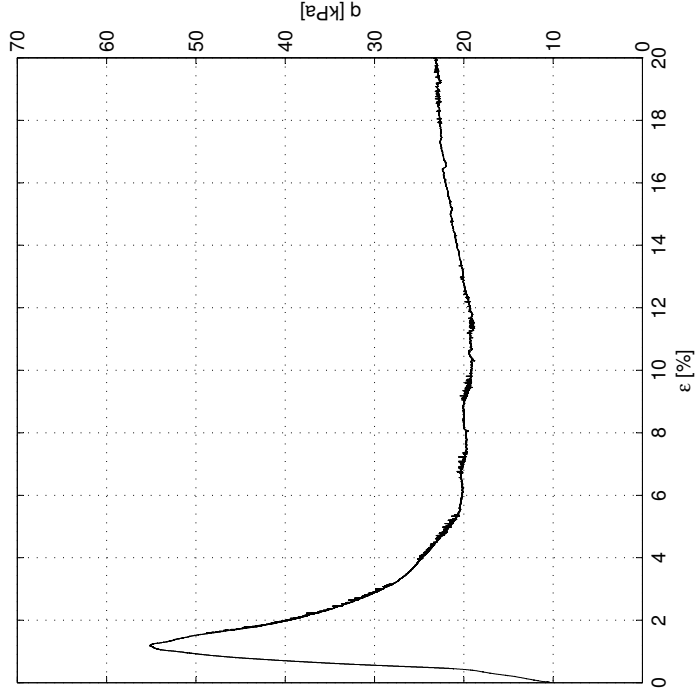
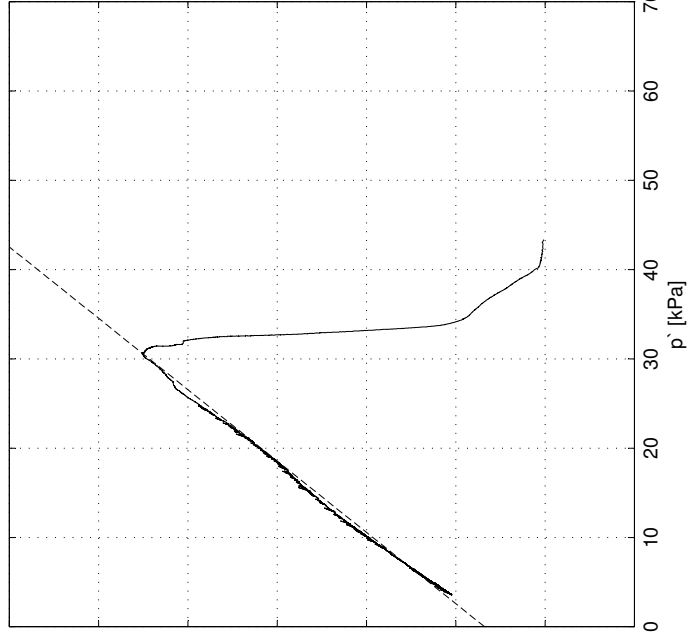
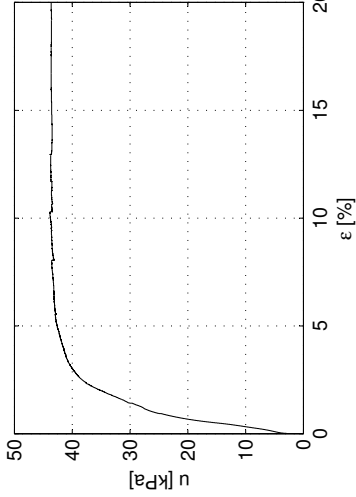
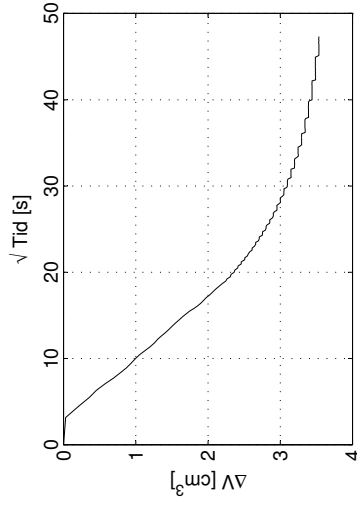
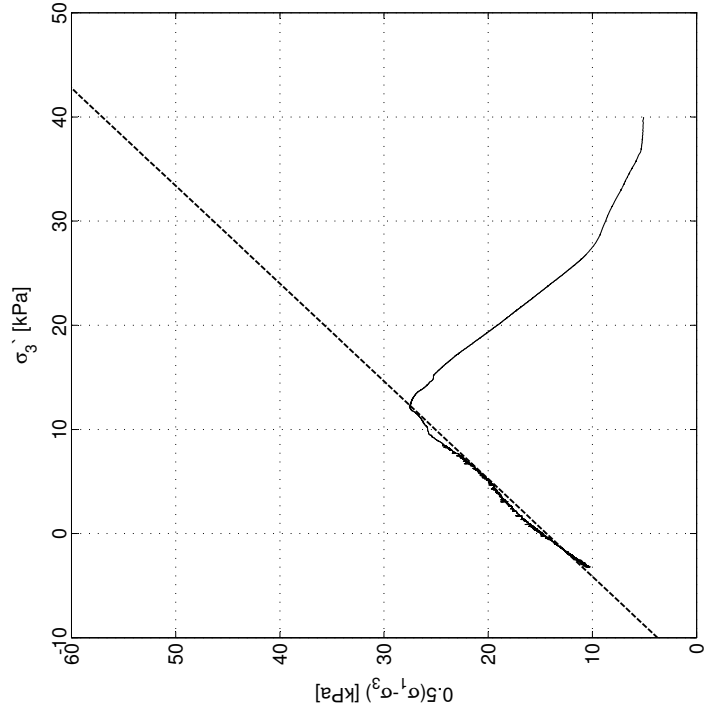
σ'_c = 100 kPa
 OCR = 2.14

ΔV = 3.54 cm³
 ε_v = 1.52 %
 $\Delta v/e_0$ = 0.03

$\tan \phi$ = 0.60
 ϕ = 31.1 °
 a = 14 kPa

S_u = 27.57 kPa
 ε_L = 1.01 %
 E_0 = 7.8 MPa

D = -0.05
 S_f = 1.07
 M_f = 1.25



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUa018

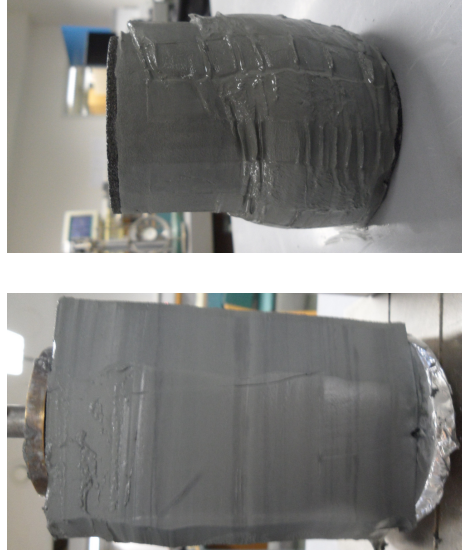
Dybde: 4.37 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

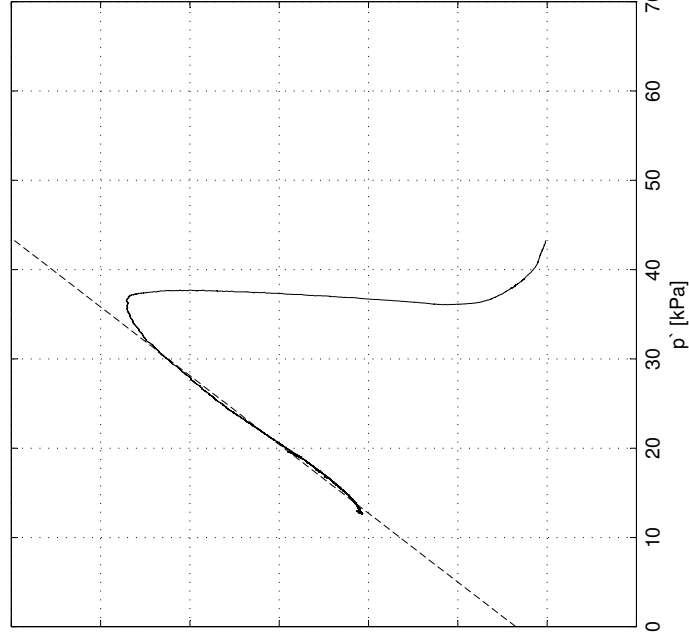
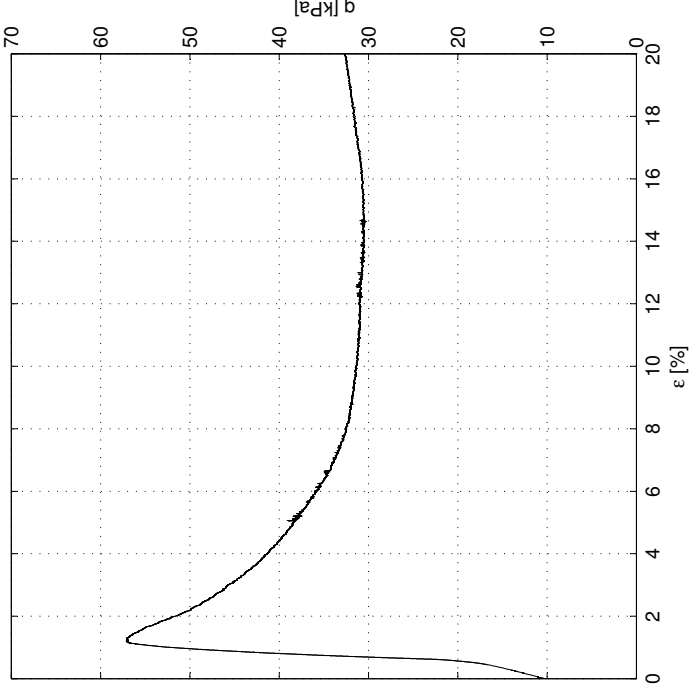
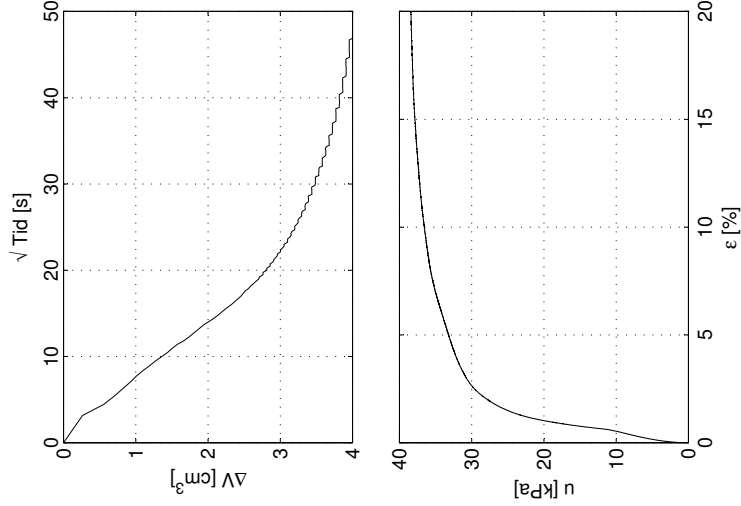
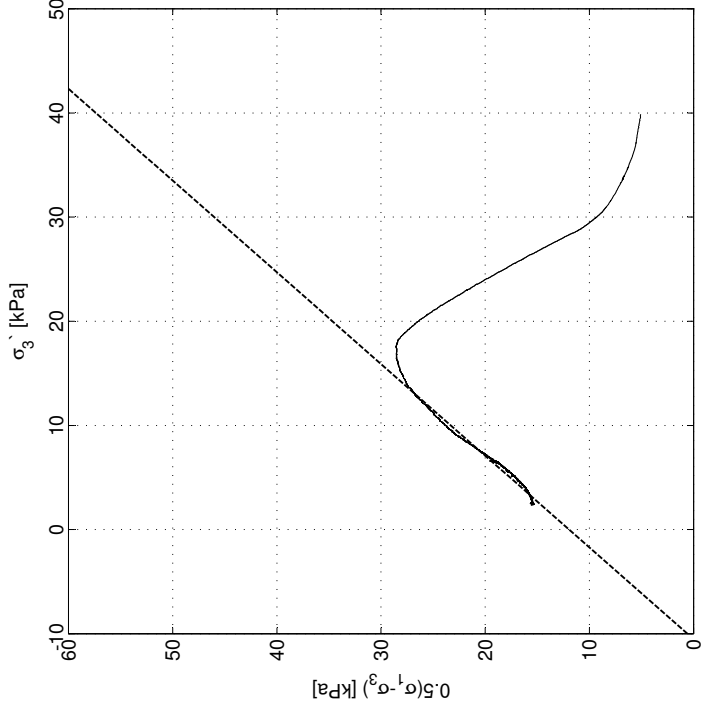
Forsøksdato: 21.03.12

Tøyningshastighet: 0.30 %/time



σ'_{vo}
 w_{vo} = 49.33 kPa
 w_{vo} = 35.45 %
 ΔV = 19.3 kN/m³
 ε_v
 $\Delta \phi/e_o$ = 4.00 cm³
 OCR = 1.73 %
 $\Delta e/e_o$ = 0.03
 $\tan \phi$ = 0.63
 ϕ = 32.1 °
 a = 11 kPa

s_u = 28.58 kPa
 ε_L = 0.93 %
 E_0 = 7.3 MPa
 D = 0.04
 S = 1.14
 M_f = 1.30



Sund, Rissa Blokkprøve, CAUp101

Dybde: 3.96 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 19.01.12

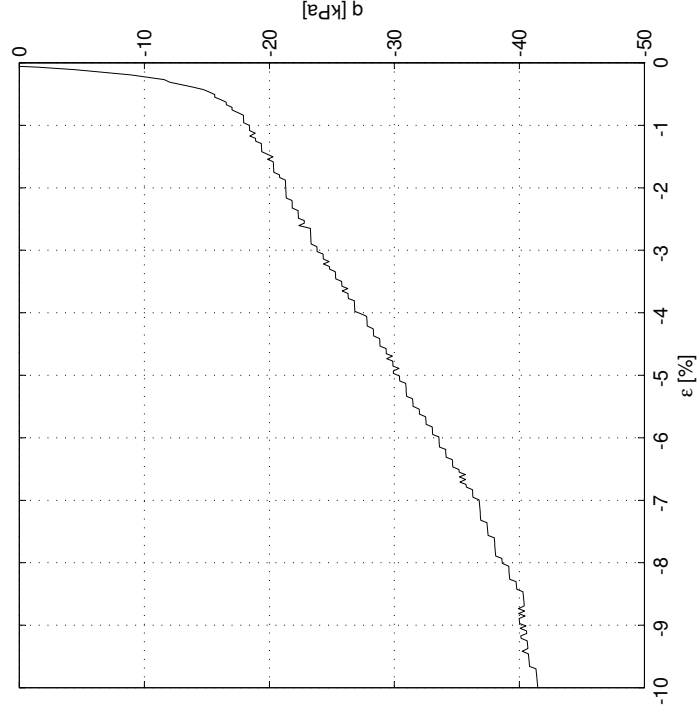
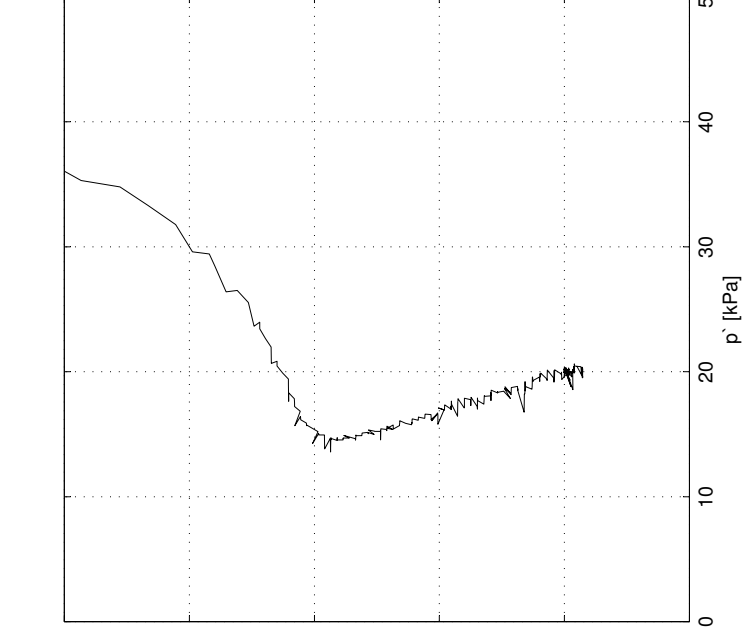
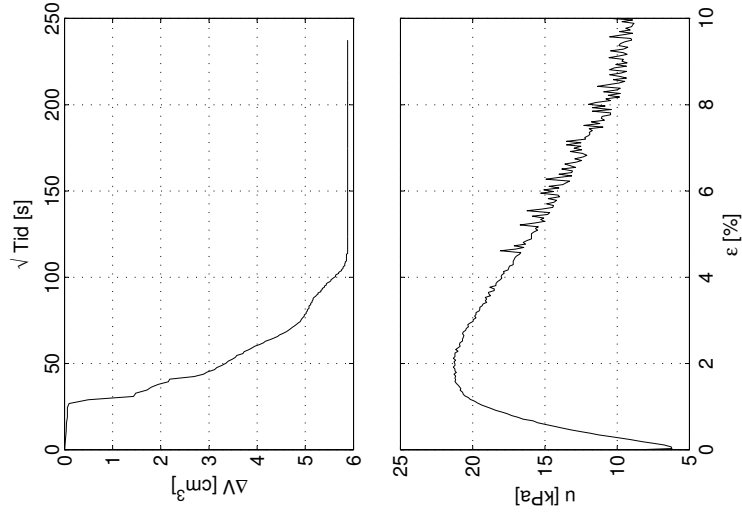
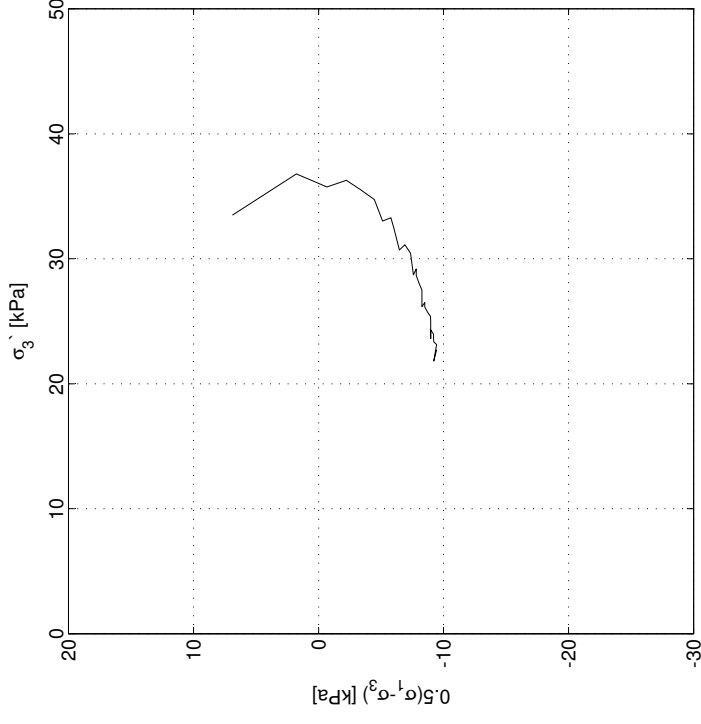
Forsøksdato: 20.01.12

Tøyningshastighet: -1.20 %/time (Utført med baktrykk av Multiconsult Trondheim)

σ'_{vo} = 45.64 kPa σ'_c = 100 kPa
 w = 33.80 % OCR = 2.22
 γ = 19.2 kN/m³

ΔV = 5.88 cm³
 ε_v = 2.53 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.05

s_u = 9.44 kPa
 ε_1 = 1.21 %
 E_0 = 2.0 MPa



Sund, Rissa Blokprøve, CAUp103

Dybde: 4.07 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

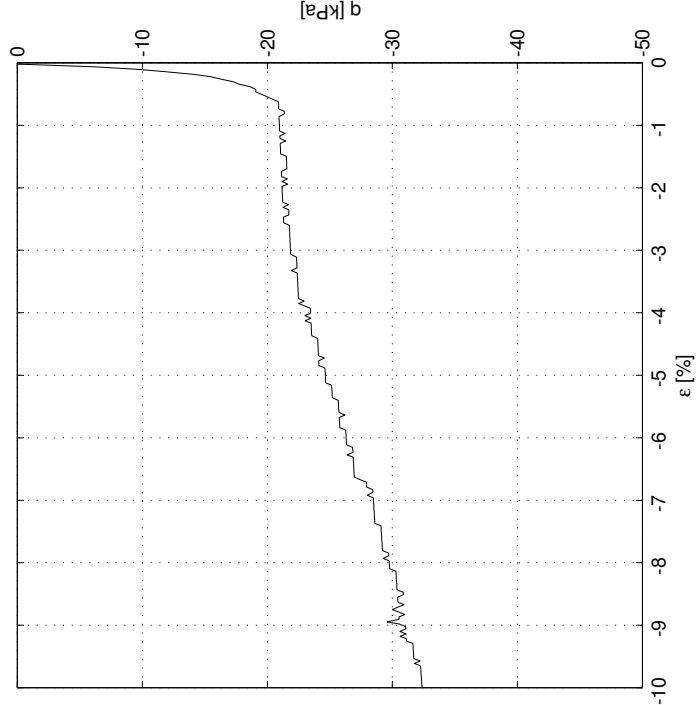
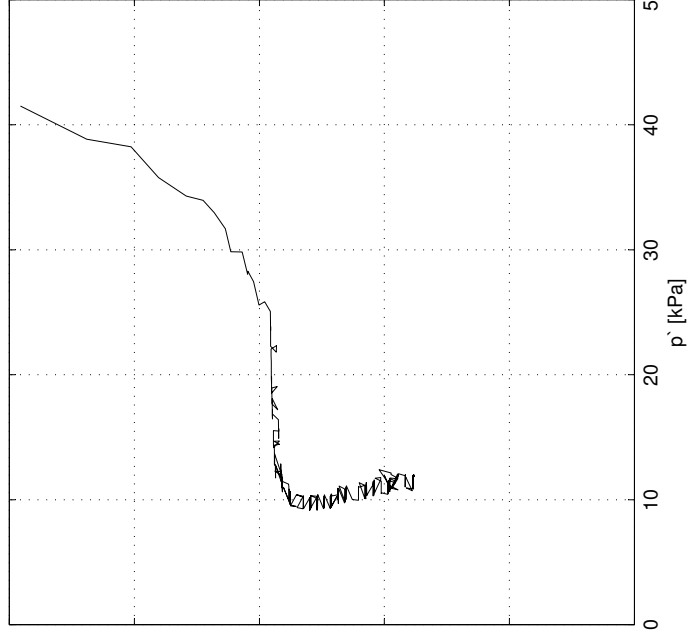
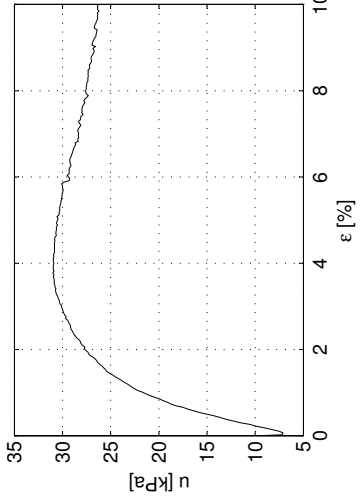
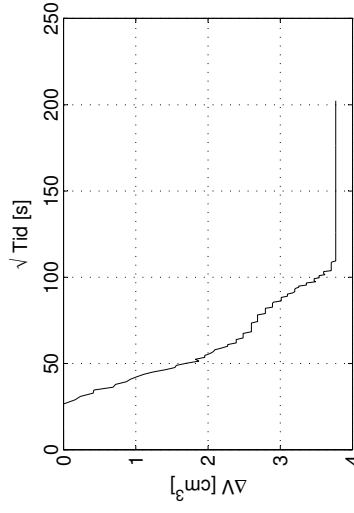
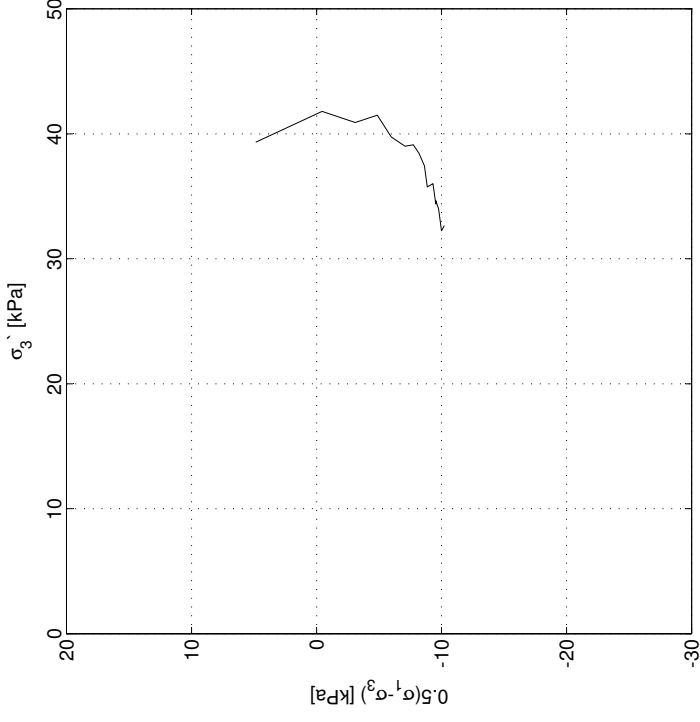
Forsøksdato: 06.02.12

Tøyningshastighet: -1.20 %/time (Utført med baktrykk av Multiconsult Trondheim)

σ'_{vo} = 46.63 kPa σ'_c = 100 kPa
 w = 33.40 % OCR = 2.20
 γ = 19.2 kN/m³

ΔV = 3.77 cm³
 ε_v = 1.63 %
 $\Delta e/e_0$ = 0.03

s_u = 10.21 kPa
 ε_L = 0.58 %
 E_0 = 17.0 MPa



Sund, Rissa Blokkrøve, CAUp104

Dybde: 3.96 m

Prøvetaksdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

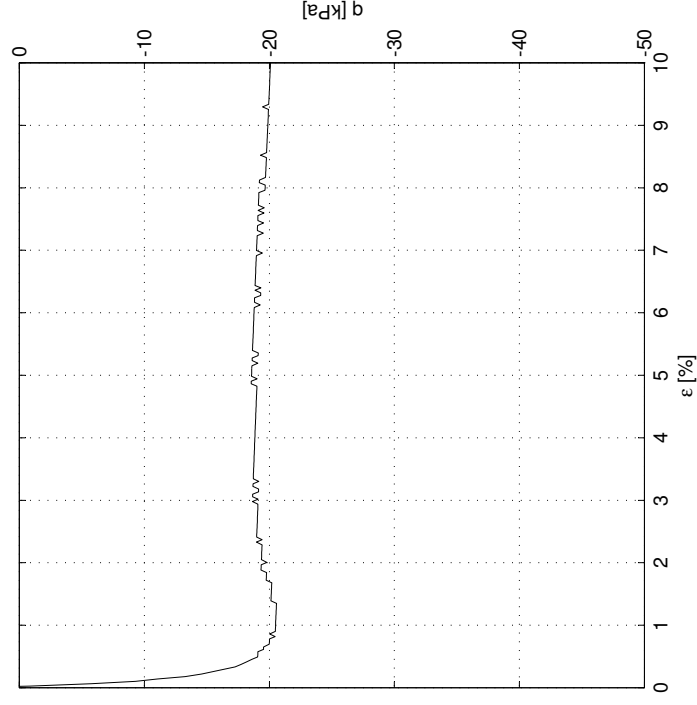
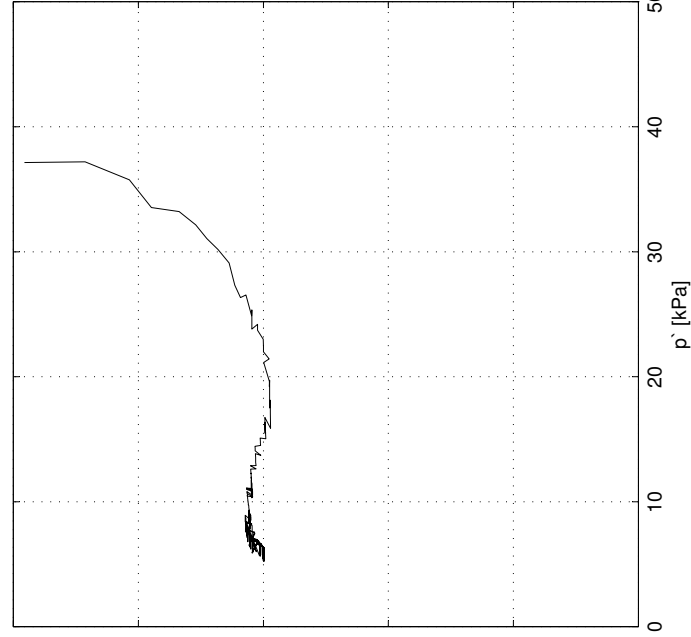
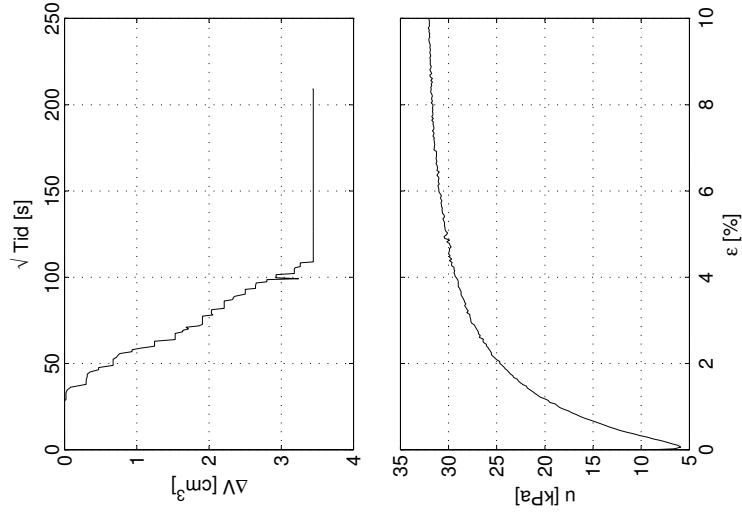
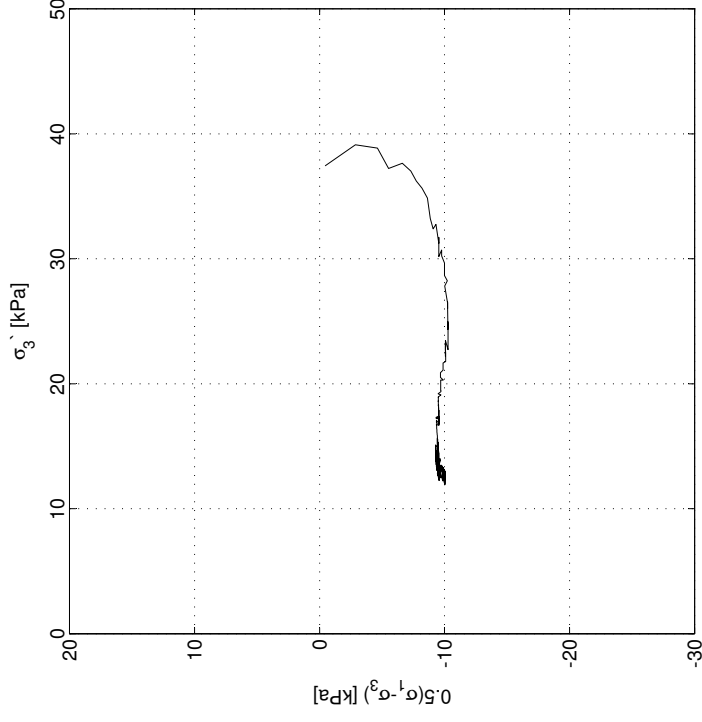
Forsøksdato: 26.02.12

Tøyningshastighet: -1.20 %/time (Utført med baktrykk av Multiconsult Trondheim)

σ'_{vo} = 42.94 kPa σ'_c = 100 kPa
 w = 26.59 % OCR = 2.28
 γ = 19.4 kN/m³

ΔV = 3.44 cm³
 ε_v = 1.48 %
 $\Delta e/e_o$ = 0.02

s_u = 10.28 kPa
 ε_t = 1.35 %
 E_o = 13.1 MPa



Sund, Rissa Blokprøve, CAUp105

Dybde: 3.75 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 13.02.12

Forsøksdato: 28.02.12

Tøyningshastighet: -1.20 %/time (Utført med baktrykk av Multiconsult Trondheim)

σ'_{vo} = 43.75 kPa

w = 32.46 %

γ = 19.2 kN/m³

σ'_c = 100 kPa

OCR = 2.26

ΔV = 4.94 cm³

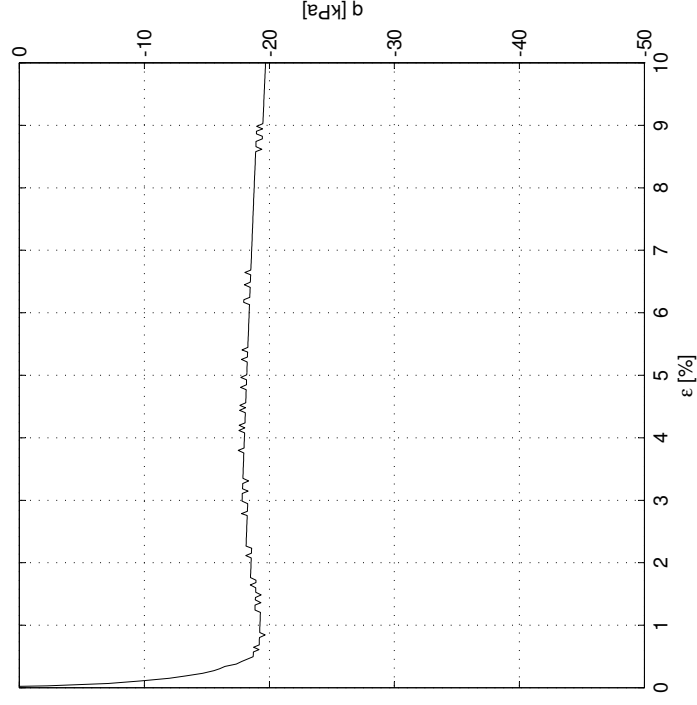
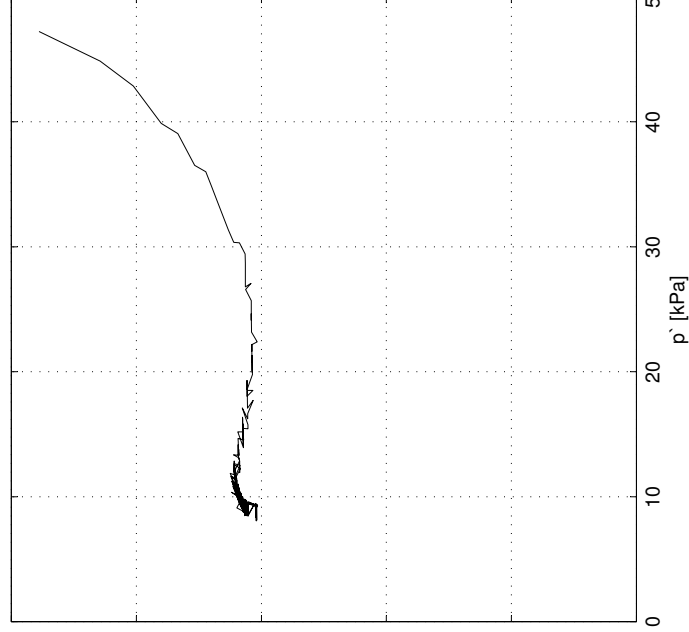
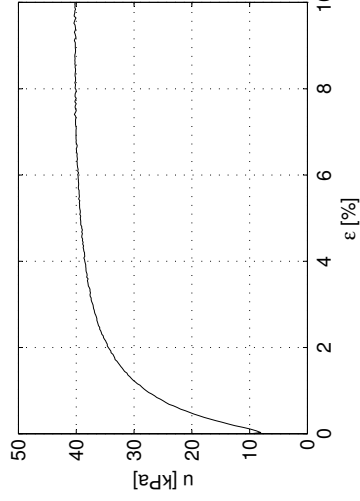
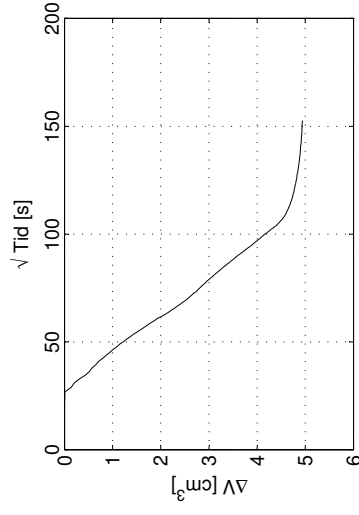
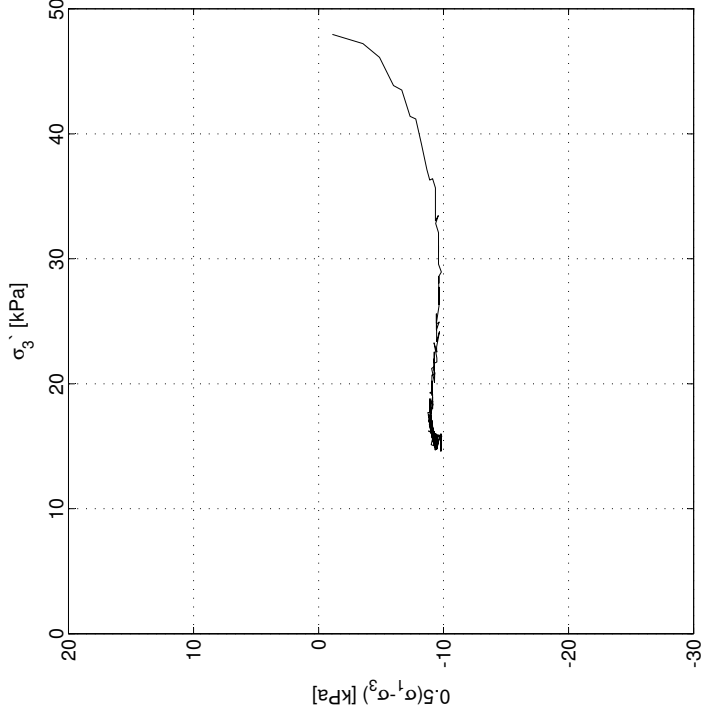
ε_v = 2.13 %

$\Delta e/e_0$ = 0.04

s_u = 9.83 kPa

ε'_1 = 0.84 %

E_0 = 14.9 MPa



Sund, Rissa Blokprøve, CAUp106

Dybde: 4.37 m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

Forsøksdato: 26.02.12

Tøyningshastighet: -2.40 %/time (Utført med baktrykk av Multiconsult Trondheim)

σ'_{vo} = 49.33 kPa σ'_c = 100 kPa
 w = 37.11 % OCR = 2.14

γ = 19.0 kN/m³

ΔV = 4.36 cm³

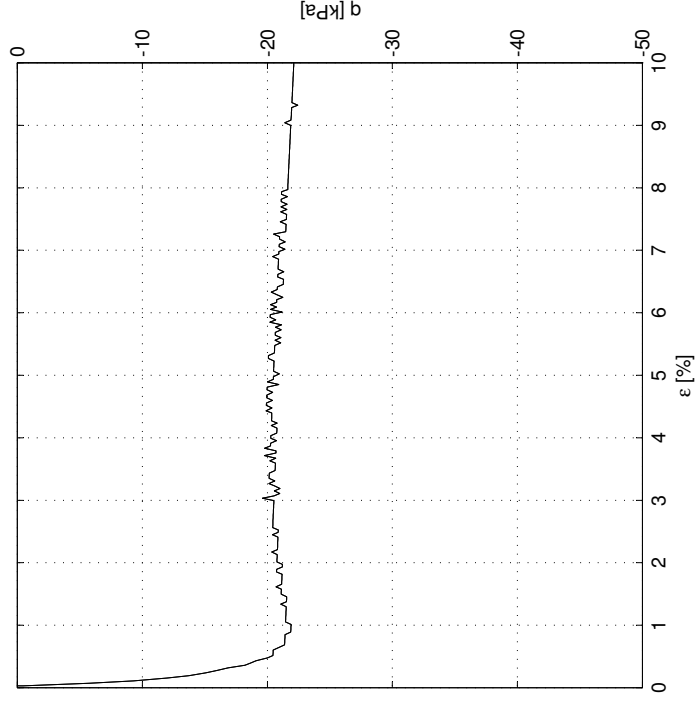
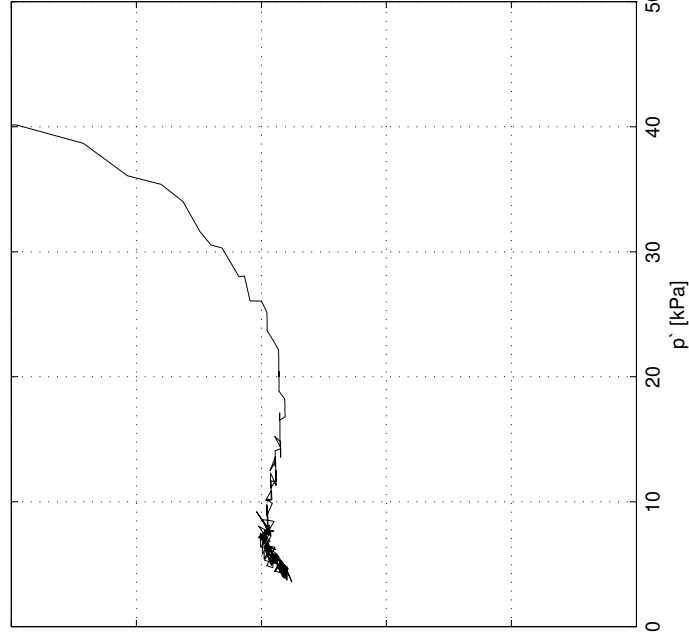
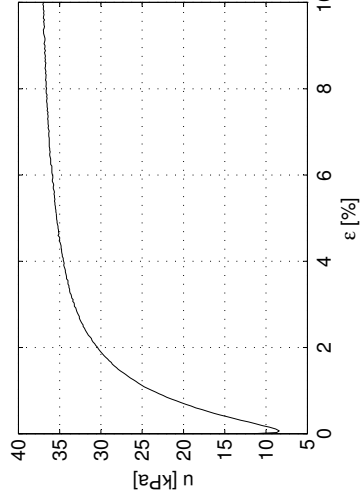
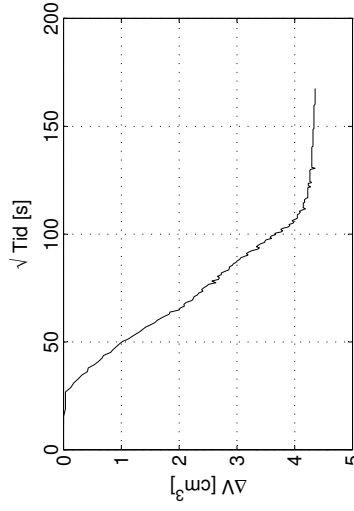
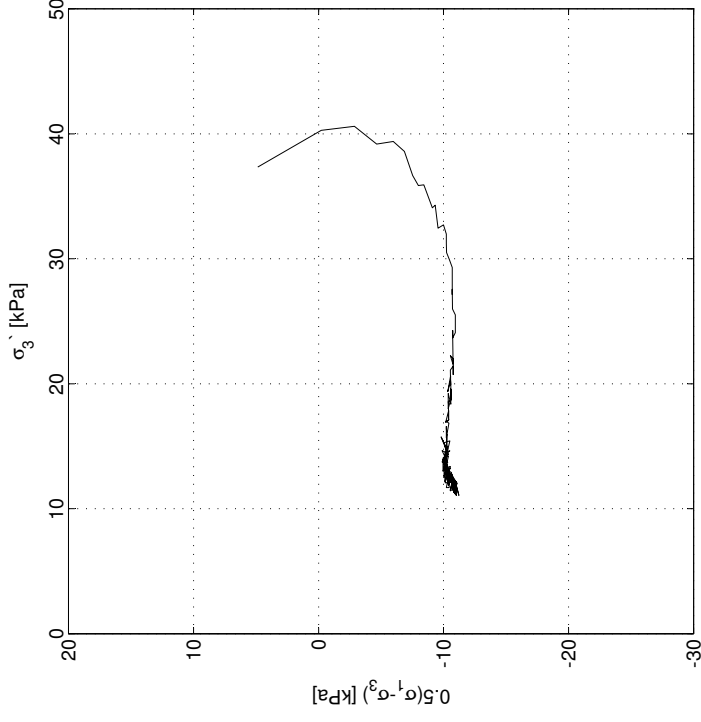
ϵ_v = 1.88 %

$\Delta e/e_0$ = 0.03

S_u = 11.22 kPa

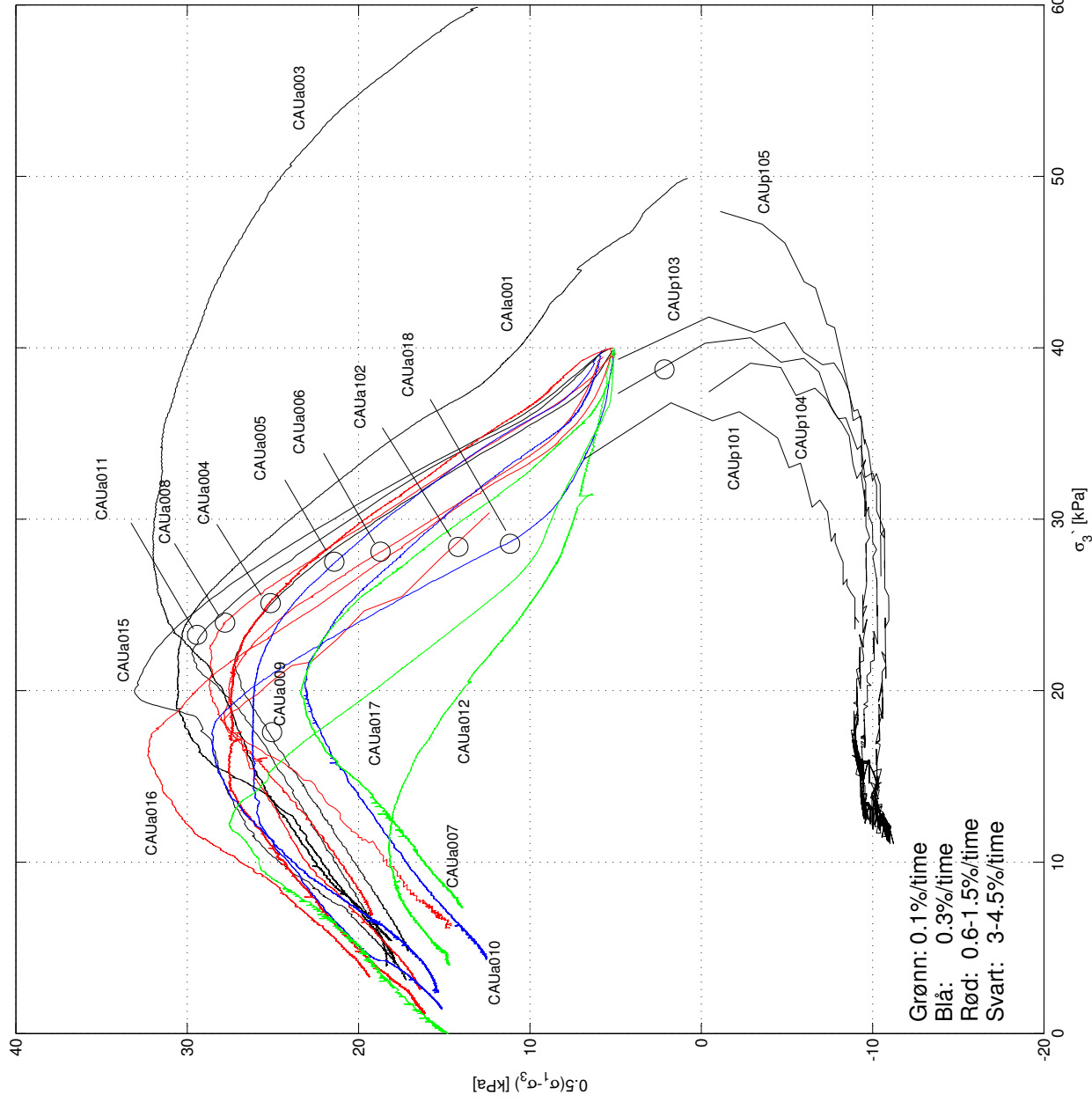
ϵ'_I = 9.32 %

E_0 = 5.3 MPa



Sund, Rissa Blokkprøver, dybde 3.50-4.59m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm
 Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m

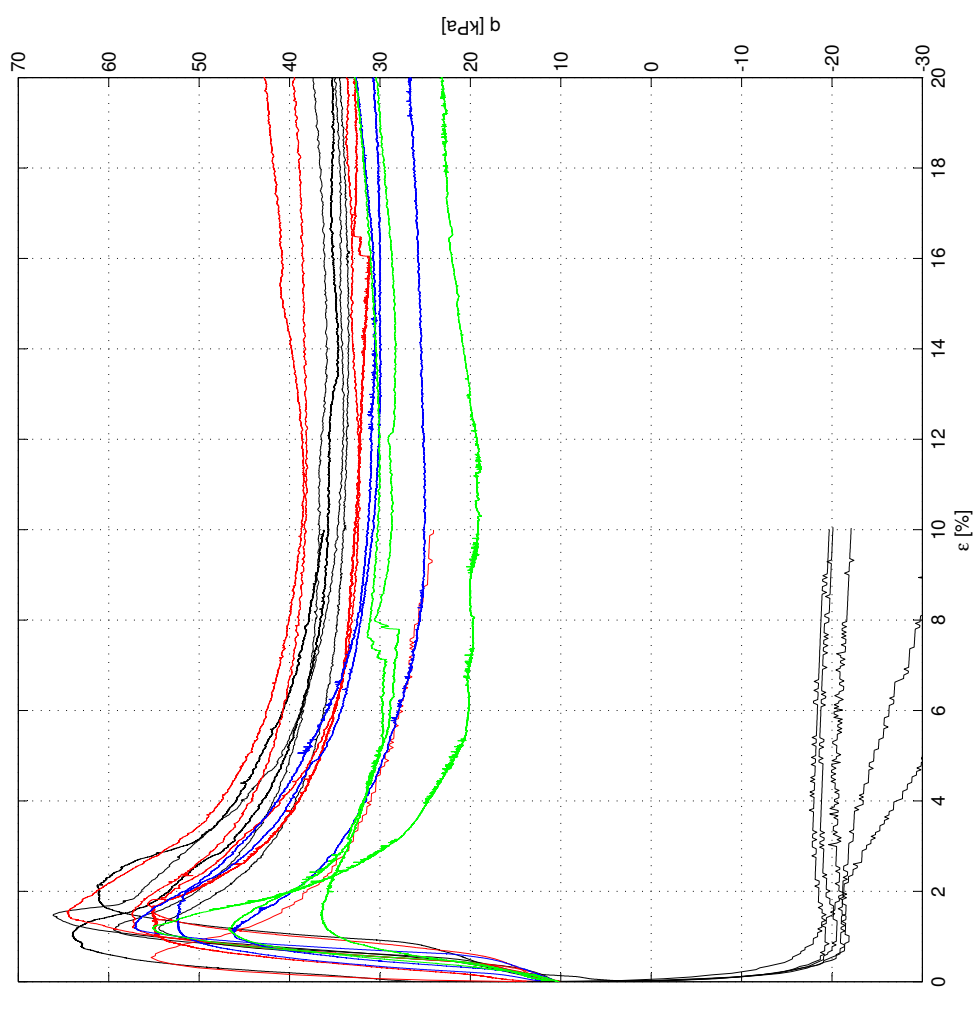
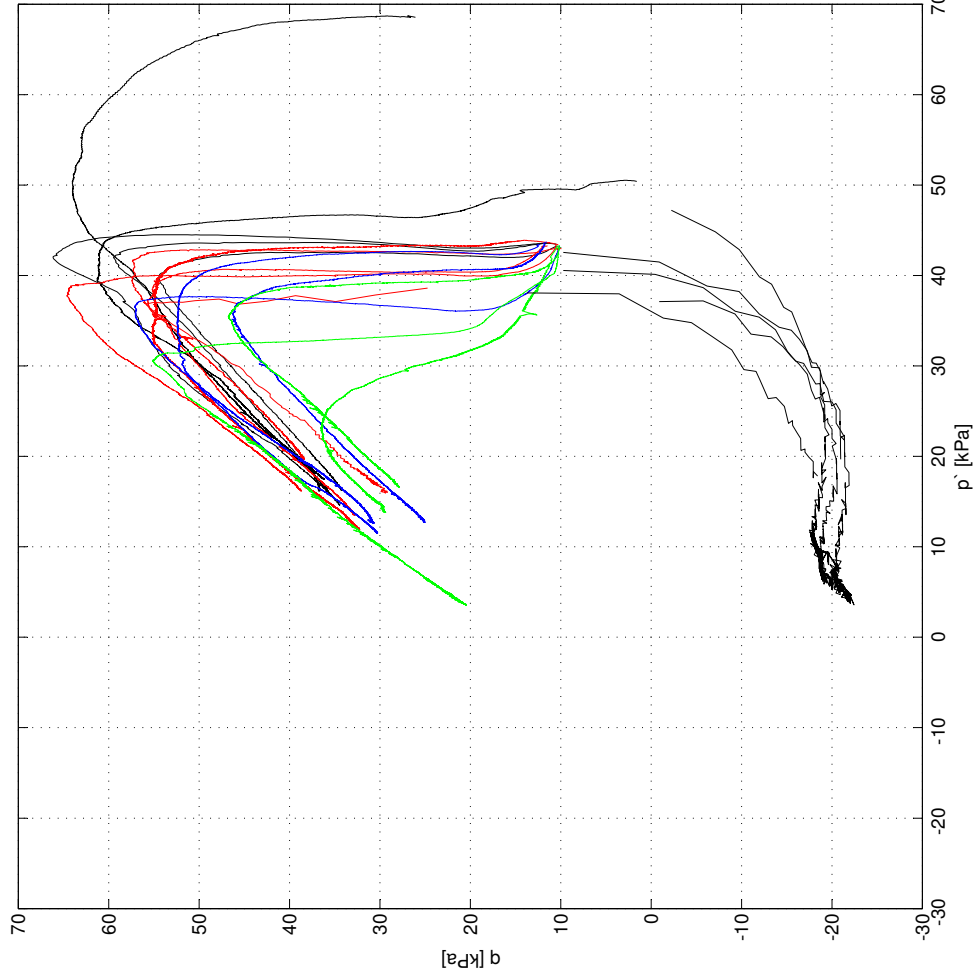


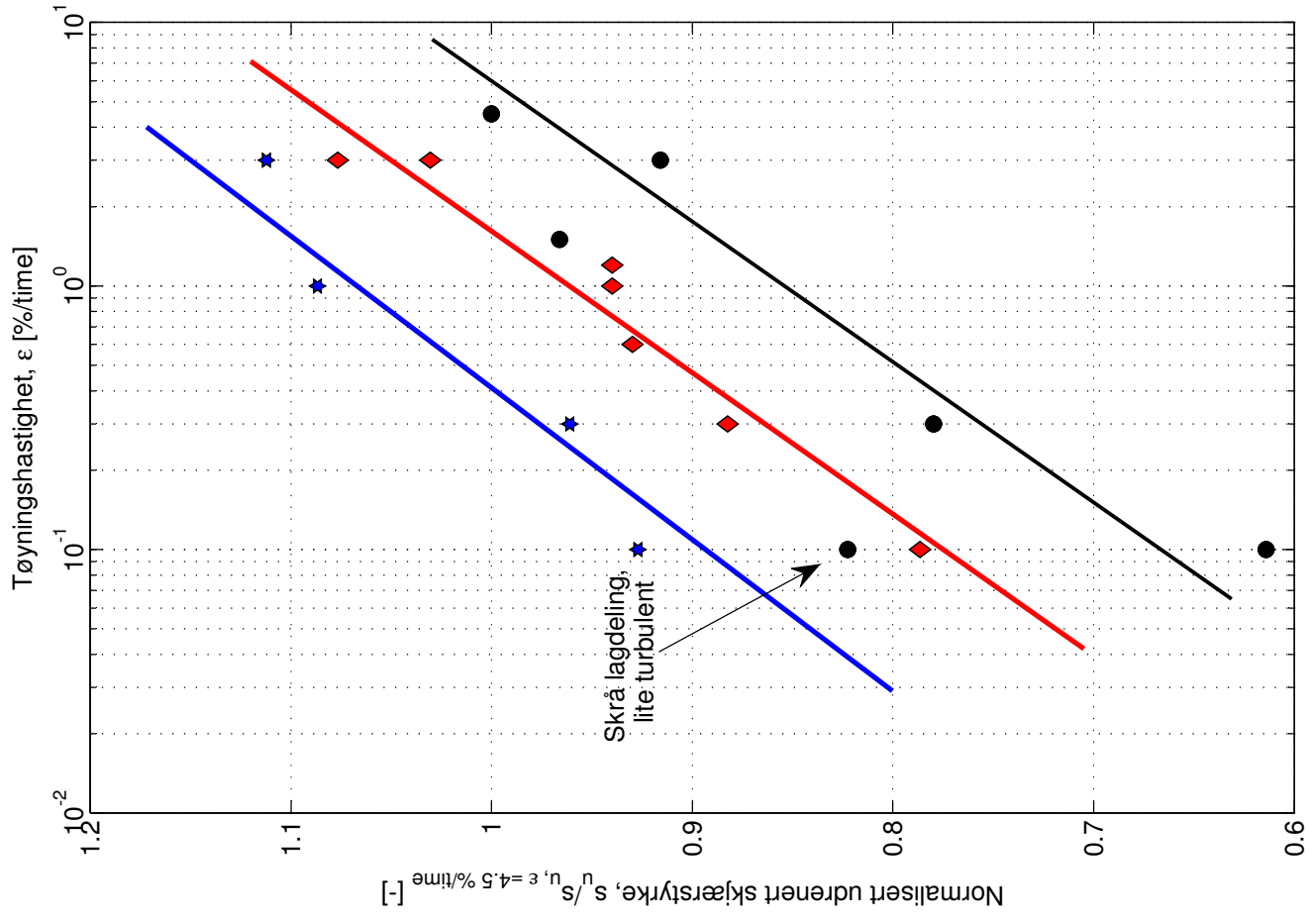
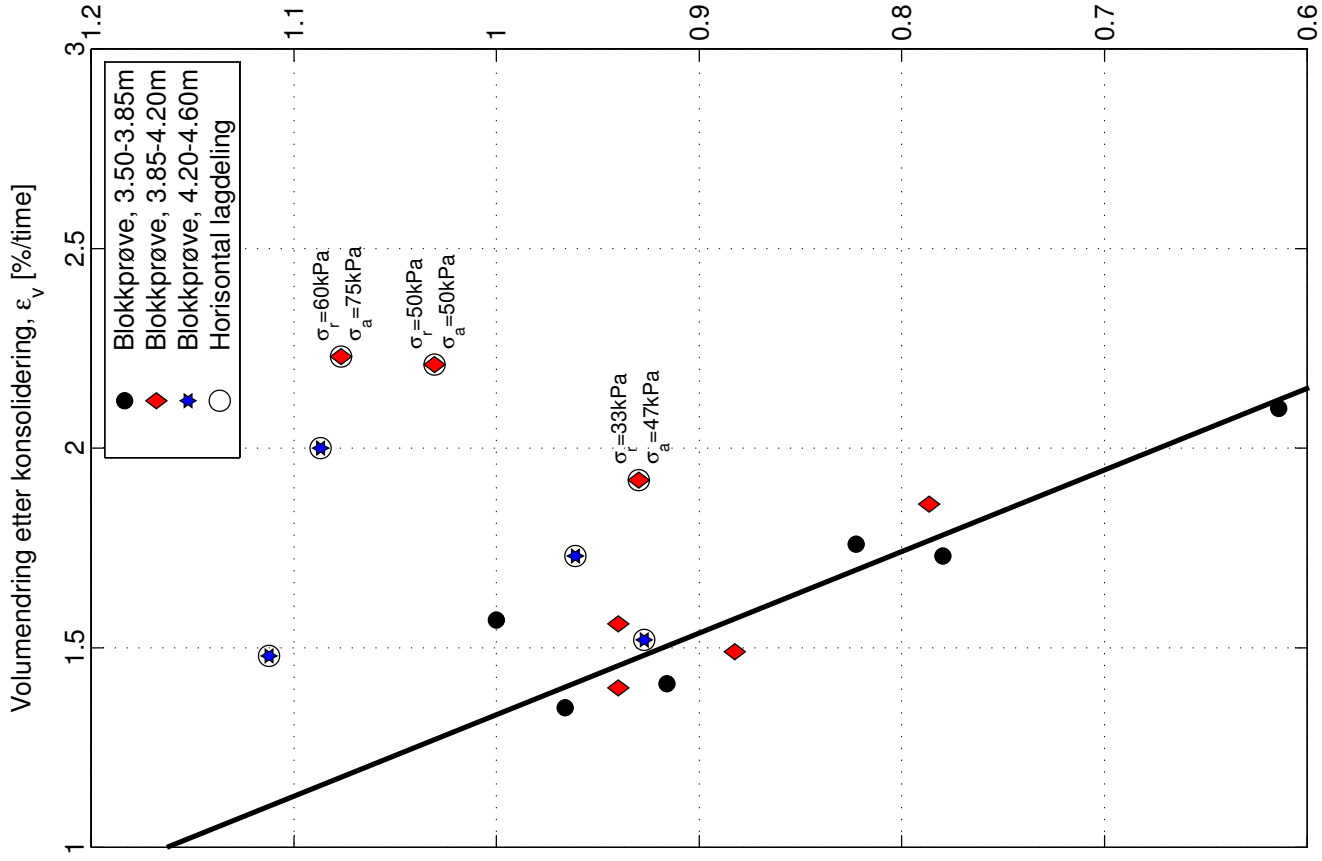
Grønn: 0.1%/time
 Blå: 0.3%/time
 Rød: 0.6-1.5%/time
 Svart: 3-4.5%/time

—	Blokkprøve, CAUa011, dybde 3.64m, 4.5 %/time, $\Delta V = 3.64 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CIUa001, dybde 3.64m, 3.0 %/time, $\Delta V = 5.13 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa003, dybde 3.96m, 3.0 %/time, $\Delta V = 5.16 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa009, dybde 3.75m, 3.0 %/time, $\Delta V = 3.28 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa015, dybde 4.37m, 3.0 %/time, $\Delta V = 3.44 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa008, dybde 3.64m, 1.5 %/time, $\Delta V = 3.12 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa102, dybde 3.96m, 1.2 %/time, $\Delta V = 3.44 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa006, dybde 4.07m, 1.0 %/time, $\Delta V = 3.26 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa016, dybde 4.37m, 1.0 %/time, $\Delta V = 4.63 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa004, dybde 4.07m, 0.6 %/time, $\Delta V = 4.45 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa005, dybde 4.07m, 0.3 %/time, $\Delta V = 3.45 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa010, dybde 3.64m, 0.3 %/time, $\Delta V = 4.01 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa018, dybde 4.37m, 0.3 %/time, $\Delta V = 4.00 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa007, dybde 4.07m, 0.1 %/time, $\Delta V = 4.31 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa012, dybde 3.75m, 0.01 %/time, $\Delta V = 4.87 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa017, dybde 4.37m, 0.1 %/time, $\Delta V = 3.54 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUp101, dybde 3.96m, -1.2 %/time, $\Delta V = 5.88 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUp103, dybde 4.07m, -1.2 %/time, $\Delta V = 3.77 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUp104, dybde 3.66m, -1.2 %/time, $\Delta V = 3.44 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUp105, dybde 3.75m, -1.2 %/time, $\Delta V = 4.94 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUp106, dybde 4.37m, -2.4 %/time, $\Delta V = 4.36 \text{ cm}^3$

Sund, Rissa Blokprøver, dybde 3.50-4.59m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke prøvetaker, 250 mm x 350 mm
Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m

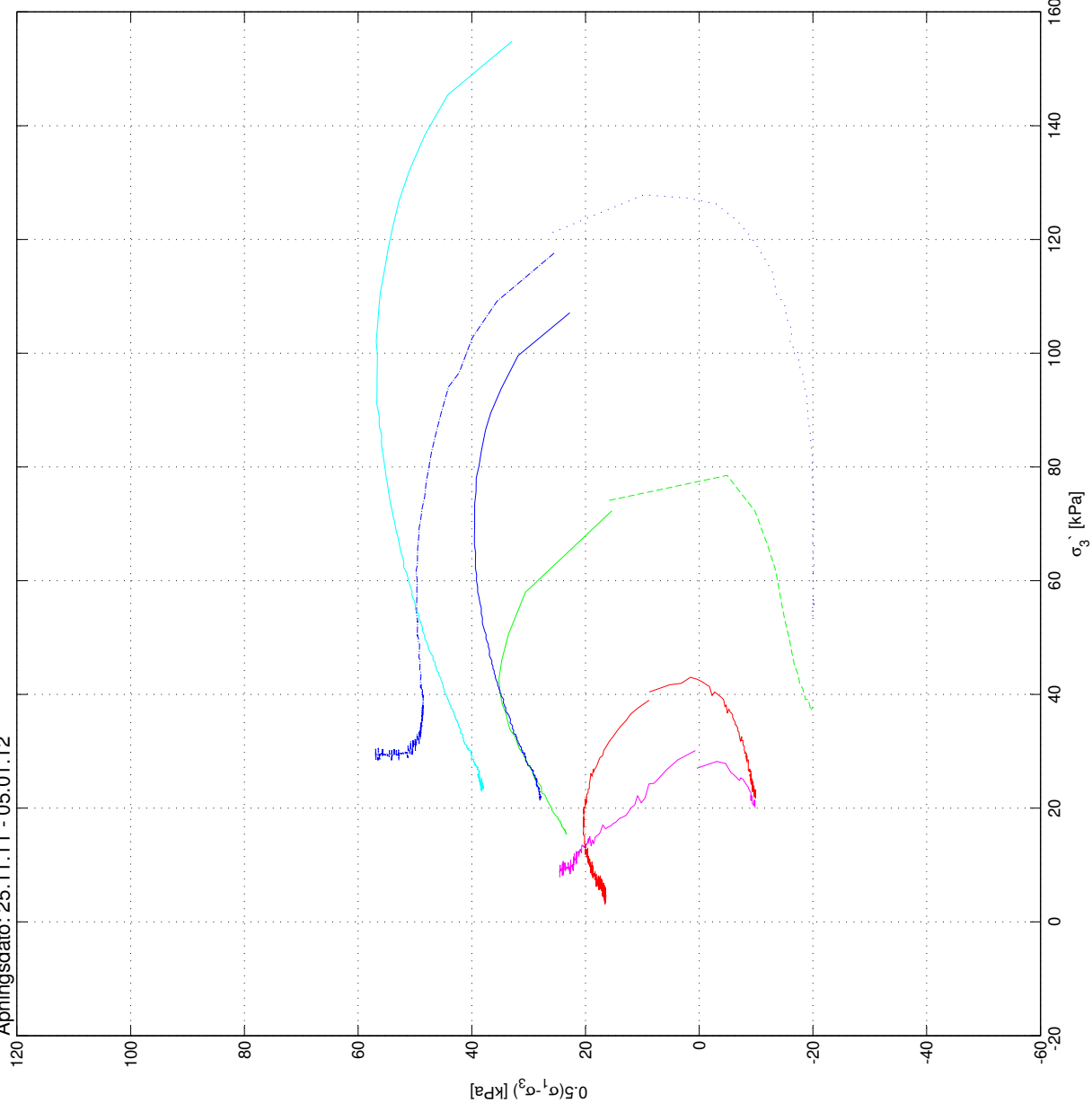




Sund, Rissa
 54 mm sylindrerprøver, C3 og C6, dybde 3.0-23.0m og 2.0-18.0m

Prøvetakingsdato: 05.10.11

Åpningsdato: 25.11.11 - 05.01.12

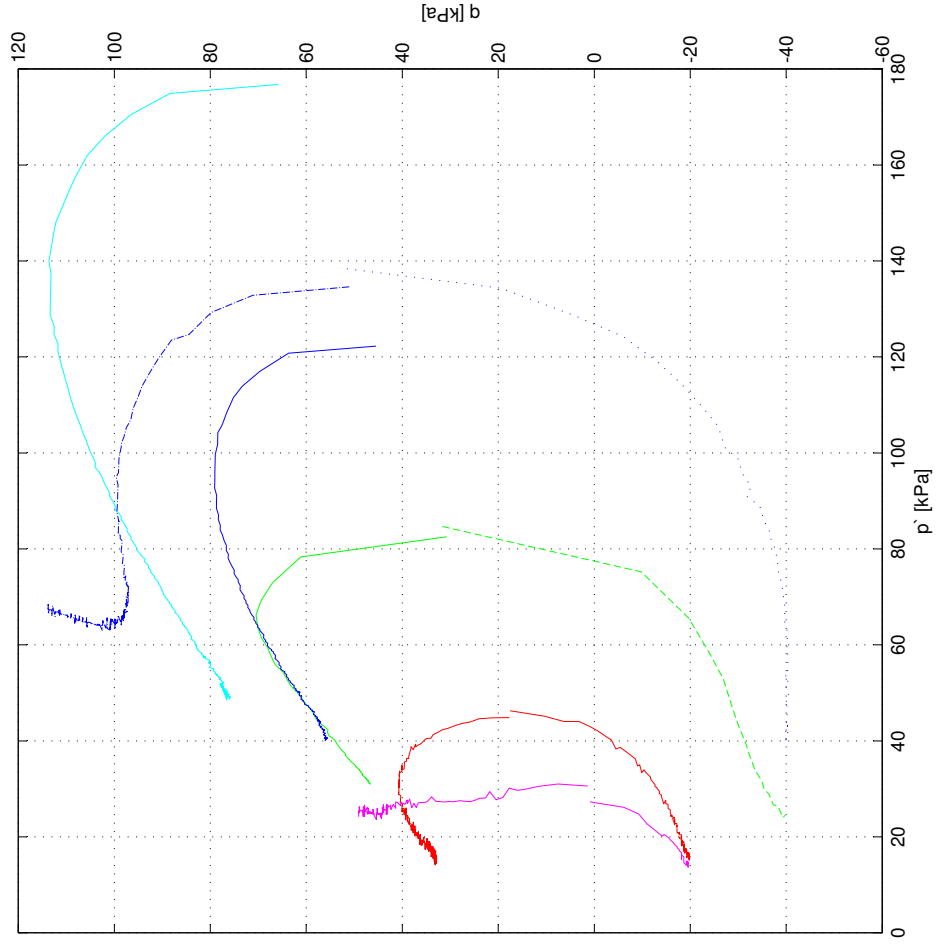
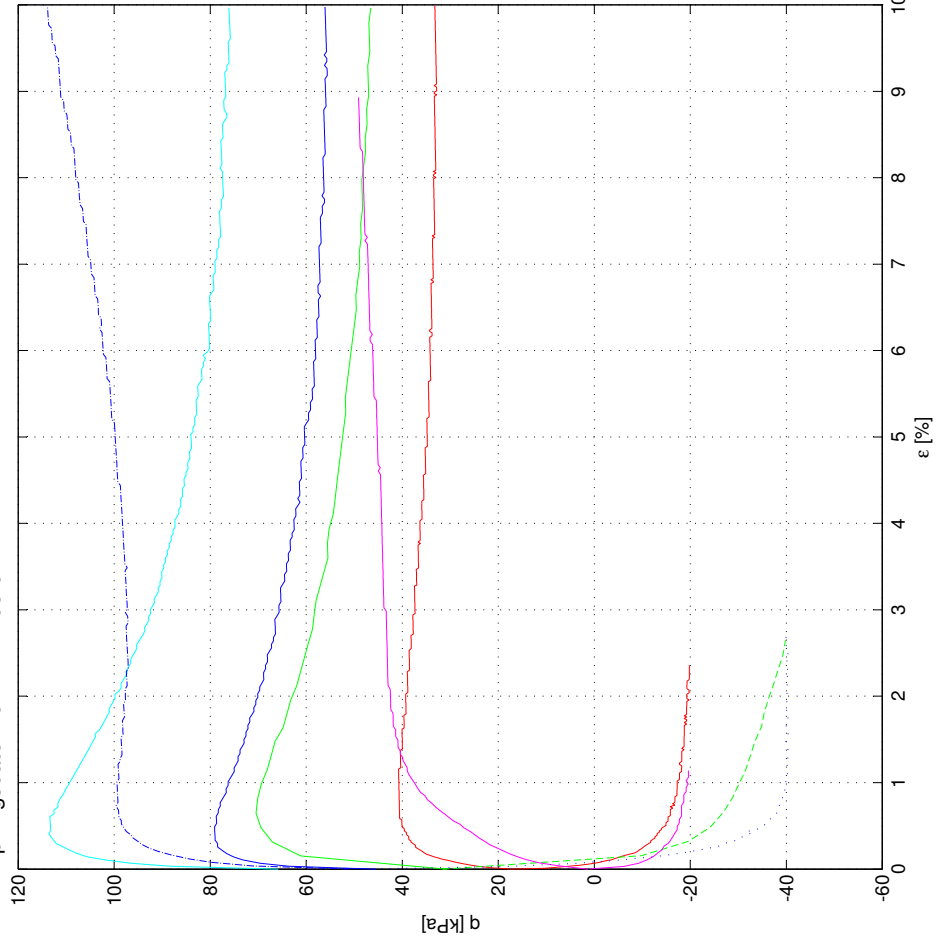


54 mm, C6, CAUa,	dybde 3.30m,	1.2%/time,	$\Delta V=8.4\text{cm}^3$
54 mm, C6, CAUp,	dybde 3.4m,	-1.2%/time,	$\Delta V=2.3\text{cm}^3$
54 mm, C3, CAUa,	dybde 5.4m,	0.5%/time,	$\Delta V=8.2\text{cm}^3$
54 mm, C3, CAUp,	dybde 5.6m,	-0.5%/time,	$\Delta V=10.0\text{cm}^3$
54 mm, C3, CAUa,	dybde 10.4m,	5.0%/time,	$\Delta V=7.0\text{cm}^3$
54 mm, C3, CAUp,	dybde 10.6m,	-5.0%/time,	$\Delta V=8.5\text{cm}^3$
54 mm, C3, CAUa,	dybde 15.15m,	1.2%/time,	$\Delta V=14.2\text{cm}^3$
54 mm, C6, CAUa,	dybde 17.4m,	1.2%/time,	$\Delta V=14.1\text{cm}^3$
54 mm, C6, CAUp,	dybde 17.7m,	-1.2%/time,	$\Delta V=12.2\text{cm}^3$
54 mm, C3, CAUa,	dybde 22.2m,	1.2%/time,	$\Delta V=13.9\text{cm}^3$

Sund, Rissa
54 mm sylinderprøver, C3 og C6, dybde 3.0-23.0m og 2.0-18.0m

Prøvetakingsdato: 05.10.11

Åpningsdato: 25.11.11 - 05.01.12

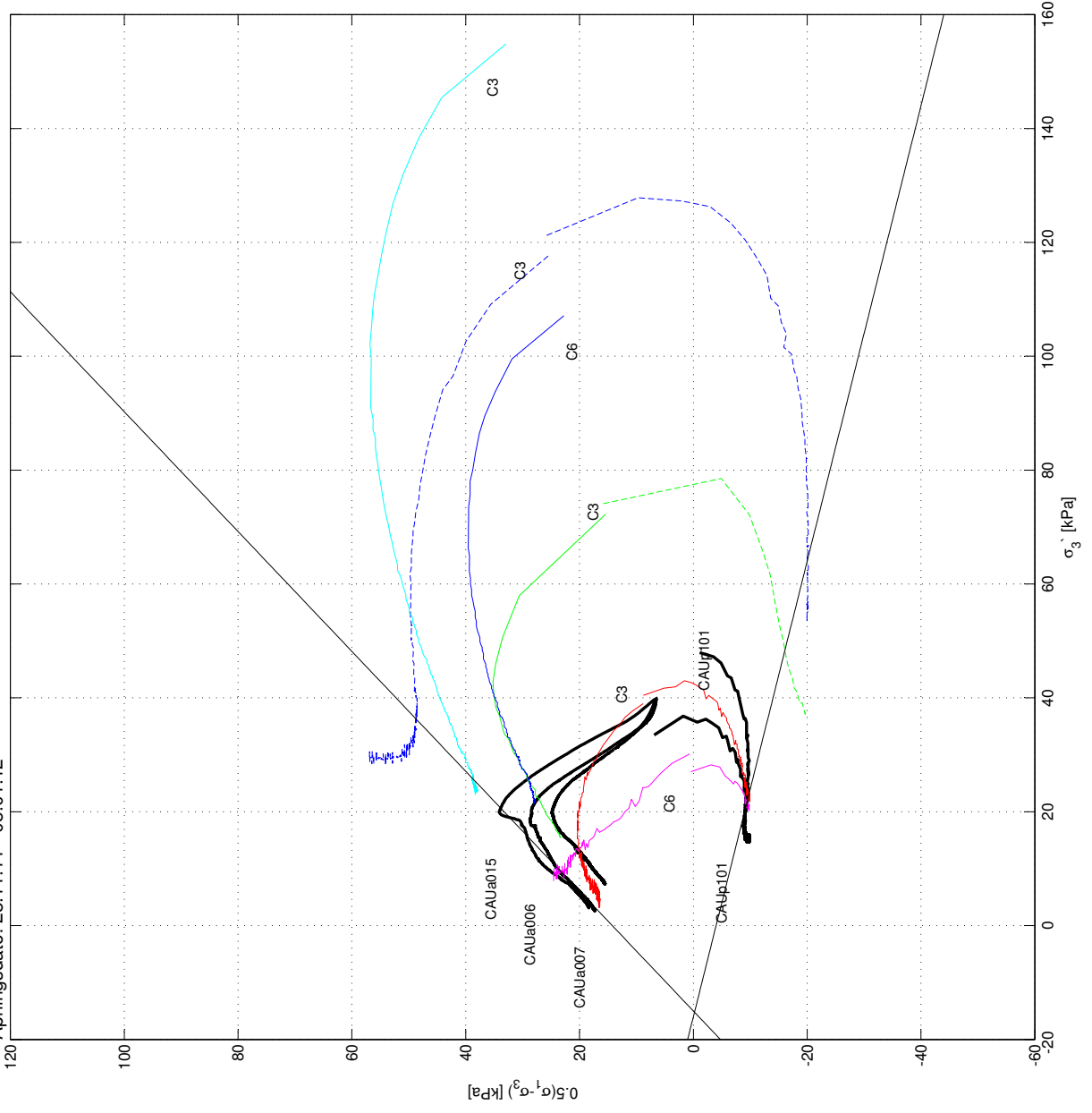


Sund, Rissa
 54 mm sylinderprøver, C3 og C6, dybde 3.0-23.0m og 2.0-18.0m

Prøvetakingsdato: 05.10.11

Åpningsdato: 25.11.11 - 05.01.12

$\tan \phi = 0.56$
 $\phi = 29.2^\circ$
 $a = 15 \text{ kPa}$



—	Blokkprøve, CAUa015, dybde 4.37m, 3.0 %/time, $\Delta V = 3.44 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa006, dybde 4.07m, 1.0 %/time, $\Delta V = 3.26 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUa007, dybde 4.07m, 0.1 %/time, $\Delta V = 4.31 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUp101, dybde 3.96m, 1.2 %/time, $\Delta V = 5.88 \text{ cm}^3$
—	Blokkprøve, CAUp105, dybde 3.75m, 1.2 %/time, $\Delta V = 4.94 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C6, CAUa, dybde 3.30m, 1.2%/time, $\Delta V = 3.4 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C6, CAUp, dybde 3.4m, 1.2%/time, $\Delta V = 2.3 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C3, CAUa, dybde 5.4m, 0.5%/time, $\Delta V = 8.2 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C3, CAUp, dybde 5.6m, 0.5%/time, $\Delta V = 10.0 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C3, CAUa, dybde 10.4m, 5.0%/time, $\Delta V = 7.0 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C3, CAUp, dybde 10.6m, 5.0%/time, $\Delta V = 8.5 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C3, CAUa, dybde 15.15m, 1.2%/time, $\Delta V = 14.2 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C6, CAUa, dybde 17.4m, 1.2%/time, $\Delta V = 14.1 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C6, CAUp, dybde 17.7m, 1.2%/time, $\Delta V = 12.2 \text{ cm}^3$
—	54 mm, C3, CAUa, dybde 22.2m, 1.2%/time, $\Delta V = 13.9 \text{ cm}^3$

Tillegg C

Ødometerforsøk

Tabell C.1: Oversikt over modultallene i CRS forsøkene

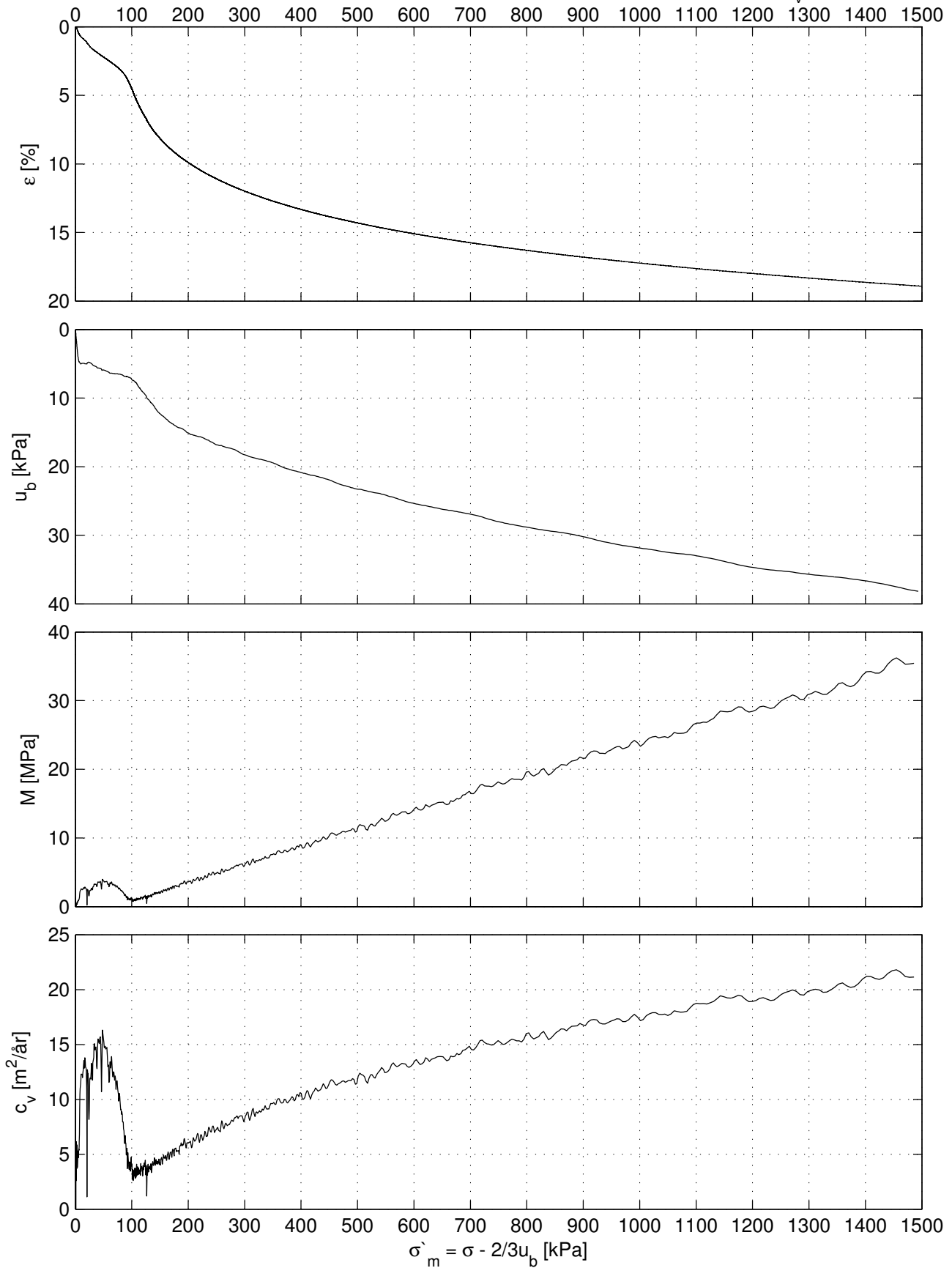
Forsøk	$m_{rundt\sigma'_c}$	$m_{etter\sigma'_c}$	$\sigma_{ref'}$	m
CRS001	9.5	25	67	21.5
CRS004	7.5	26	67	21.6
CRS009	8.2	24	77	20.8
CRS011	8.6	24	73	21.8
CRS014	9.6	24	69	21.0
CRS016	9.9	26	79	16.2
CRS017	7.3	26	88	21.9
CRS019	5.2	24	80	20.0

Sund, Rissa Bløkkprøve, CRS001

Dybde: 3.92 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av bløkkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 19.01.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 45.28 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 37.26 \%$
 $\gamma = 19.5 \text{ kN}/\text{m}^3$
 OCR = 2.10
 $\Delta e/e_o = 0.04$

$\sigma'_c = 95 \text{ kPa}$
 $M_{oc} = 4 \text{ MPa}$
 $m_{oc} = 25$
 $\sigma'_{ref} = 67 \text{ kPa}$
 $c_v = 13.5 \text{ m}^2/\text{år}$

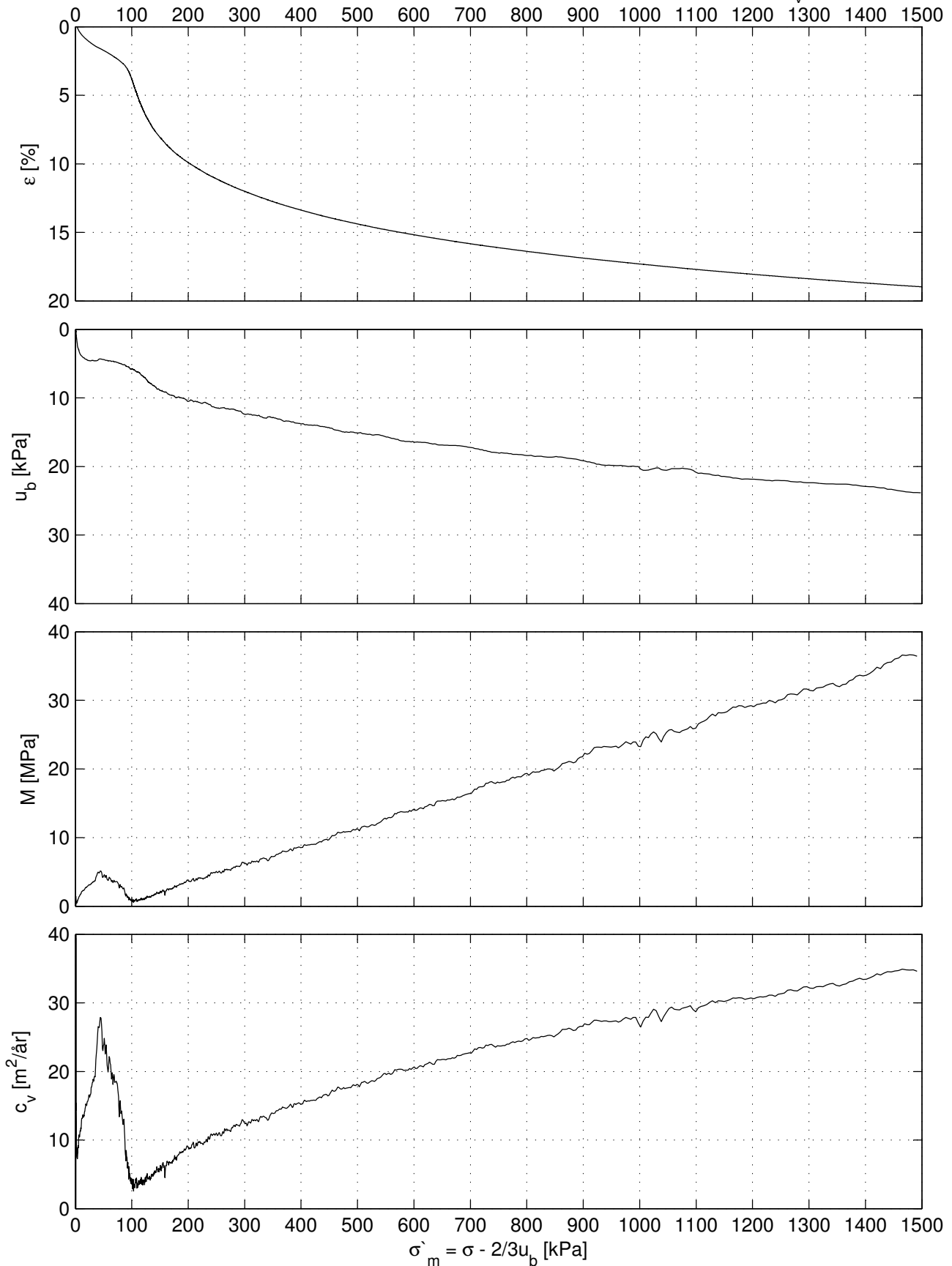


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS004

Dybde: 4.02 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 02.02.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 46.18 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 35.80 \%$
 $\gamma = 19.5 \text{ kN}/\text{m}^3$
 $\text{OCR} = 2.17$
 $\Delta e/e_o = 0.03$

$\sigma'_c = 100 \text{ kPa}$
 $M_{oc} = 3.5 \text{ MPa}$
 $m_{oc} = 26$
 $\sigma'_{ref} = 67 \text{ kPa}$
 $c_v = 18.5 \text{ m}^2/\text{år}$

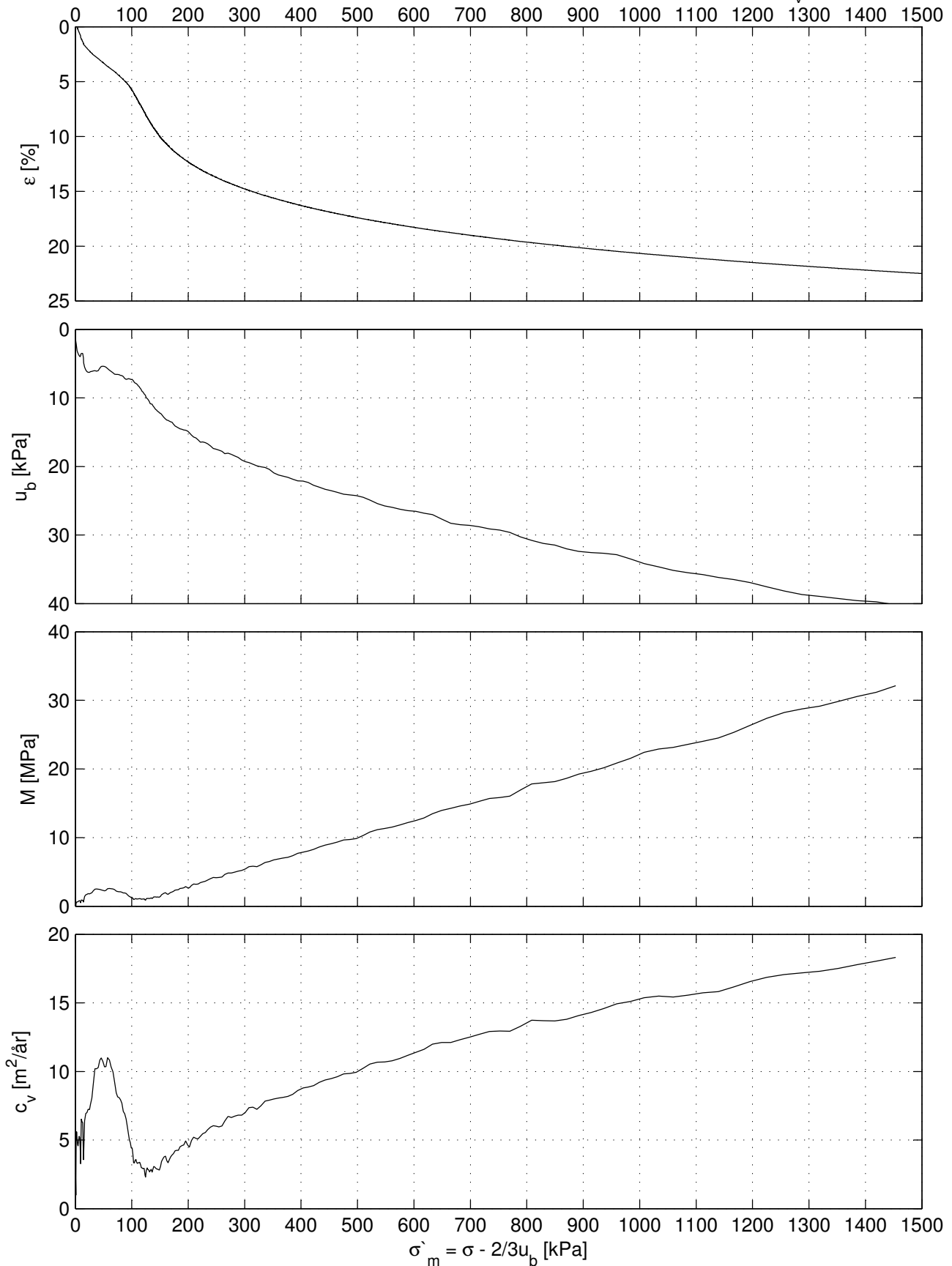


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS009

Dybde: 3.62 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 16.02.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 42.58 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 36.46 \%$
 $\gamma = 19.4 \text{ kN}/\text{m}^3$
 $\text{OCR} = 2.47$
 $\Delta e/e_o = 0.06$

$\sigma'_c = 105 \text{ kPa}$
 $M_{oc} = 2.5 \text{ MPa}$
 $m = 24$
 $\sigma'_{ref} = 77 \text{ kPa}$
 $c_v = 10.0 \text{ m}^2/\text{år}$

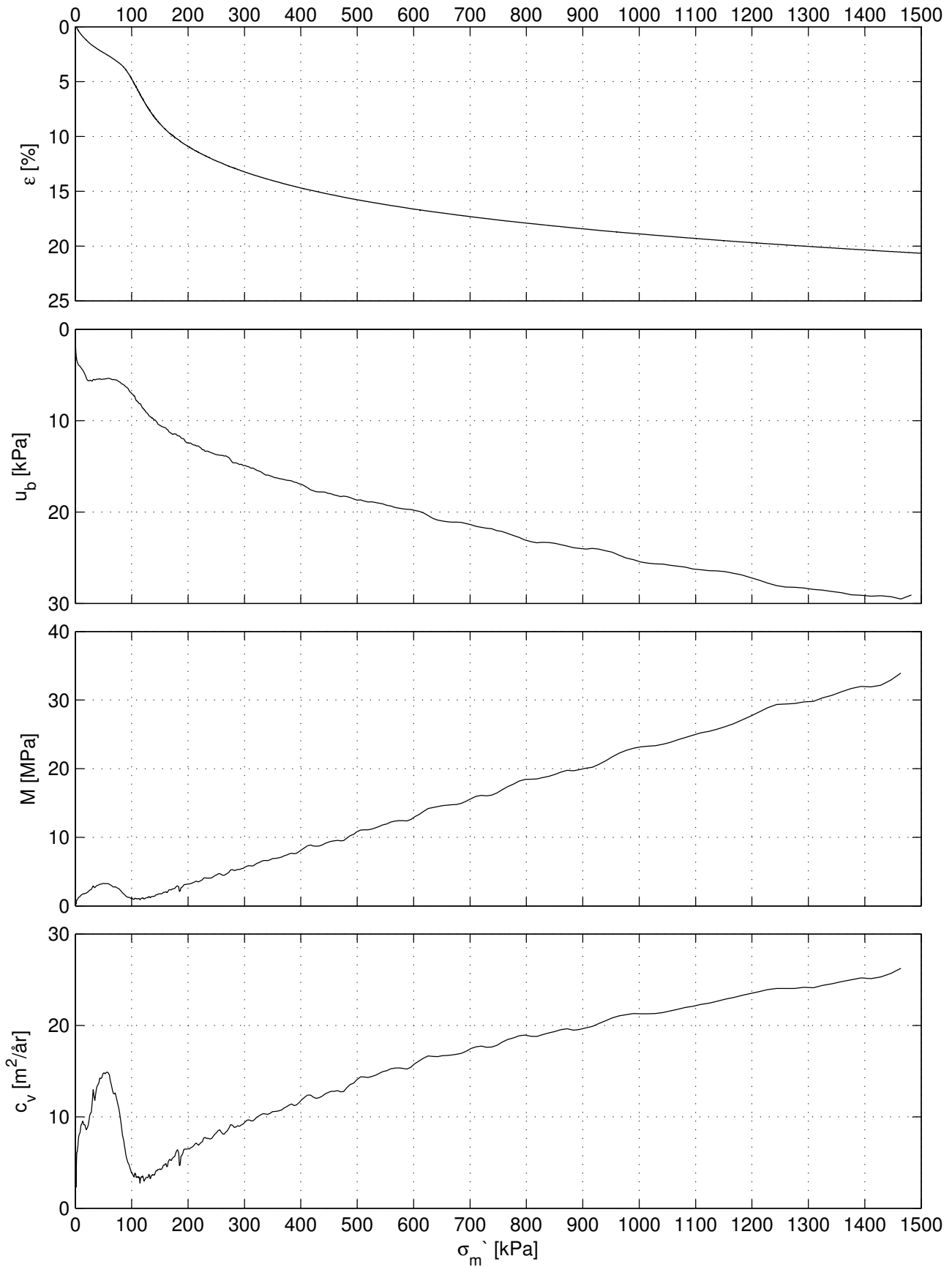


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS011

Dybde: 3.66 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 21.02.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

σ'_{vo} = 42.94 kPa
 w_{vo} = 34.81 %
 γ = 19.5 kN/m³
 OCR = 2.21
 $\Delta e/e_o$ = 0.04

σ'_c = 95 kPa
 M_{oc} = 3.2 MPa
 m_{oc} = 24
 c_v = 14.1 m²/år

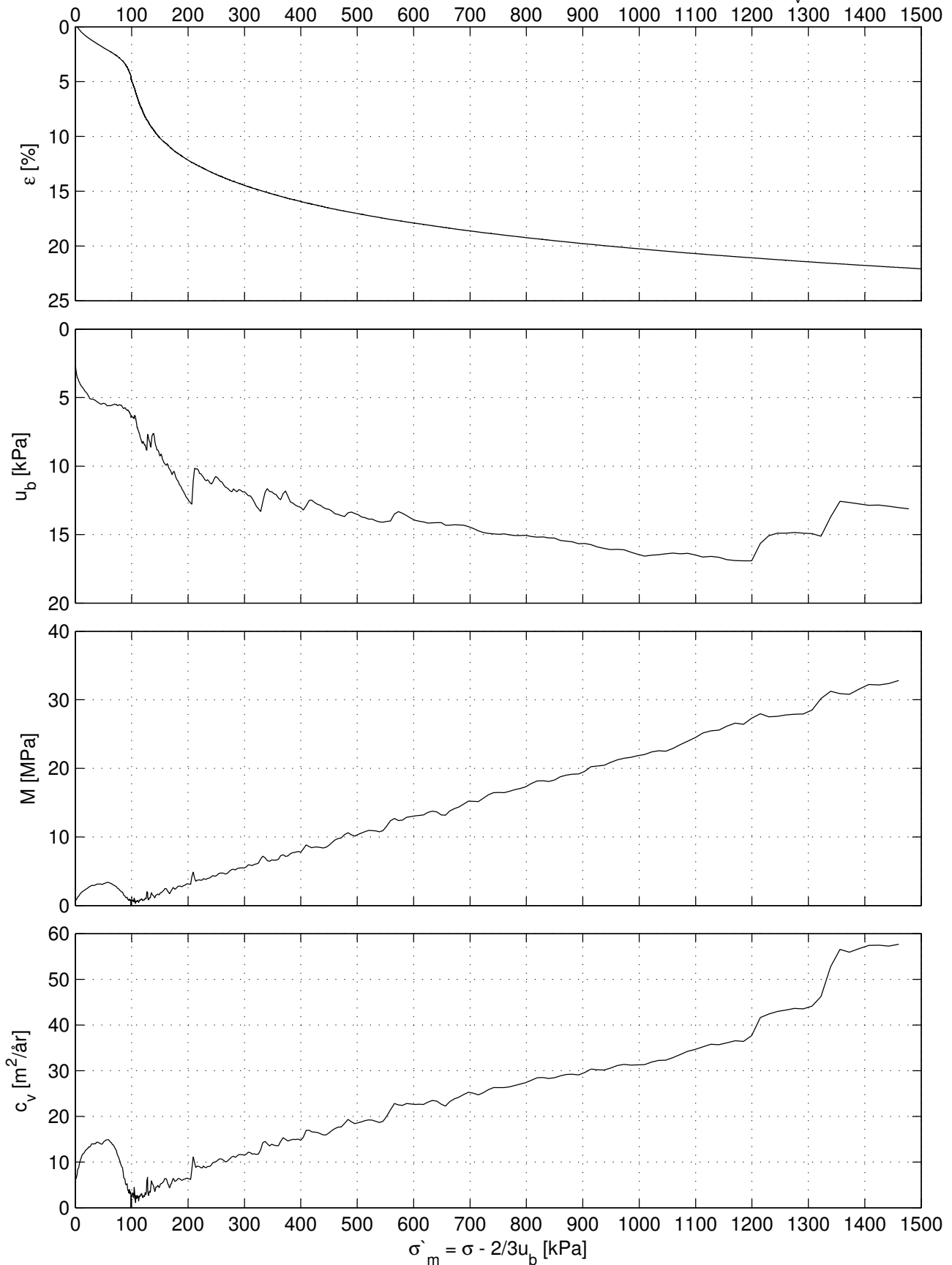


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS019

Dybde: 4.33 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 19.03.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 48.97 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 37.27 \%$
 $\gamma = 19.1 \text{ kN}/\text{m}^3$
 OCR = 2.04
 $\Delta e/e_o = 0.04$

$\sigma'_c = 100 \text{ kPa}$
 $M_{oc} = 3.1 \text{ MPa}$
 $m_{oc} = 24$
 $\sigma'_{ref} = 80 \text{ kPa}$
 $c_v = 13.9 \text{ m}^2/\text{år}$

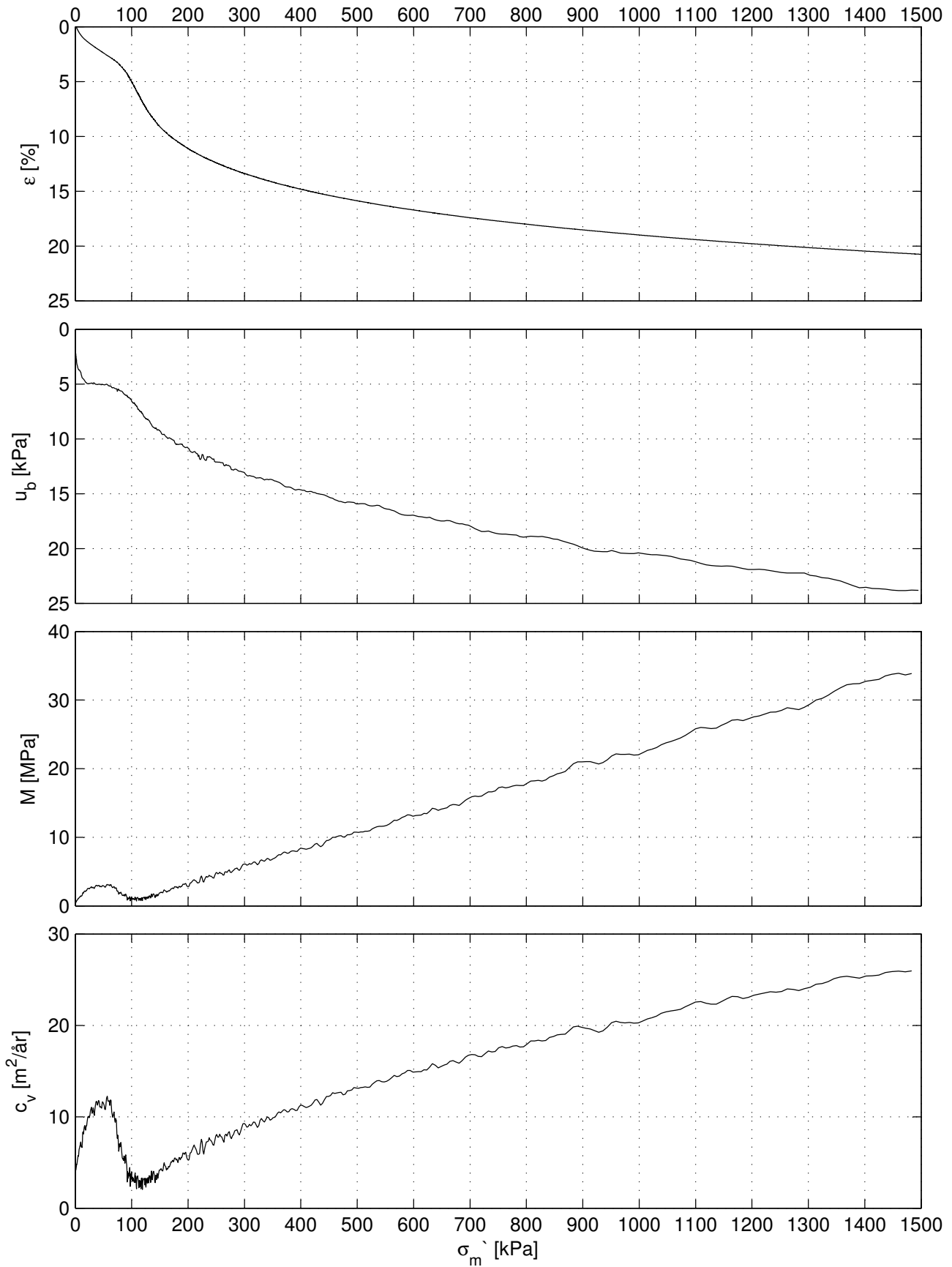


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS014

Dybde: 3.66 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 03.03.12
 Tøyningshastighet: 4 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 43.94 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 33.40 \%$
 $\gamma = 19.4 \text{ kN}/\text{m}^3$
 $\text{OCR} = 2.33$
 $\Delta e/e_o = 0.04$

$\sigma'_c = 95 \text{ kPa}$
 $M_{oc} = 3.0 \text{ MPa}$
 $m_{oc} = 24$
 $c_v = 10.9 \text{ m}^2/\text{år}$

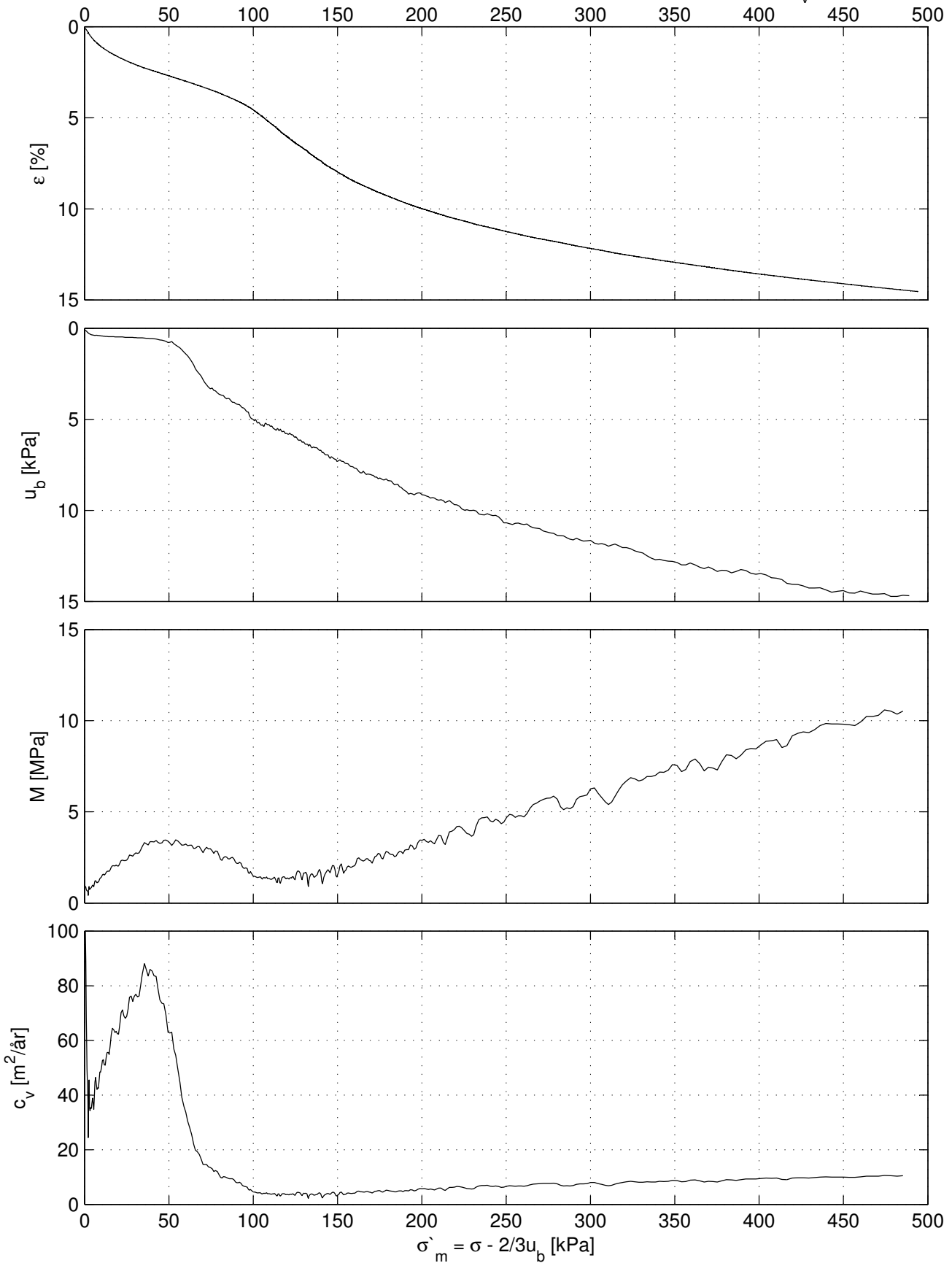


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS016

Dybde: 3.74 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 12.03.12
 Tøyningshastighet: 3 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 43.66 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 33.46 \%$
 $\gamma = 19.3 \text{ kN}/\text{m}^3$
 OCR = 2.29
 $\Delta e/e_o = 0.04$

$\sigma'_c = 100 \text{ kPa}$
 $M_{oc} = 3.3 \text{ MPa}$
 $m_{oc} = 26$
 $\sigma'_{ref} = 78 \text{ kPa}$
 $c_v = 80 \text{ m}^2/\text{år}$

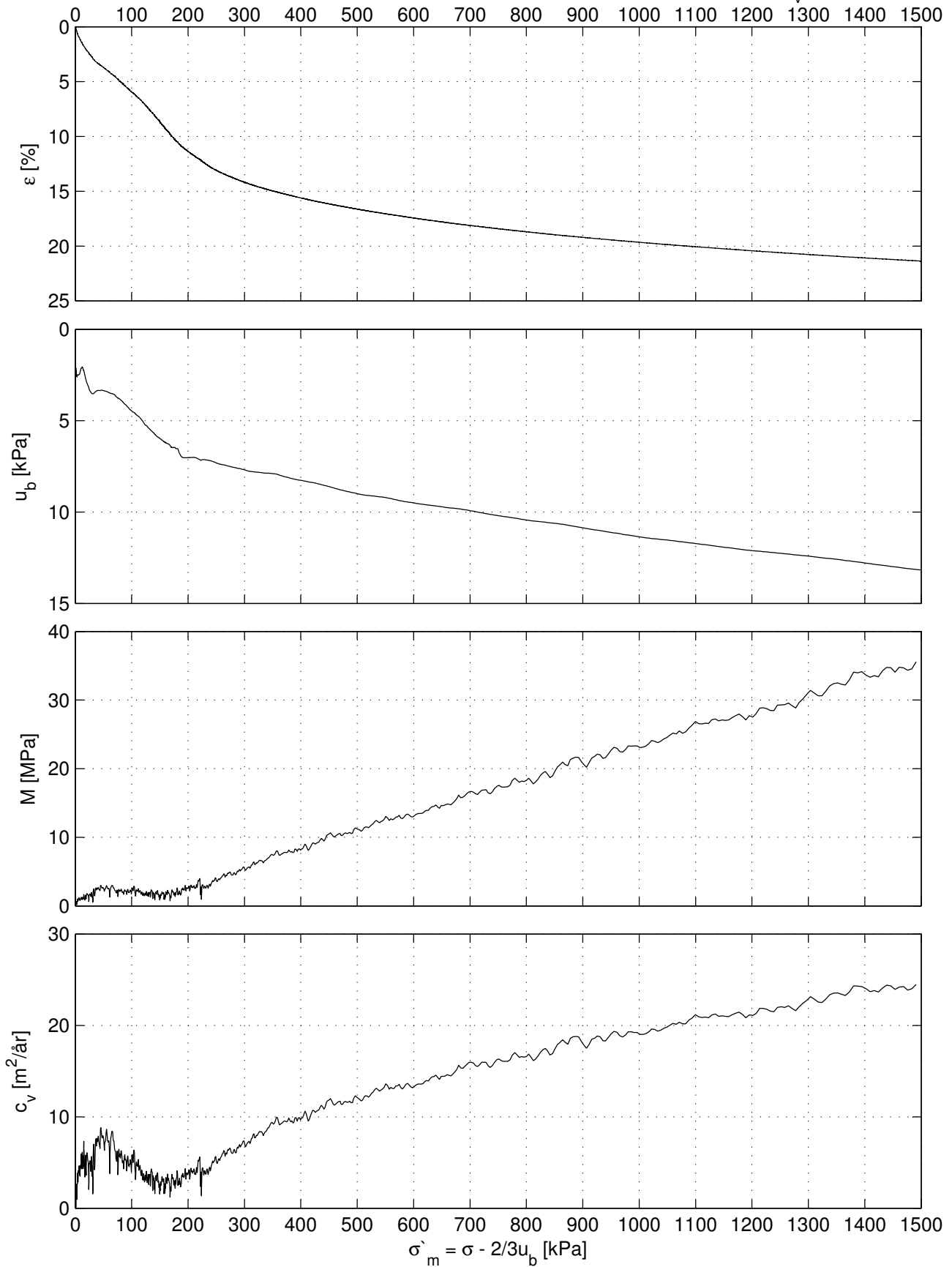


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS017

Dybde: 3.77 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 13.03.12
 Tøyningshastighet: 2 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 43.93 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 32.83 \%$
 $\gamma = 19.5 \text{ kN}/\text{m}^3$
 OCR = 3.64
 $\Delta e/e_o = 0.06$

$\sigma'_c = 160 \text{ kPa}$
 $M_{oc} = 2.0 \text{ MPa}$
 $m_{oc} = 26$
 $\sigma'_{ref} = 88 \text{ kPa}$
 $c_v = 6.0 \text{ m}^2/\text{år}$

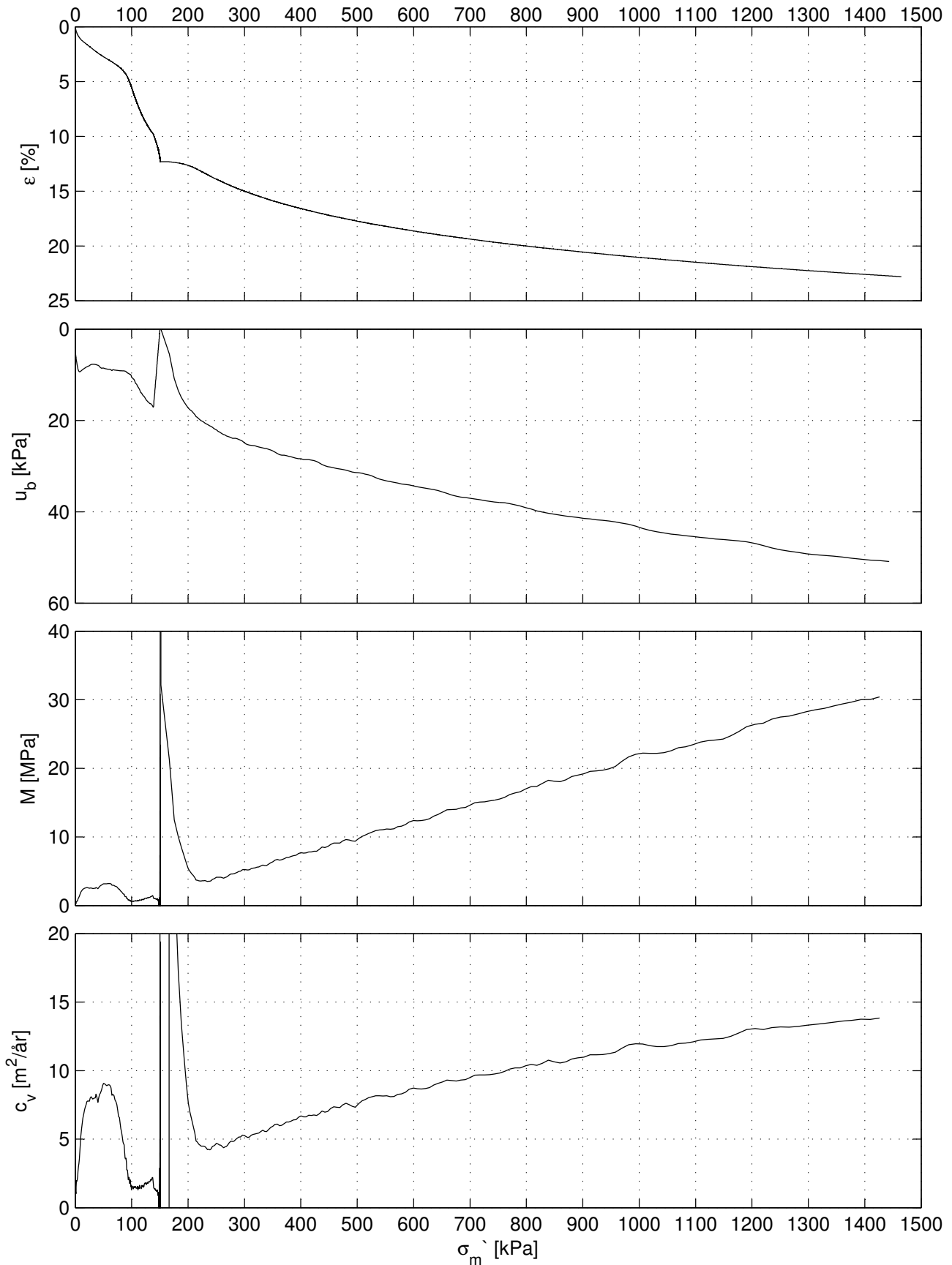


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS002, Kryptest A

Dybde: 3.96 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 20.01.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

σ'_{vo} = 45.64 kPa
 w = 37.15 %
 γ = 19.5 kN/m³
 OCR = 2.22
 $\Delta e/e_o$ = 0.05

M_{oc} = 2.5 MPa
 m_{oc} = 23
 c_v = 8.0 m²/år
 r_s = 625

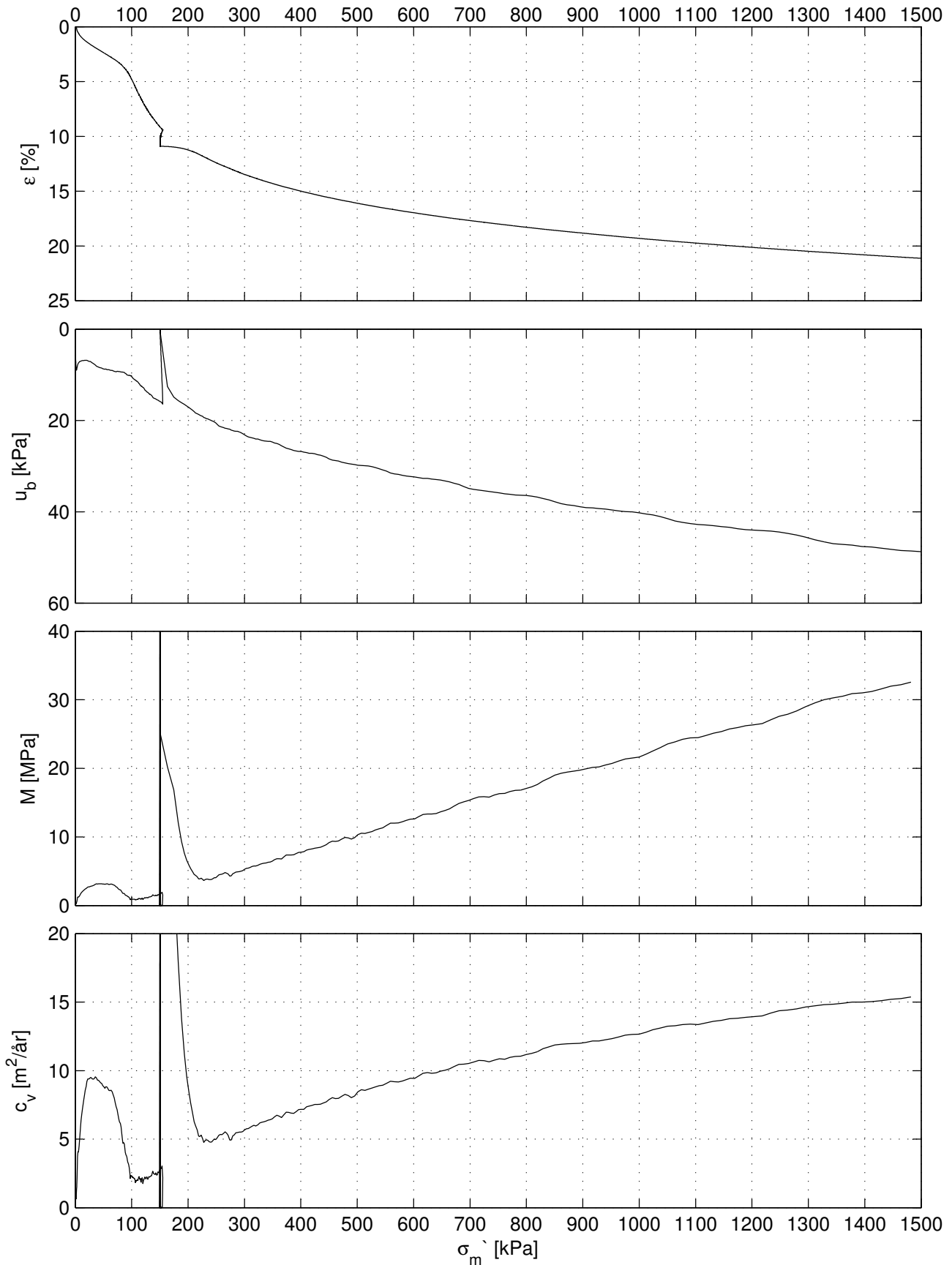


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS003, Kryptest B

Dybde: 3.99 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 25.01.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

σ'_{vo} = 45.91 kPa
 w_{vo} = 35.44 %
 γ = 19.5 kN/m³
 OCR = 2.21
 $\Delta e/e_o$ = 0.04

M_{oc} = 2.5 MPa
 m_{oc} = 23
 c_v = 8.0 m²/år
 r_s = 476

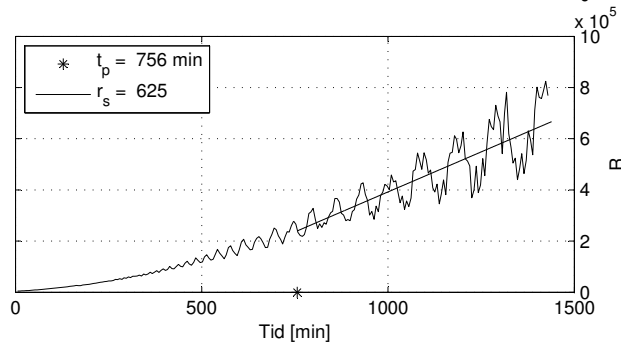
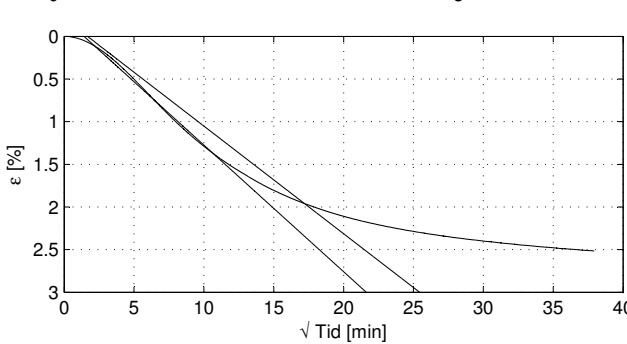
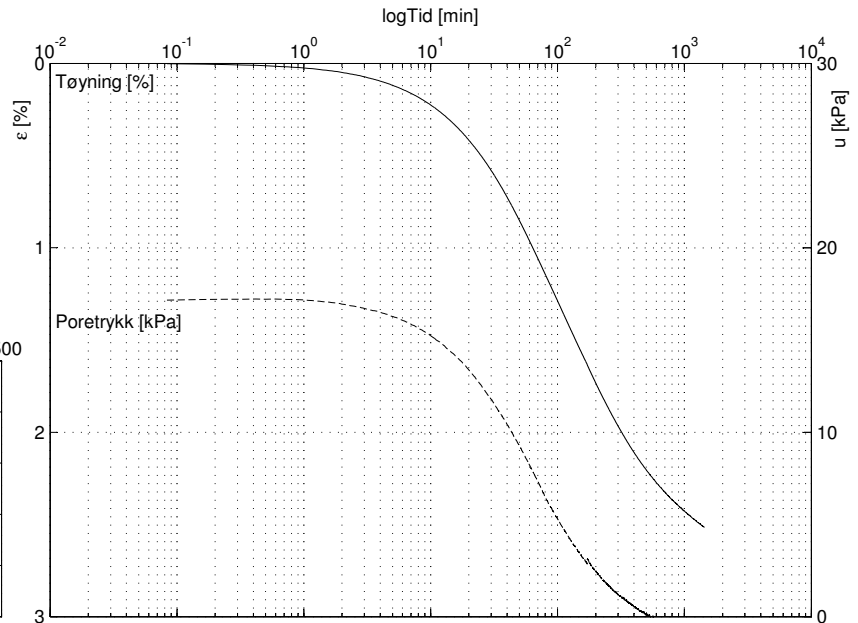
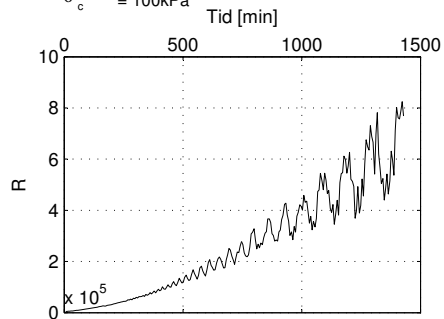


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS002,

Lasttrinn: $\sigma = 150$ kPa

Dybde: 3.96 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 20.01.12

$\sigma'_{vo} = 45.64$ kPa
 $w = 37.15\%$
 $\gamma = 19.5$ kN/m³
 OCR = 2.22
 $\sigma'_c = 100$ kPa

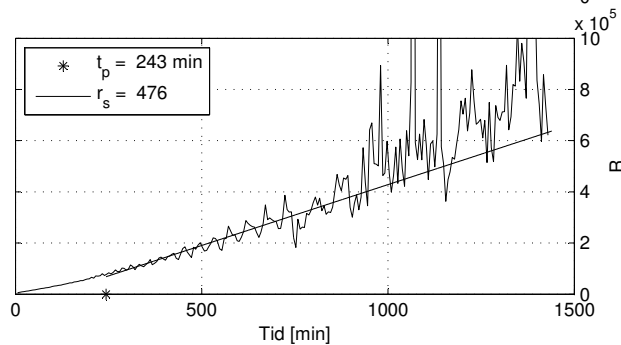
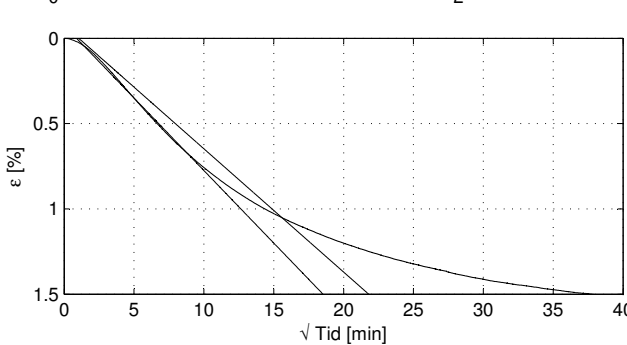
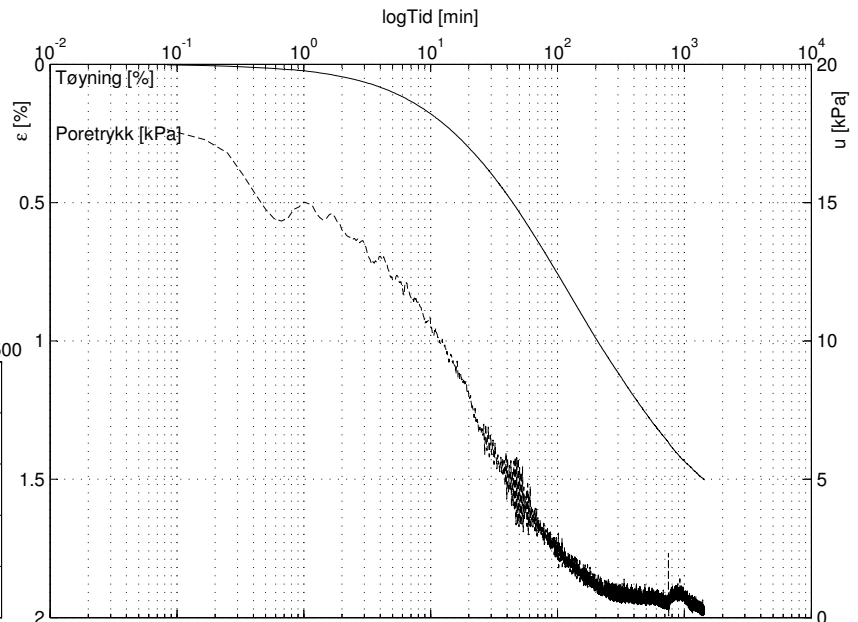
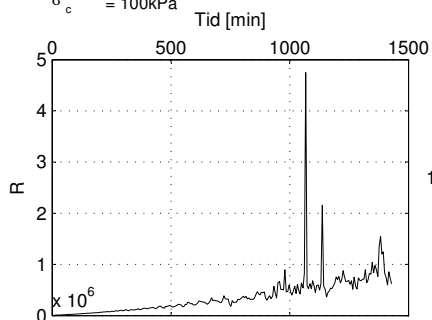


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS003

Lasttrinn: $\sigma = 150$ kPa

Dybde: 3.99 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 25.01.12

$\sigma'_{vo} = 45.91$ kPa
 $w = 35.44\%$
 $\gamma = 19.5$ kN/m³
 OCR = 2.21
 $\sigma'_c = 100$ kPa

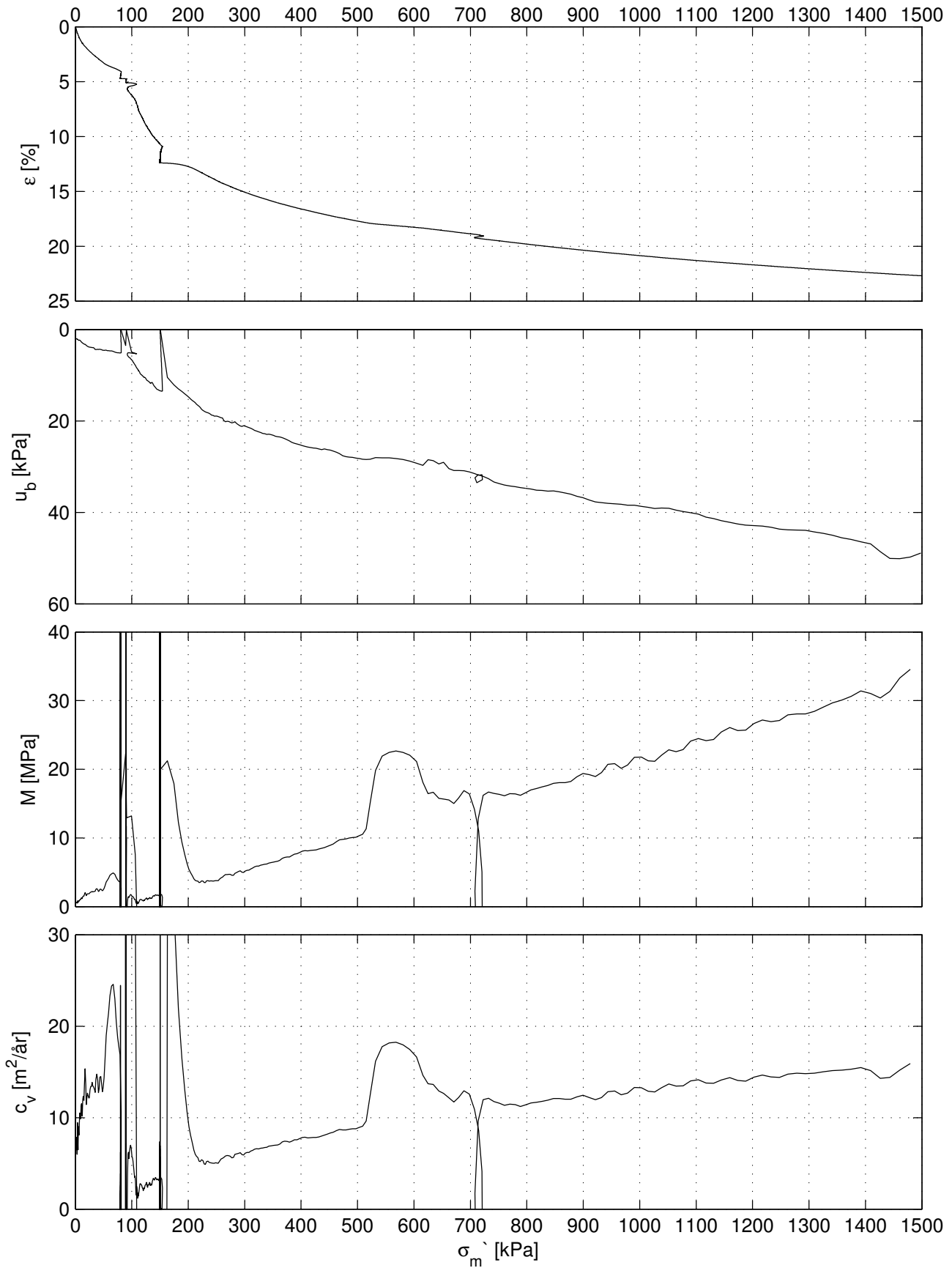


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS006, Trippelkryptest A

Dybde: 4.10 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 08.02.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 46.90 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 35.70 \%$
 $\gamma = 19.9 \text{ kN}/\text{m}^3$
 $\text{OCR} = 2.19$
 $\Delta e/e_o = 0.05$

$m = 22$
 $r_{s80} = 997$
 $r_{s90} = 764$
 $r_{s150} = 437$

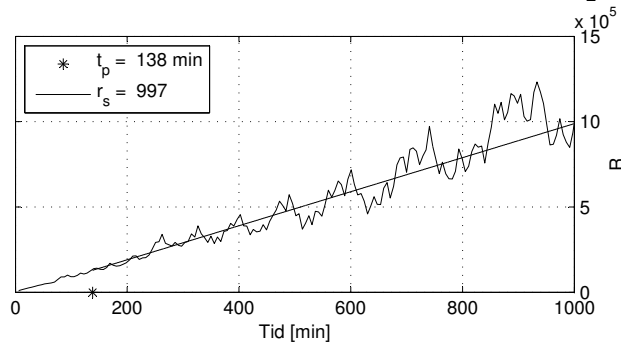
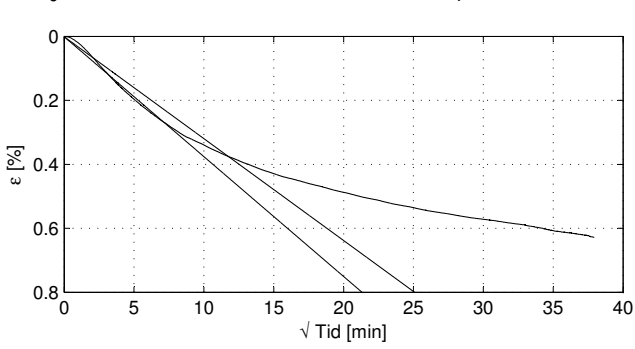
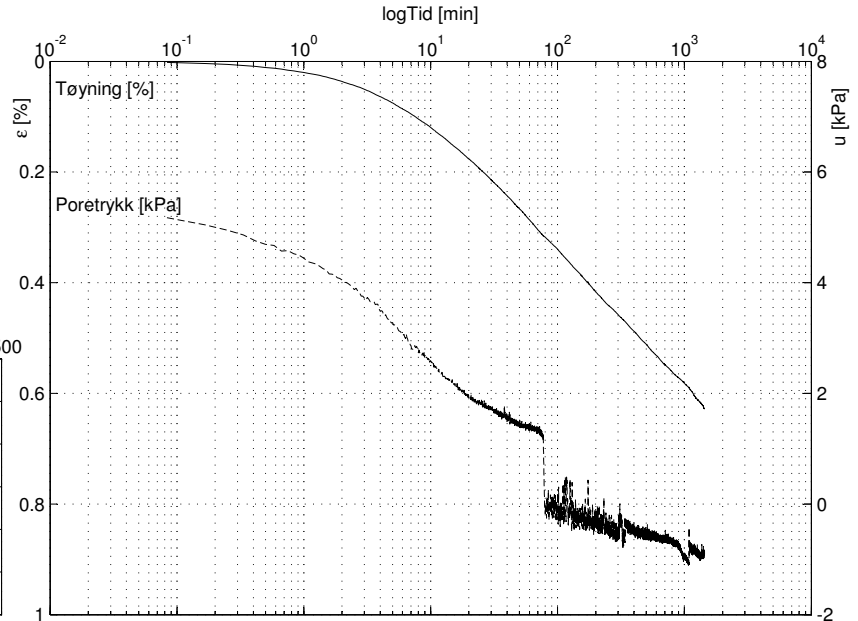
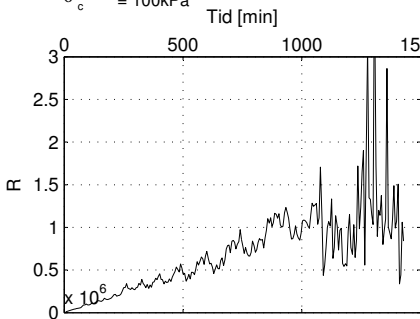


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS006

Lasttrinn: 80 kPa

Dybde: 4.10 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 08.02.12

σ'_{vo} = 46.90kPa
 w = 35.70%
 γ = 19.9kN/m³
 OCR = 2.19
 σ'_c = 100kPa

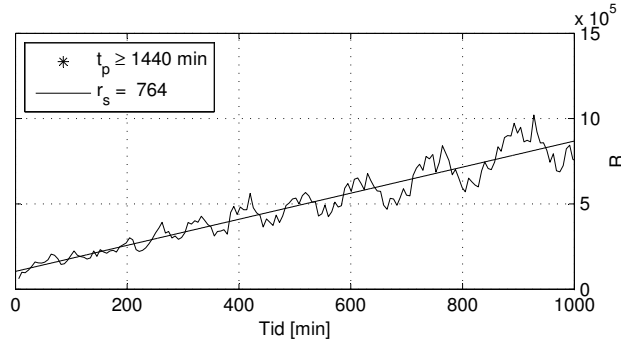
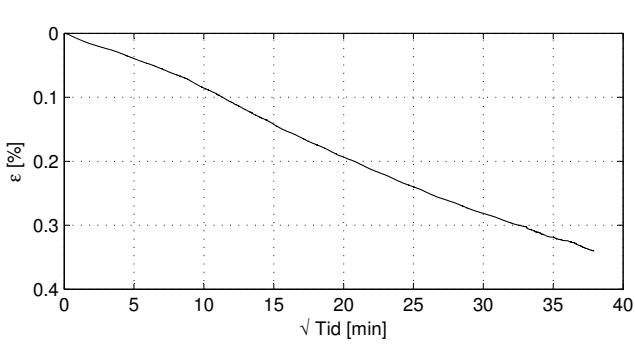
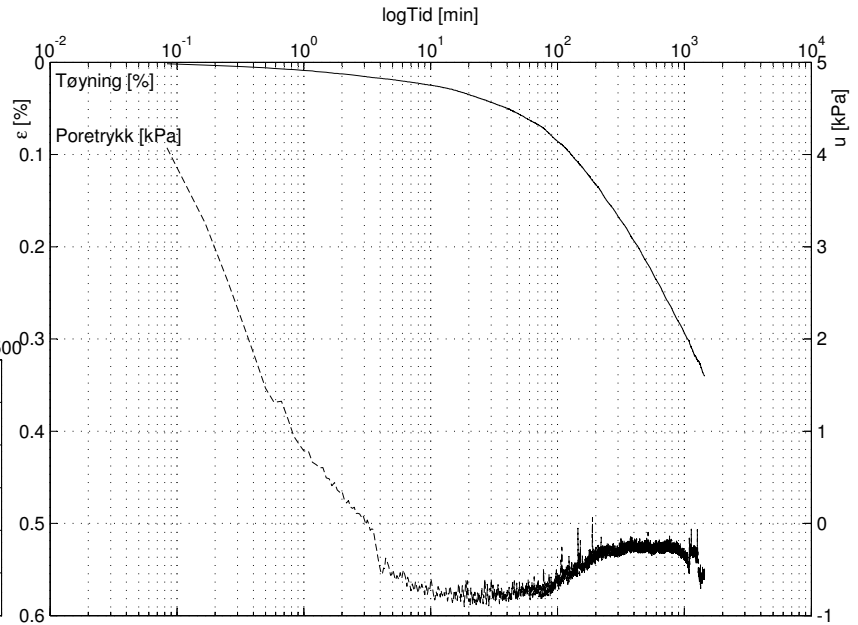
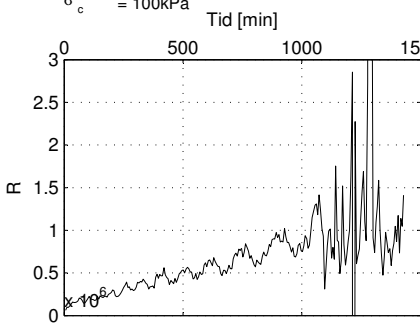


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS006

Lasttrinn: 90 kPa

Dybde: 4.10 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 08.02.12

σ'_{vo} = 46.90kPa
 w = 35.70%
 γ = 19.9kN/m³
 OCR = 2.19
 σ'_c = 100kPa

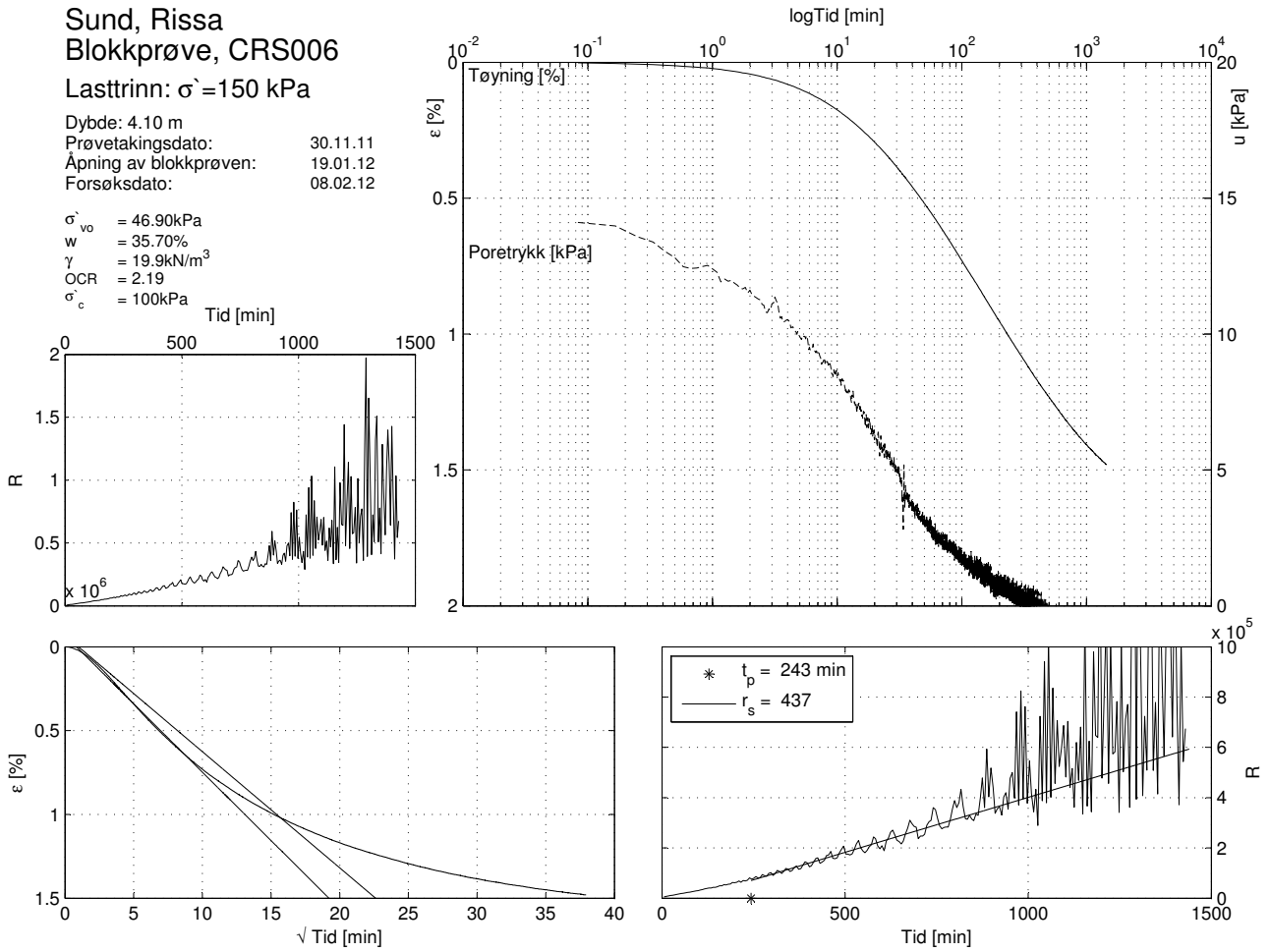


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS006

Lasttrinn: $\sigma' = 150$ kPa

Dybde: 4.10 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 08.02.12

σ'_{vo} = 46.90 kPa
 w = 35.70%
 γ = 19.9 kN/m³
 OCR = 2.19
 σ'_c = 100 kPa

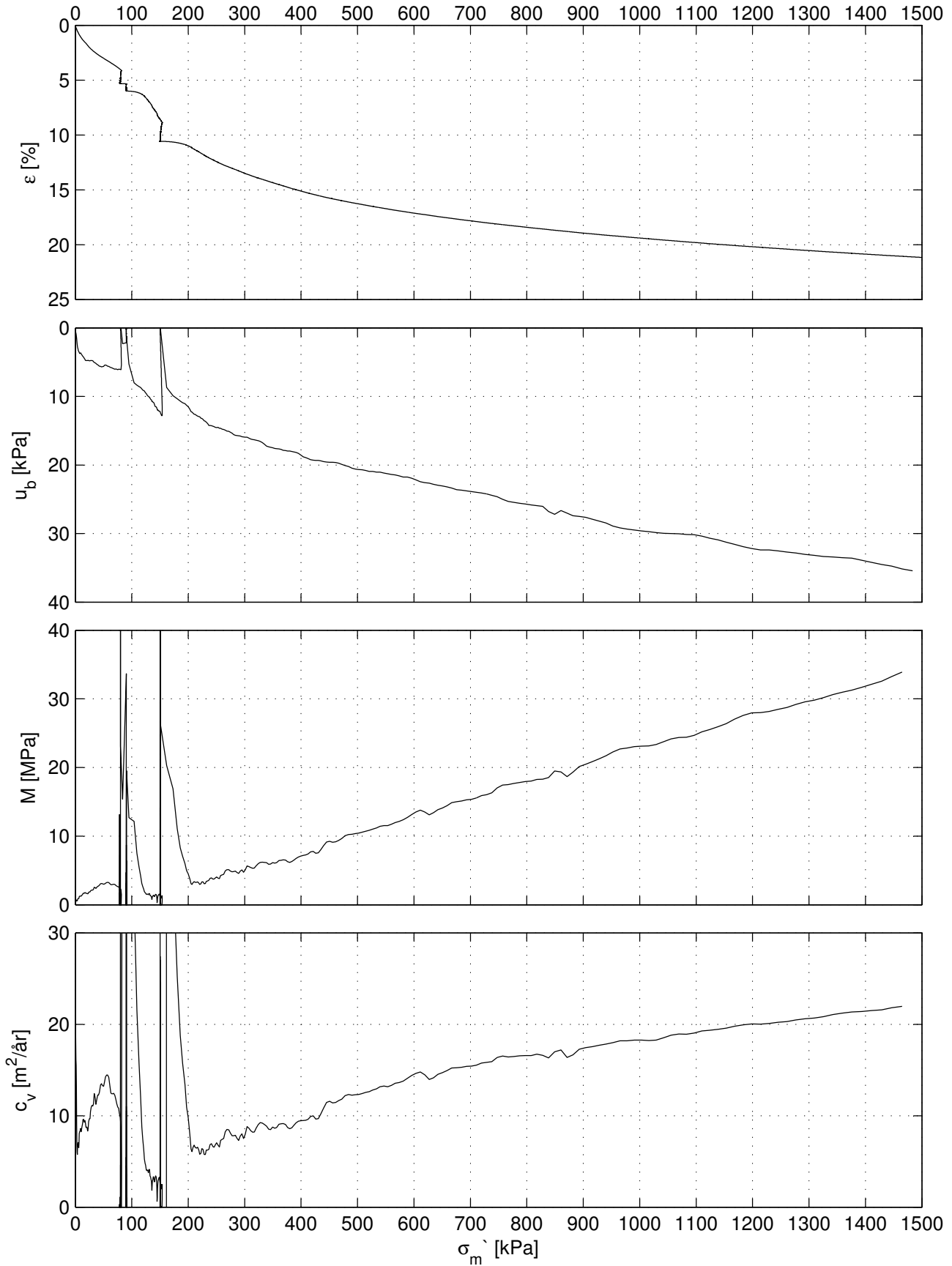


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS010, Trippelkryptest B

Dybde: 3.64 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 17.02.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

σ'_{vo} = 42.76 kPa
 w_{vo} = 35.46 %
 γ = 19.4 kN/m³
 OCR = 2.29
 $\Delta e/e_o$ = 0.05

m = 25
 r_{s80} = 458
 r_{s90} = 284
 r_{s150} = 338

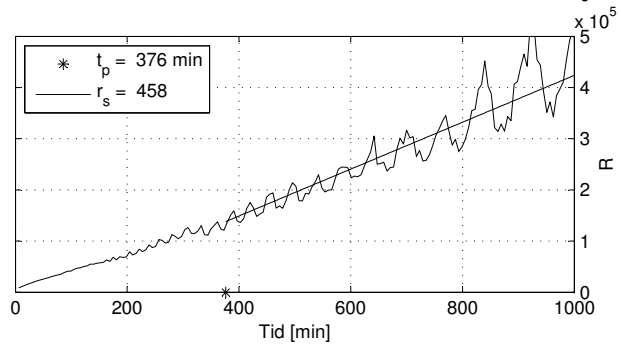
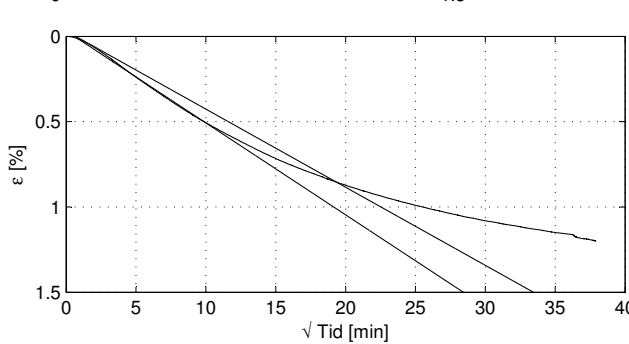
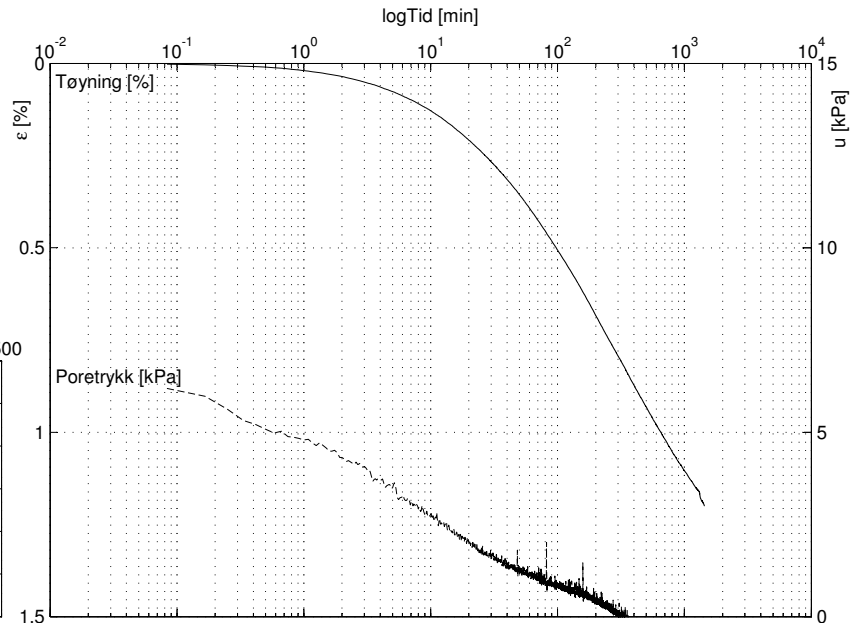
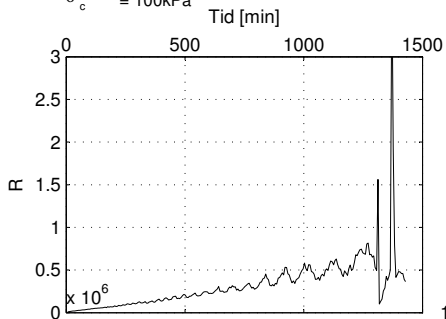


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS010

Lasttrinn: 80 kPa

Dybde: 3.64 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 17.02.12

σ'_{vo} = 42.76 kPa
 w = 35.46%
 γ = 19.4 kN/m³
 OCR = 2.29
 σ'_c = 100 kPa

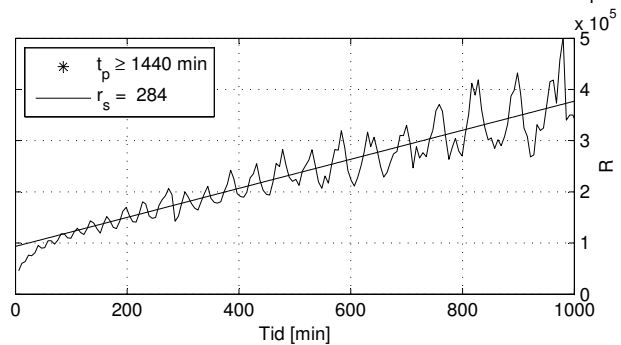
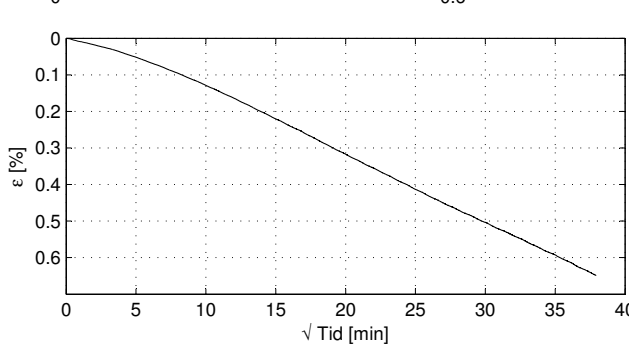
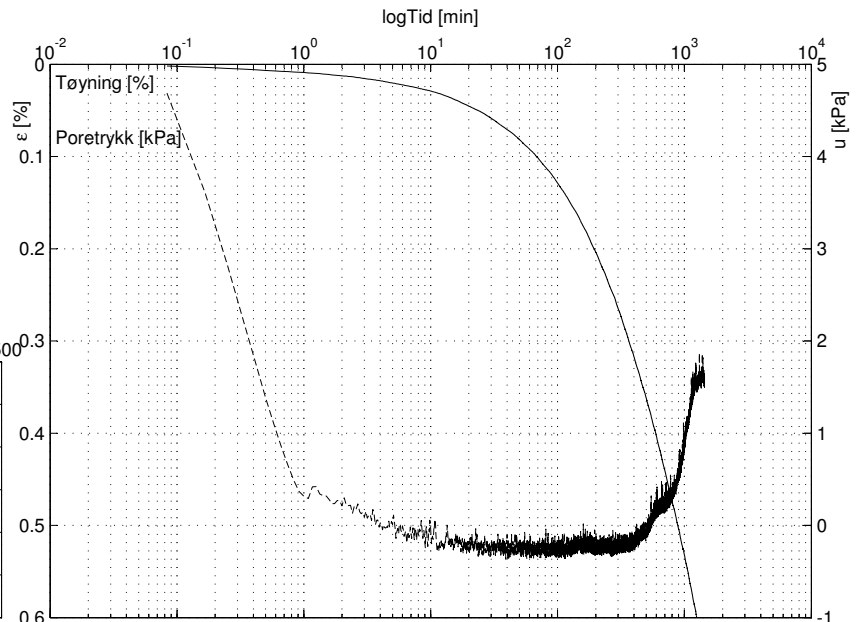
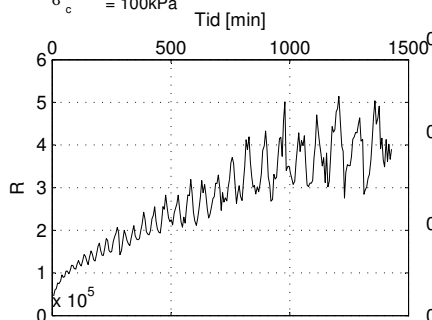


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS010

Lasttrinn: 90 kPa

Dybde: 3.64 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 17.02.12

σ'_{vo} = 42.76 kPa
 w = 35.46%
 γ = 19.4 kN/m³
 OCR = 2.29
 σ'_c = 100 kPa

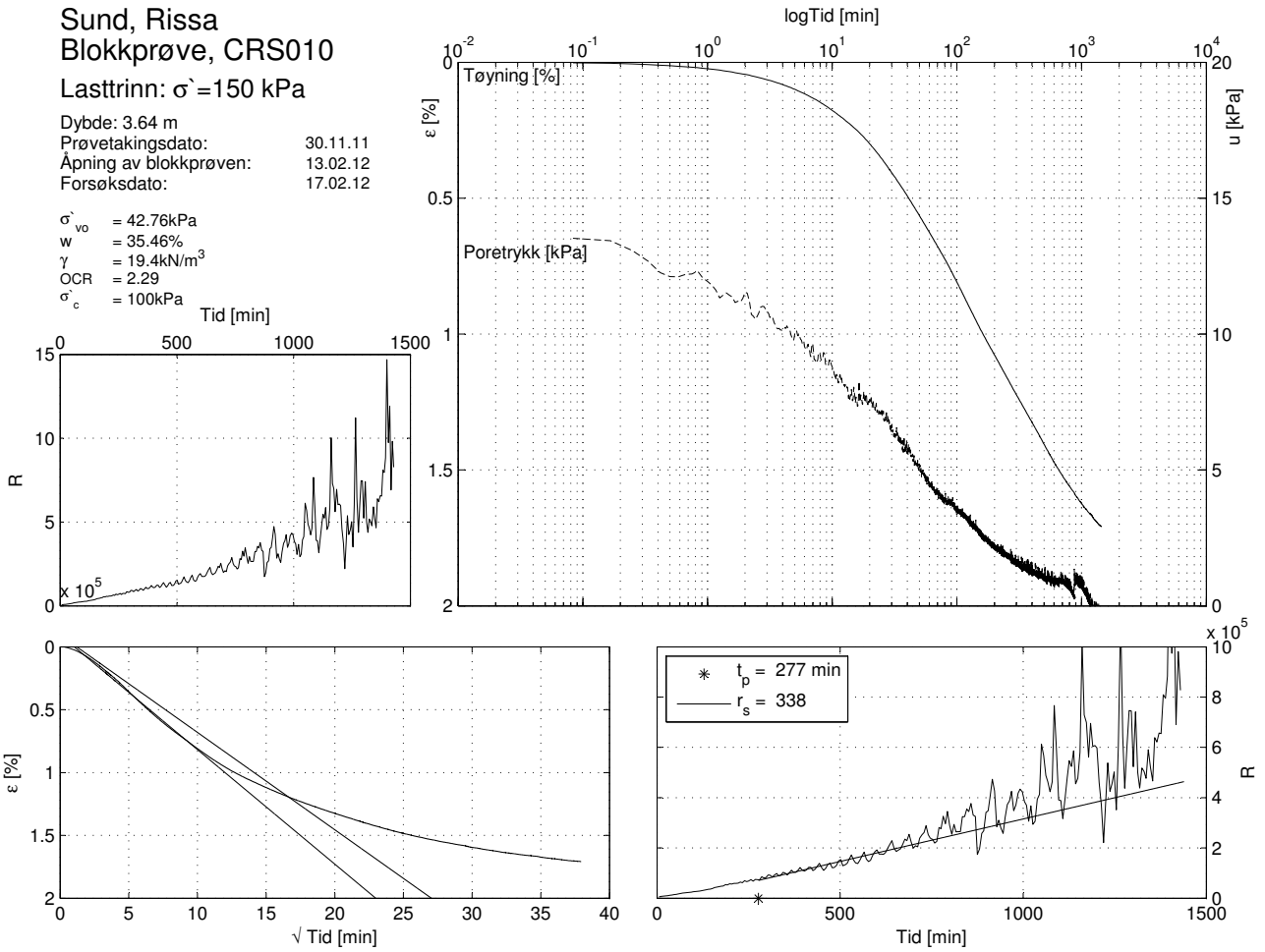


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS010

Lasttrinn: $\sigma' = 150$ kPa

Dybde: 3.64 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 17.02.12

$\sigma'_{vo} = 42.76$ kPa
 $w = 35.46\%$
 $\gamma = 19.4$ kN/m³
 OCR = 2.29
 $\sigma'_c = 100$ kPa

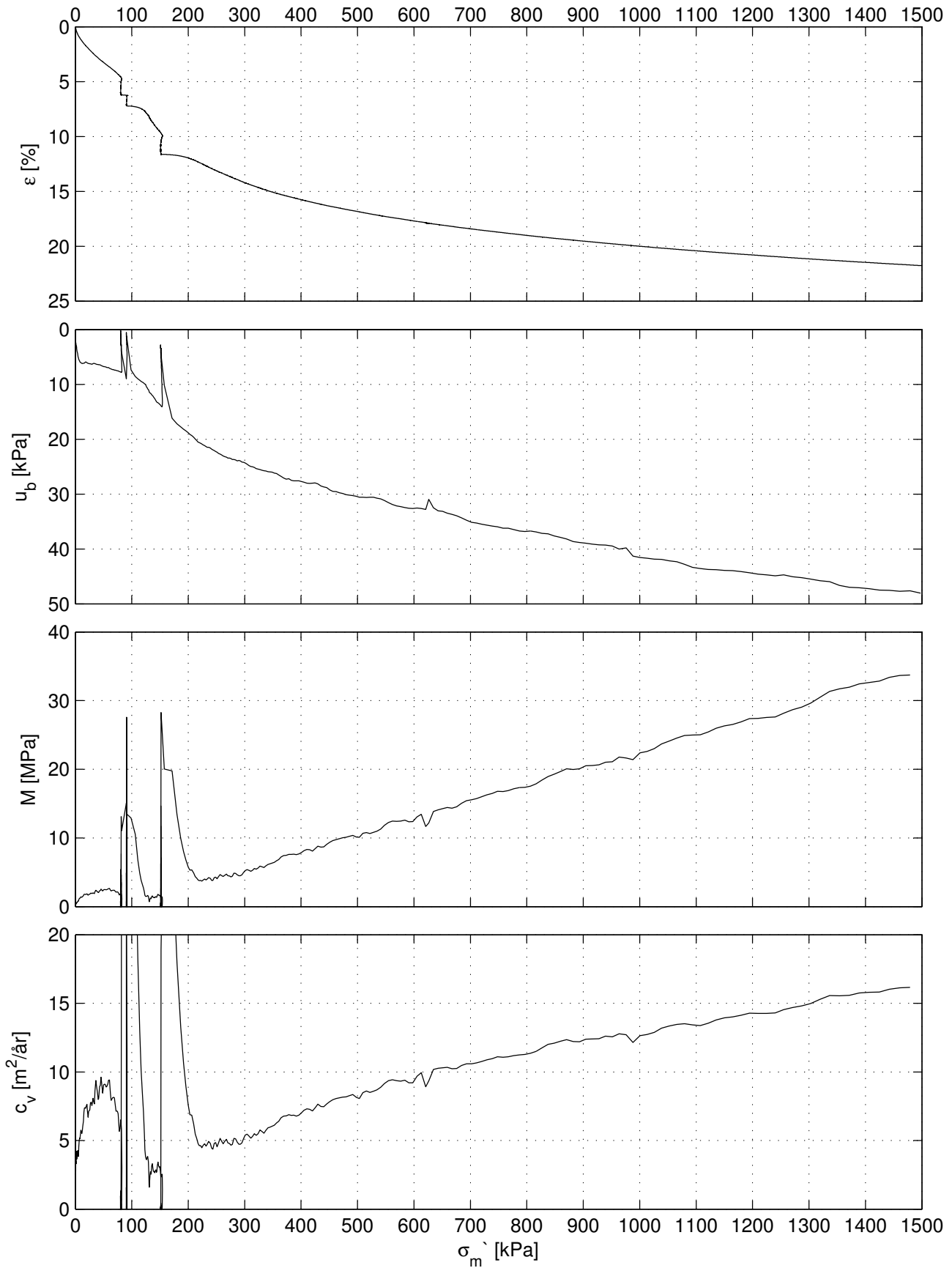


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS012, Trippelkryptest C

Dybde: 3.62 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 22.02.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 42.58 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 33.27 \%$
 $\gamma = 19.4 \text{ kN}/\text{m}^3$
 $\text{OCR} = 2.29$
 $\Delta e/e_o = 0.05$

$m = 24$
 $r_{s80} = 279$
 $r_{s90} = 260$
 $r_{s150} = 349$

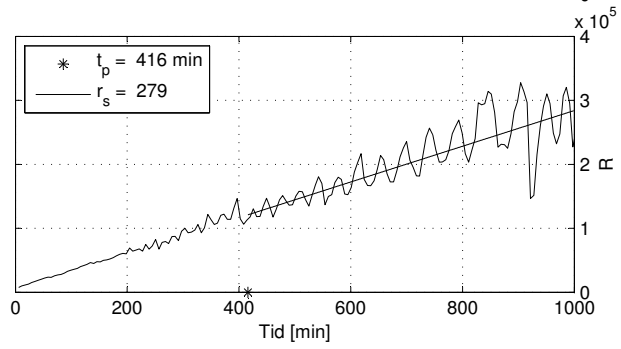
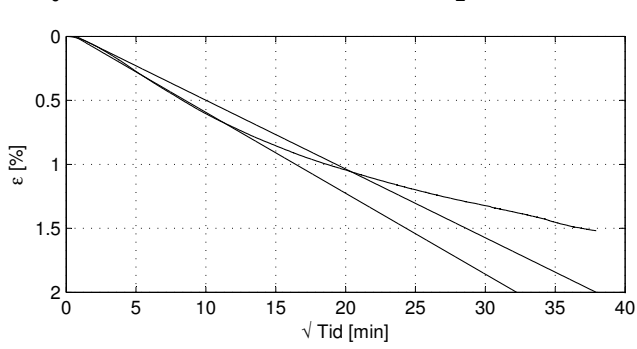
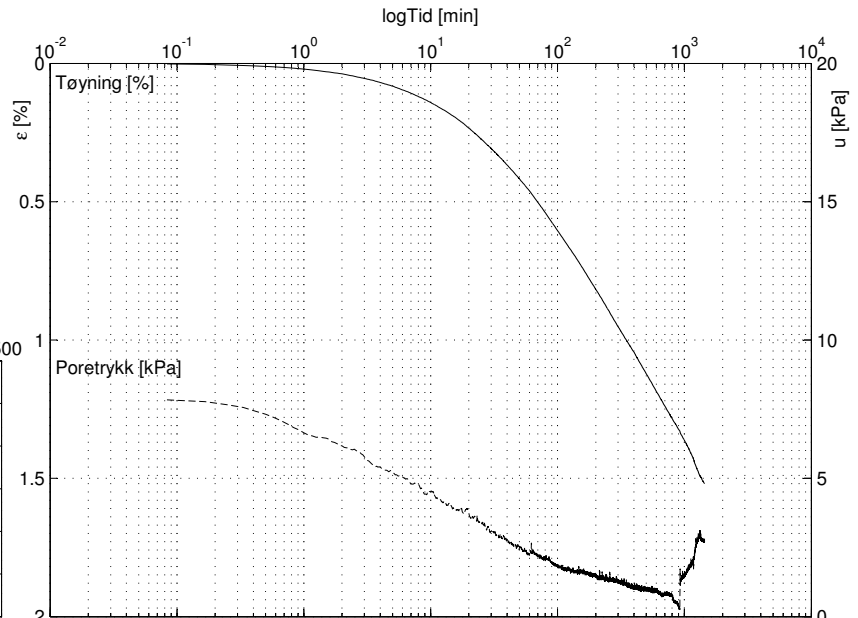
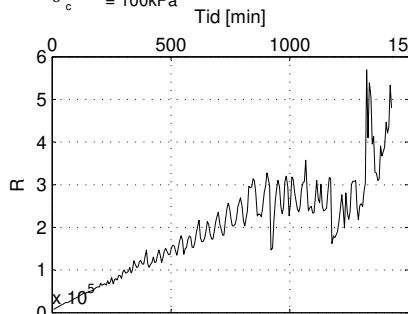


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS012

Lasttrinn: 80 kPa

Dybde: 3.62 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 22.02.12

σ'_{vo} = 42.58kPa
 w = 33.27%
 γ = 19.4kN/m³
 OCR = 2.29
 σ'_c = 100kPa

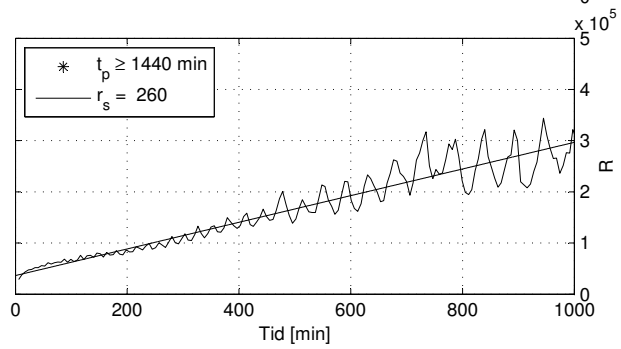
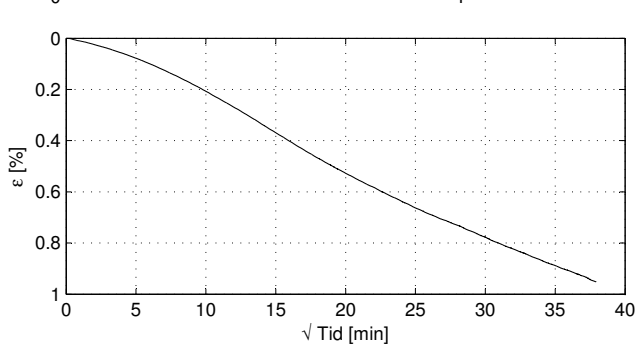
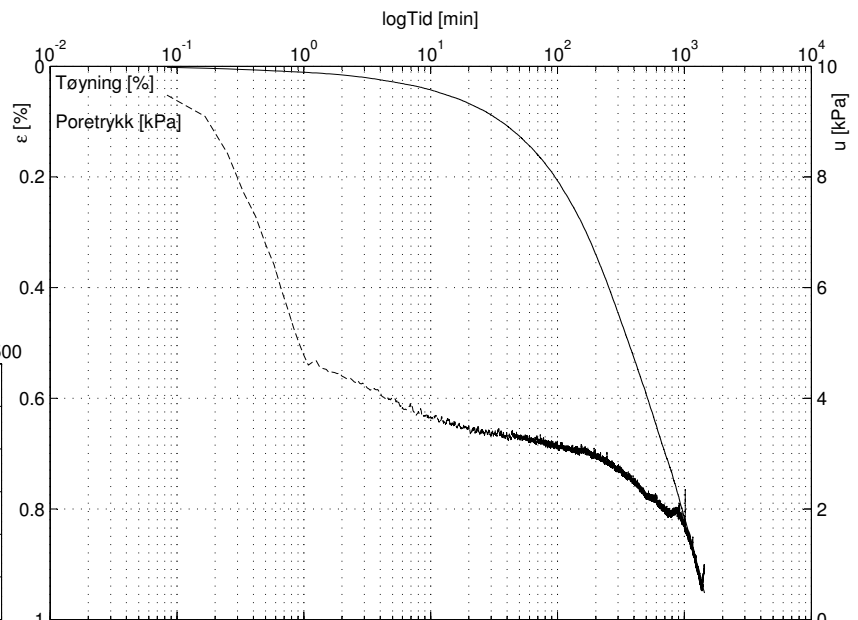
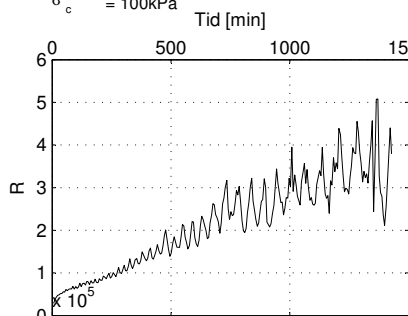


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS012

Lasttrinn: 90 kPa

Dybde: 3.62 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 22.02.12

σ'_{vo} = 42.58kPa
 w = 33.27%
 γ = 19.4kN/m³
 OCR = 2.29
 σ'_c = 100kPa

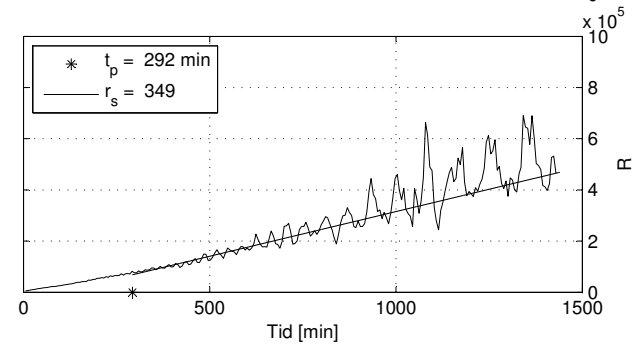
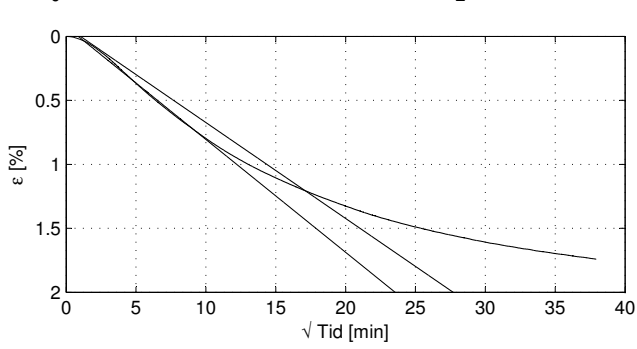
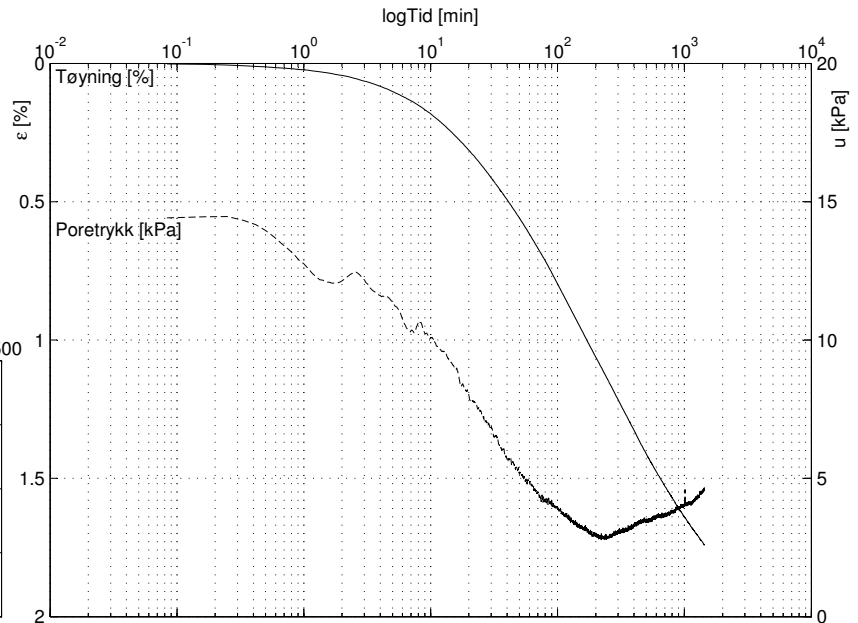
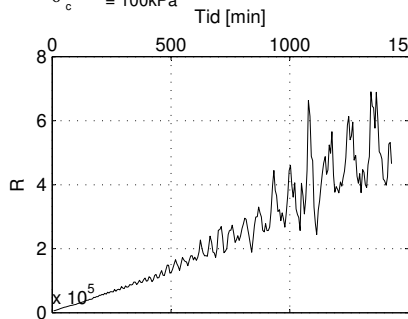


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS012

Lasttrinn: $\sigma' = 150$ kPa

Dybde: 3.62 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 22.02.12

σ'_{vo} = 42.58 kPa
 w = 33.27%
 γ = 19.4 kN/m³
 OCR = 2.29
 σ'_c = 100 kPa

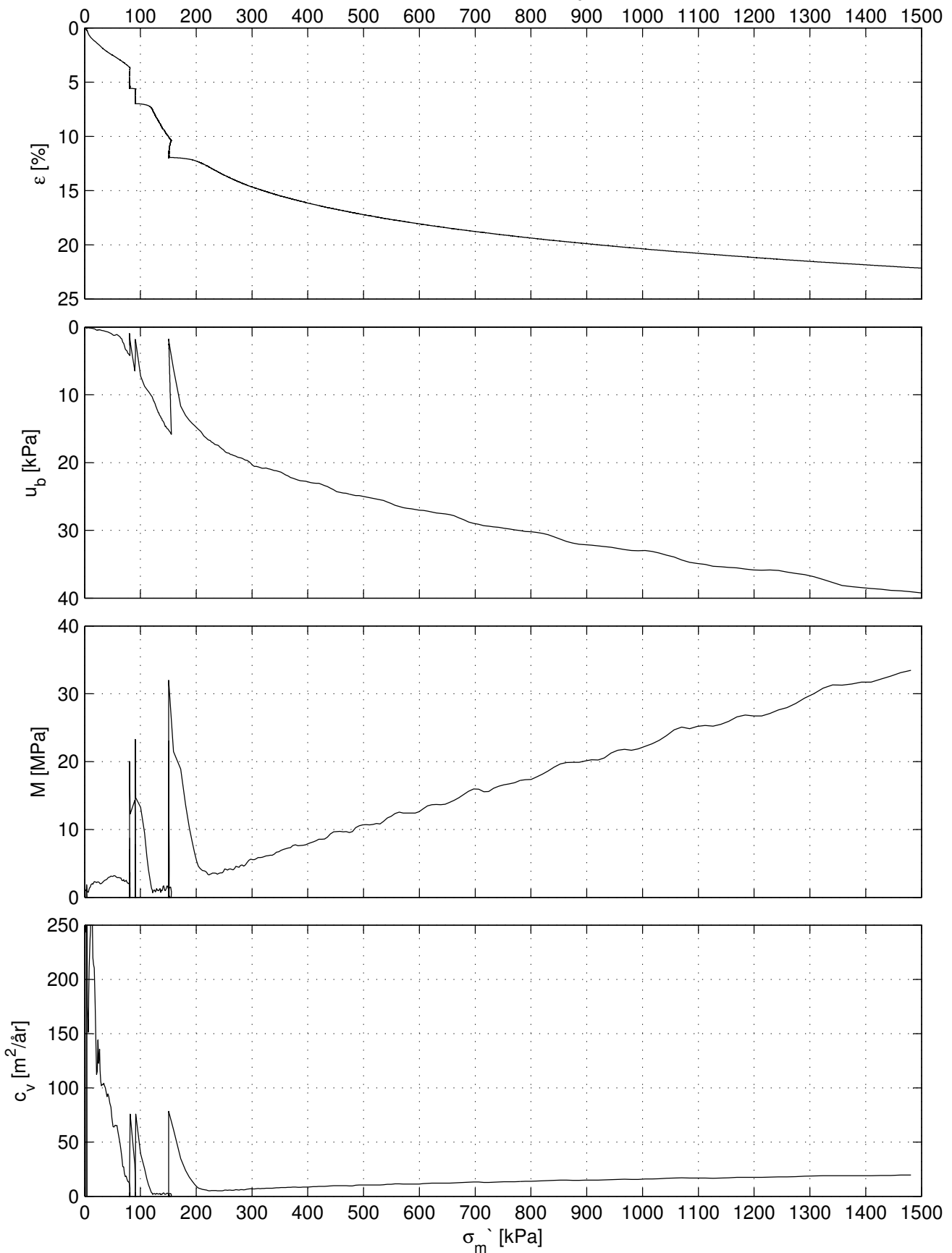


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS020, Trippelkryptest D

Dybde: 4.37 m
Prøvetakingsdato: 30.11.11
Åpning av blokkprøven: 12.03.12
Forsøksdato: 20.03.12
Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 49.33 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 37.00 \%$
 $\gamma = 19.3 \text{ kN}/\text{m}^3$
OCR = 2.14
 $\Delta e/e_o = 0.05$

m = 24
 $r_{s80} = 286$
 $r_{s90} = 161$
 $r_{s150} = 437$

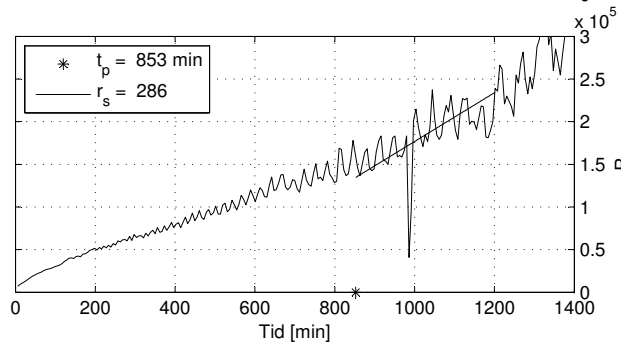
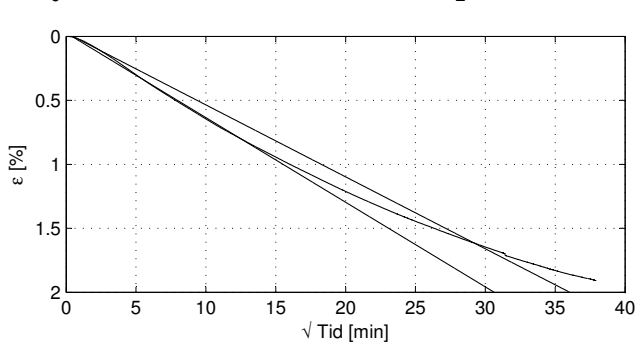
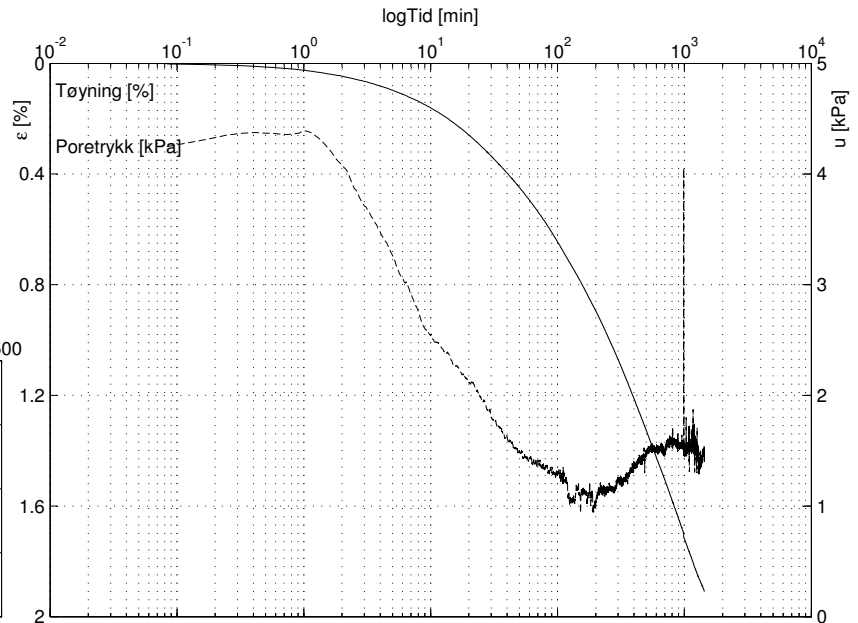
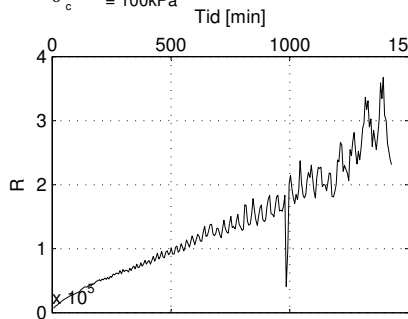


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS020

Lasttrinn: 80 kPa

Dybde: 4.37 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 20.03.12

σ'_{vo} = 49.33kPa
 w = 37.00%
 γ = 19.3kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

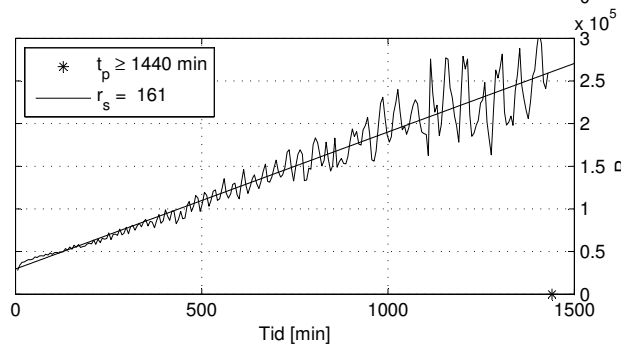
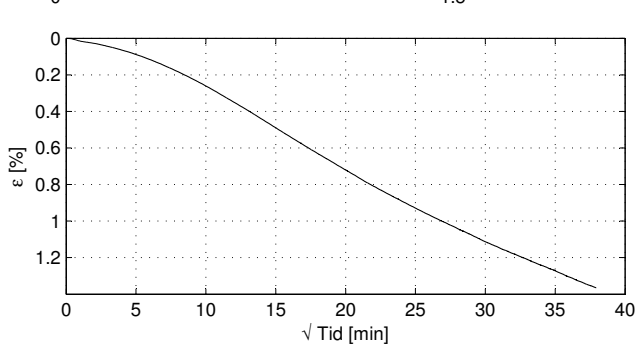
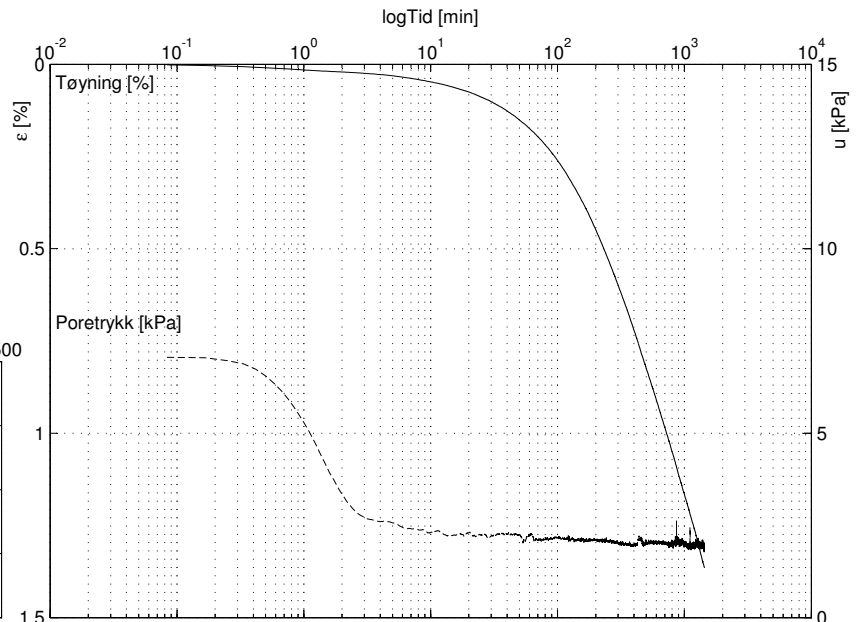
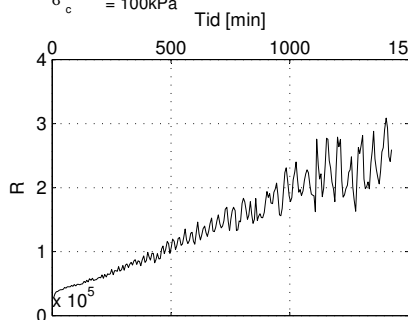


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS020

Lasttrinn: 90 kPa

Dybde: 4.37 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 20.03.12

σ'_{vo} = 49.33kPa
 w = 37.00%
 γ = 19.3kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

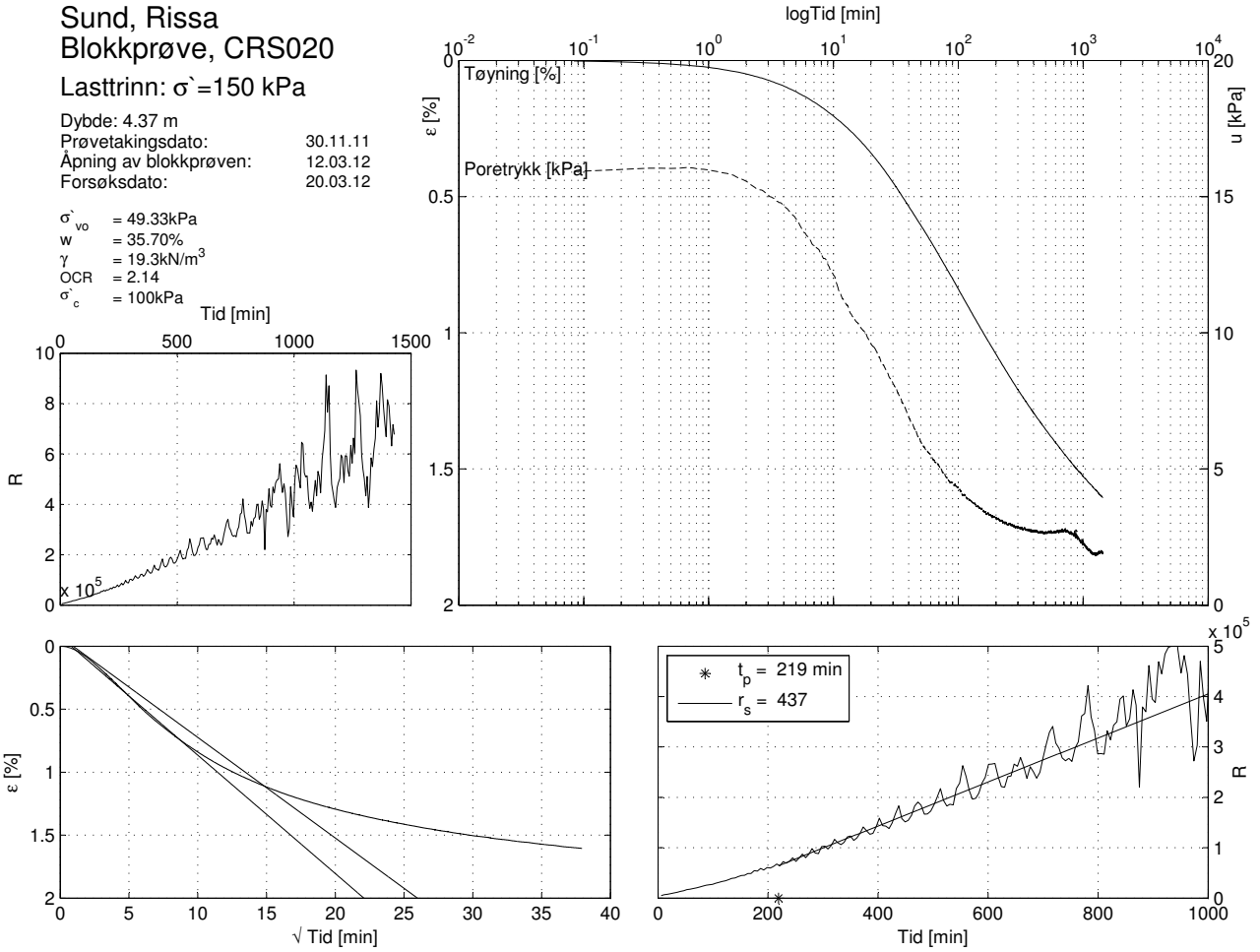


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS020

Lasttrinn: $\sigma' = 150$ kPa

Dybde: 4.37 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 20.03.12

σ'_{vo} = 49.33 kPa
 w = 35.70%
 γ = 19.3 kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100 kPa

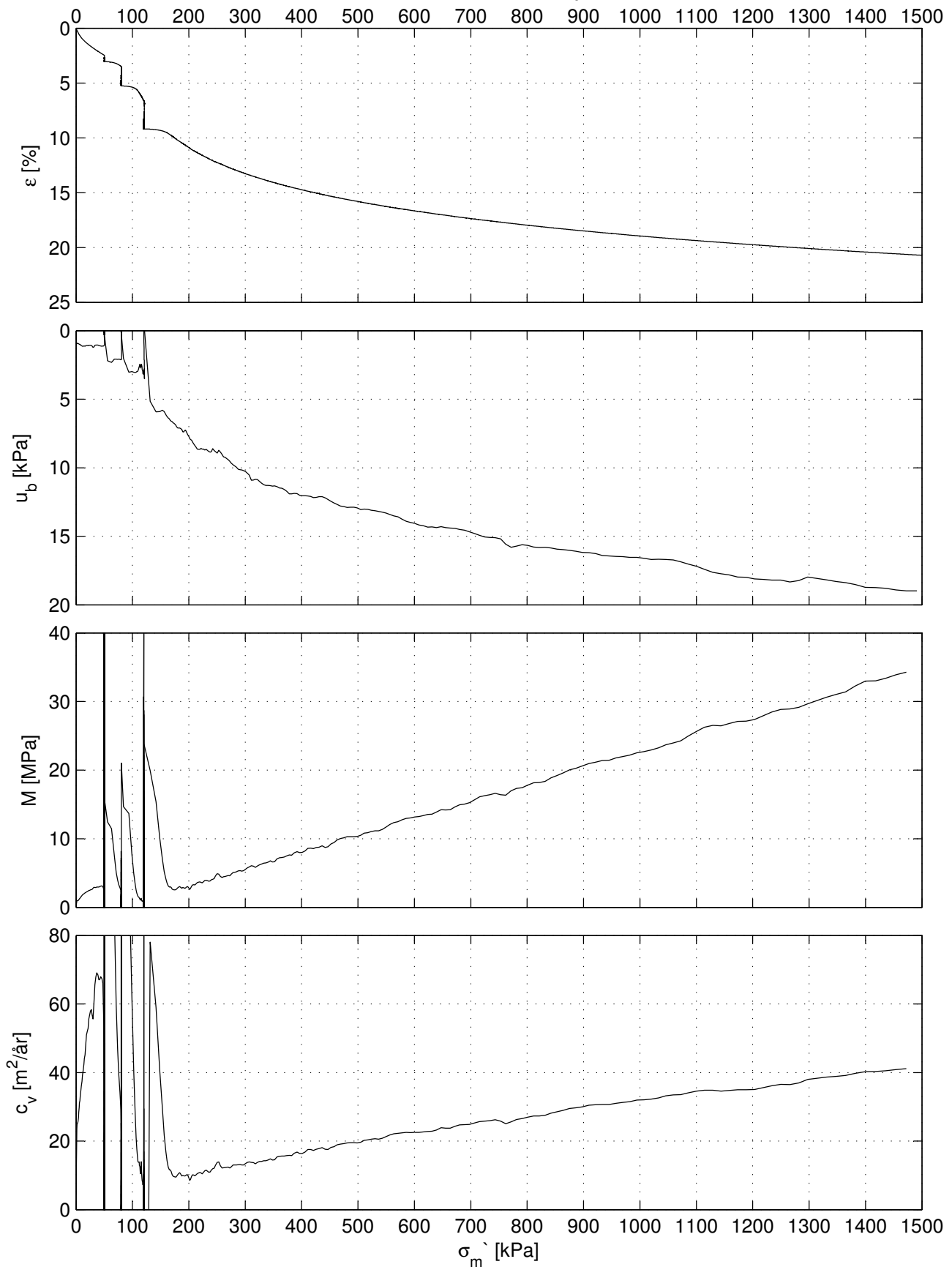


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS018, Trippelkryptest E

Dybde: 3.80 m
Prøvetakingsdato: 30.11.11
Åpning av blokkprøven: 12.03.12
Forsøksdato: 15.03.12
Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 44.20 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 31.67 \%$
 $\gamma = 19.6 \text{ kN}/\text{m}^3$
OCR = 2.25
 $\Delta e/e_o = 0.04$

$m = 24$
 $r_{s50} = 1299$
 $r_{s80} = 226$
 $r_{s120} = 239$

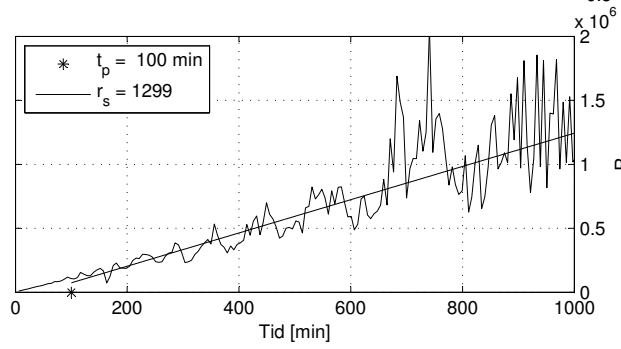
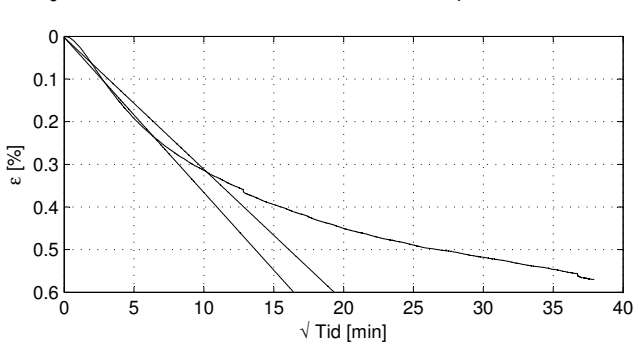
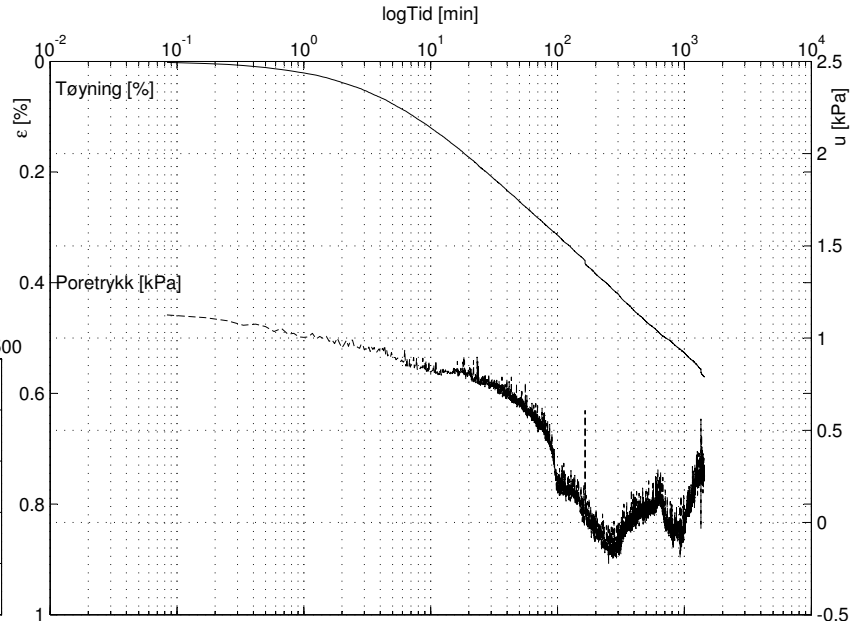
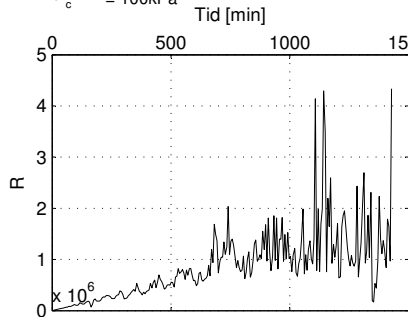


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS018

Lasttrinn: 50 kPa

Dybde: 3.80 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 15.03.12

σ'_{vo} = 44.20kPa
 w = 31.67%
 γ = 19.6kN/m³
 OCR = 2.25
 σ'_c = 100kPa

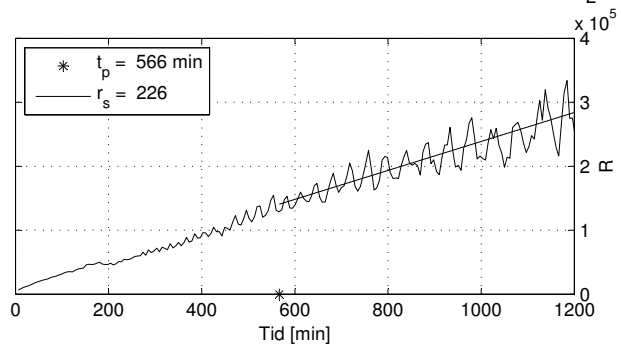
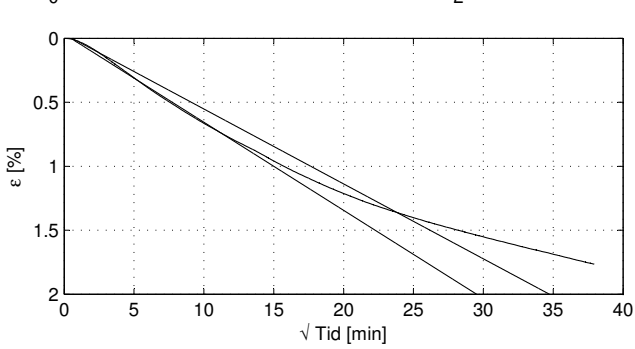
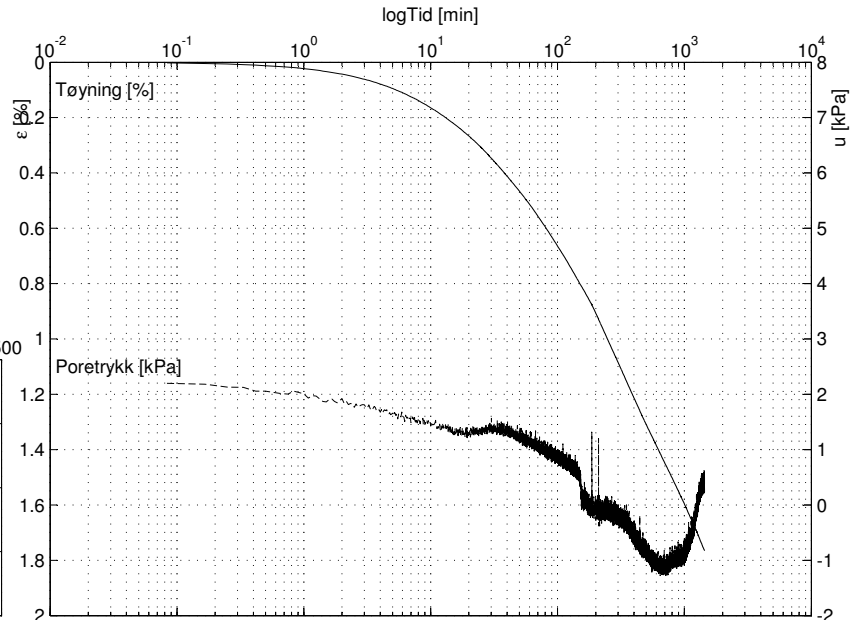
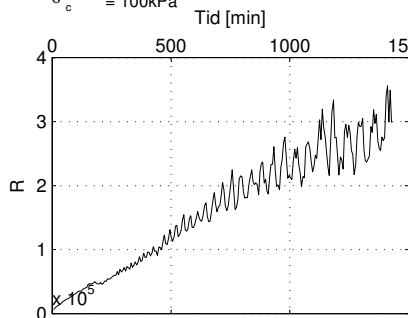


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS018

Lasttrinn: 80 kPa

Dybde: 3.80 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 15.03.12

σ'_{vo} = 44.20kPa
 w = 31.67%
 γ = 19.6kN/m³
 OCR = 2.25
 σ'_c = 100kPa

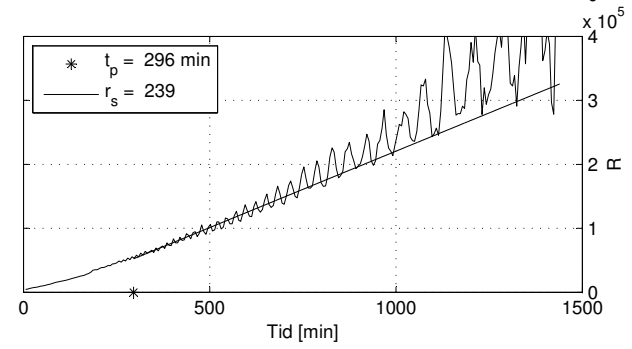
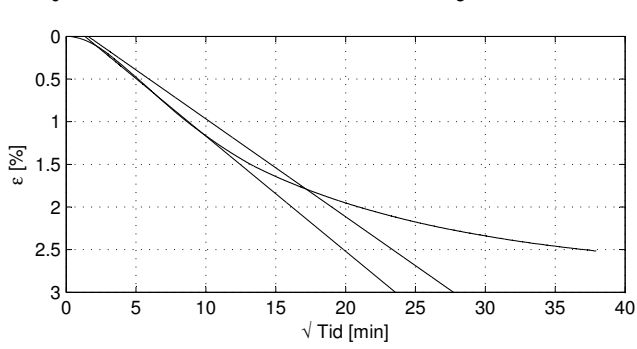
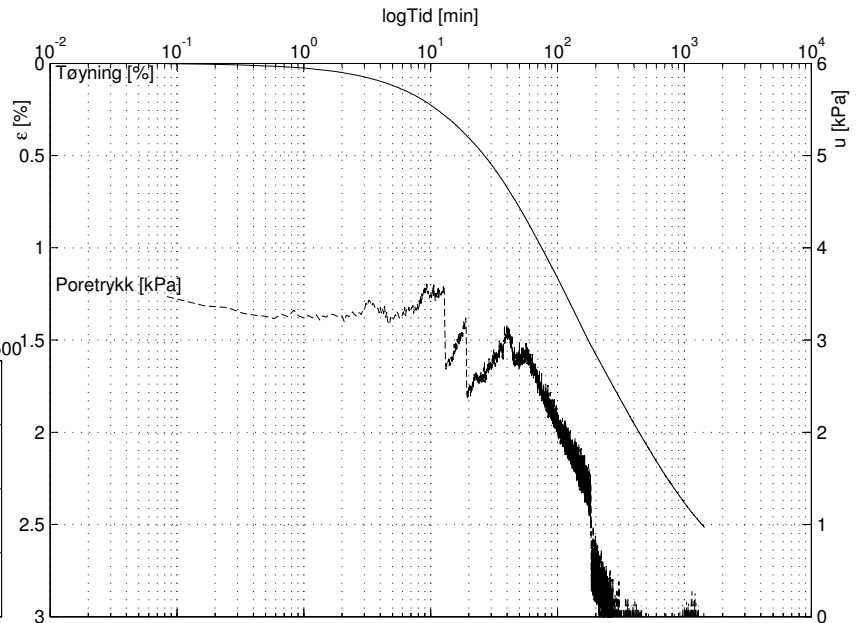
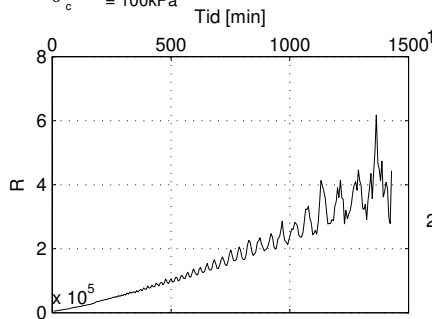


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS018

Lasttrinn: $\sigma' = 120$ kPa

Dybde: 3.80 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 15.03.12

$\sigma'_{vo} = 44.20$ kPa
 $w = 35.70\%$
 $\gamma = 19.6$ kN/m³
 OCR = 2.25
 $\sigma'_c = 100$ kPa

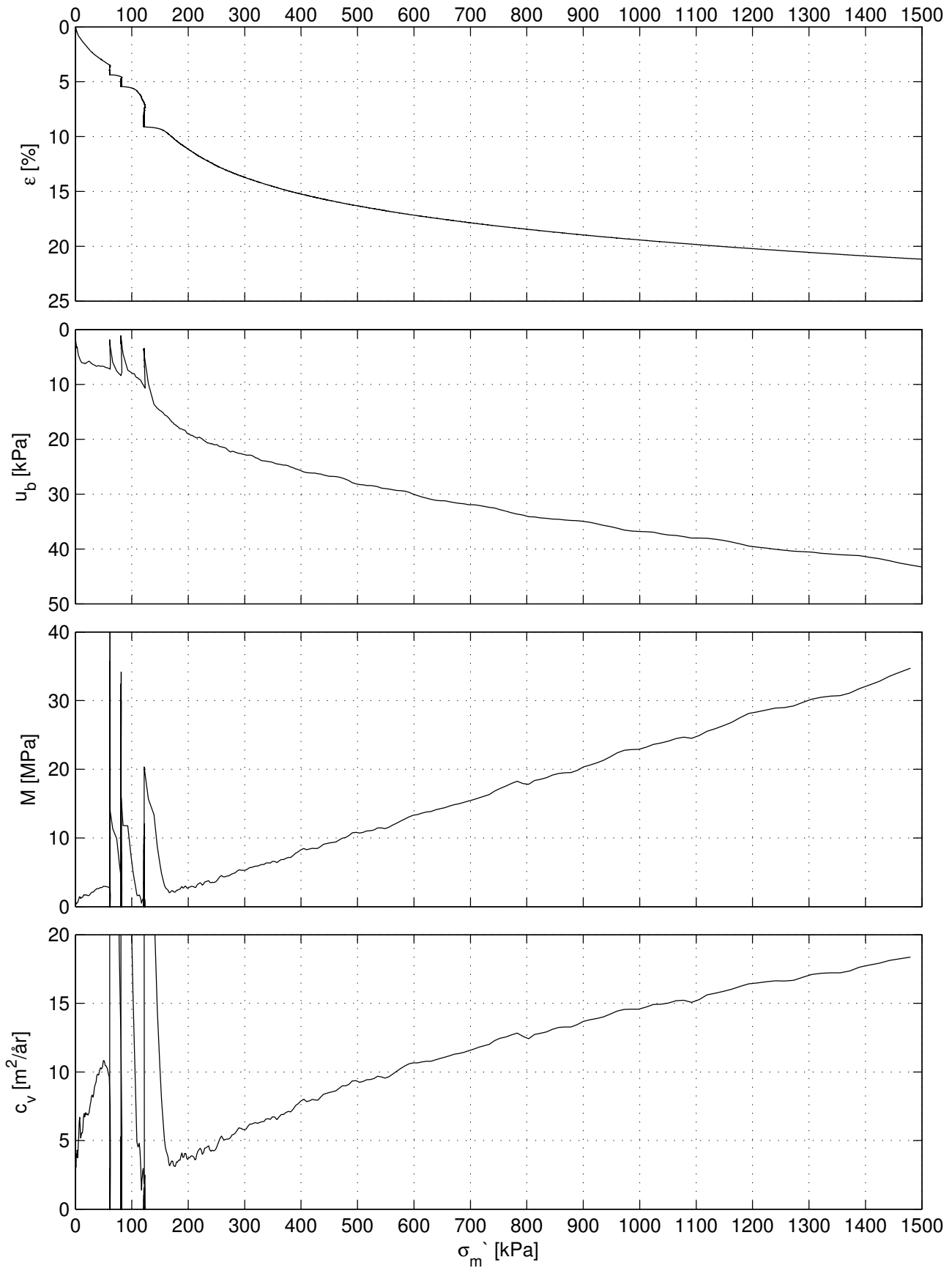


Sund, Rissa Blokkprøve, CRS013, Trippelkryptest F

Dybde: 3.64 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 28.02.12
 Tøyningshastighet: 5 $\mu\text{m}/\text{min}$

$\sigma'_{vo} = 43.76 \text{ kPa}$
 $w_{vo} = 33.19 \%$
 $\gamma = 19.5 \text{ kN}/\text{m}^3$
 $\text{OCR} = 2.29$
 $\Delta e/e_o = 0.05$

$m = 25$
 $r_{s60} = 456$
 $r_{s80} = 485$
 $r_{s120} = 260$

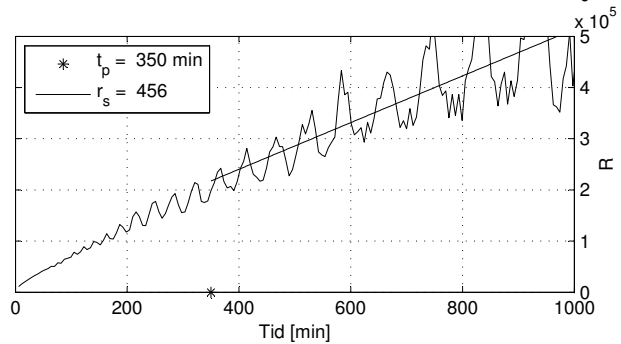
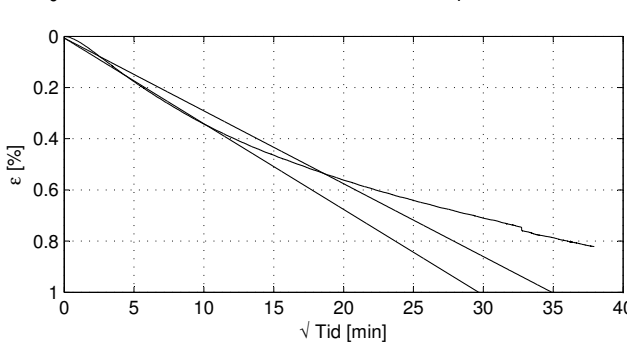
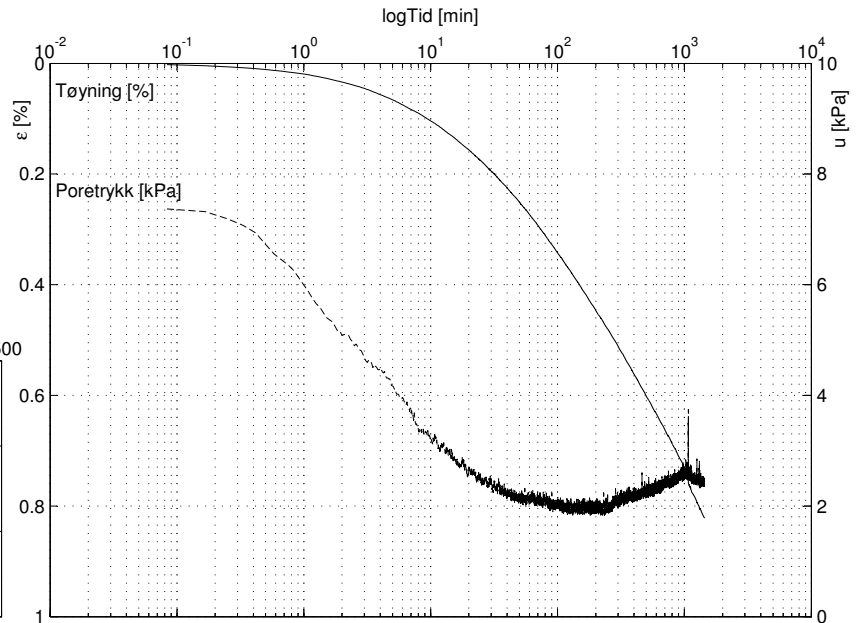
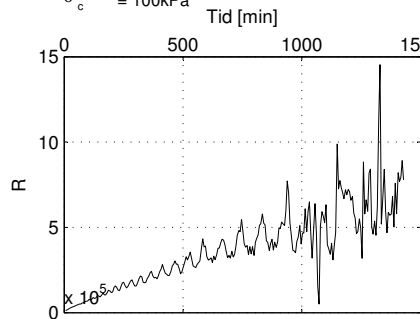


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS013

Lasttrinn: 60 kPa

Dybde: 3.64 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 28.02.12

σ'_{vo} = 42.76 kPa
 w = 33.19%
 γ = 19.5 kN/m³
 OCR = 2.29
 σ'_c = 100 kPa

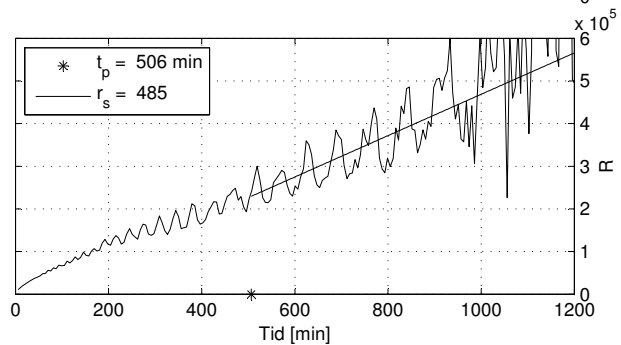
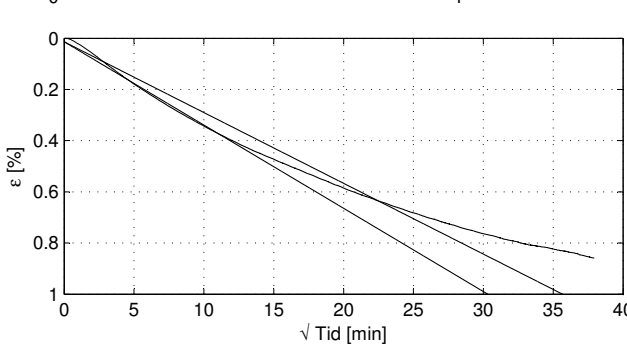
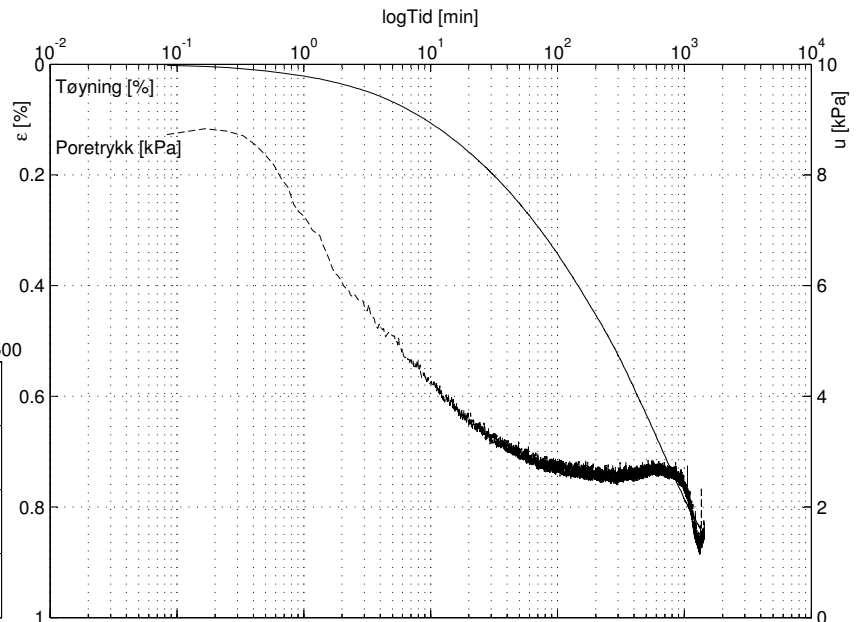
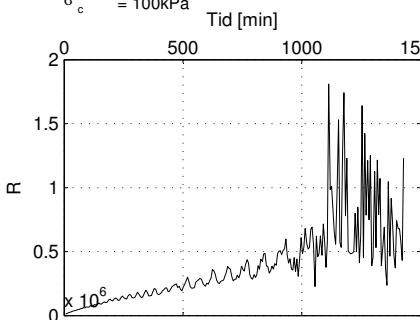


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS013

Lasttrinn: 80 kPa

Dybde: 3.64 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 28.02.12

σ'_{vo} = 42.76 kPa
 w = 33.19%
 γ = 19.5 kN/m³
 OCR = 2.29
 σ'_c = 100 kPa

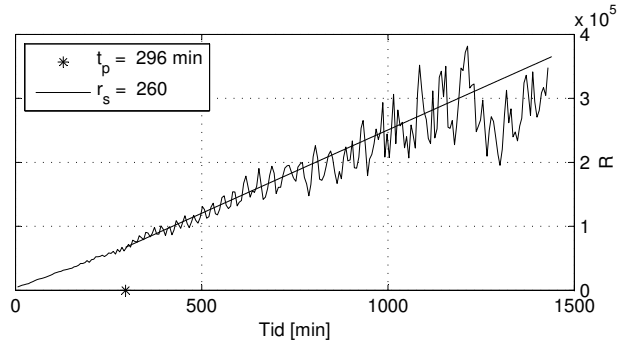
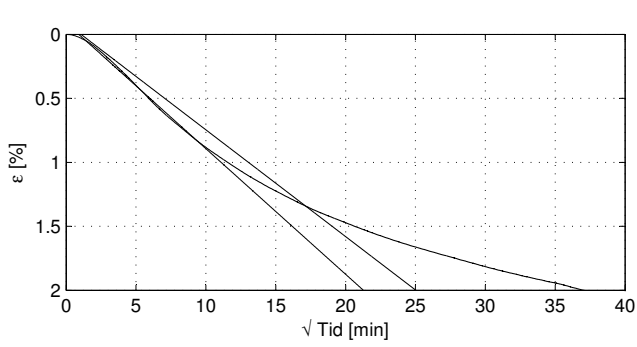
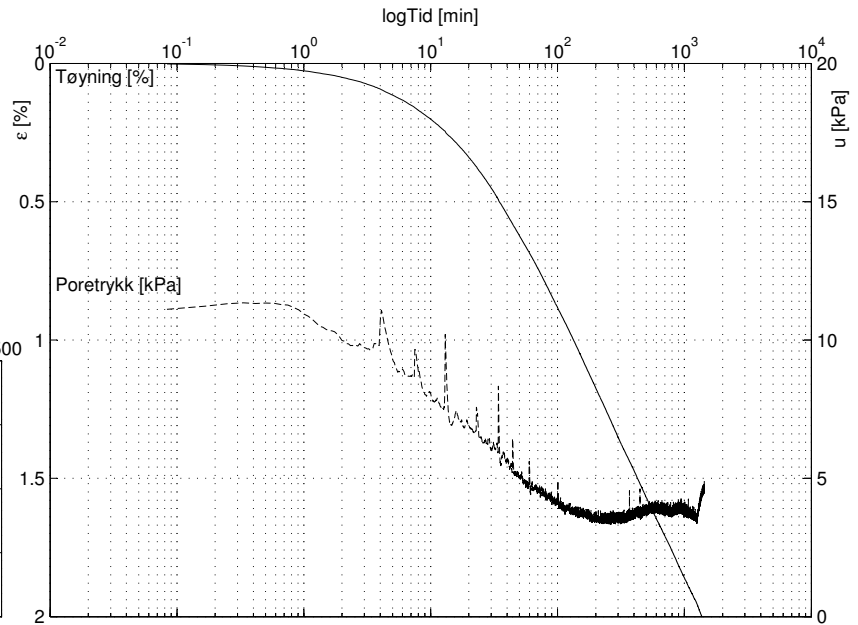
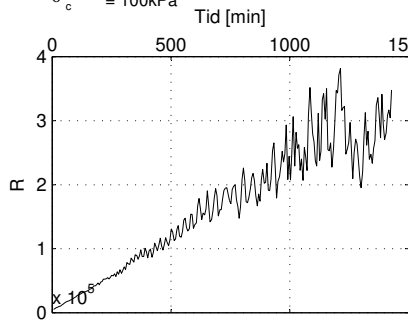


Sund, Rissa
 Blokkprøve, CRS013

Lasttrinn: $\sigma' = 120$ kPa

Dybde: 3.64 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.12
 Forsøksdato: 28.02.12

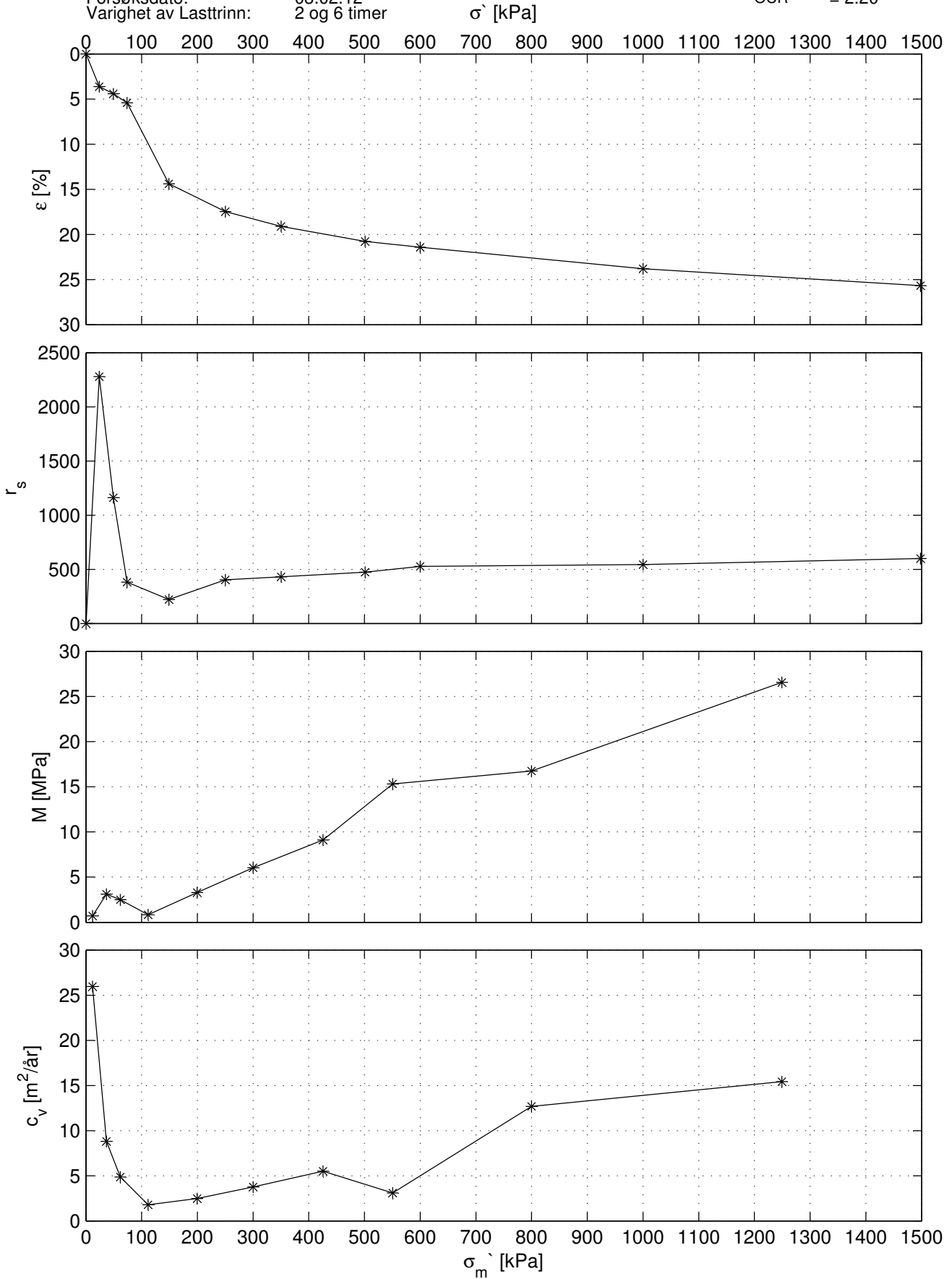
$\sigma'_{vo} = 42.76$ kPa
 $w = 33.19\%$
 $\gamma = 19.5$ kN/m³
 OCR = 2.29
 $\sigma'_c = 100$ kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL001

Dybde: 4.07 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12
 Varighet av Lasttrinn: 2 og 6 timer

σ'_{v0} = 46.63 kPa
 w_{v0} = 36.77%
 γ = 19.8 kN/m³
 OCR = 2.20

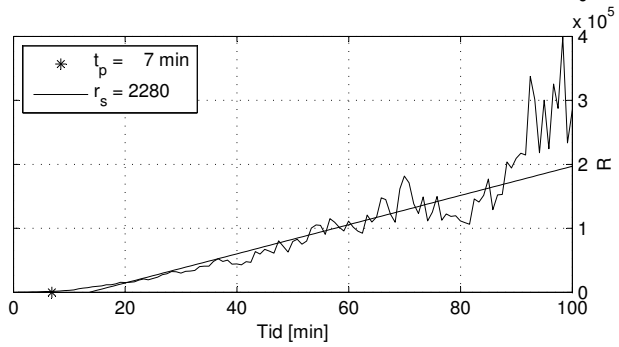
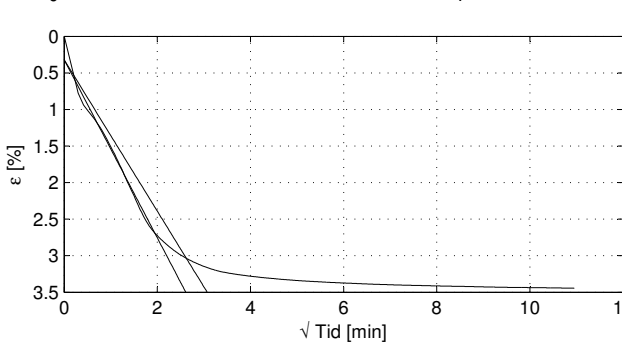
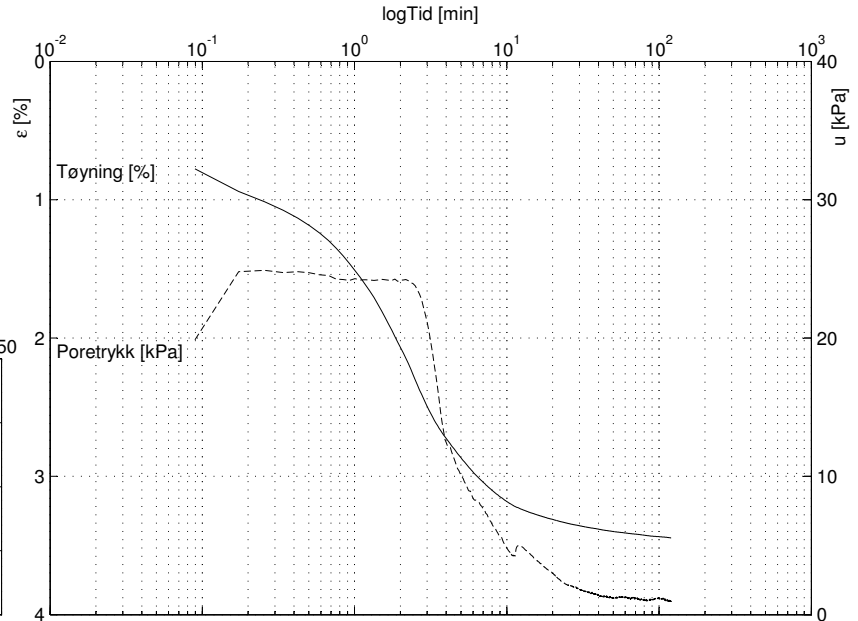
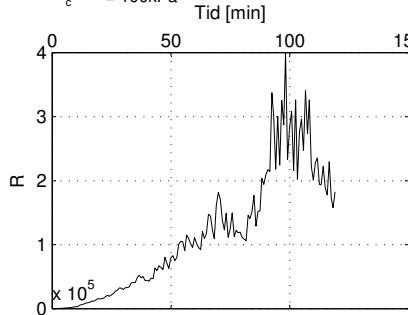


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 25 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100kPa

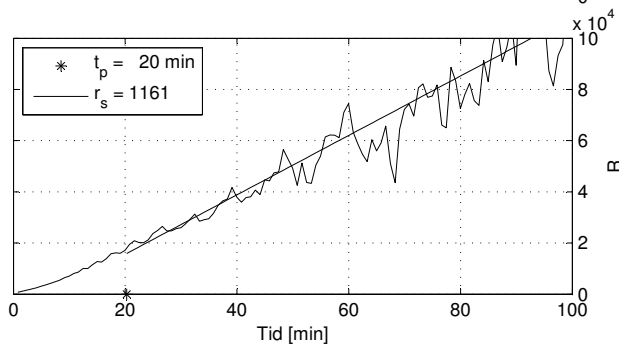
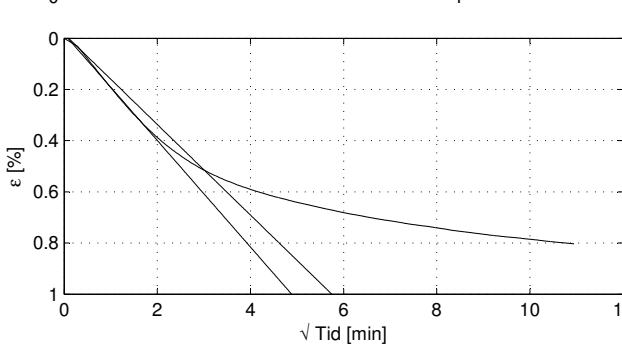
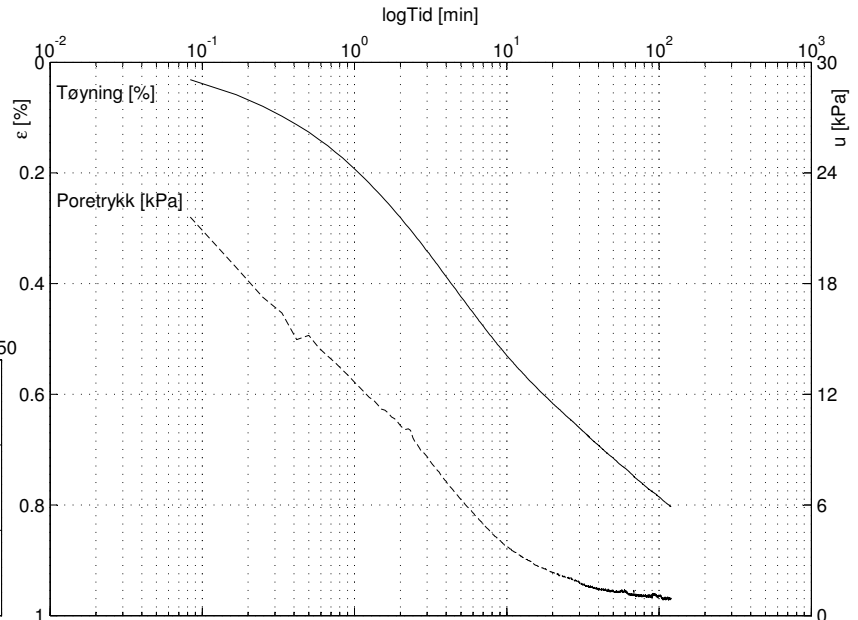
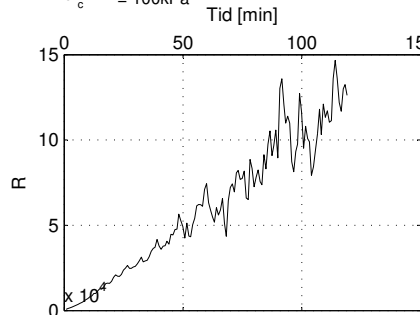


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 50 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100kPa

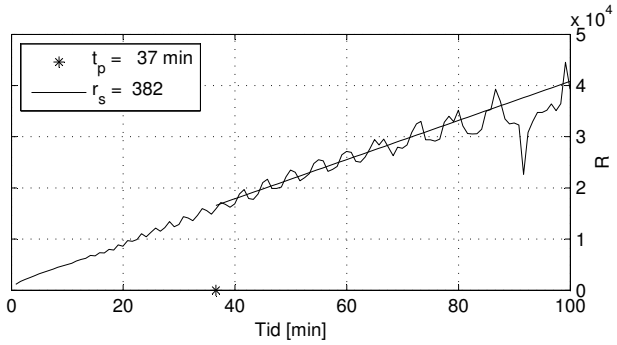
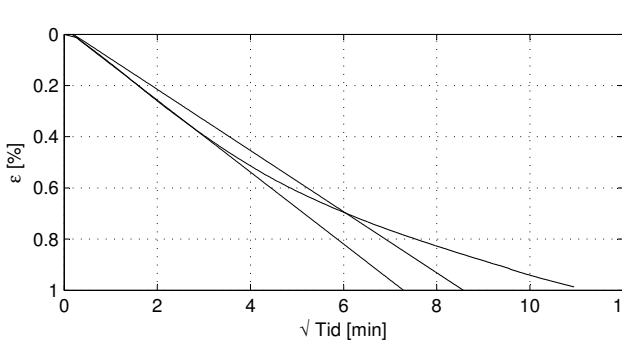
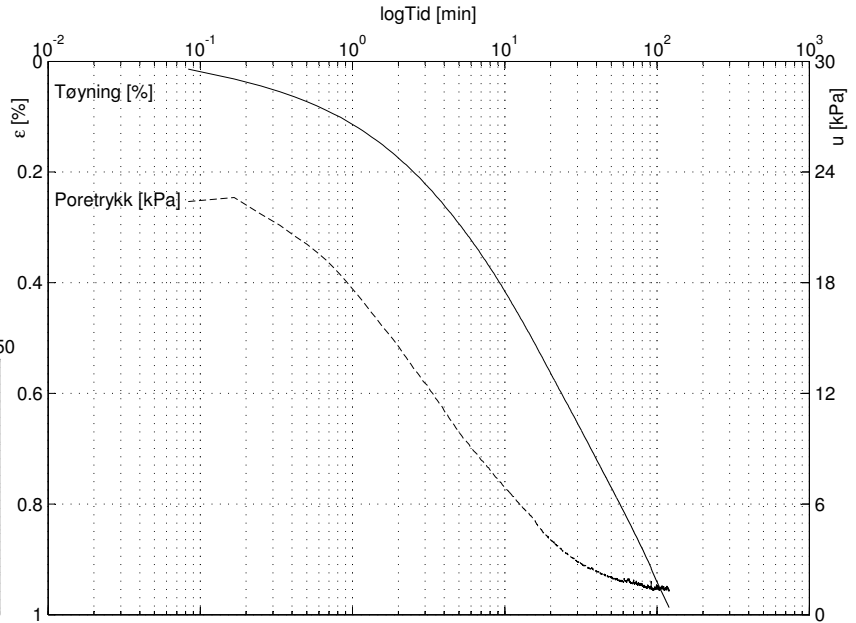
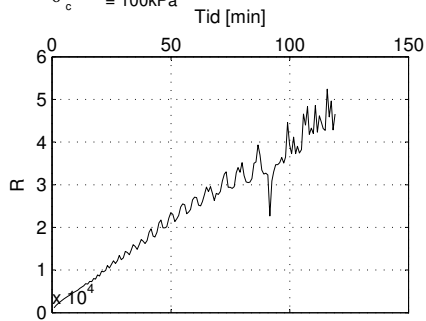


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 75 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63 kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8 kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100 kPa

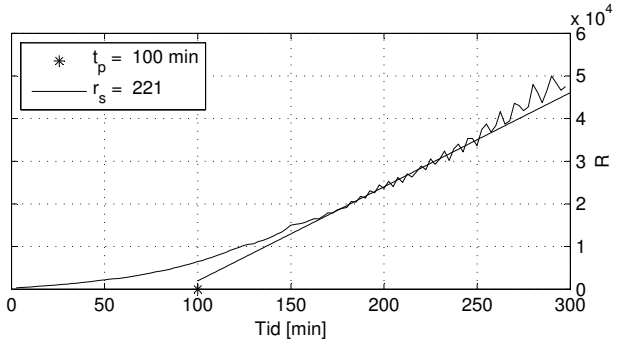
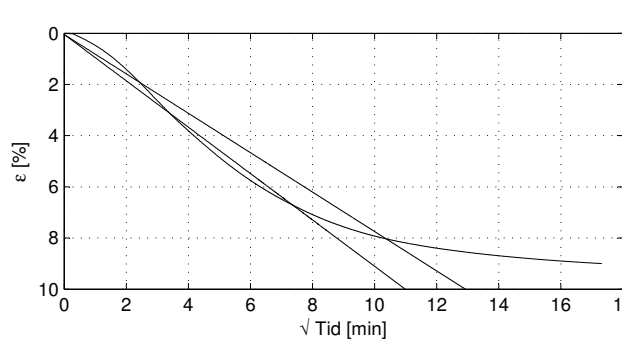
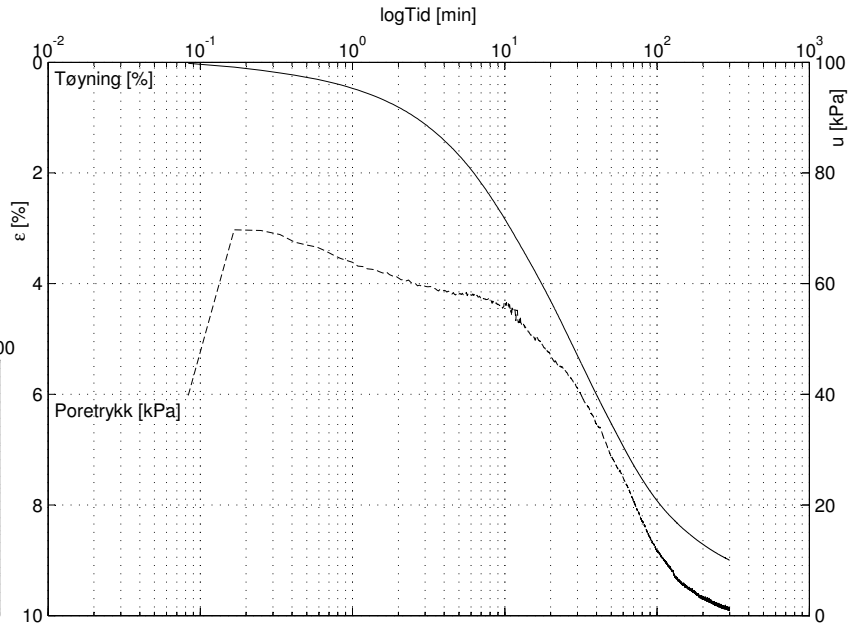
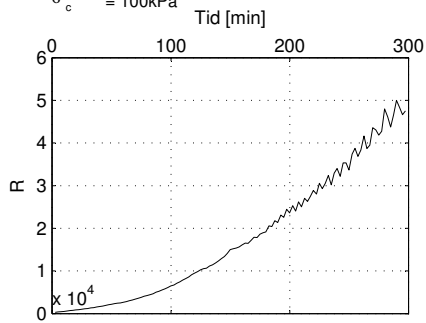


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL001

Lastetrinn: 150 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63 kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8 kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100 kPa

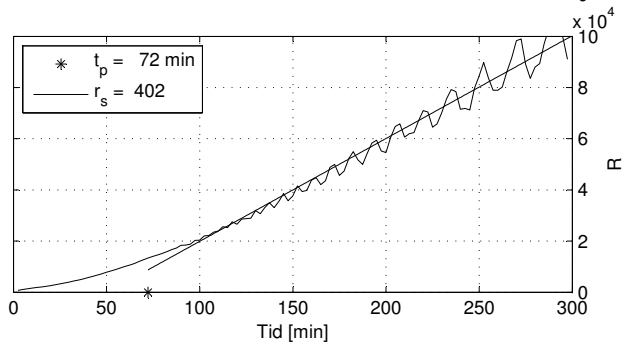
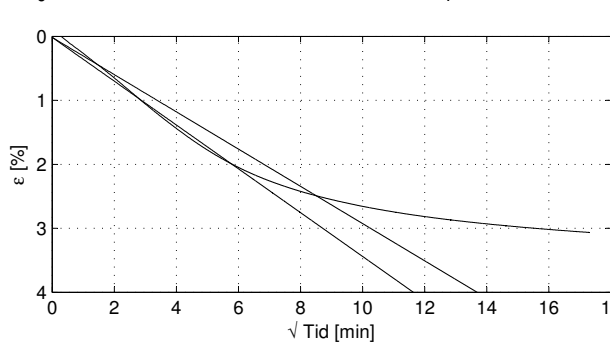
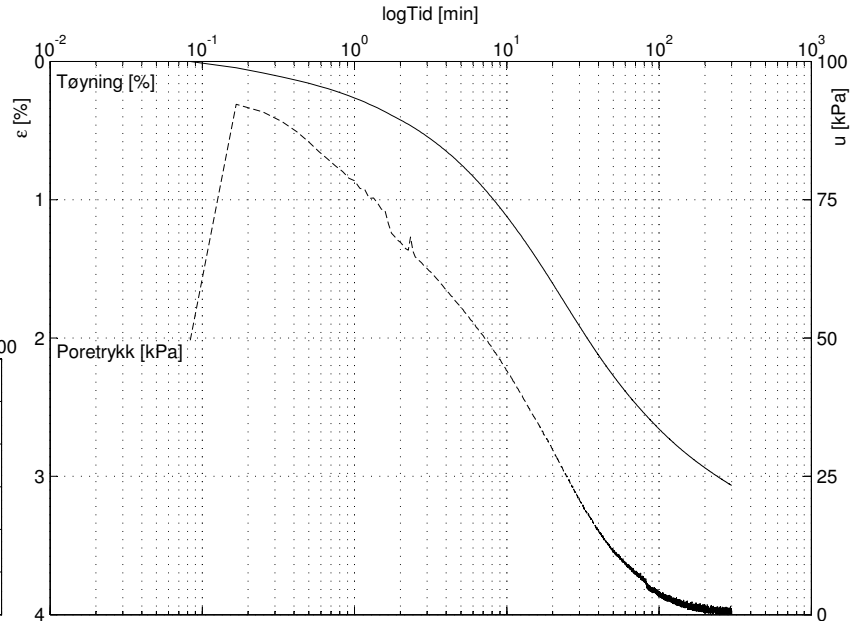
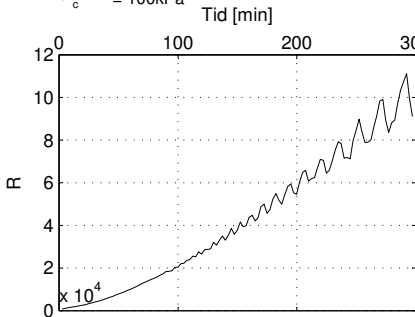


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 250 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100kPa

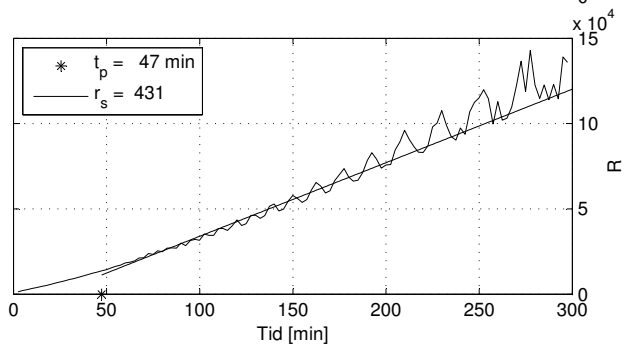
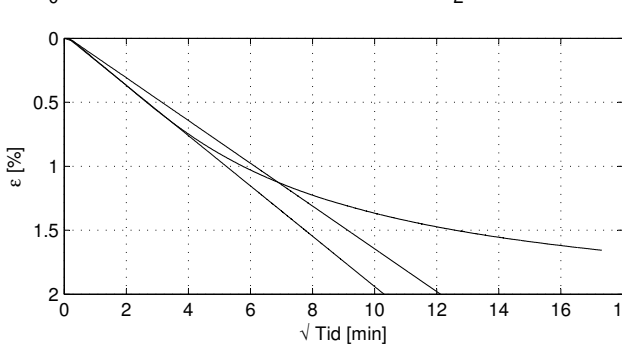
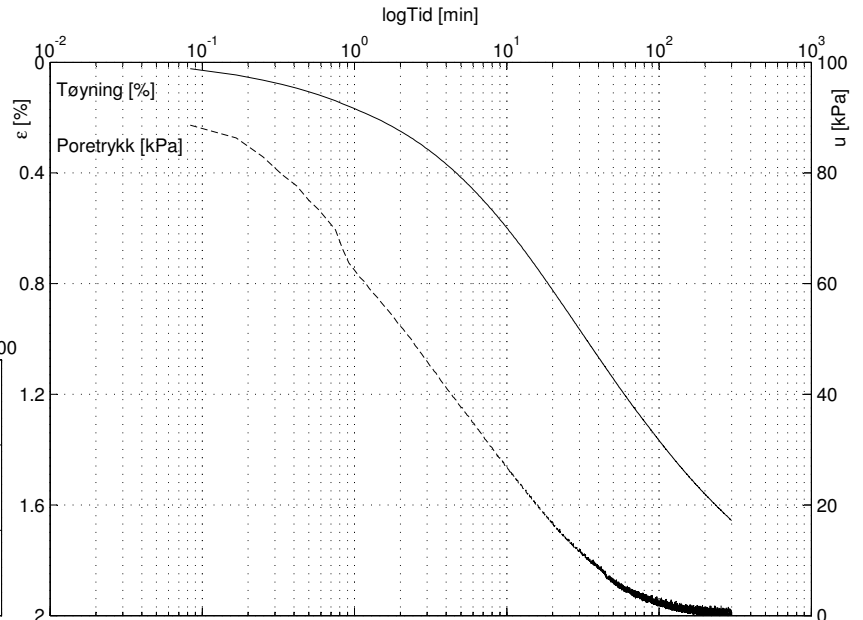
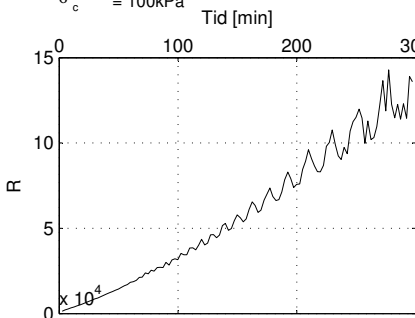


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 350 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100kPa

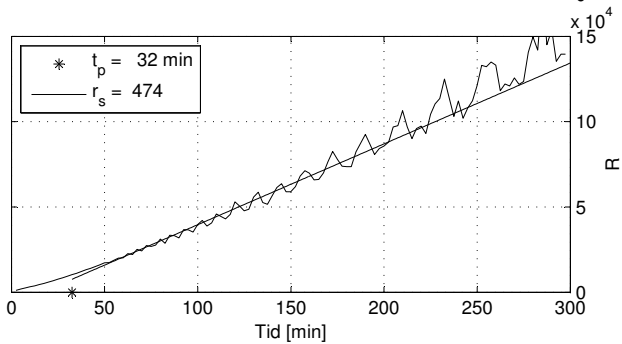
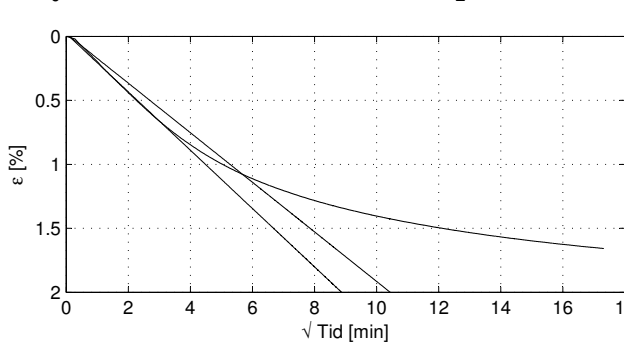
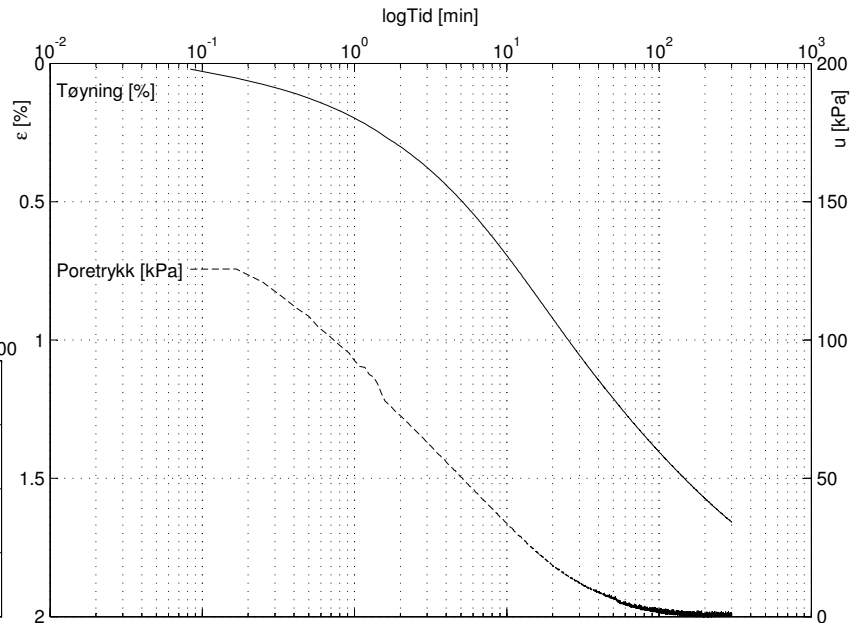
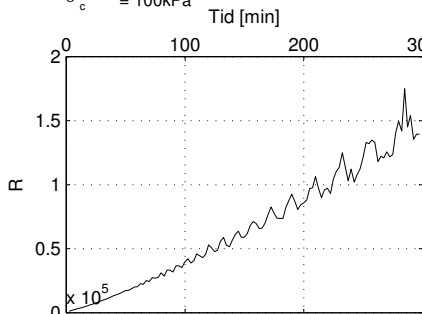


Sund, Rissa Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 500 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63 kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8 kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100 kPa

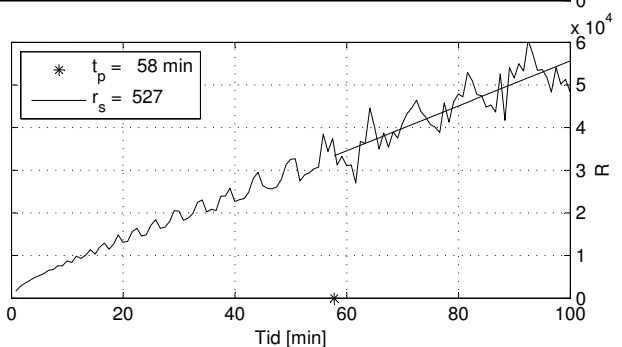
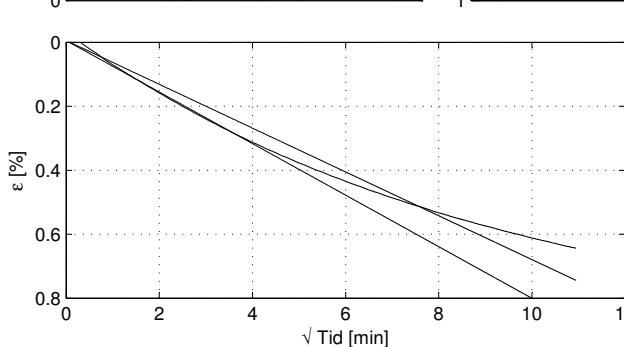
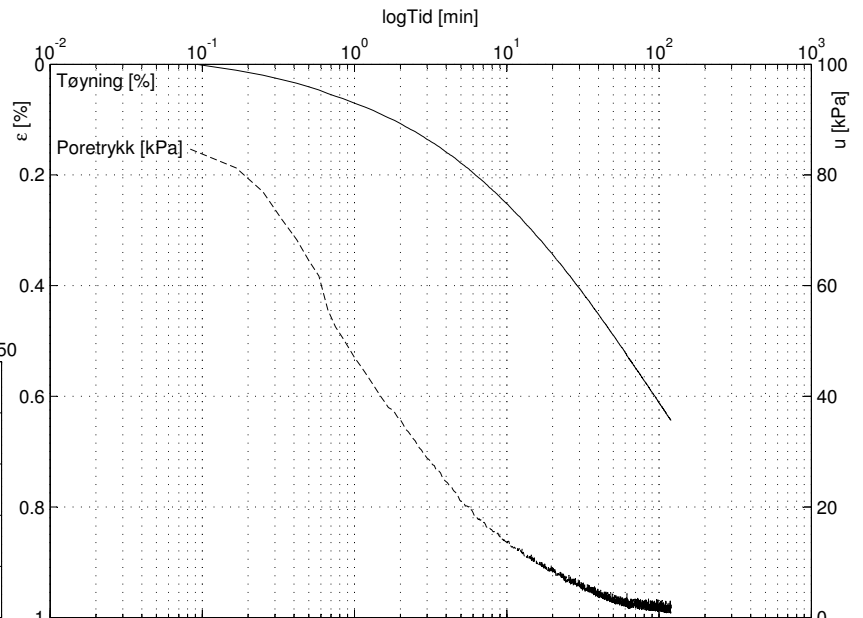
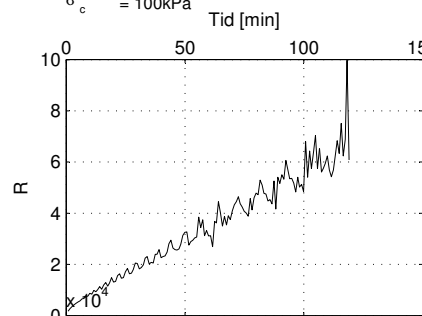


Sund, Rissa Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 600 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63 kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8 kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100 kPa

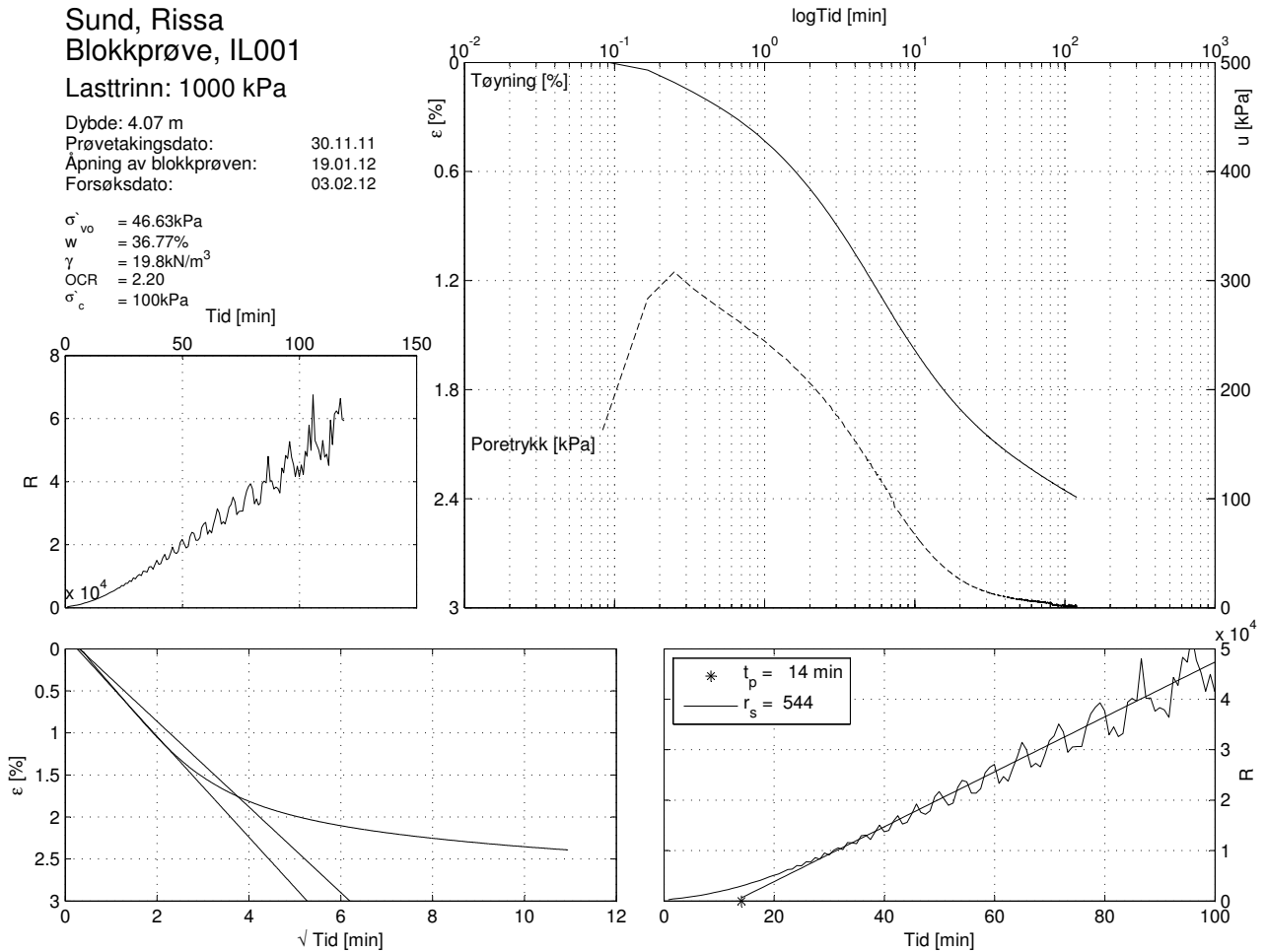


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 1000 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

σ'_{vo} = 46.63 kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8 kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100 kPa

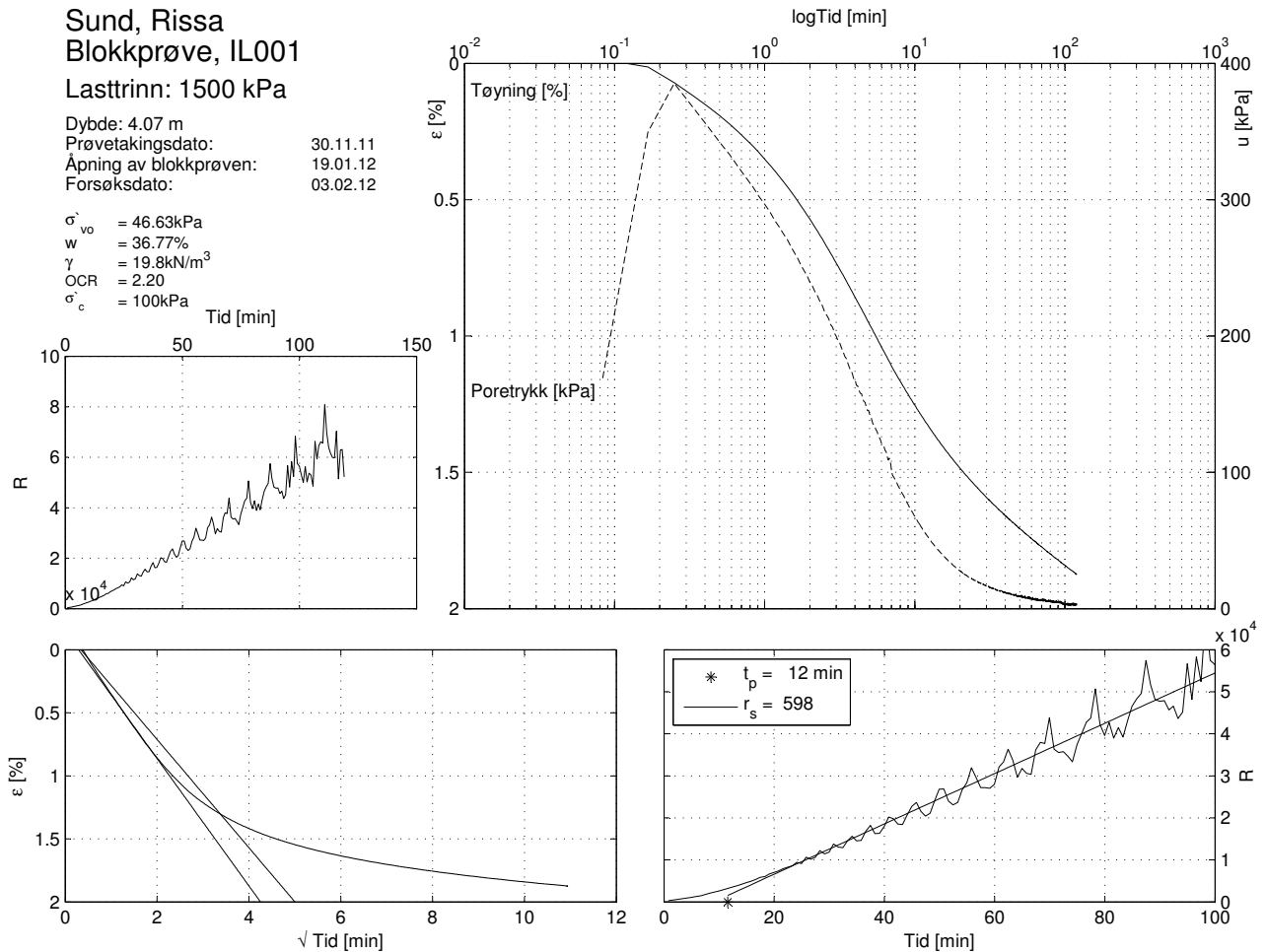


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL001

Lasttrinn: 1500 kPa

Dybde: 4.07 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 19.01.12
 Forsøksdato: 03.02.12

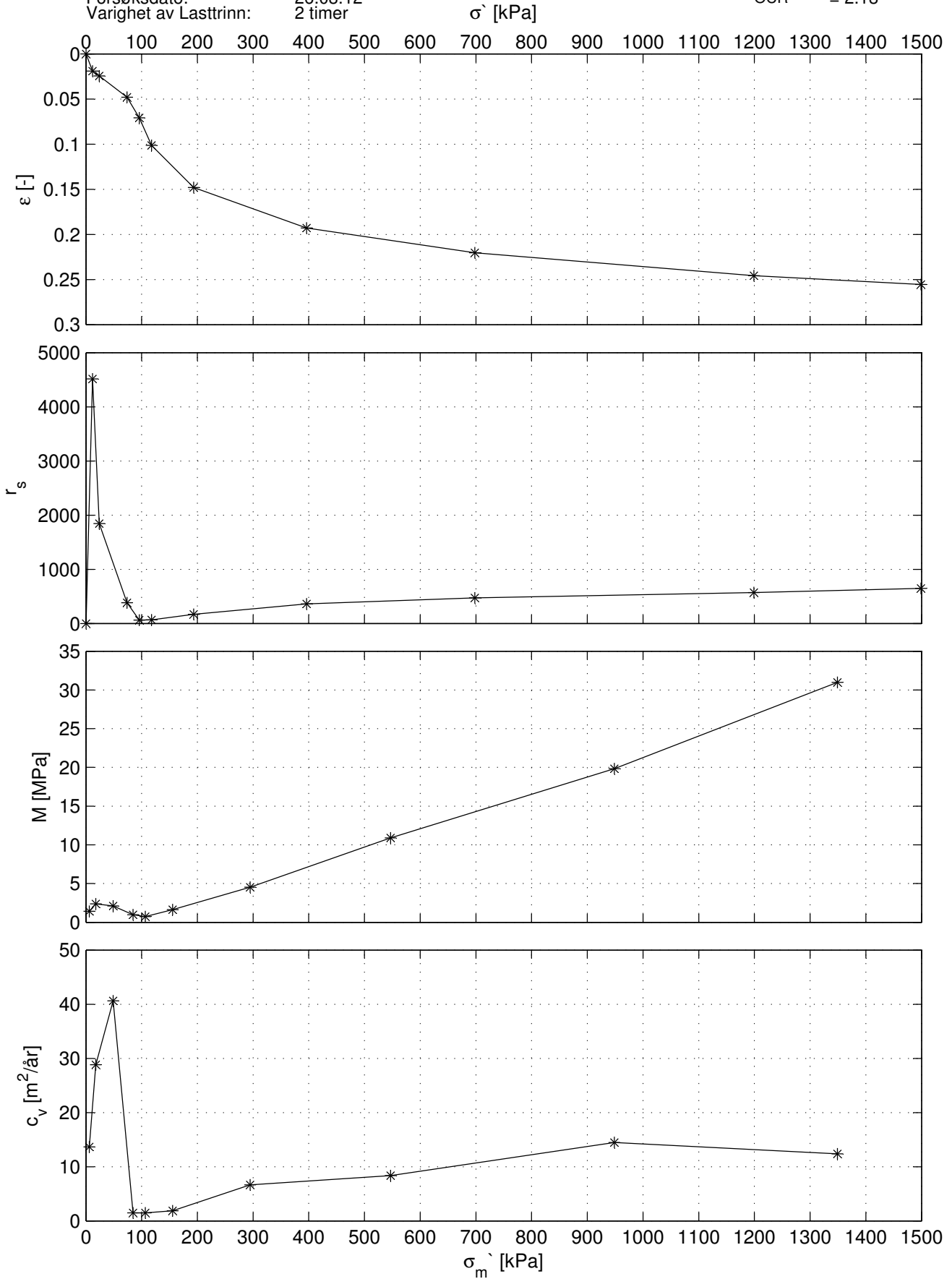
σ'_{vo} = 46.63 kPa
 w = 36.77%
 γ = 19.8 kN/m³
 OCR = 2.20
 σ'_c = 100 kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL002

Dybde: 3.92 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12
 Varighet av Lasttrinn: 2 timer

σ'_{v0} = 49.69 kPa
 w_{v0} = 38.33%
 γ = 19.1 kN/m³
 OCR = 2.13

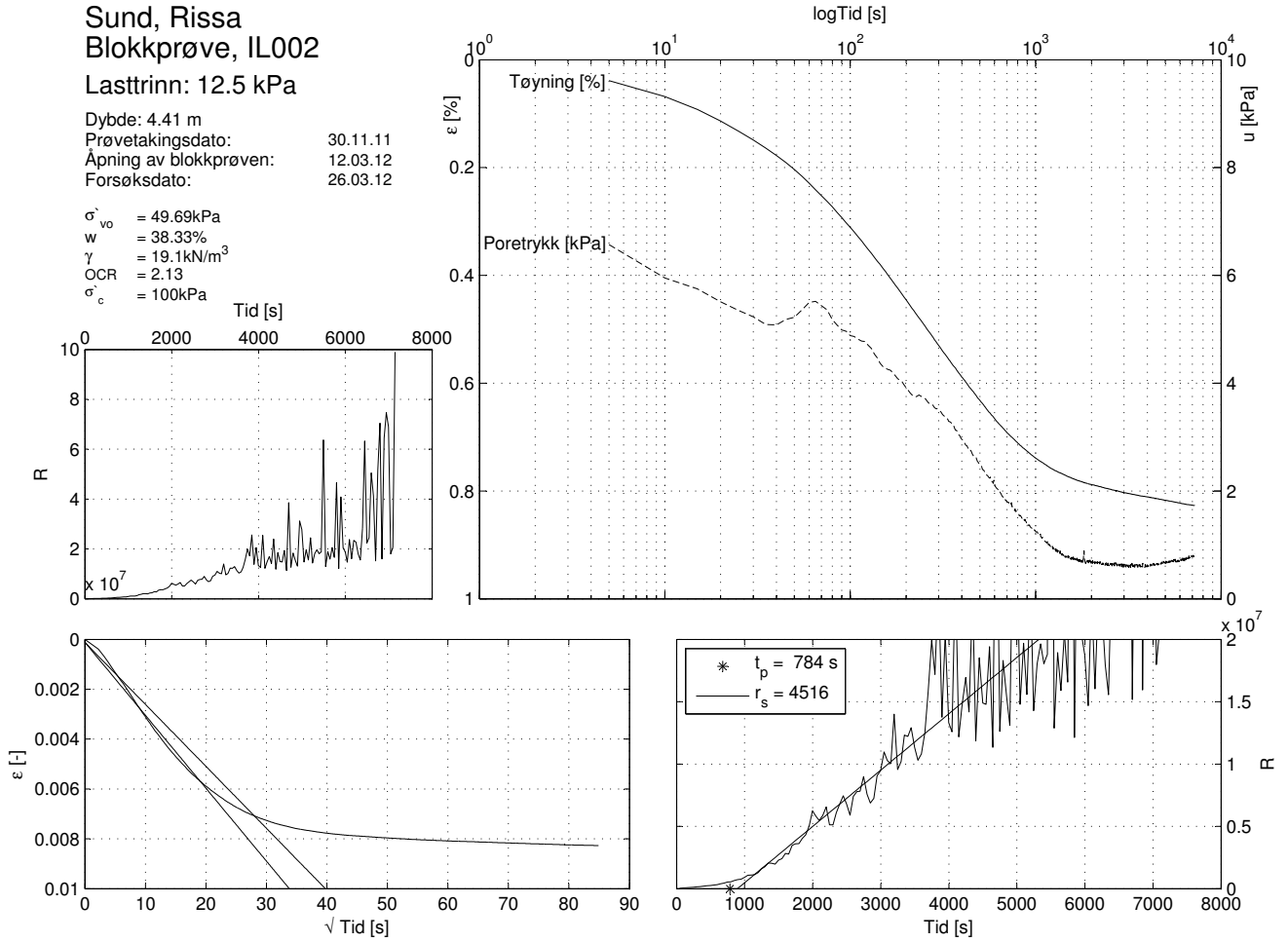


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 12.5 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100kPa

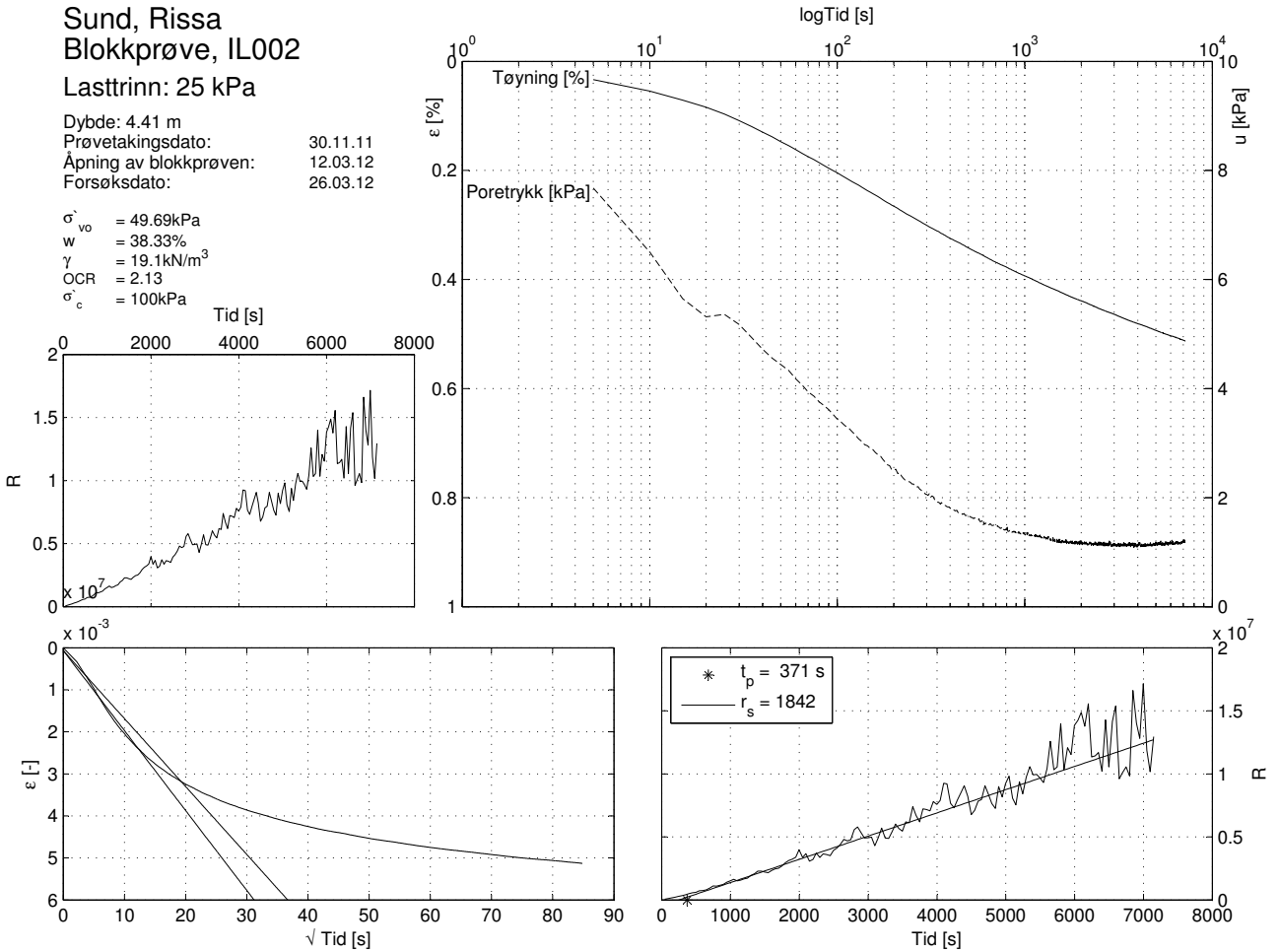


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 25 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100kPa

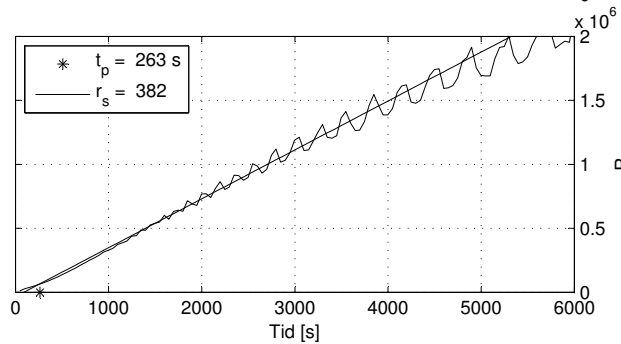
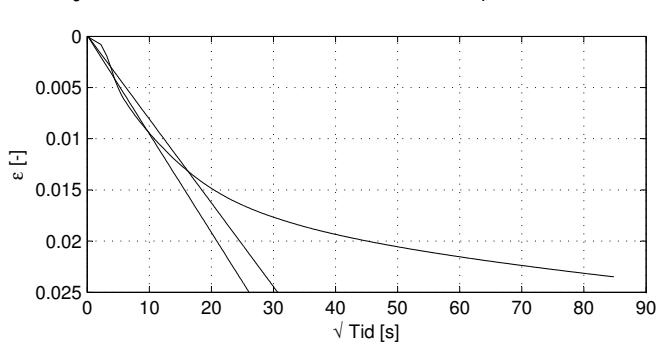
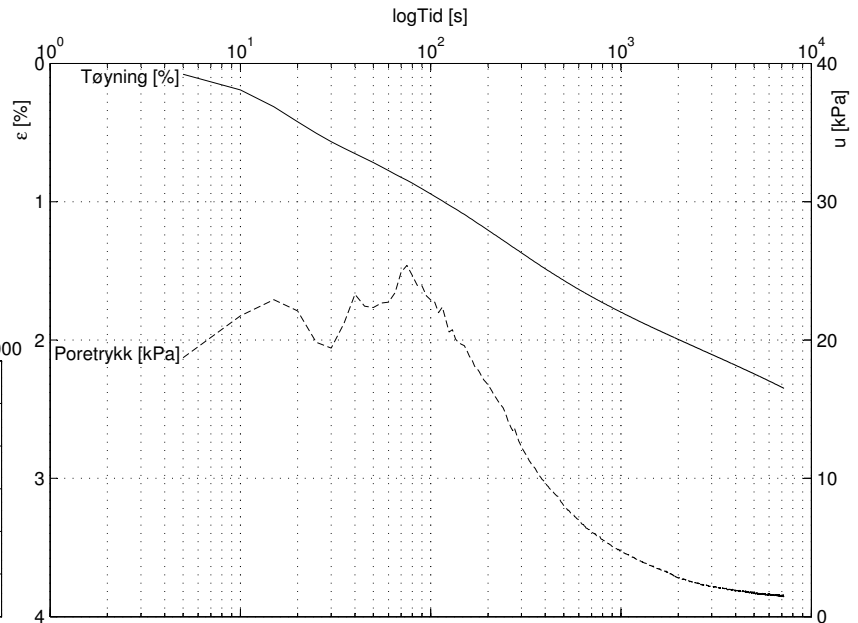
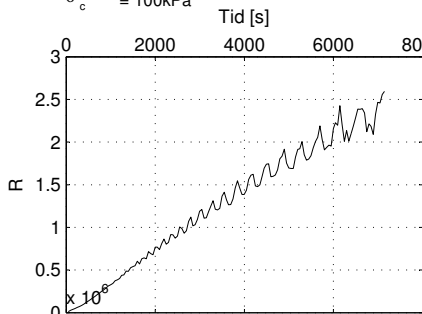


Sund, Rissa Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 75 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100kPa

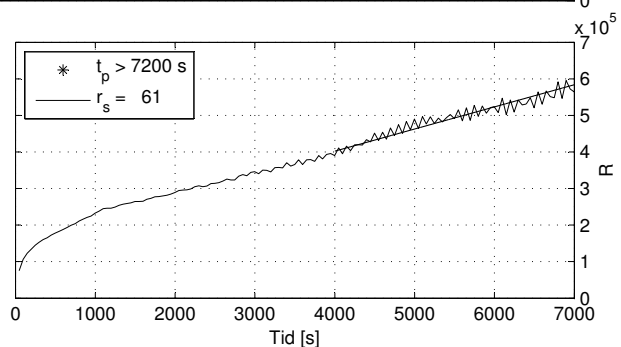
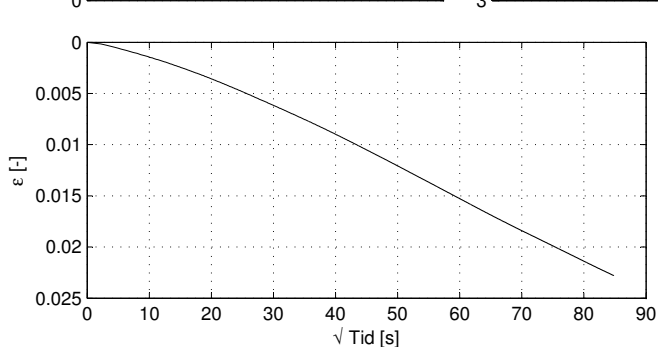
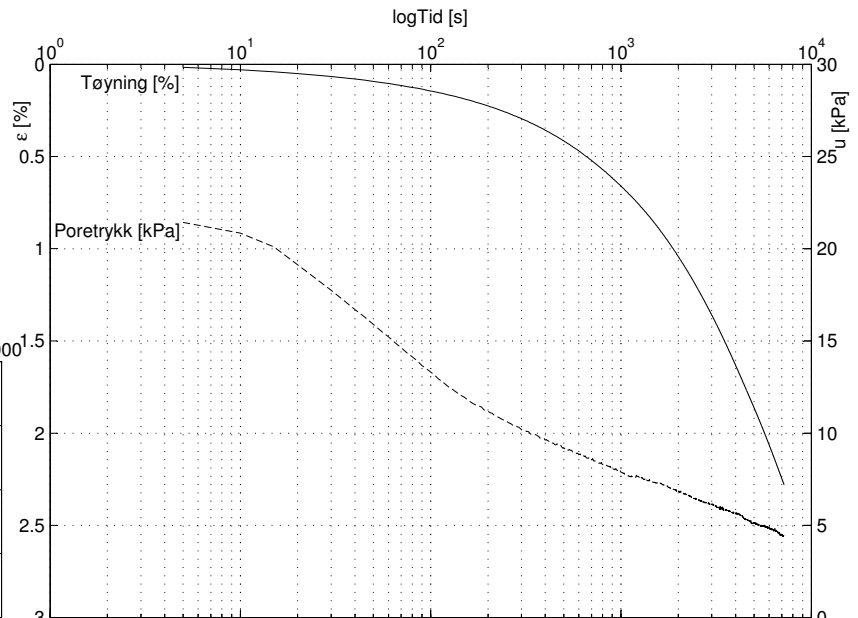
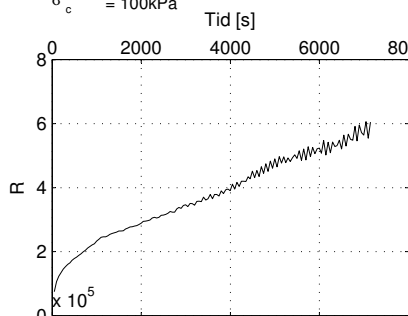


Sund, Rissa Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 100 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100kPa

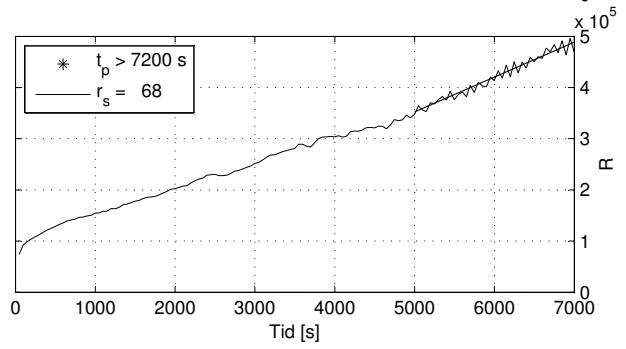
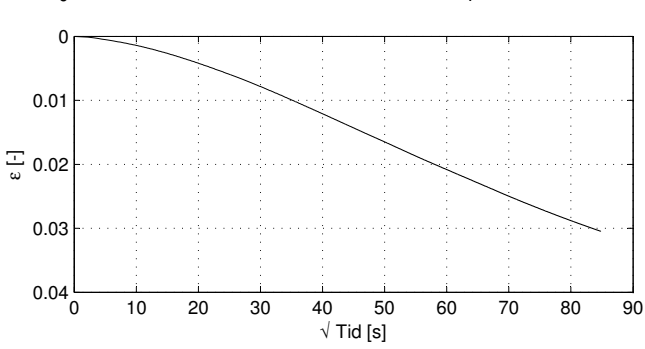
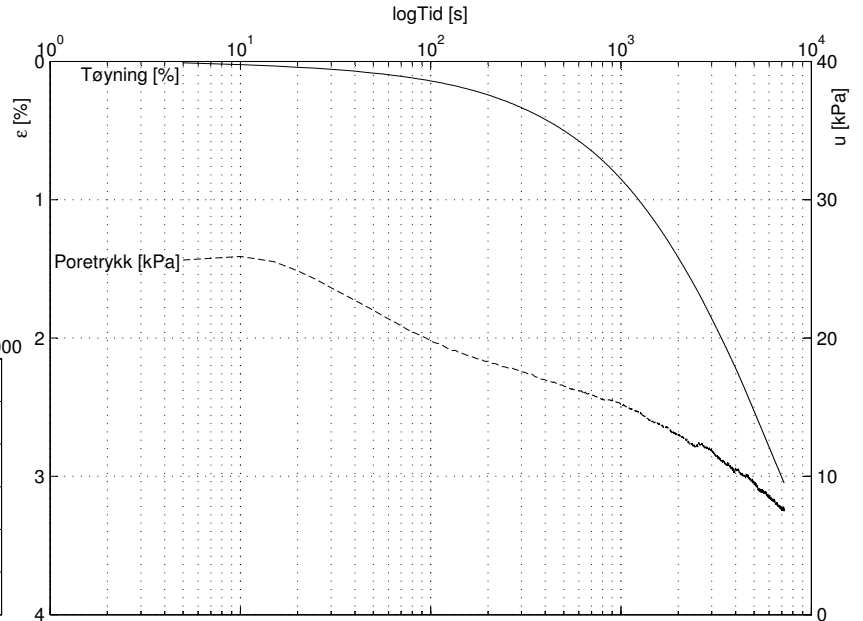
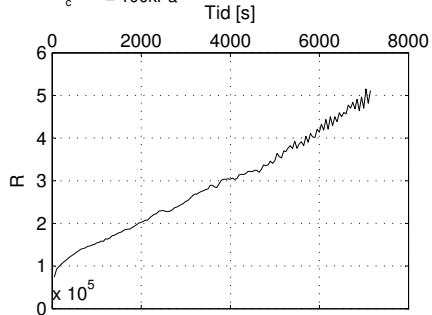


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 125 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100kPa

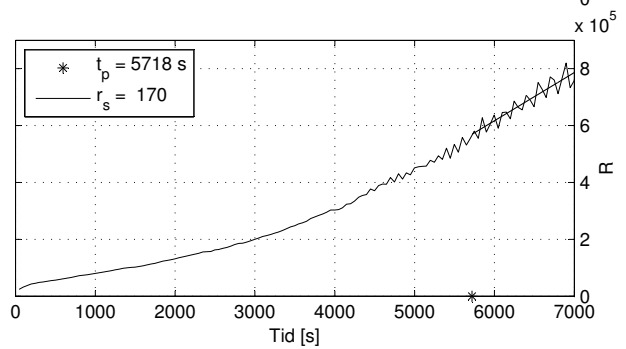
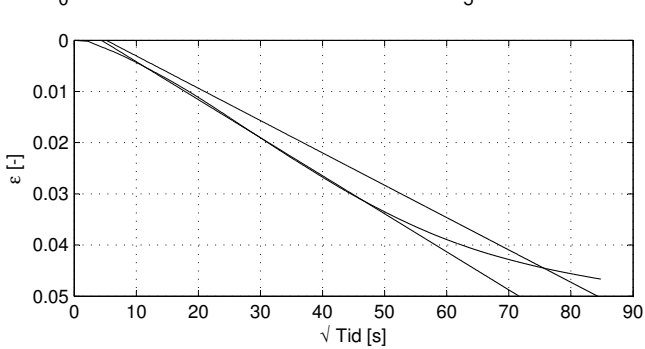
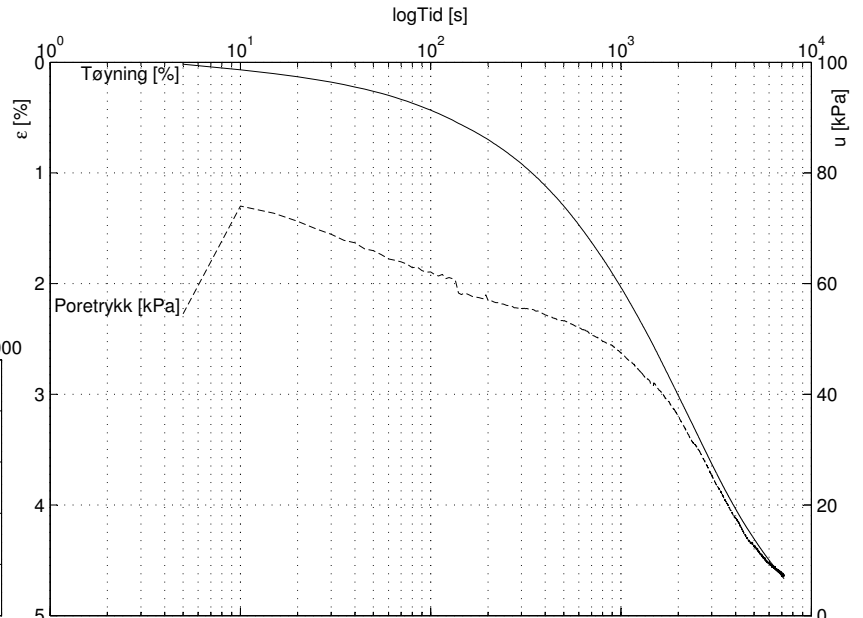
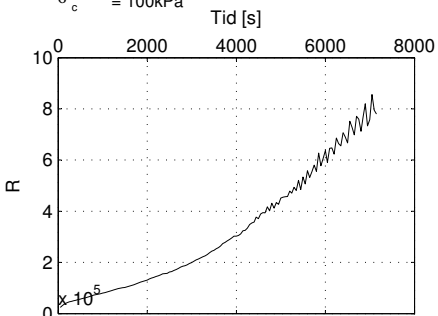


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 200 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100kPa

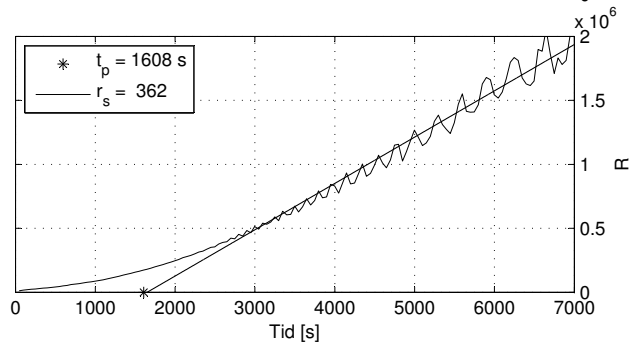
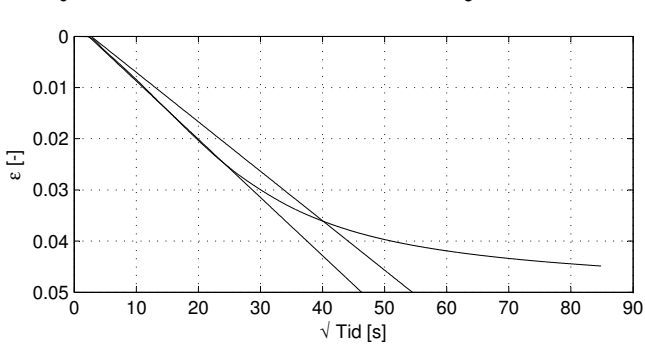
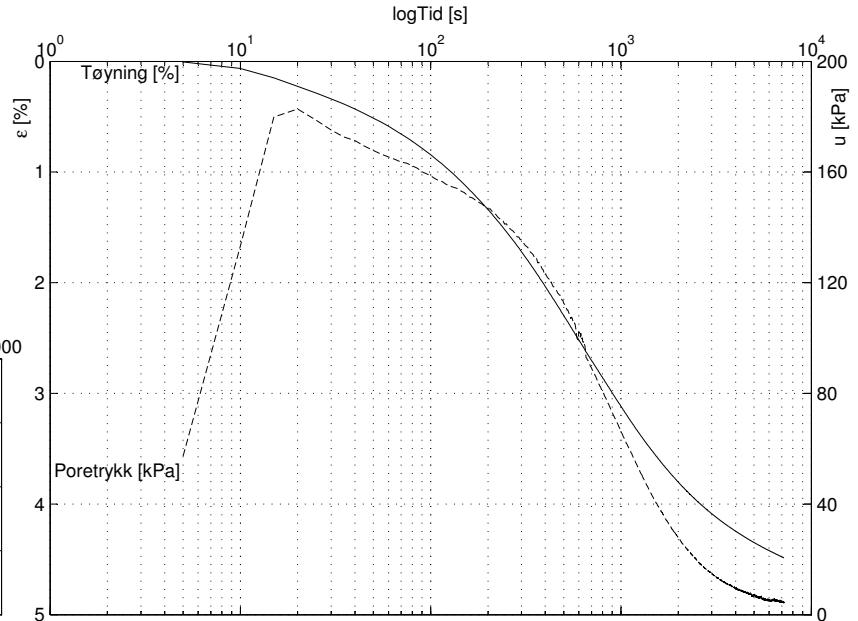
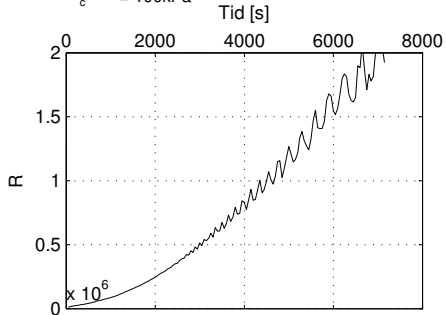


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 400 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100kPa

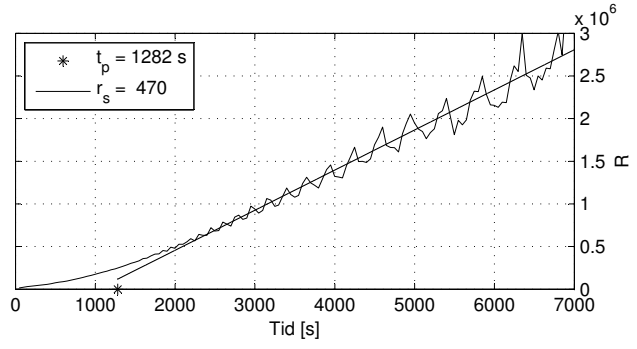
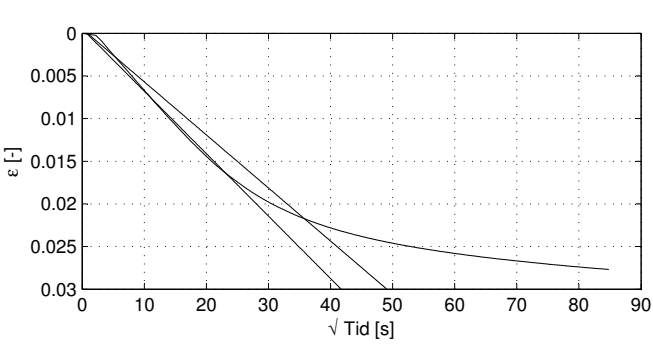
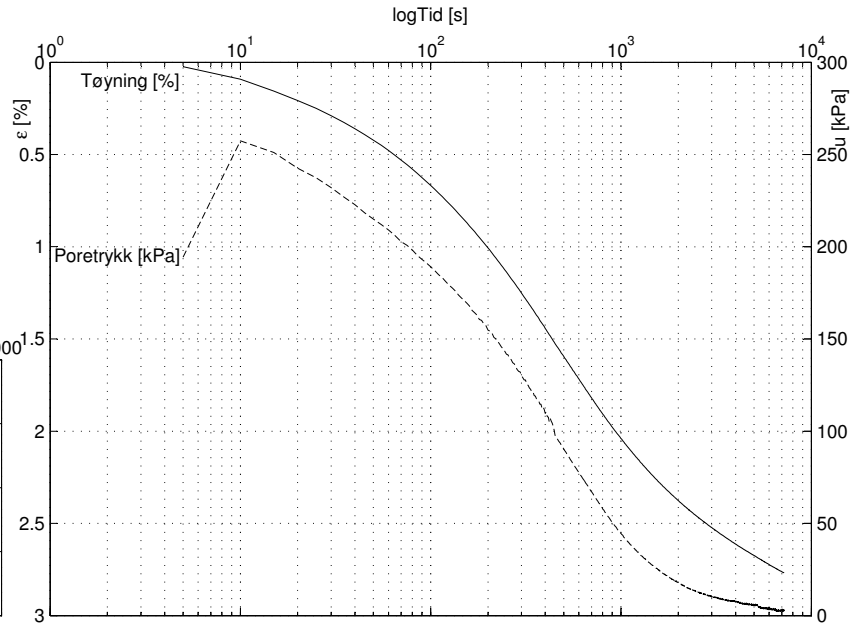
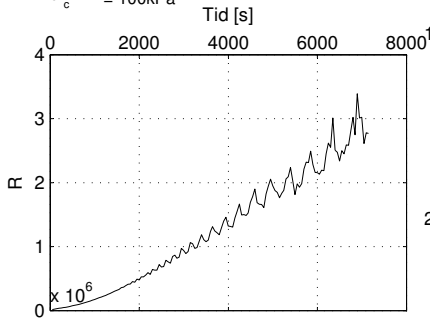


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 700 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100kPa

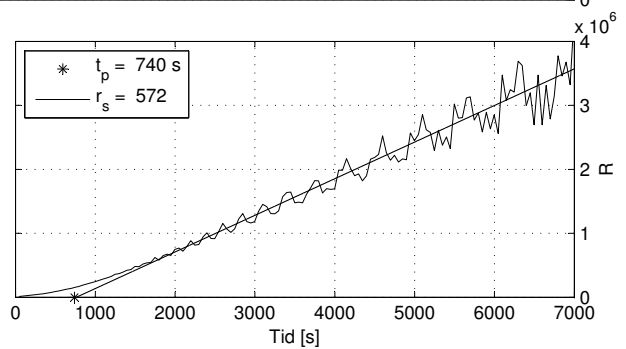
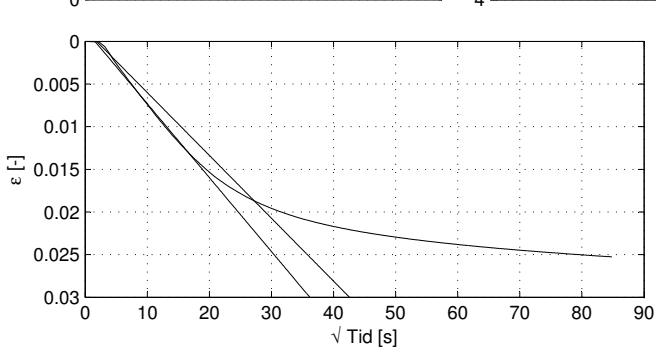
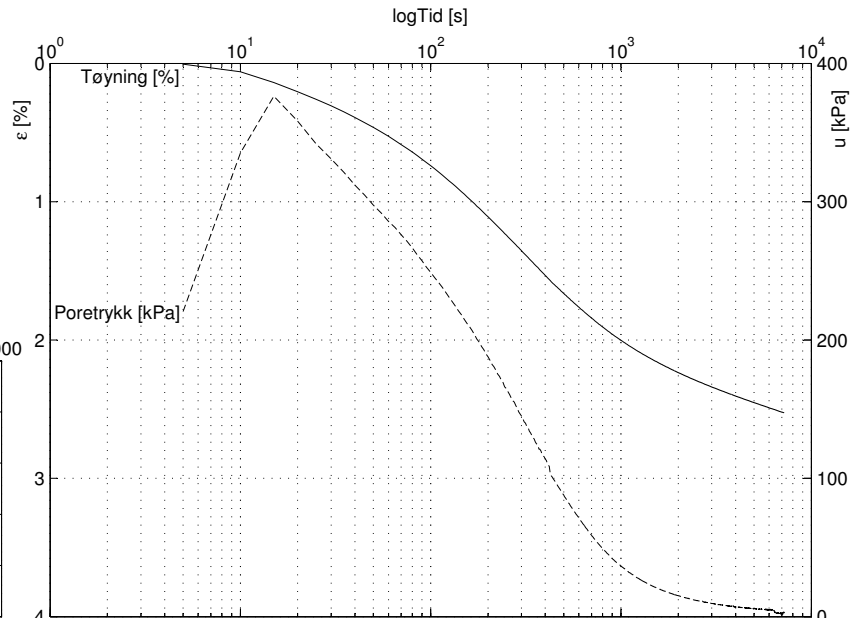
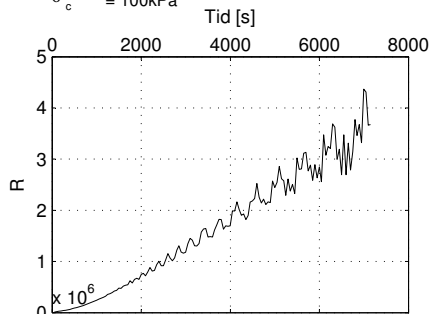


Sund, Rissa Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 1200 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

σ'_{vo} = 49.69 kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1 kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100 kPa

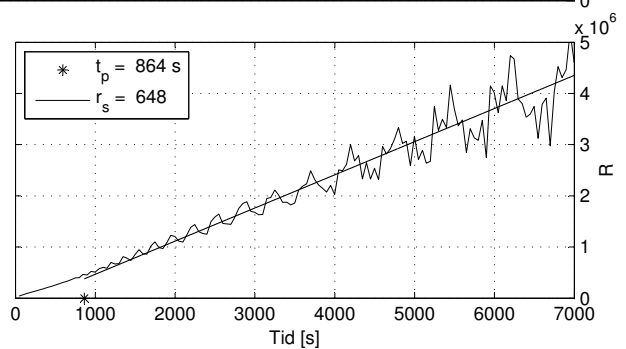
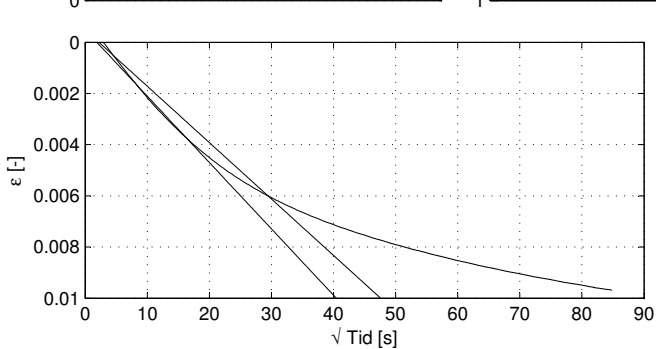
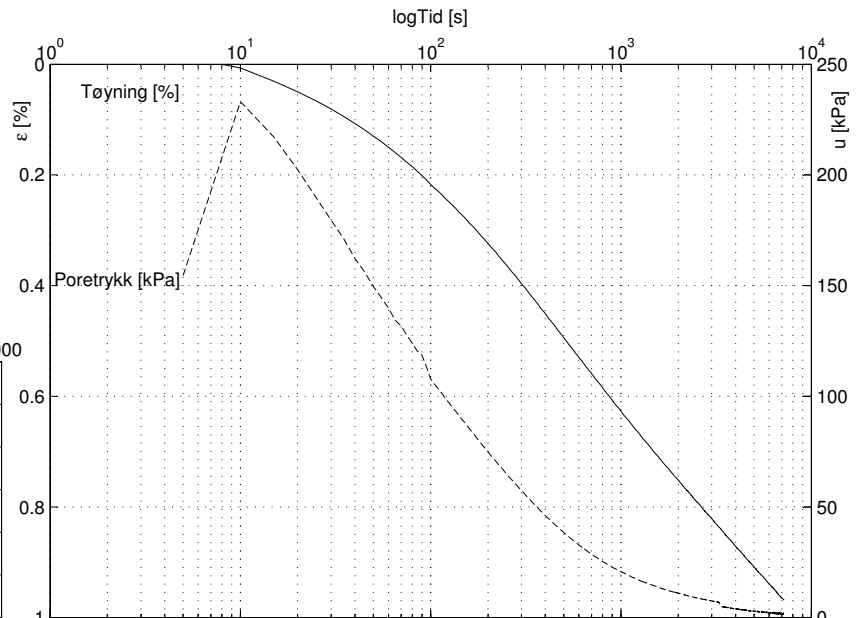
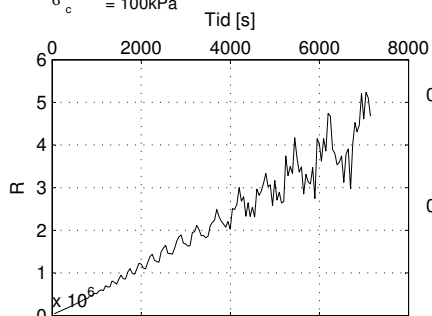


Sund, Rissa Blokkprøve, IL002

Lasttrinn: 1500 kPa

Dybde: 4.41 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 26.03.12

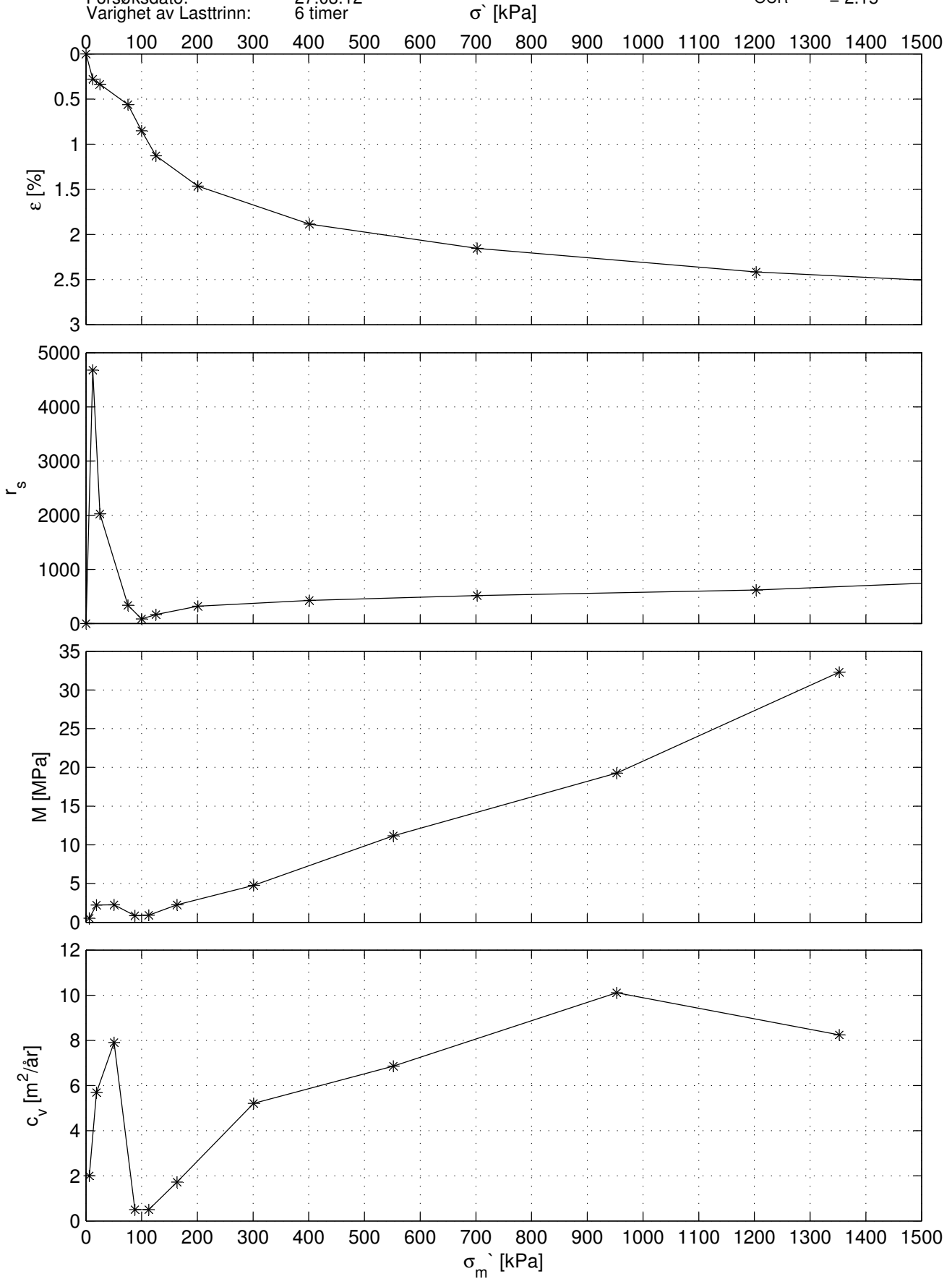
σ'_{vo} = 49.69 kPa
 w = 38.33%
 γ = 19.1 kN/m³
 OCR = 2.13
 σ'_c = 100 kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL003

Dybde: 4.32 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12
 Varighet av Lasttrinn: 6 timer

σ'_{v0} = 48.88 kPa
 w_{v0} = 34.37%
 γ = 19.3 kN/m³
 OCR = 2.15

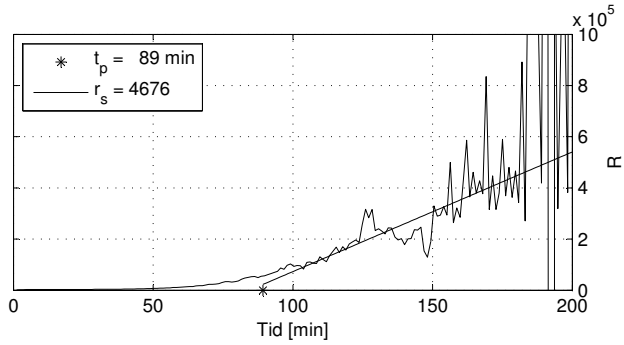
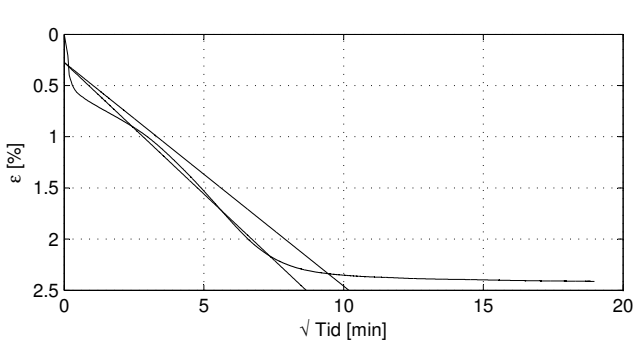
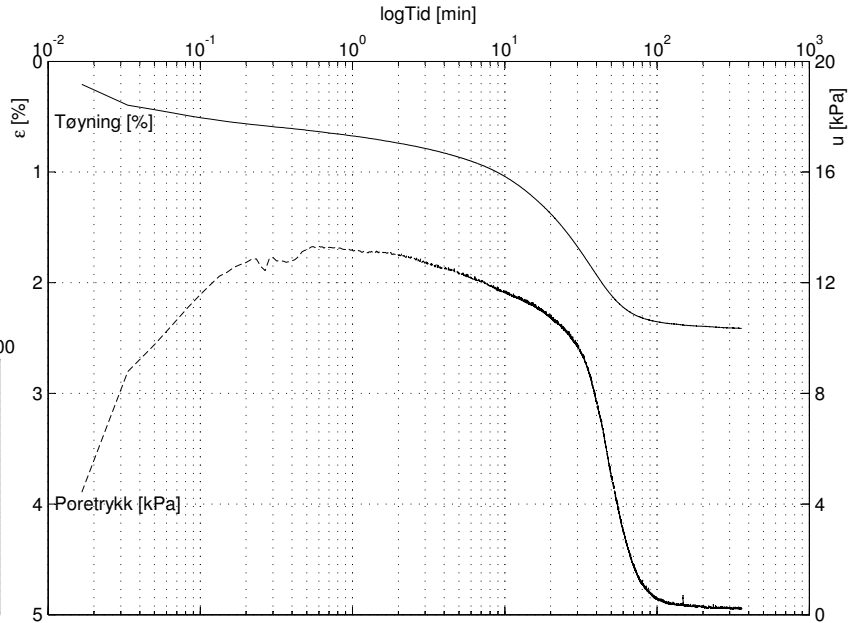
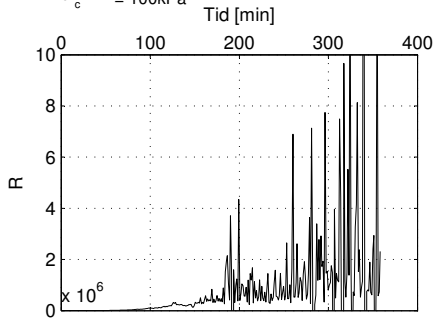


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL003

Lasttrinn: 12.5 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

σ'_{vo} = 48.88kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100kPa

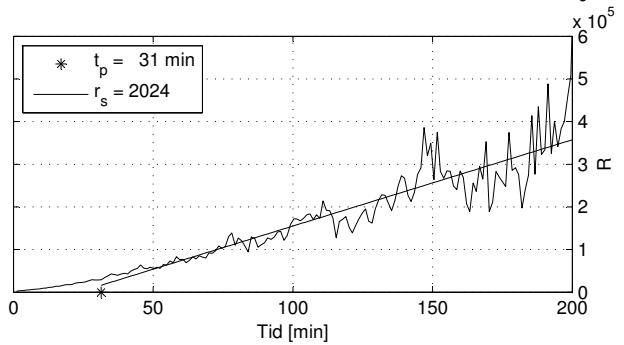
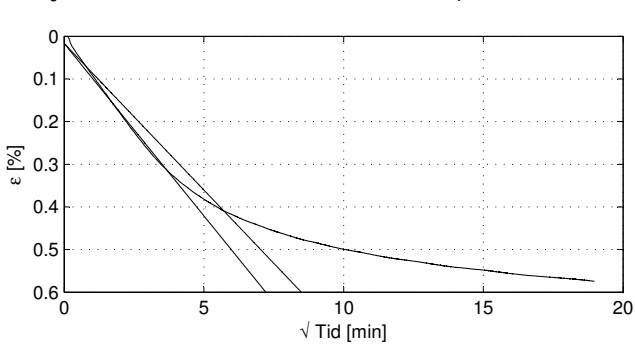
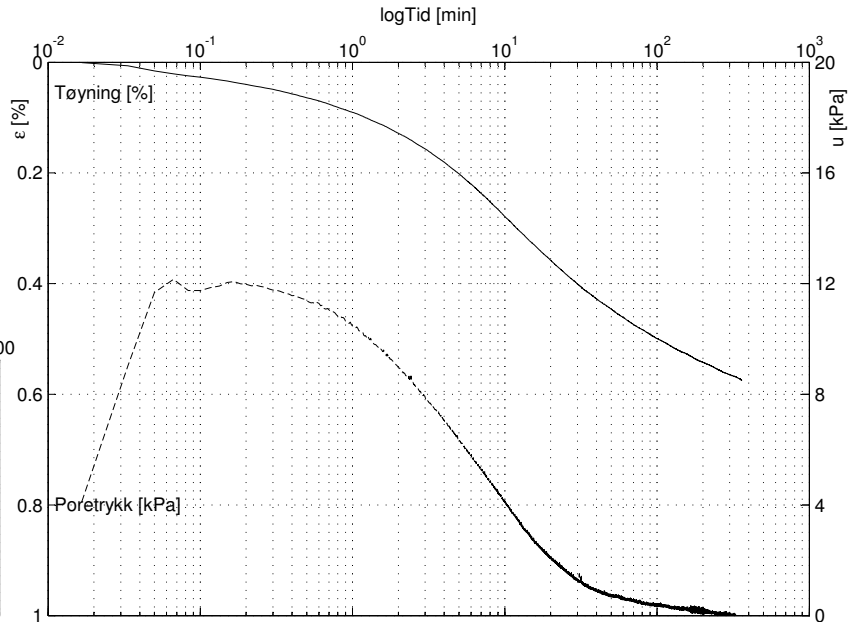
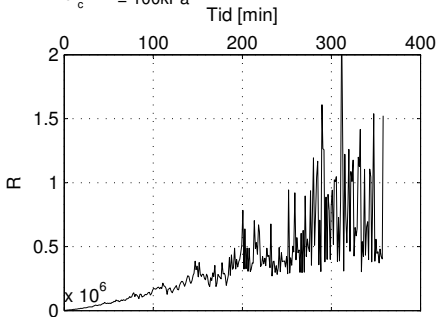


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL003

Lasttrinn: 25 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.25
 Forsøksdato: 27.03.25

σ'_{vo} = 48.88kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100kPa

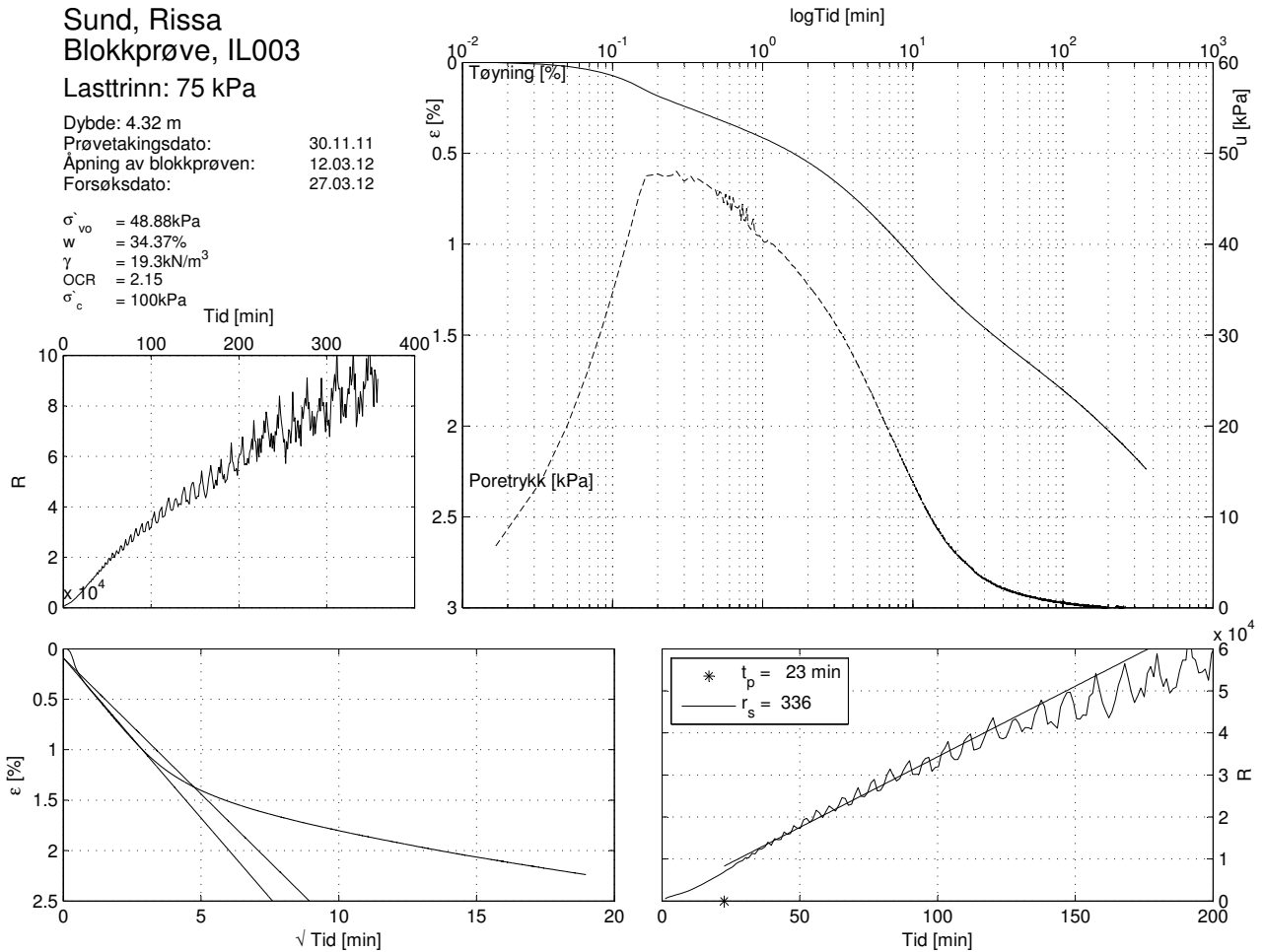


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL003

Lasttrinn: 75 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

σ'_{vo} = 48.88kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100kPa

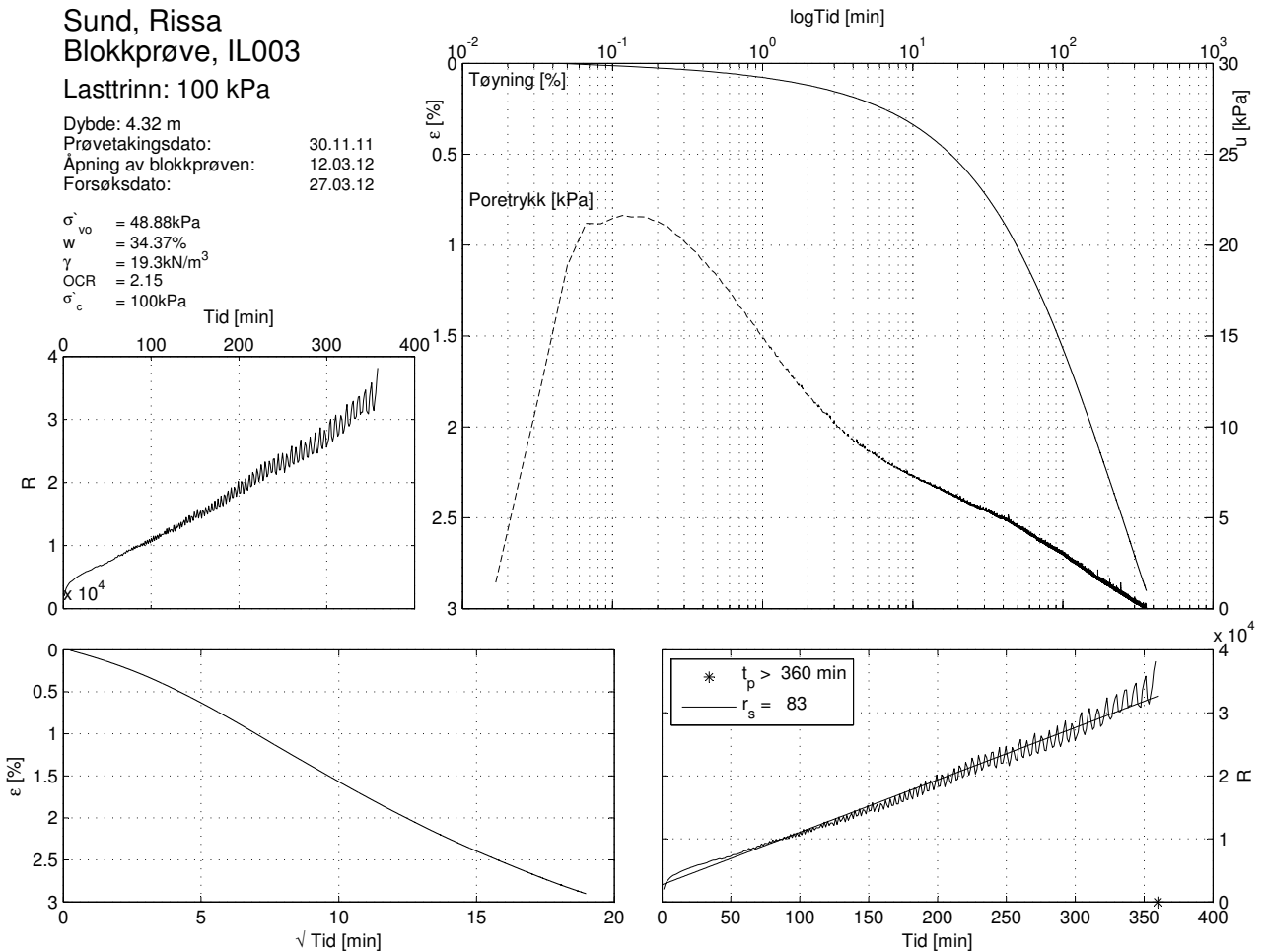


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL003

Lasttrinn: 100 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

σ'_{vo} = 48.88kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100kPa

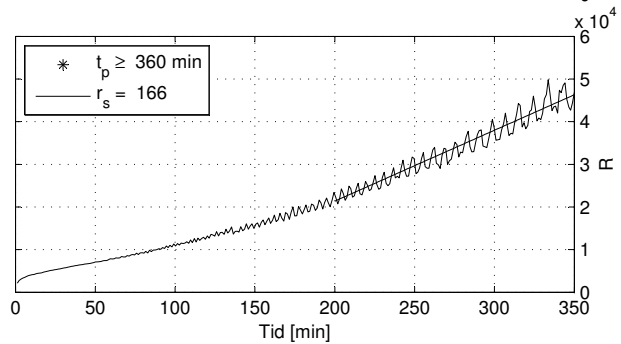
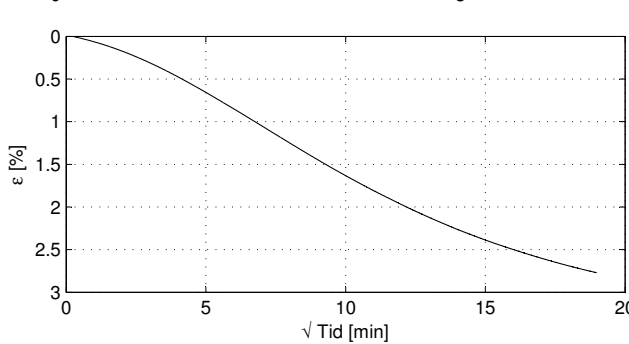
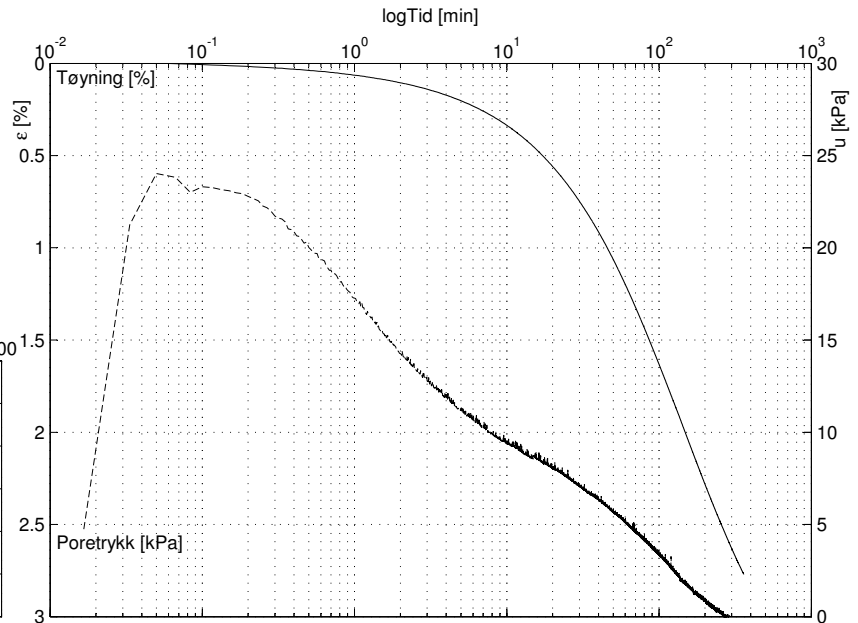
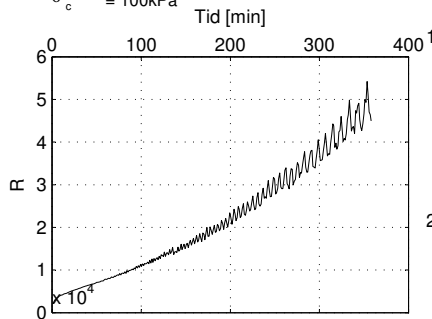


Sund, Rissa Bløkkprøve, IL003

Lasttrinn: 125 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av bløkkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

σ'_{vo} = 48.88 kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3 kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100 kPa

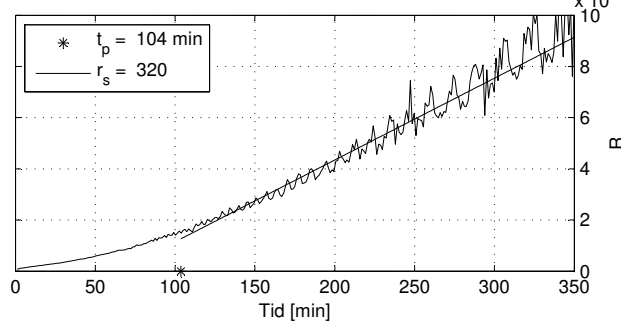
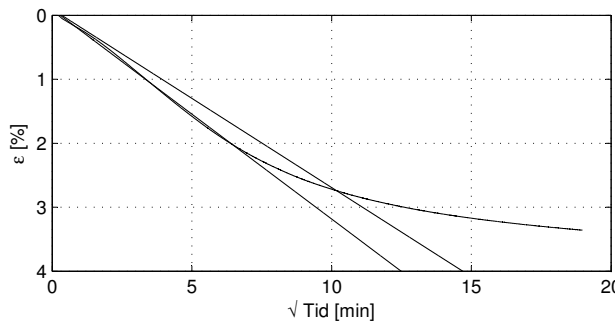
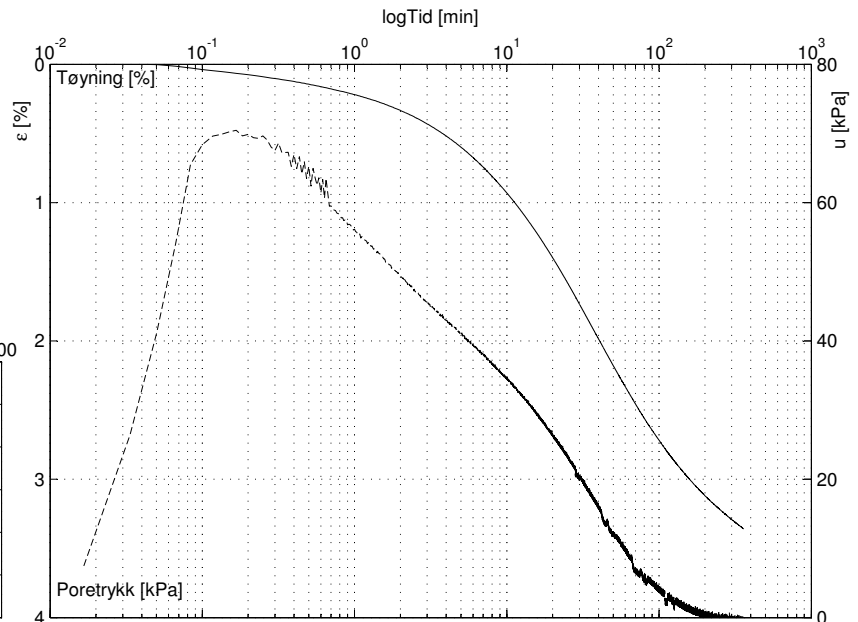
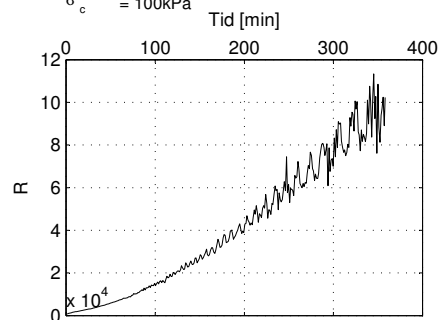


Sund, Rissa Bløkkprøve, IL003

Lasttrinn: 200 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av bløkkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

σ'_{vo} = 48.88 kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3 kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100 kPa

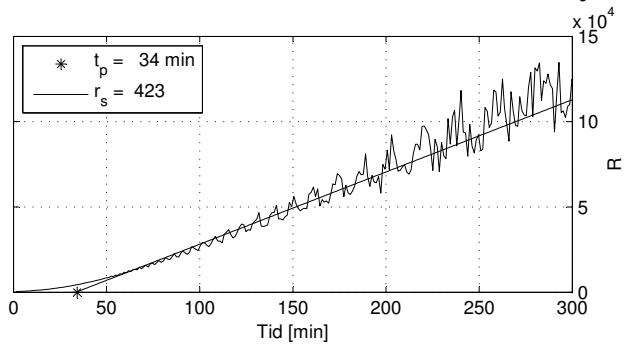
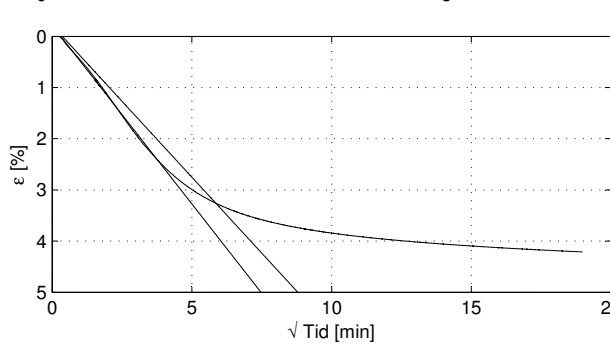
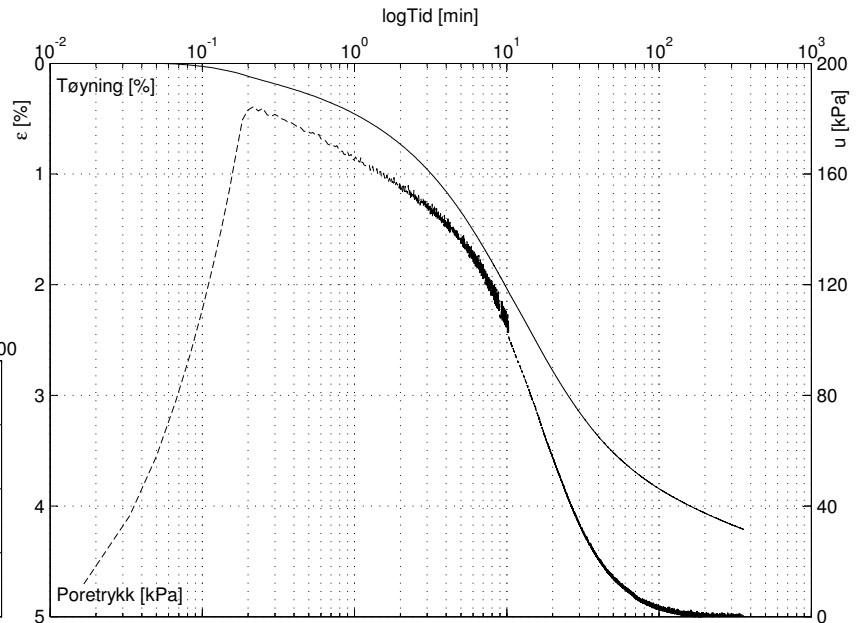
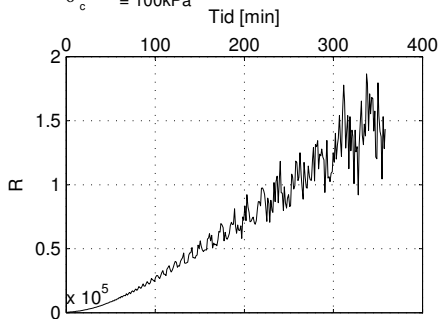


Sund, Rissa Blokkprøve, IL003

Lasttrinn: 400 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

σ'_{vo} = 48.88kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100kPa

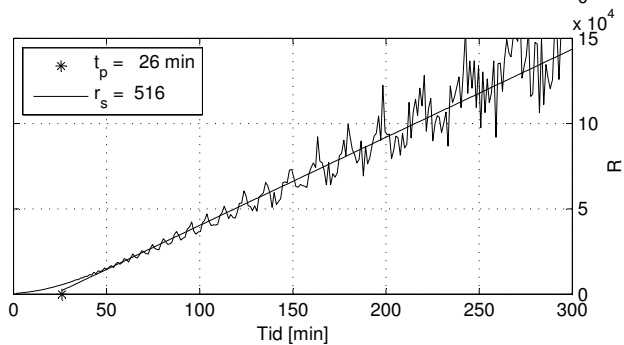
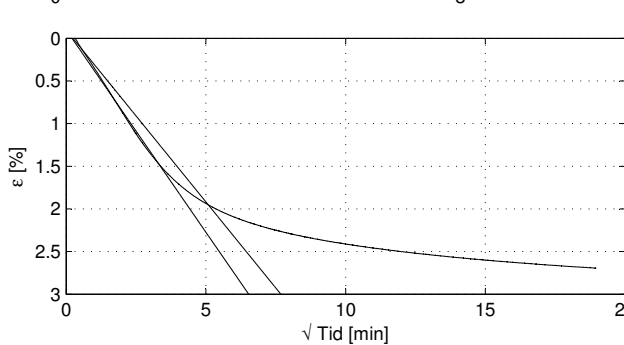
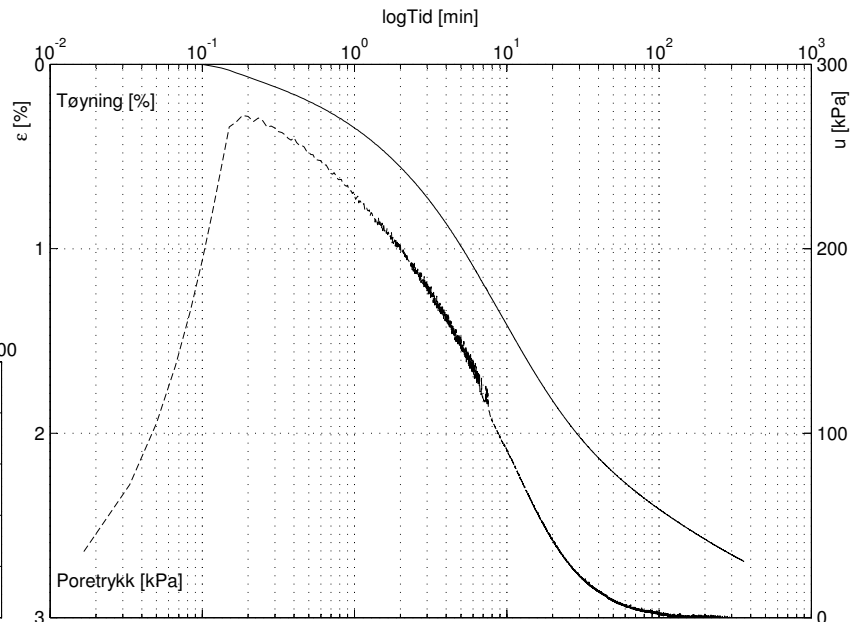
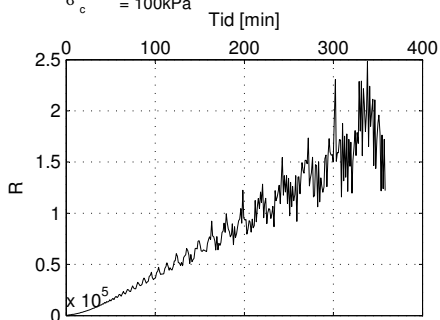


Sund, Rissa Blokkprøve, IL003

Lasttrinn: 700 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

σ'_{vo} = 48.88kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100kPa

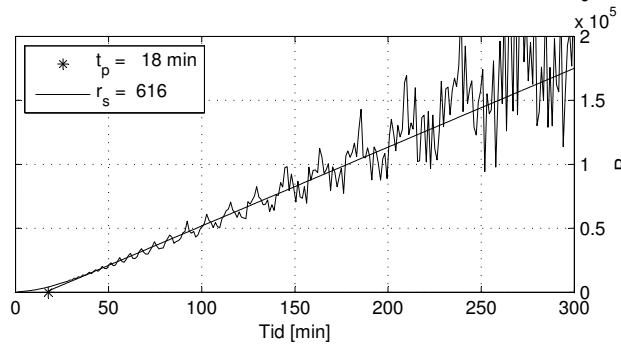
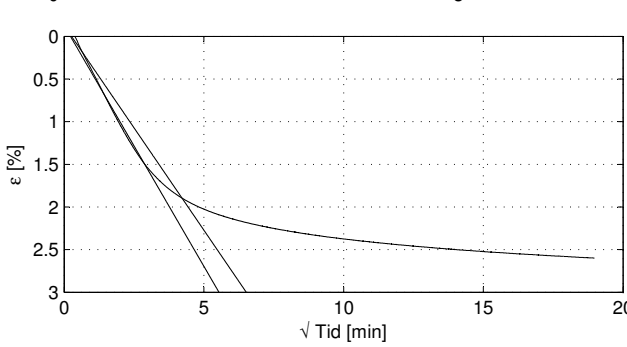
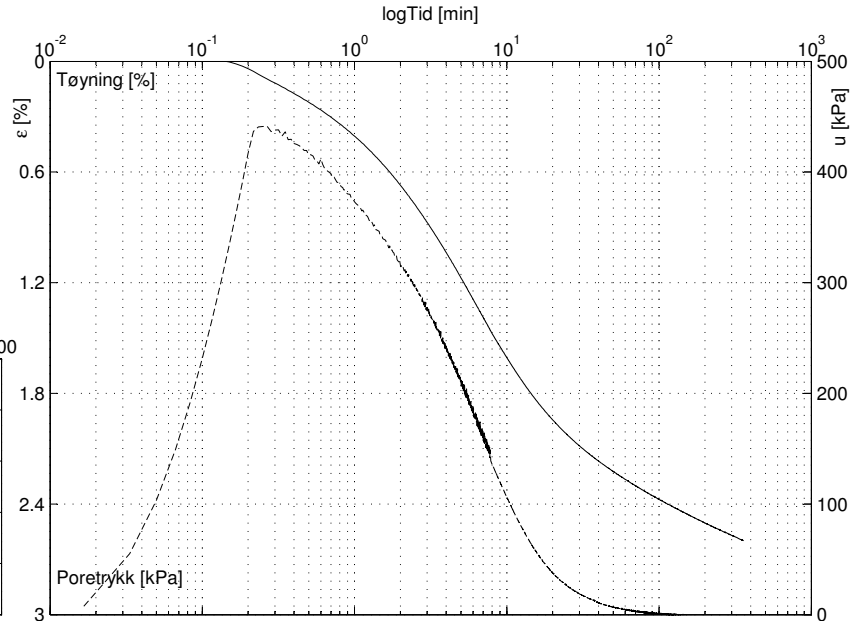
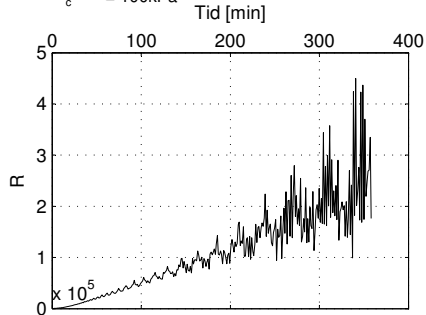


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL003

Lasttrinn: 1200 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

σ'_{vo} = 48.88 kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3 kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100 kPa

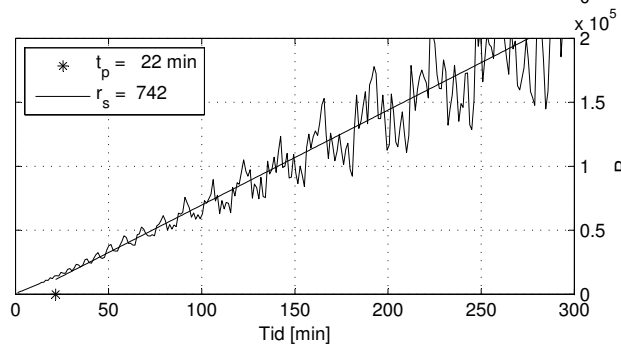
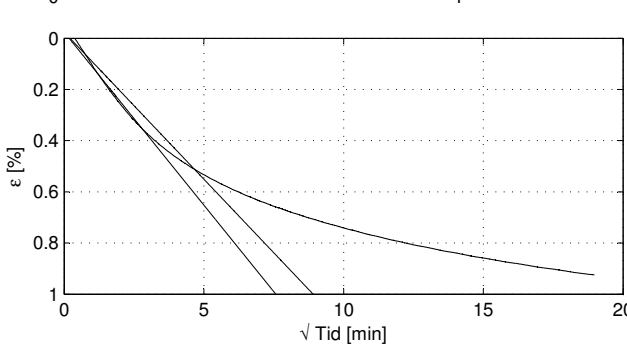
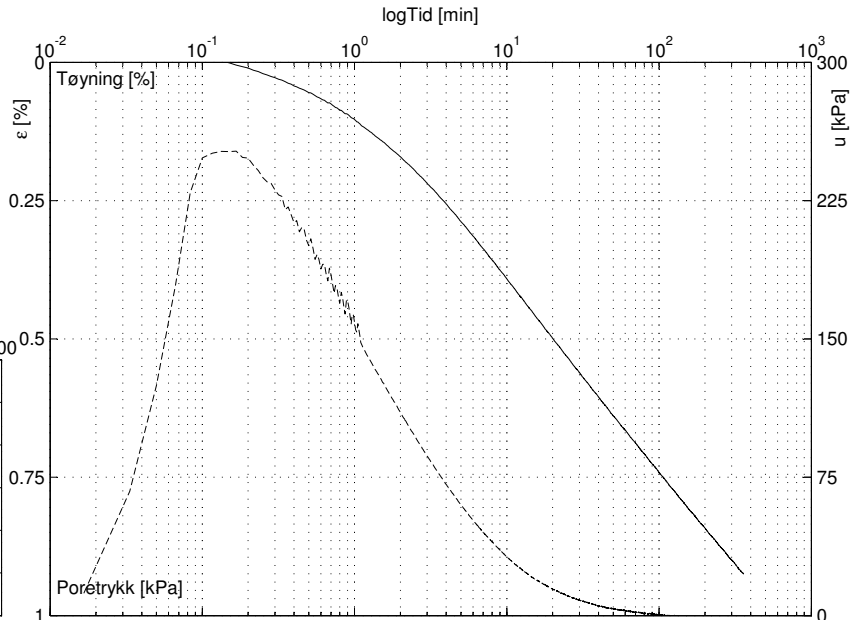
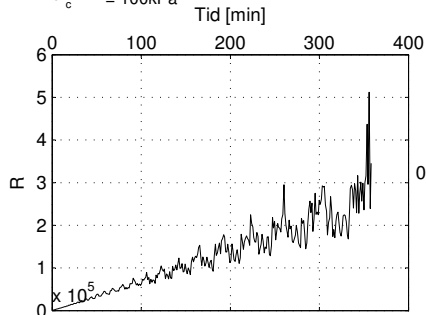


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL003

Lasttrinn: 1500 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 27.03.12

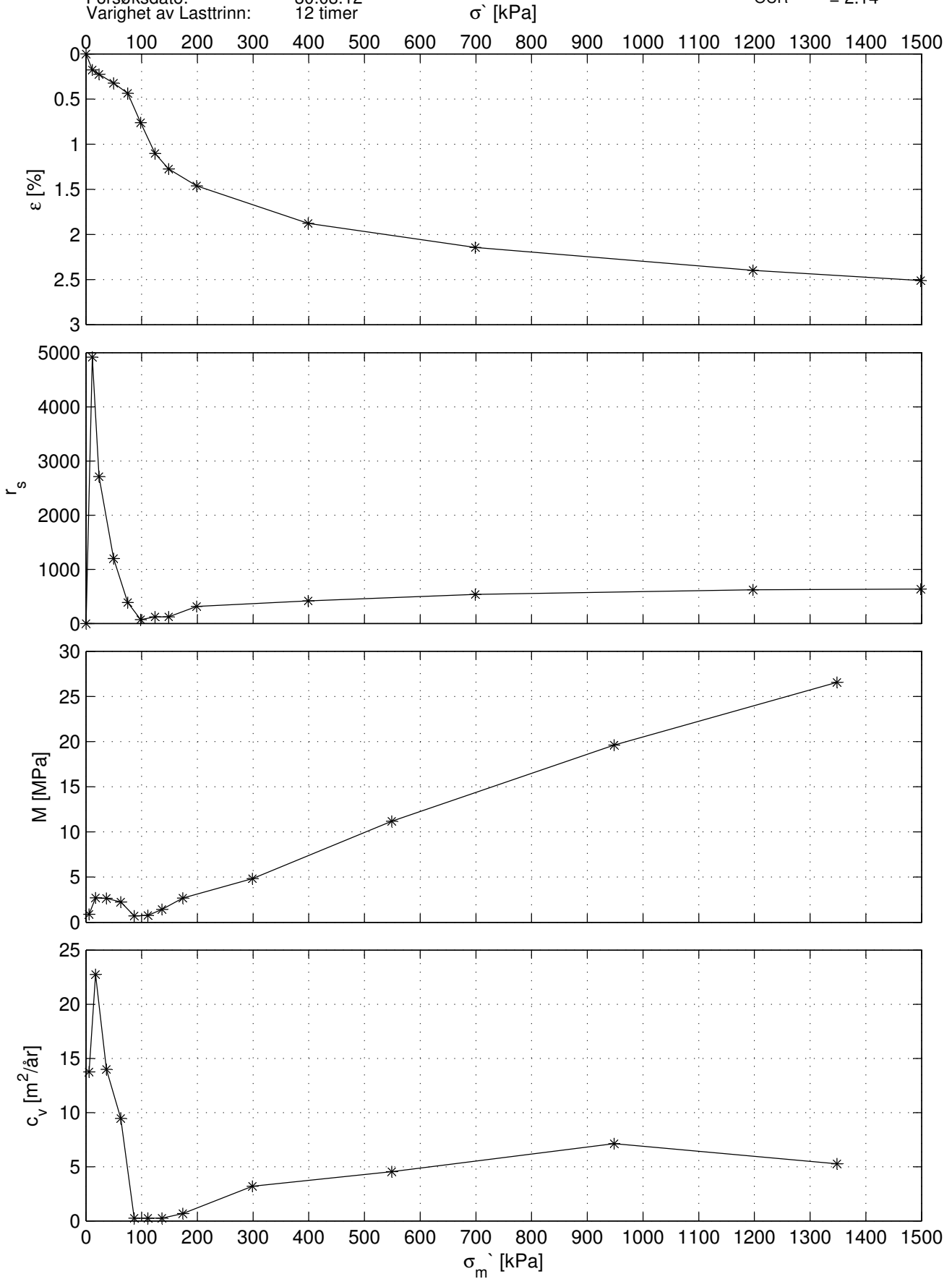
σ'_{vo} = 48.88 kPa
 w = 34.37%
 γ = 19.3 kN/m³
 OCR = 2.15
 σ'_c = 100 kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Dybde: 4.32 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12
 Varighet av Lasttrinn: 12 timer

σ'_{v0} = 49.15 kPa
 w_{v0} = 35.93%
 γ = 19.0 kN/m³
 OCR = 2.14

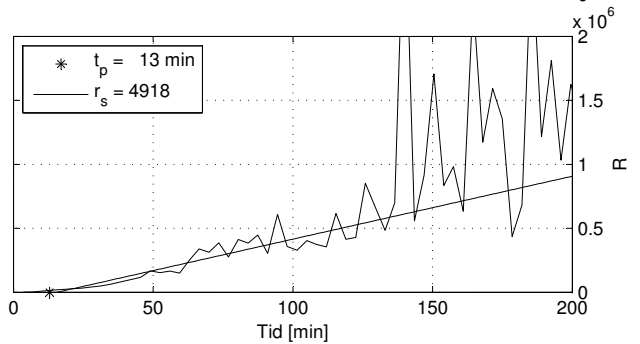
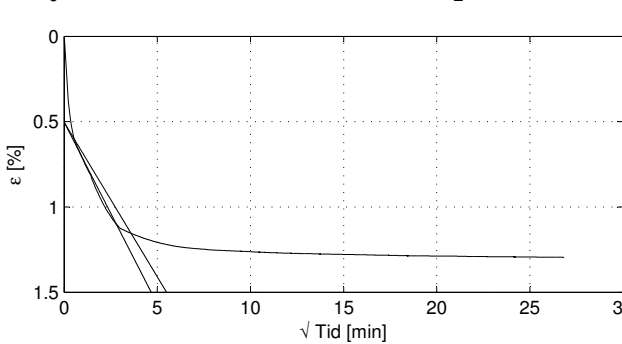
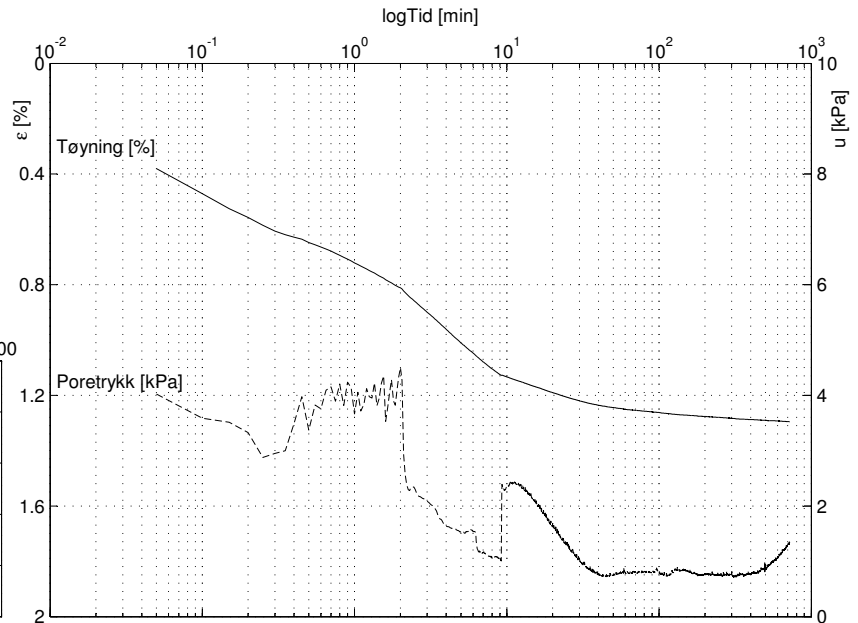
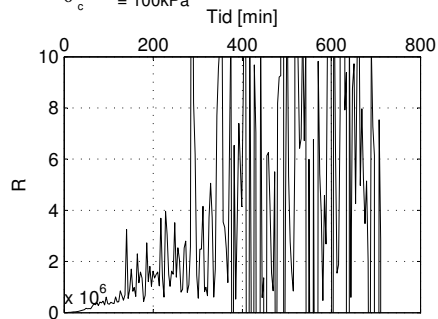


Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 12.5 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

σ'_{vo} = 49.15kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

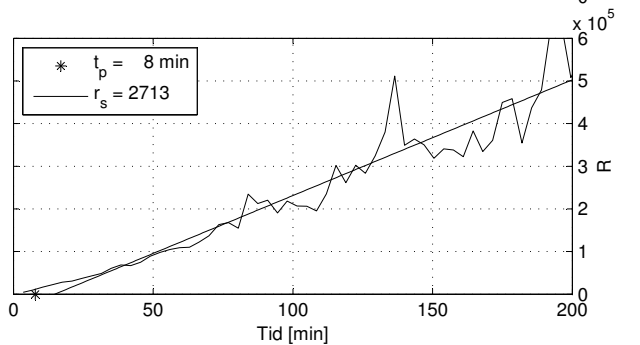
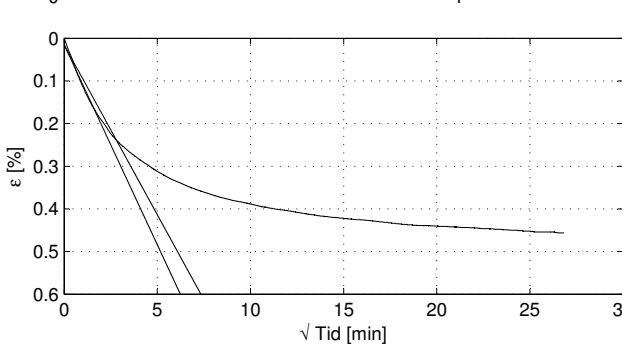
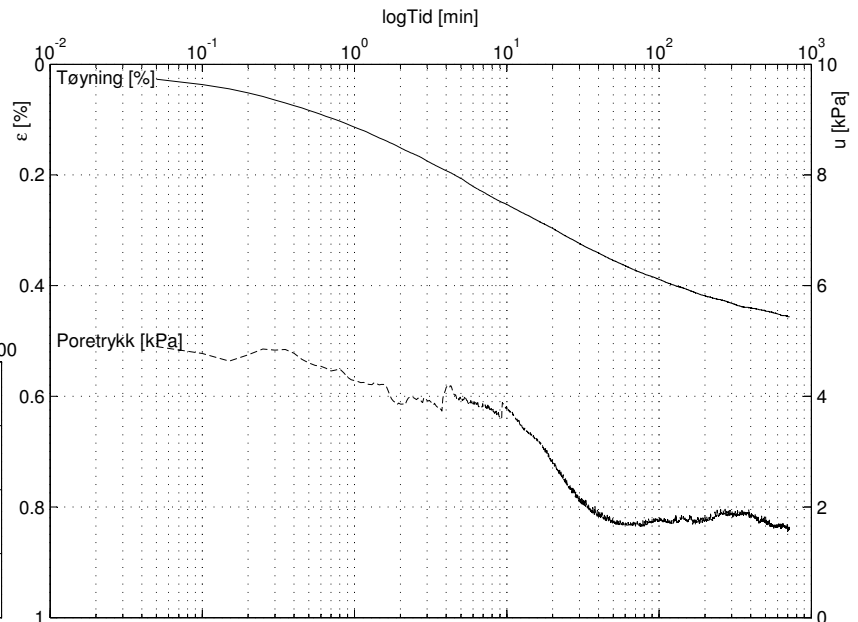
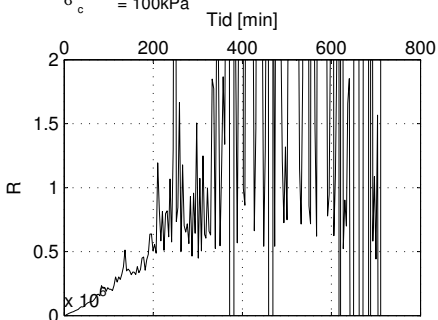


Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 25 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.25
 Forsøksdato: 30.03.25

σ'_{vo} = 49.15kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

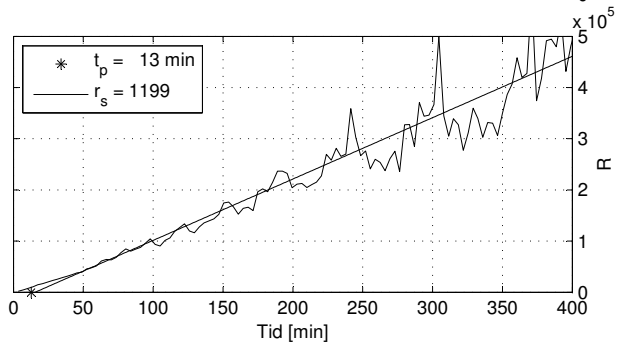
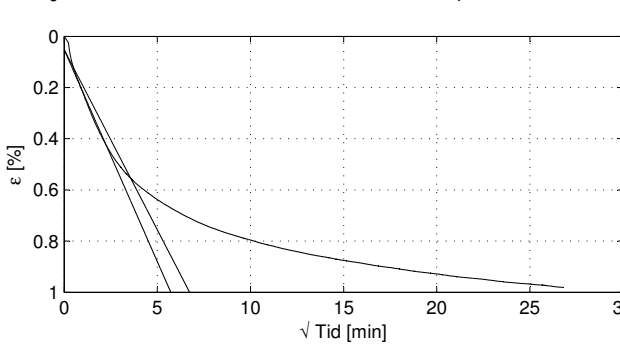
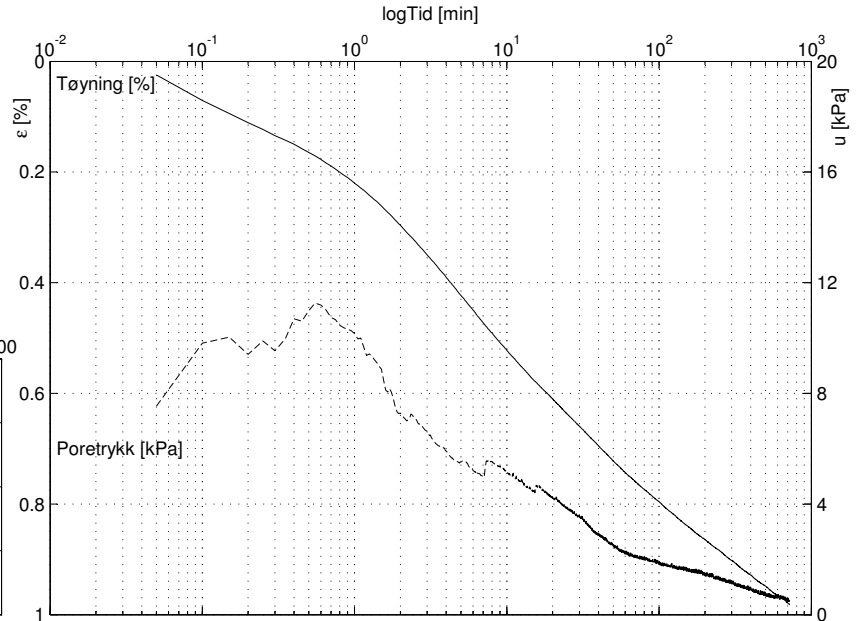
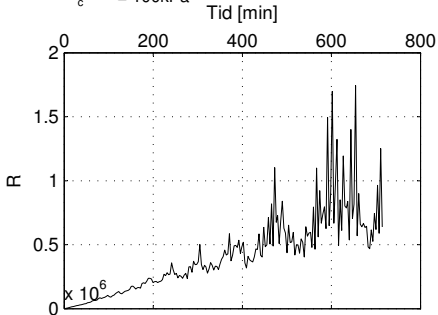


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 50 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

σ'_{vo} = 49.15kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

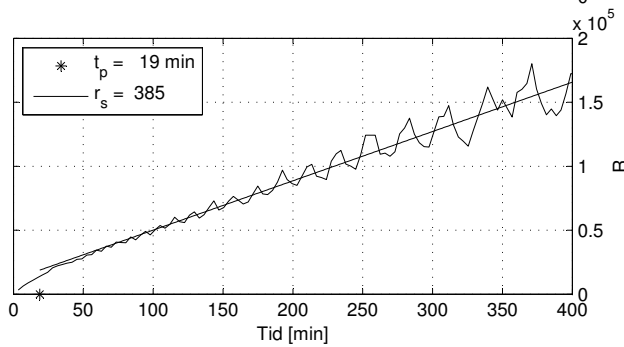
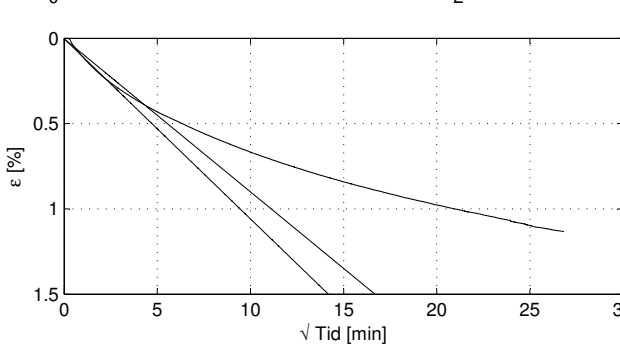
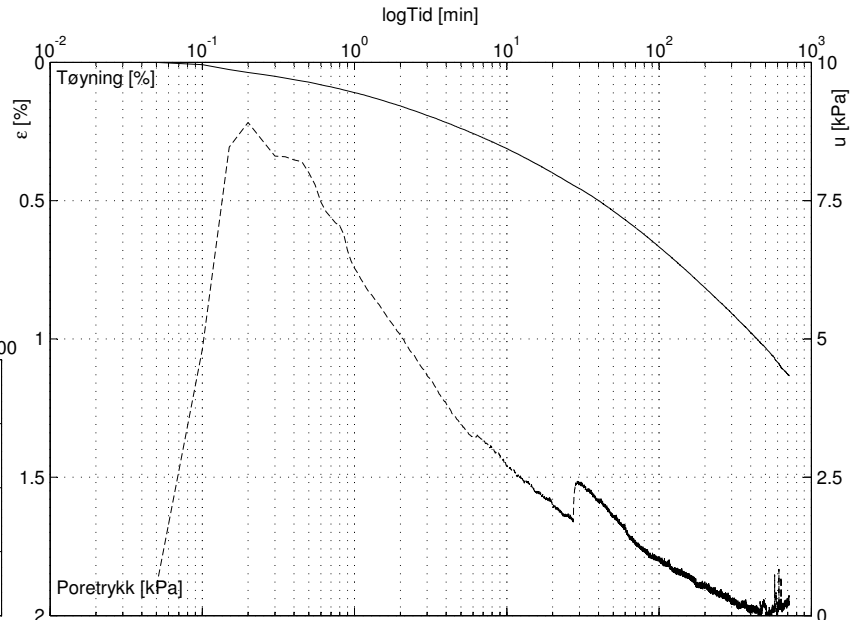
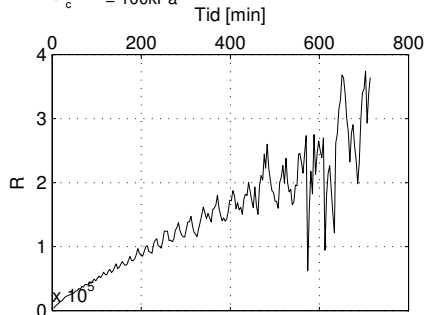


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 75 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

σ'_{vo} = 49.15kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

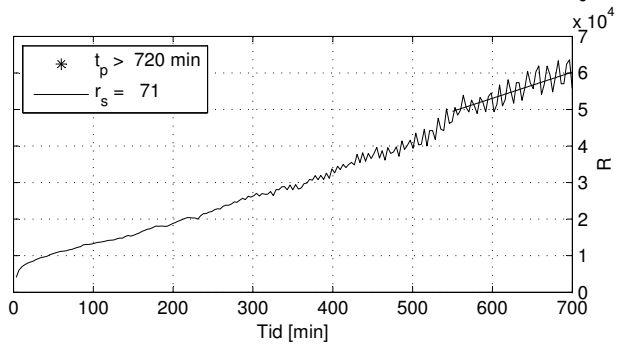
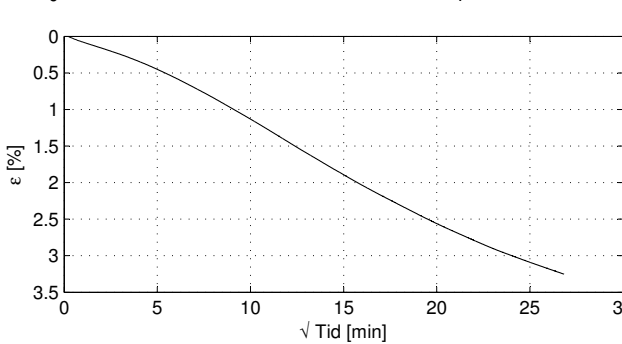
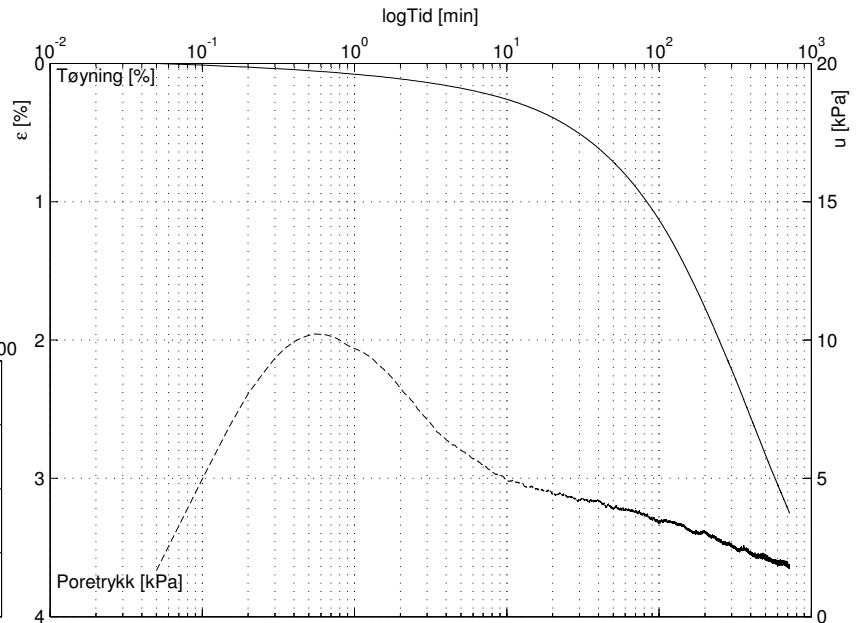
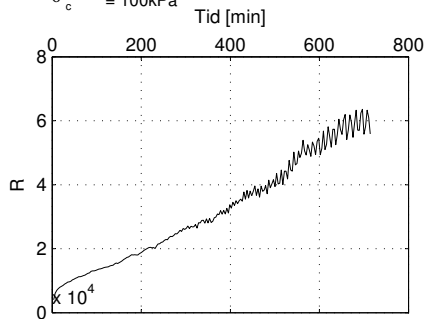


Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 100 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

σ'_{vo} = 49.15 kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0 kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100 kPa

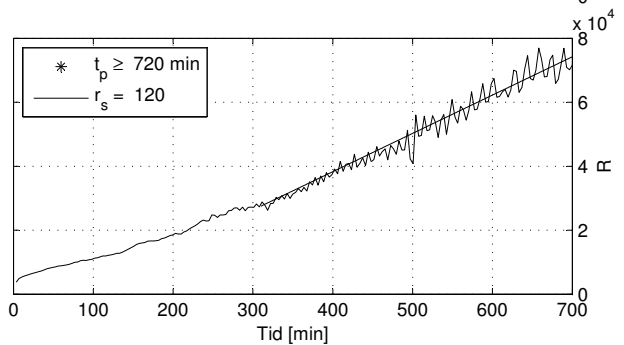
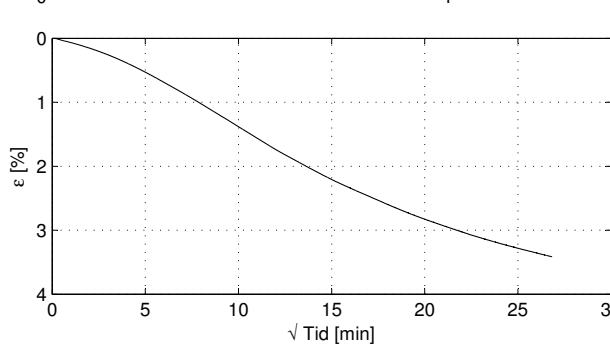
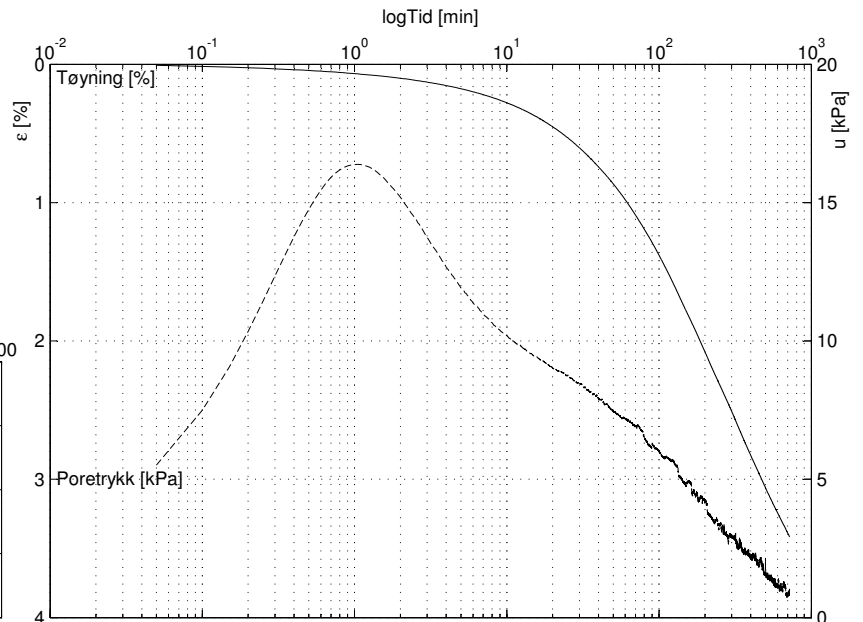
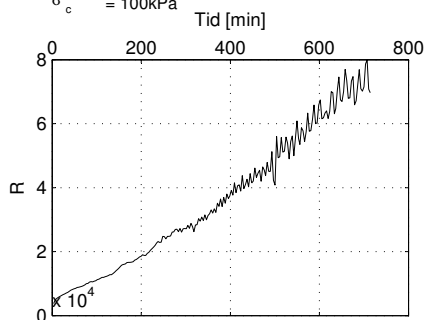


Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 125 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

σ'_{vo} = 49.15 kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0 kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100 kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 150 kPa

Dybde: 4.32 m

Prøvetakingsdato: 30.11.11

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

Forsøksdato: 30.03.12

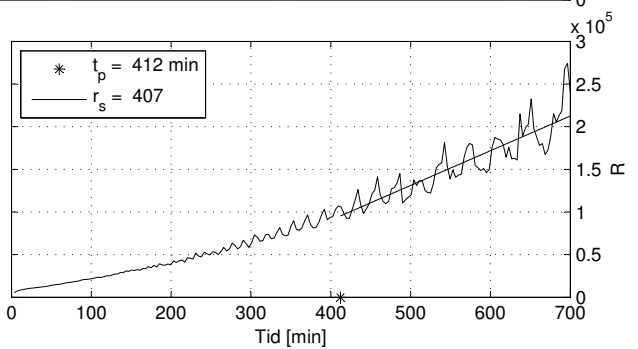
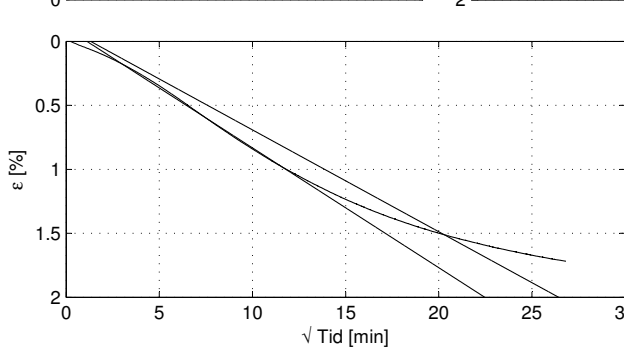
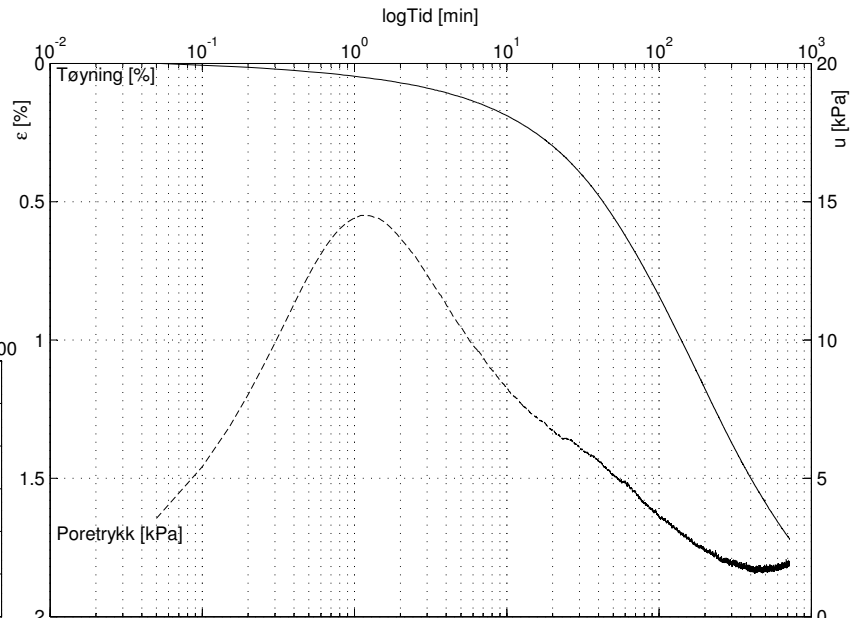
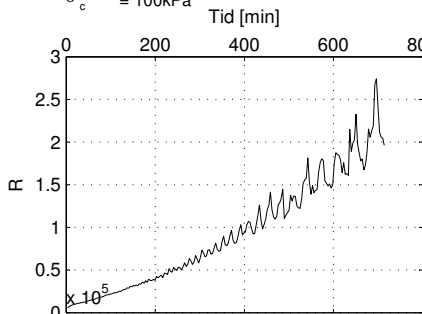
σ'_{vo} = 49.15kPa

w = 35.93%

γ = 19.0kN/m³

OCR = 2.14

σ'_c = 100kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 200 kPa

Dybde: 4.32 m

Prøvetakingsdato: 30.11.11

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

Forsøksdato: 30.03.12

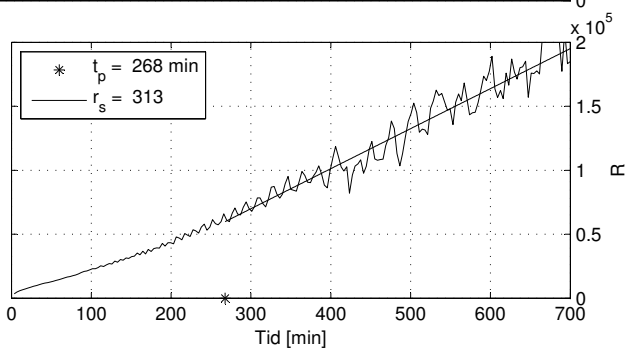
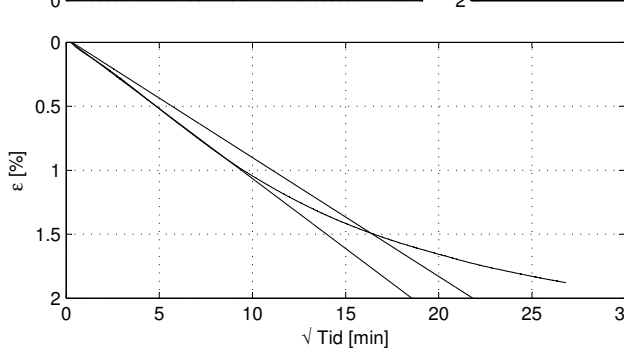
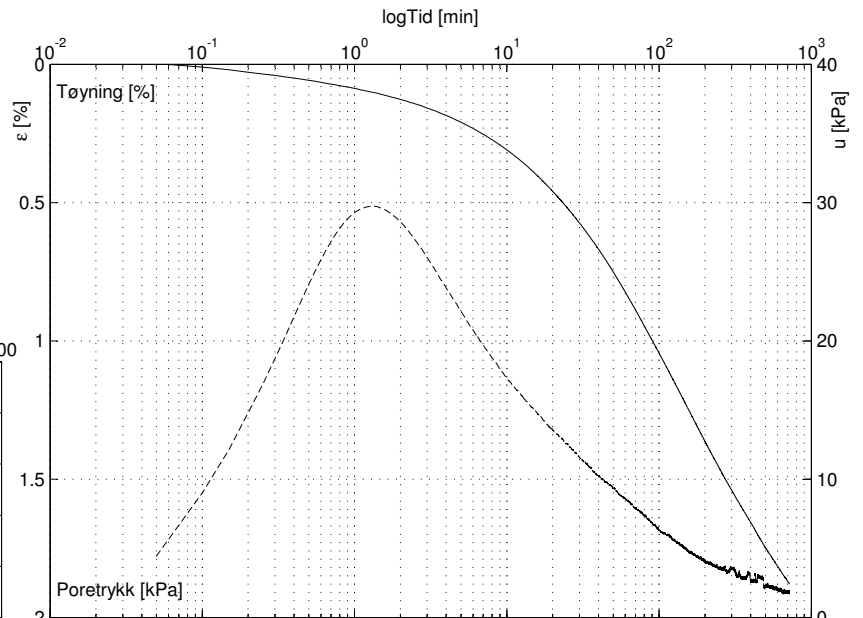
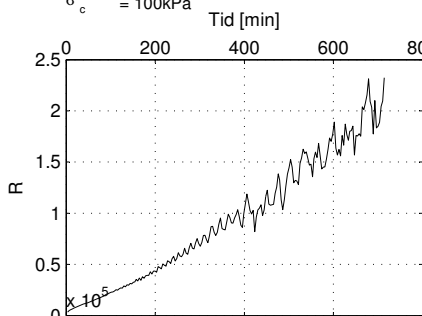
σ'_{vo} = 49.15kPa

w = 35.93%

γ = 19.0kN/m³

OCR = 2.14

σ'_c = 100kPa

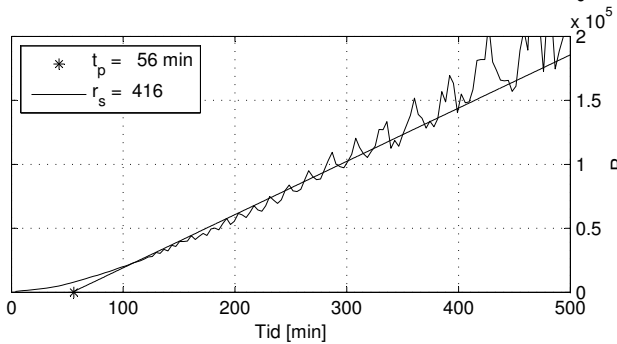
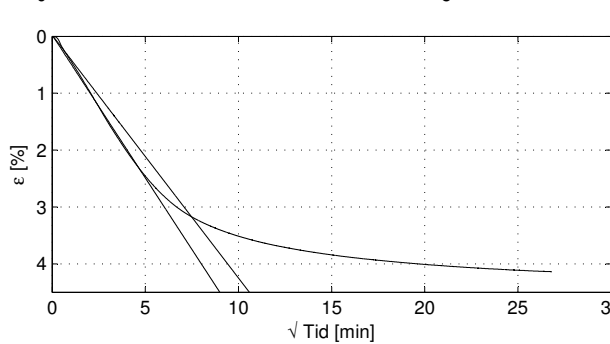
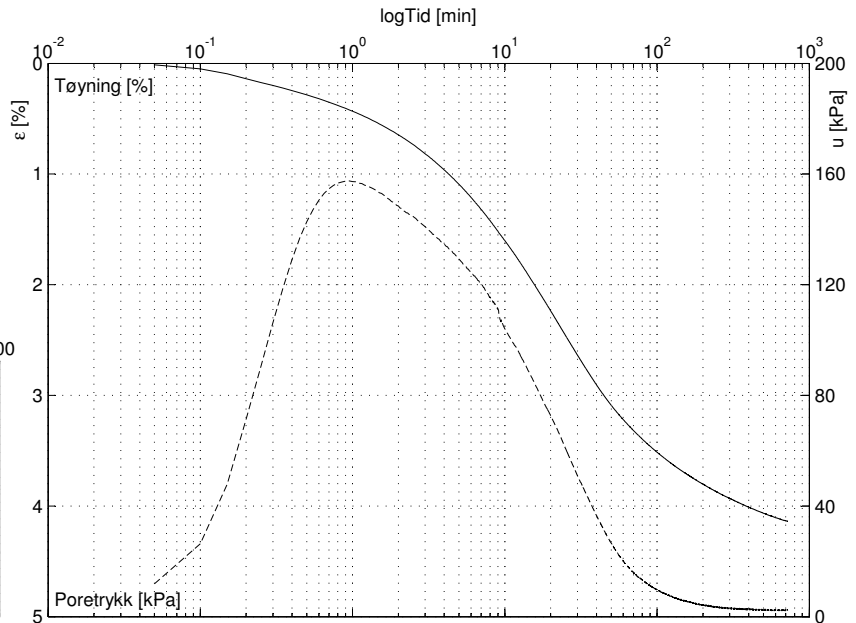
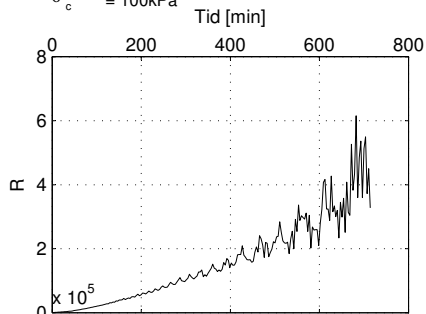


Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 400 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

σ'_{vo} = 49.15kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

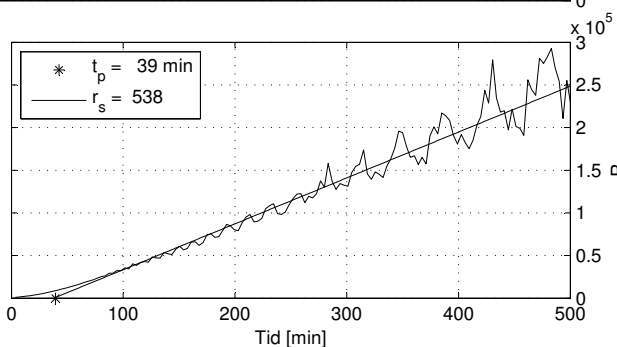
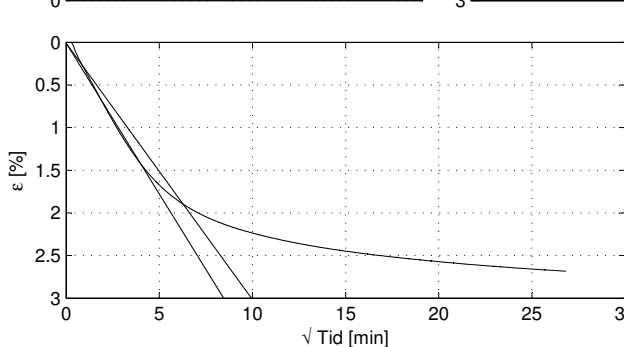
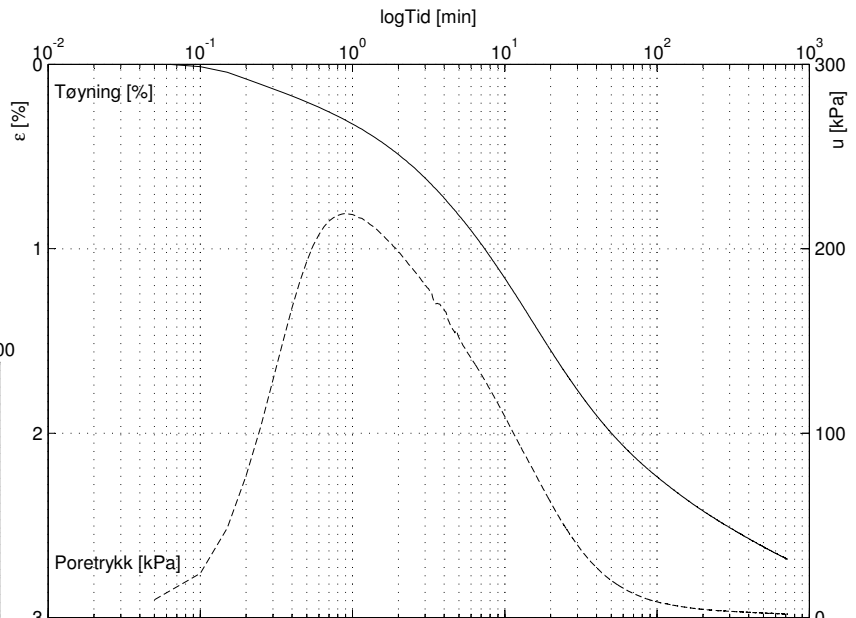
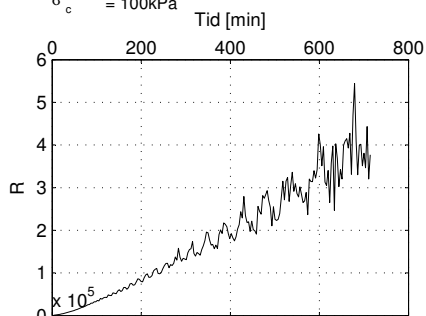


Sund, Rissa Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 700 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

σ'_{vo} = 49.15kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

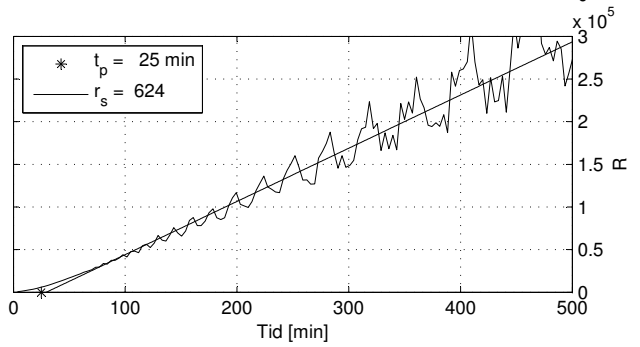
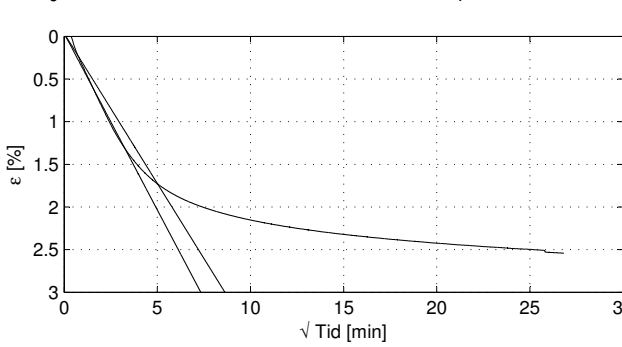
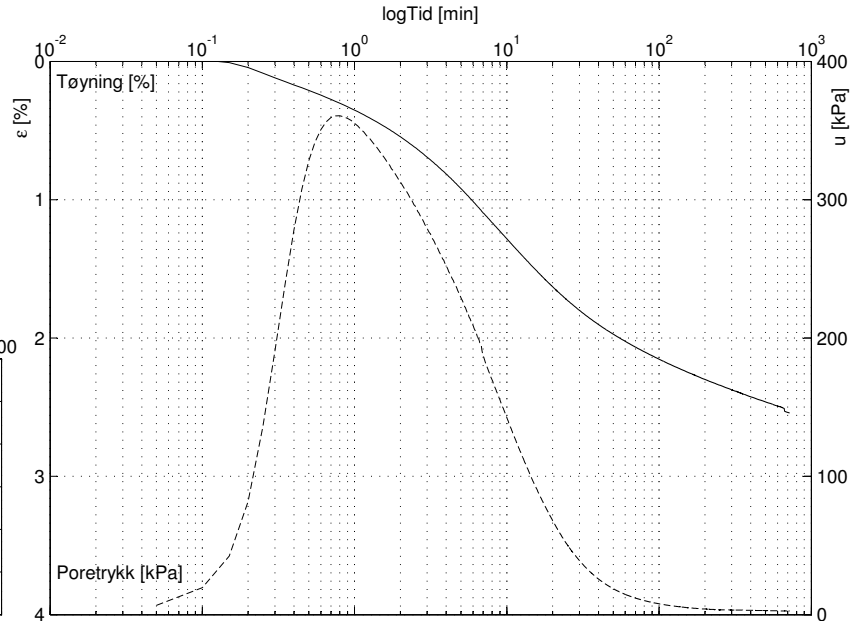
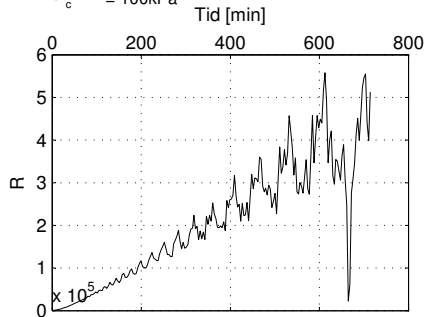


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 1200 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

σ'_{vo} = 49.15kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

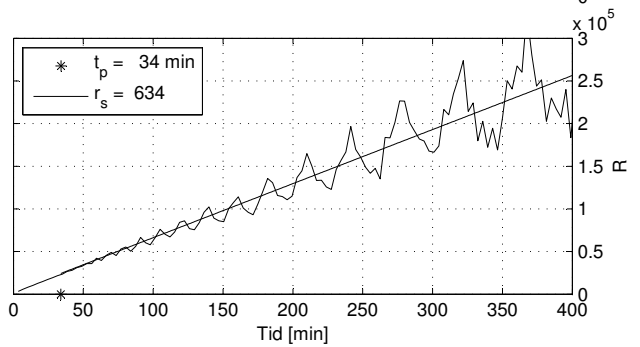
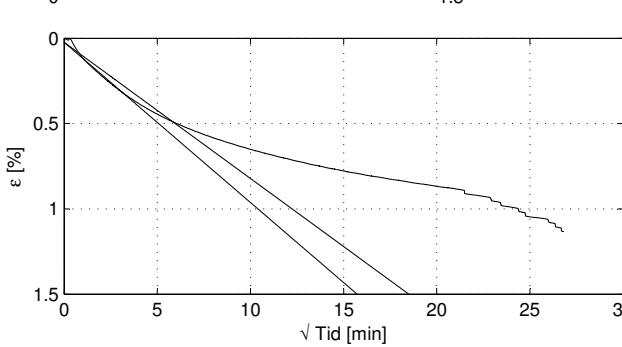
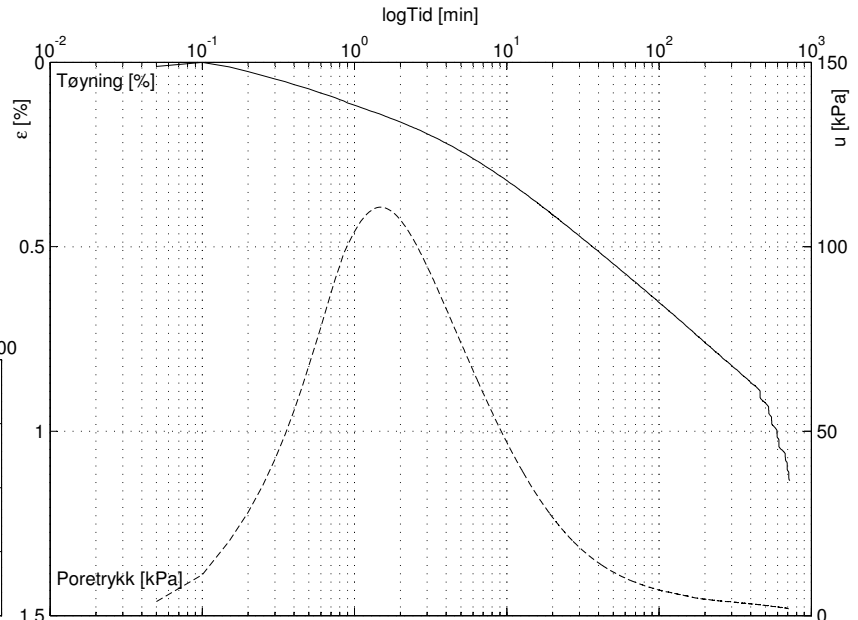
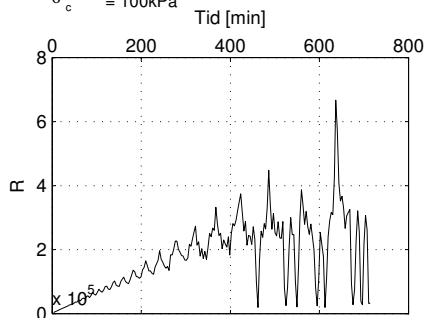


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL004

Lasttrinn: 1500 kPa

Dybde: 4.32 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 30.03.12

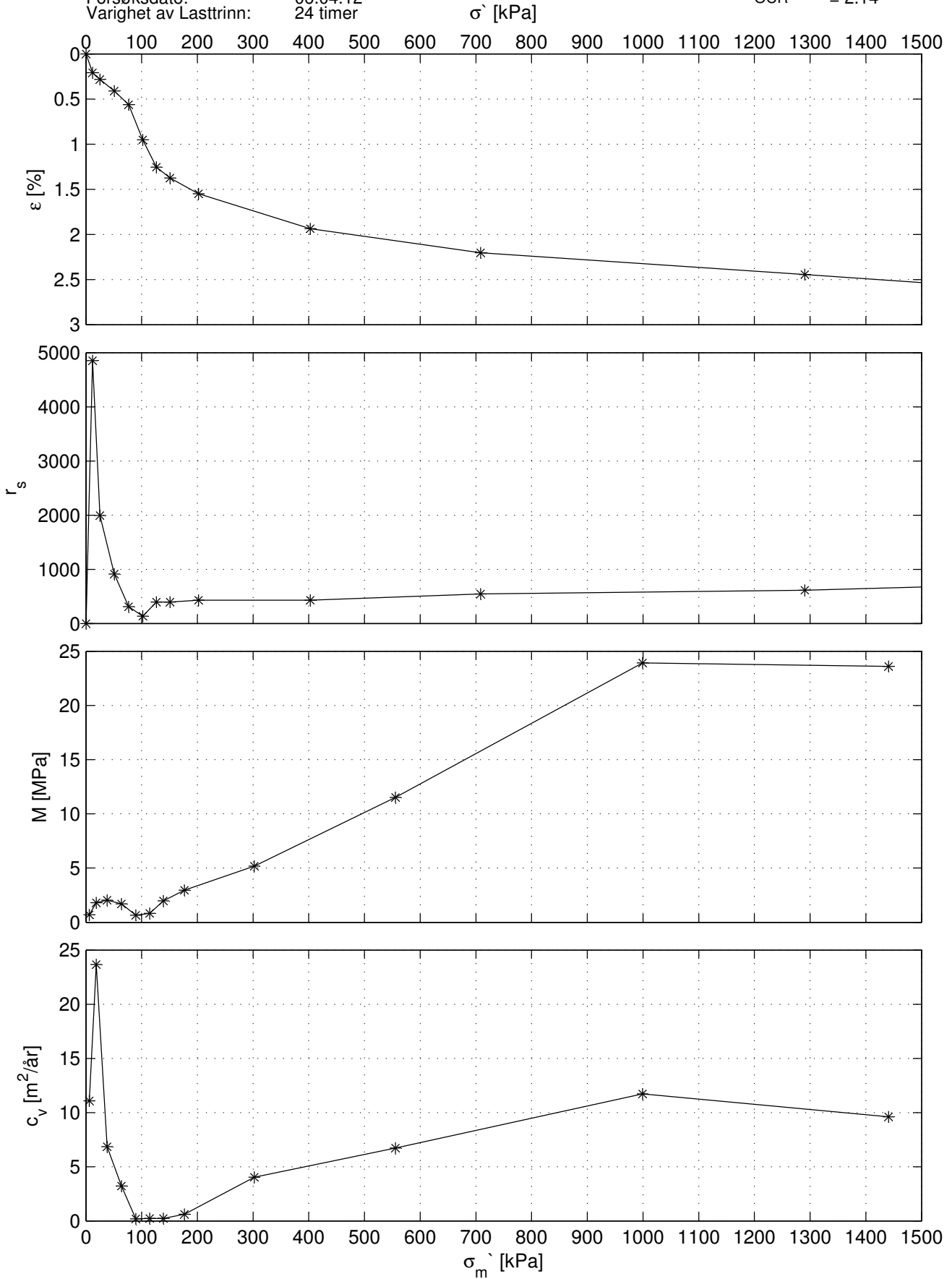
σ'_{vo} = 49.15kPa
 w = 35.93%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL005

Dybde: 4.38 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12
 Varighet av Lasttrinn: 24 timer

σ'_{v0} = 49.42 kPa
 w_{v0} = 35.47%
 γ = 19.0 kN/m³
 OCR = 2.14

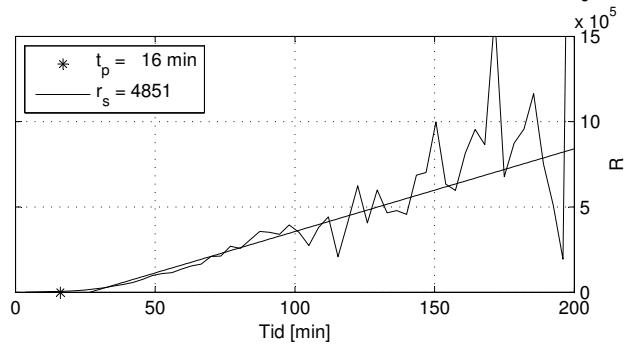
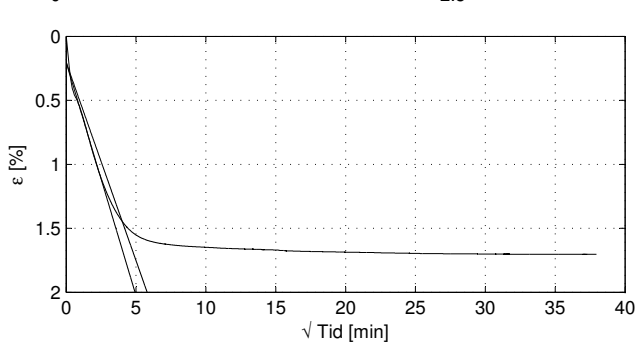
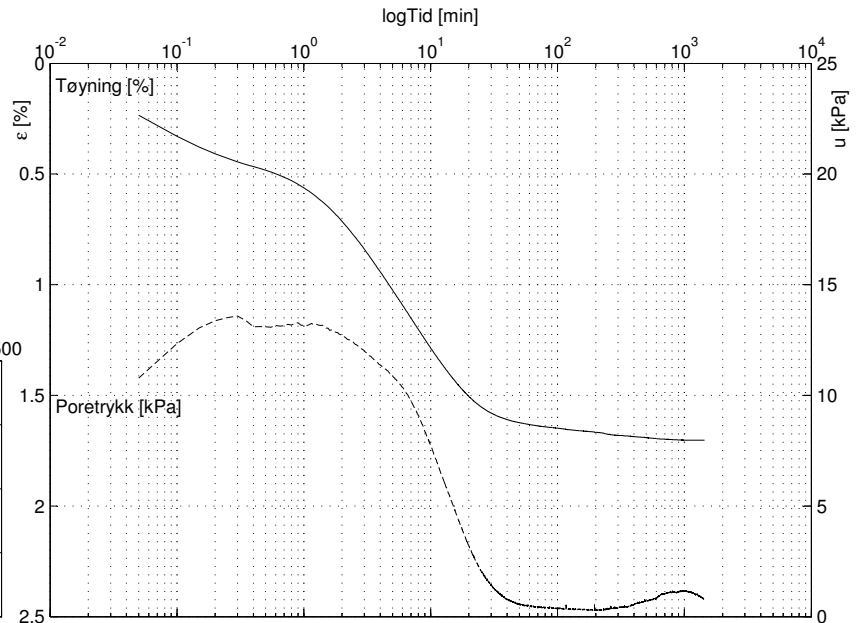
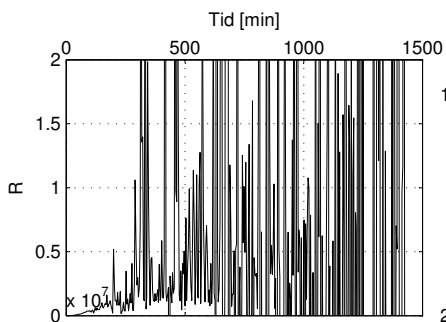


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 12.5 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14

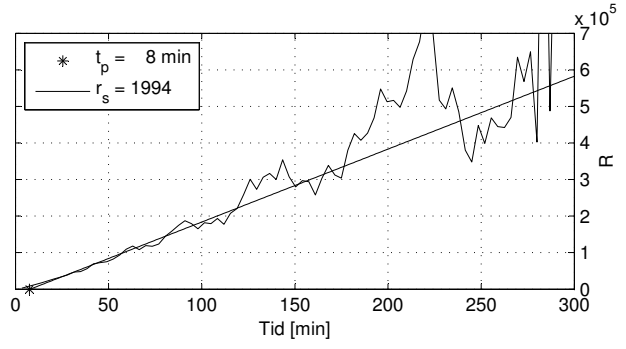
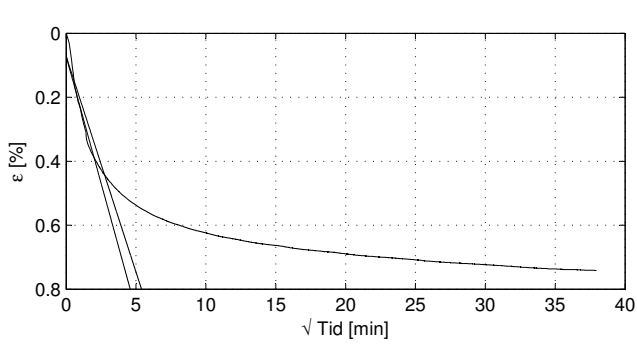
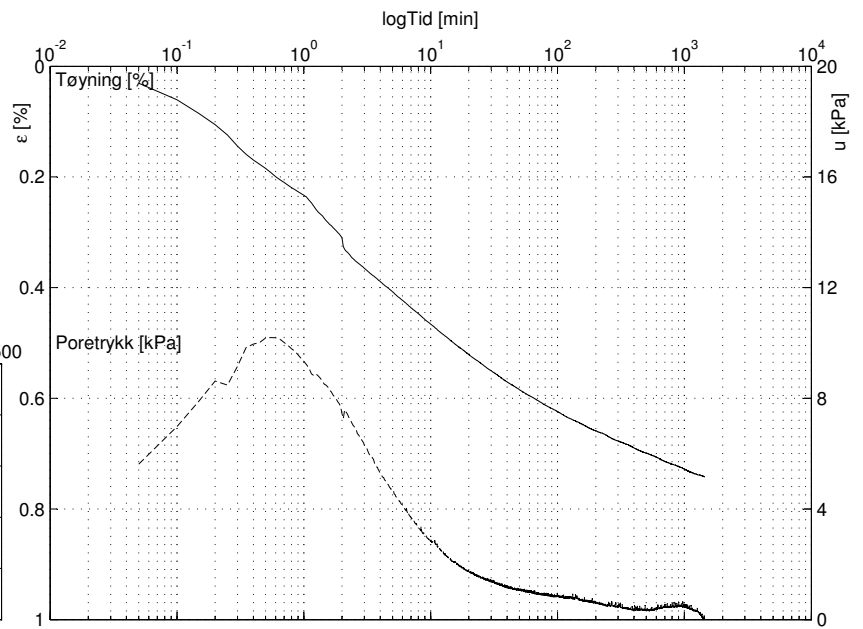
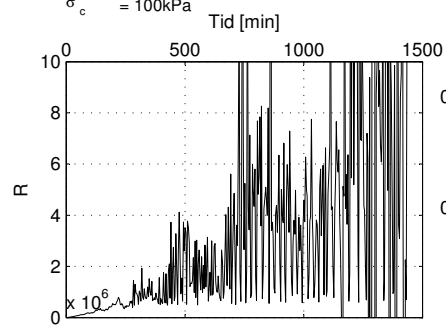


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 25 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 13.02.25
 Forsøksdato: 27.03.25

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

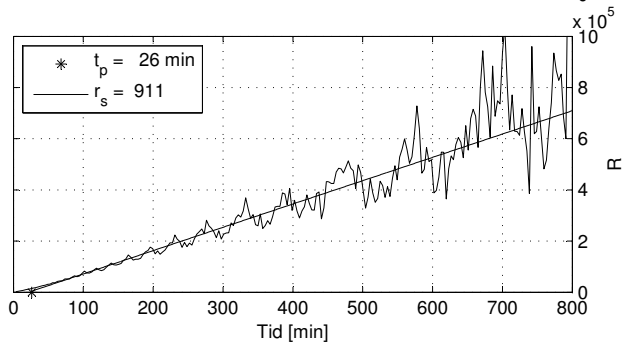
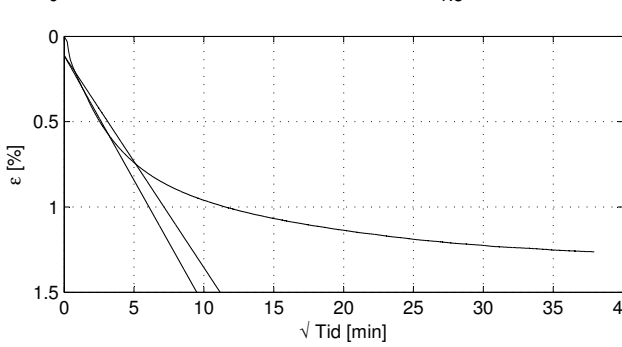
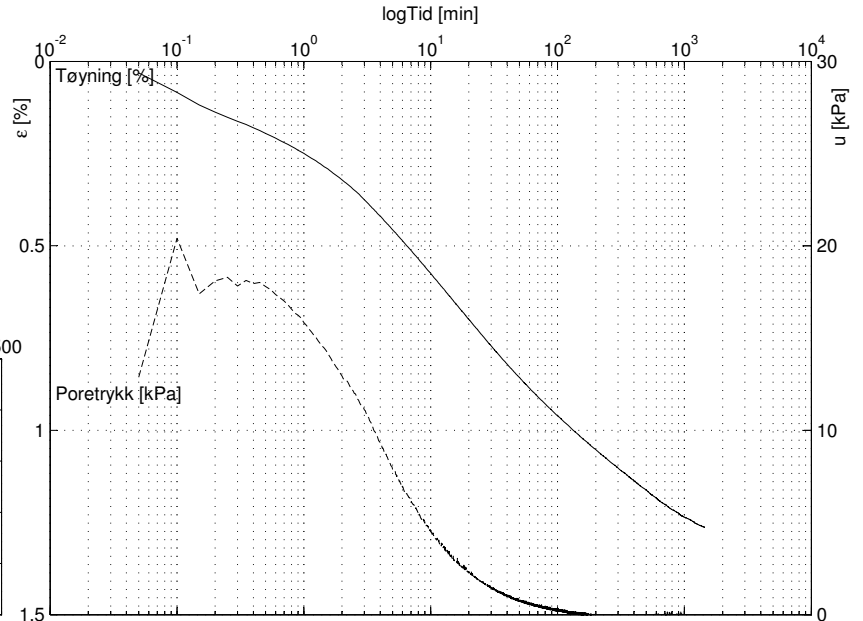
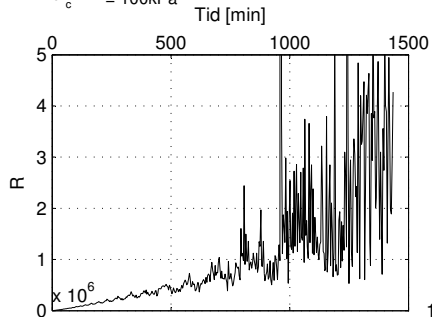


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 50 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

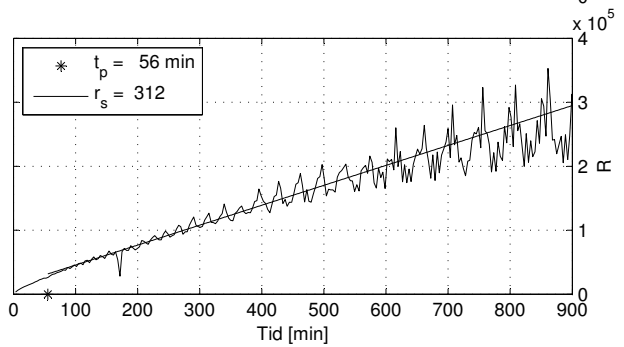
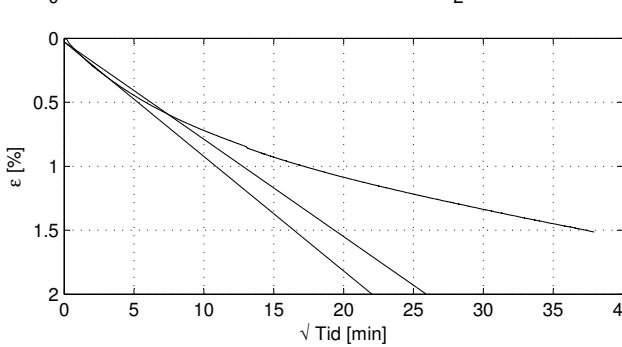
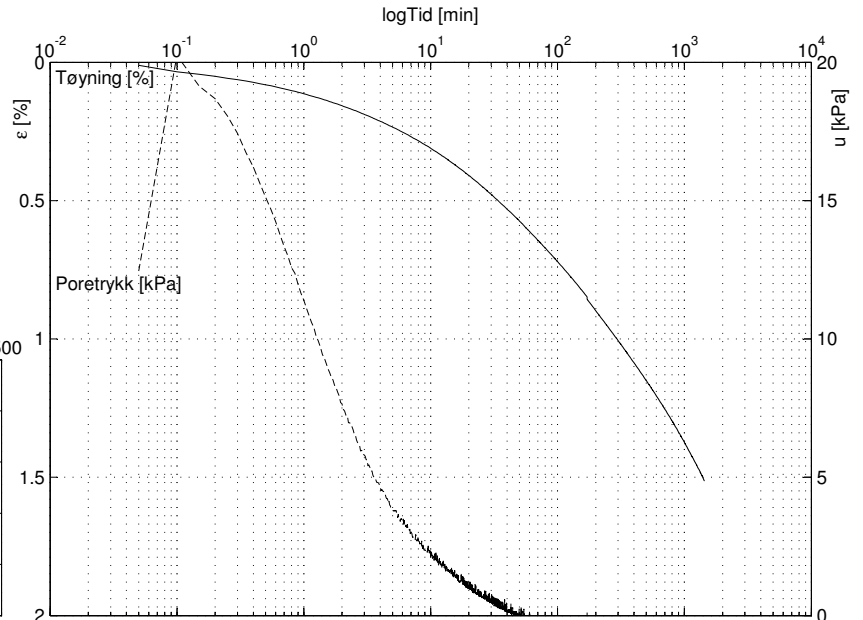
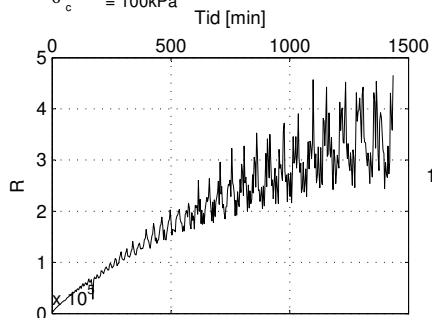


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 75 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

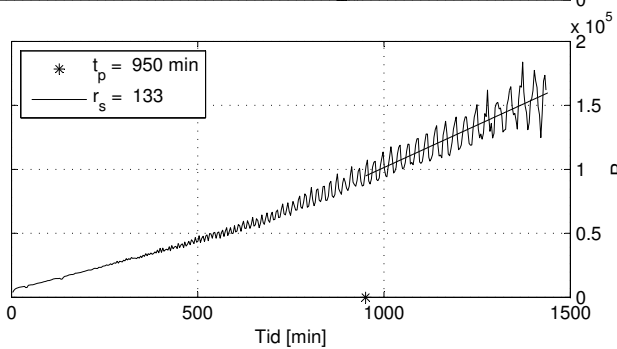
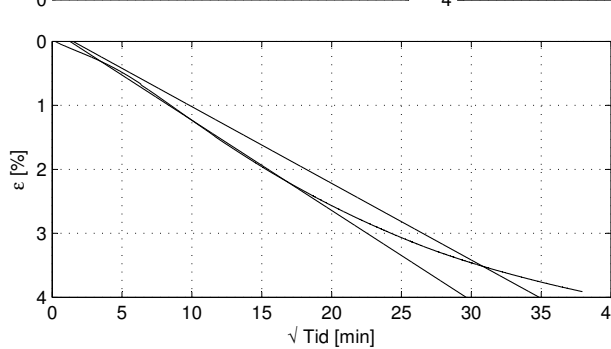
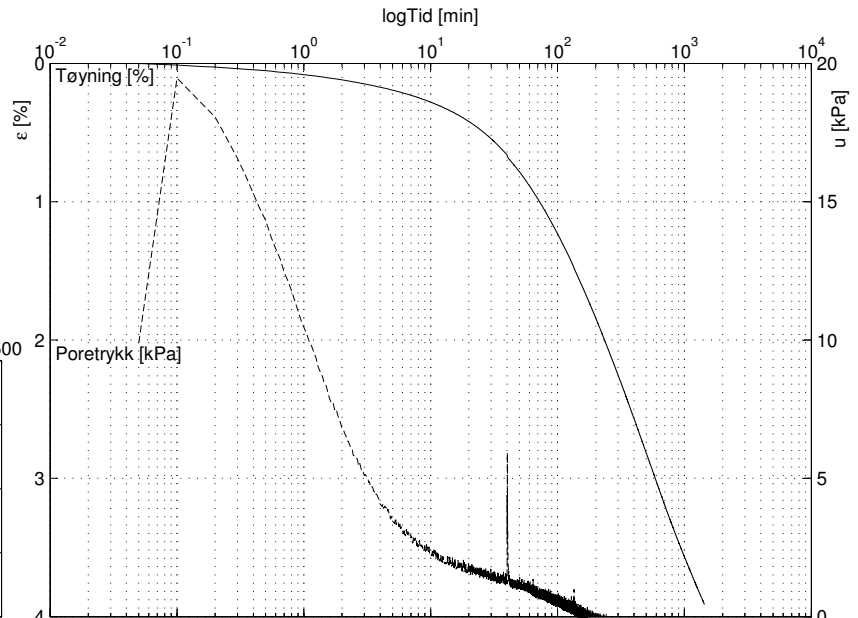
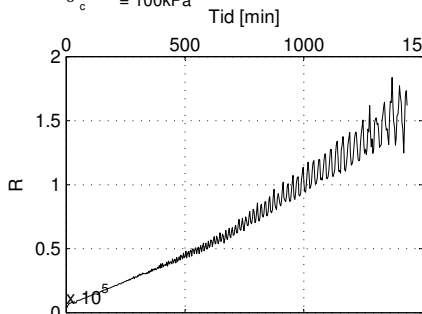


Sund, Rissa Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 100 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

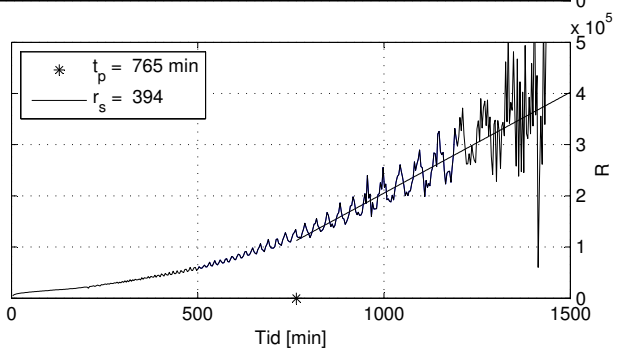
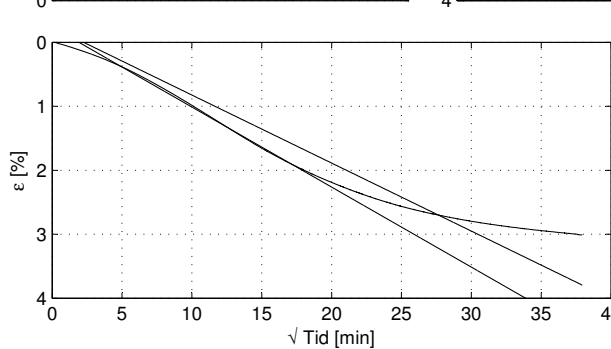
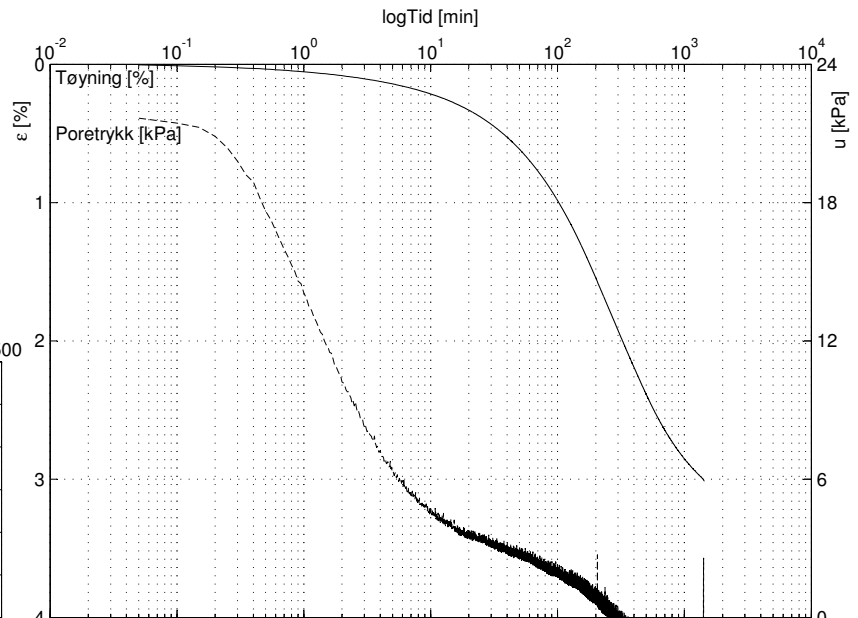
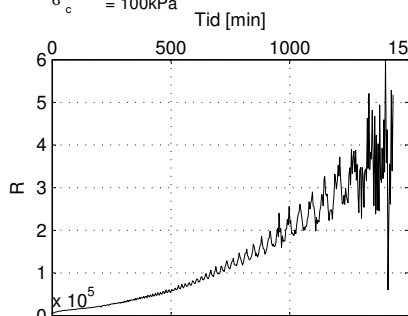


Sund, Rissa Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 125 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetaksdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 150 kPa

Dybde: 4.38 m

Prøvetakingsdato: 30.11.11

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

Forsøksdato: 06.04.12

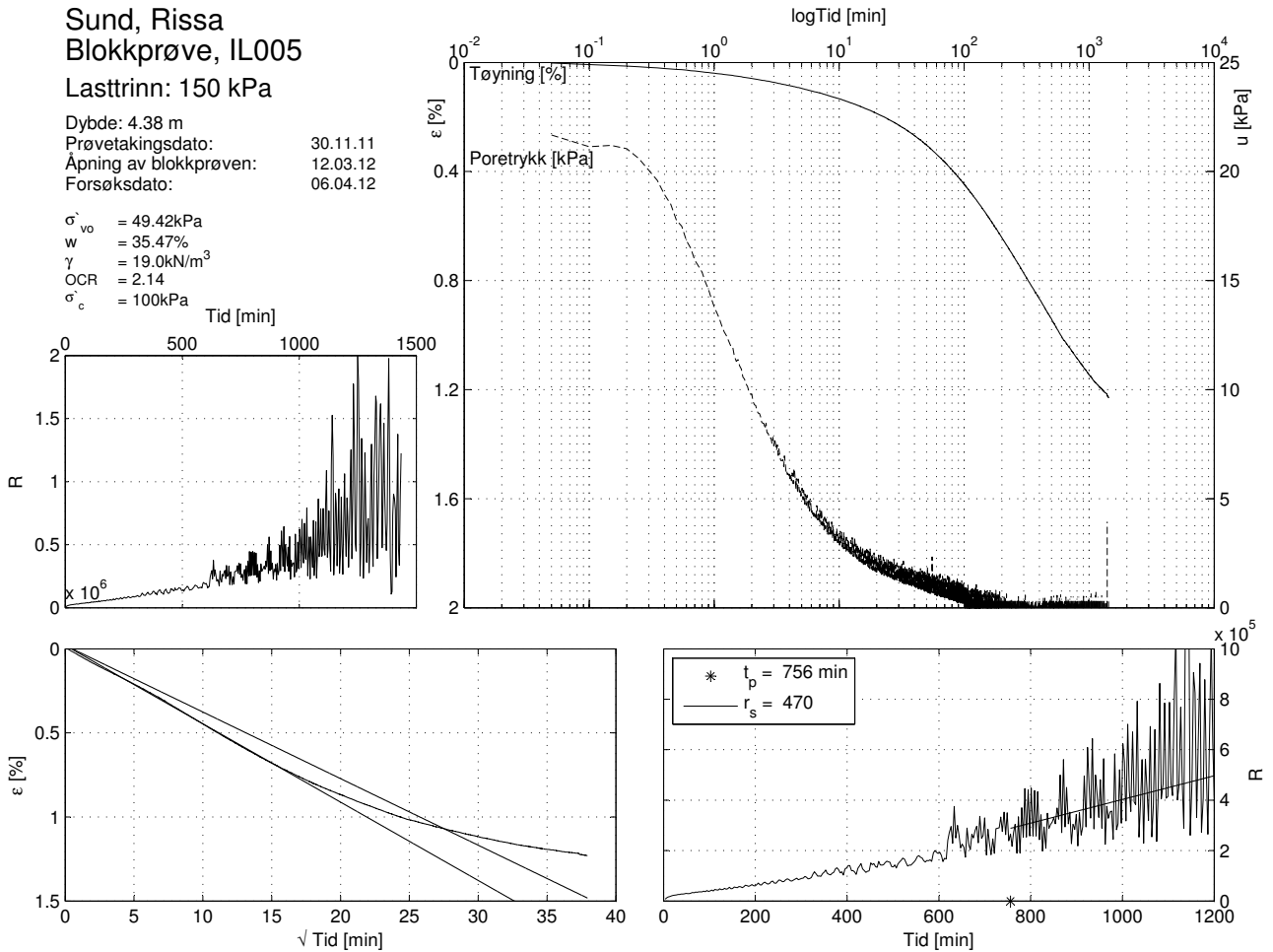
σ'_{vo} = 49.42kPa

w = 35.47%

γ = 19.0kN/m³

OCR = 2.14

σ'_c = 100kPa



Sund, Rissa Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 200 kPa

Dybde: 4.38 m

Prøvetakingsdato: 30.11.11

Åpning av blokkprøven: 12.03.12

Forsøksdato: 06.04.12

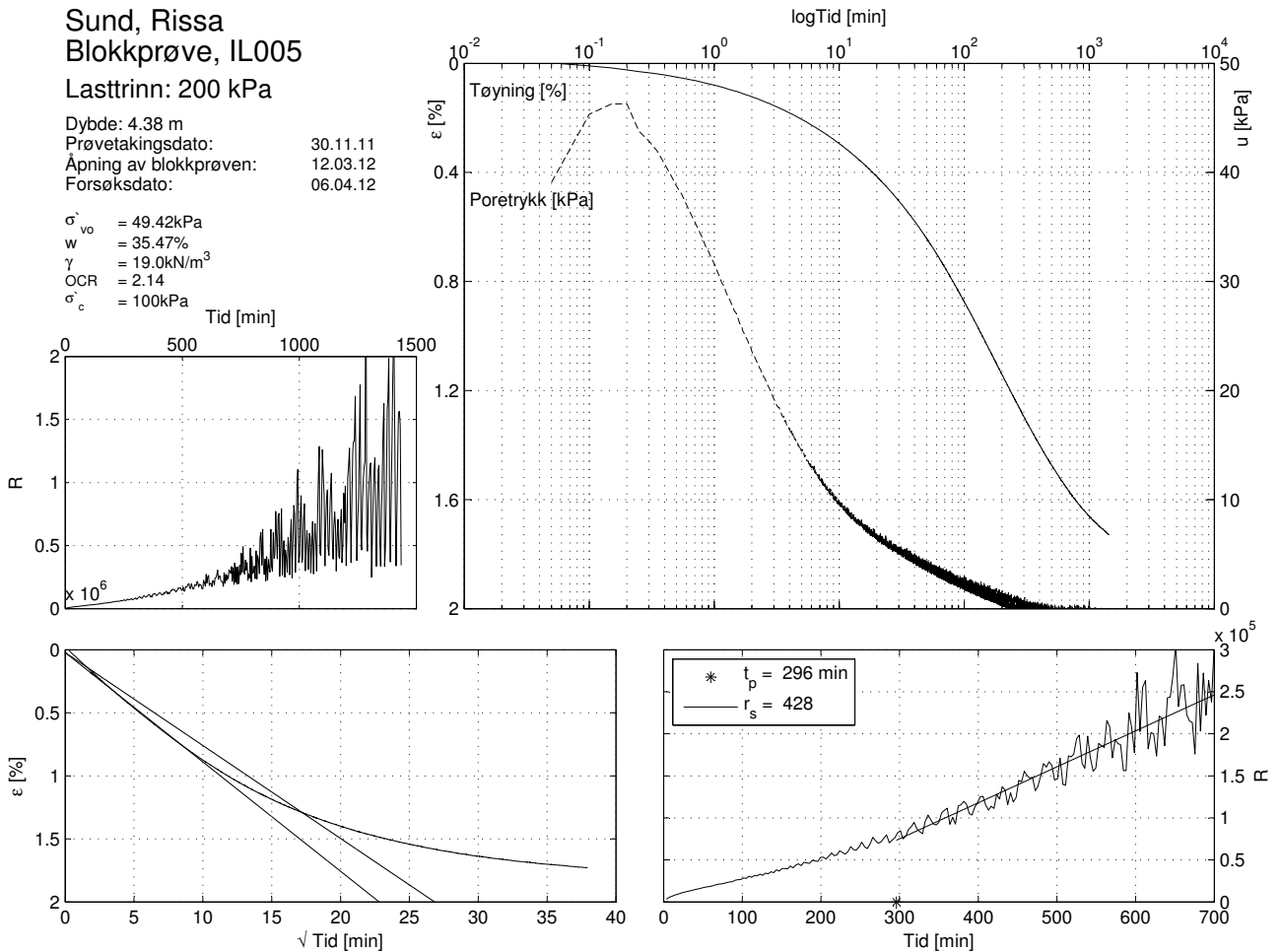
σ'_{vo} = 49.42kPa

w = 35.47%

γ = 19.0kN/m³

OCR = 2.14

σ'_c = 100kPa

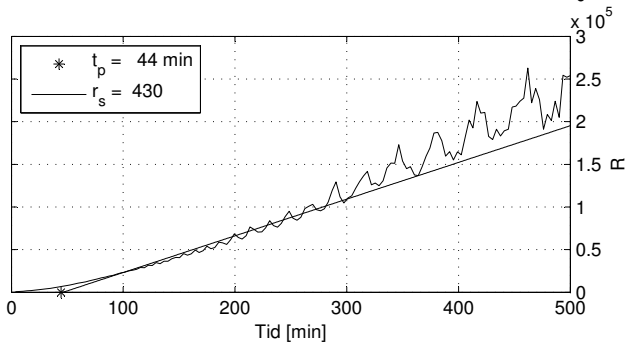
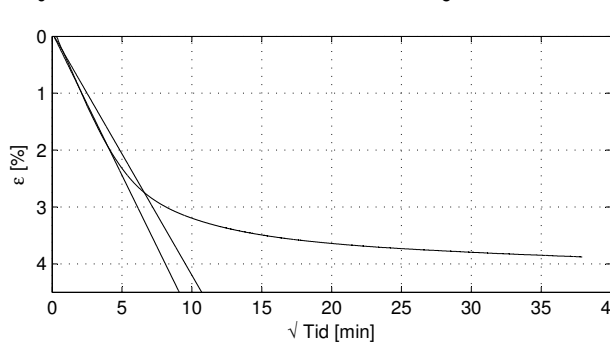
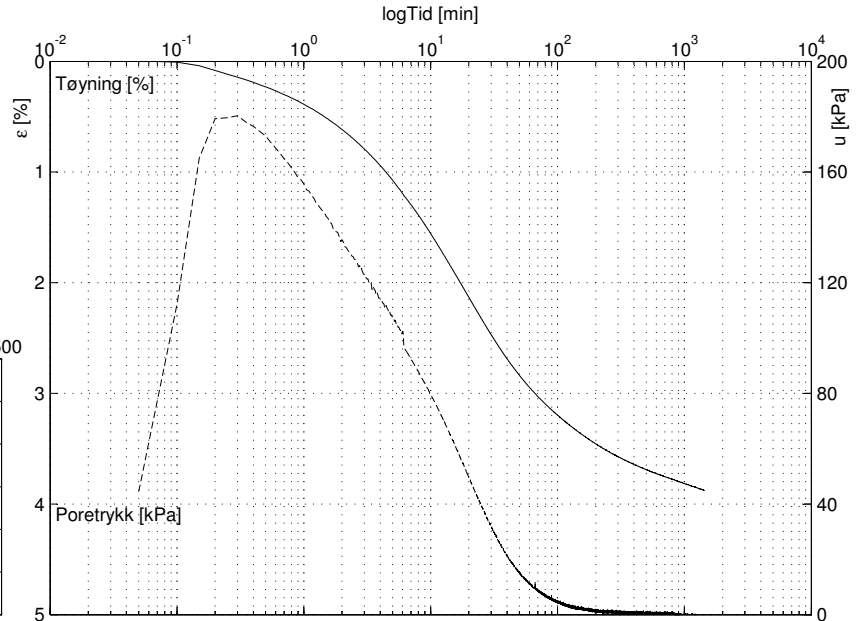
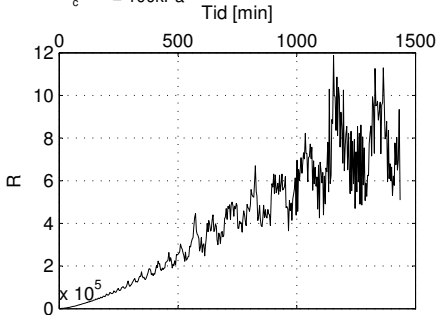


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 400 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

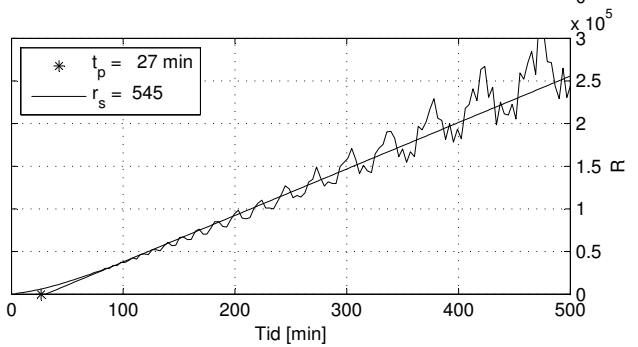
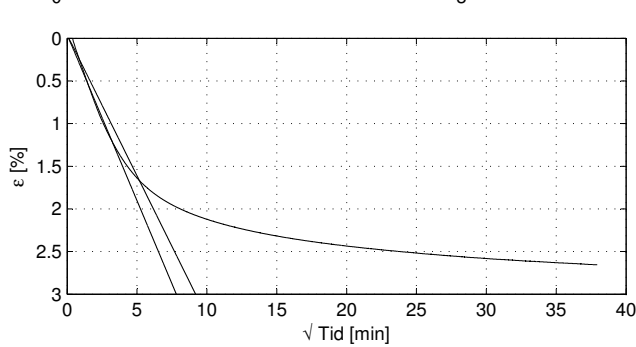
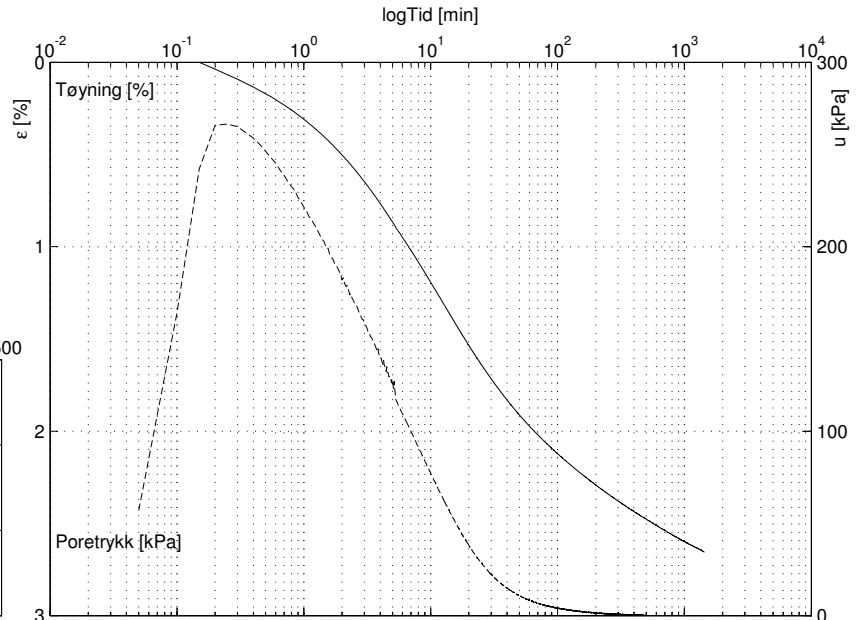
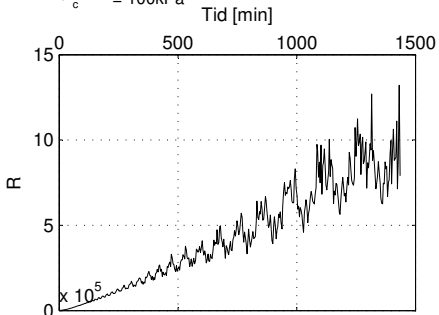


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 700 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

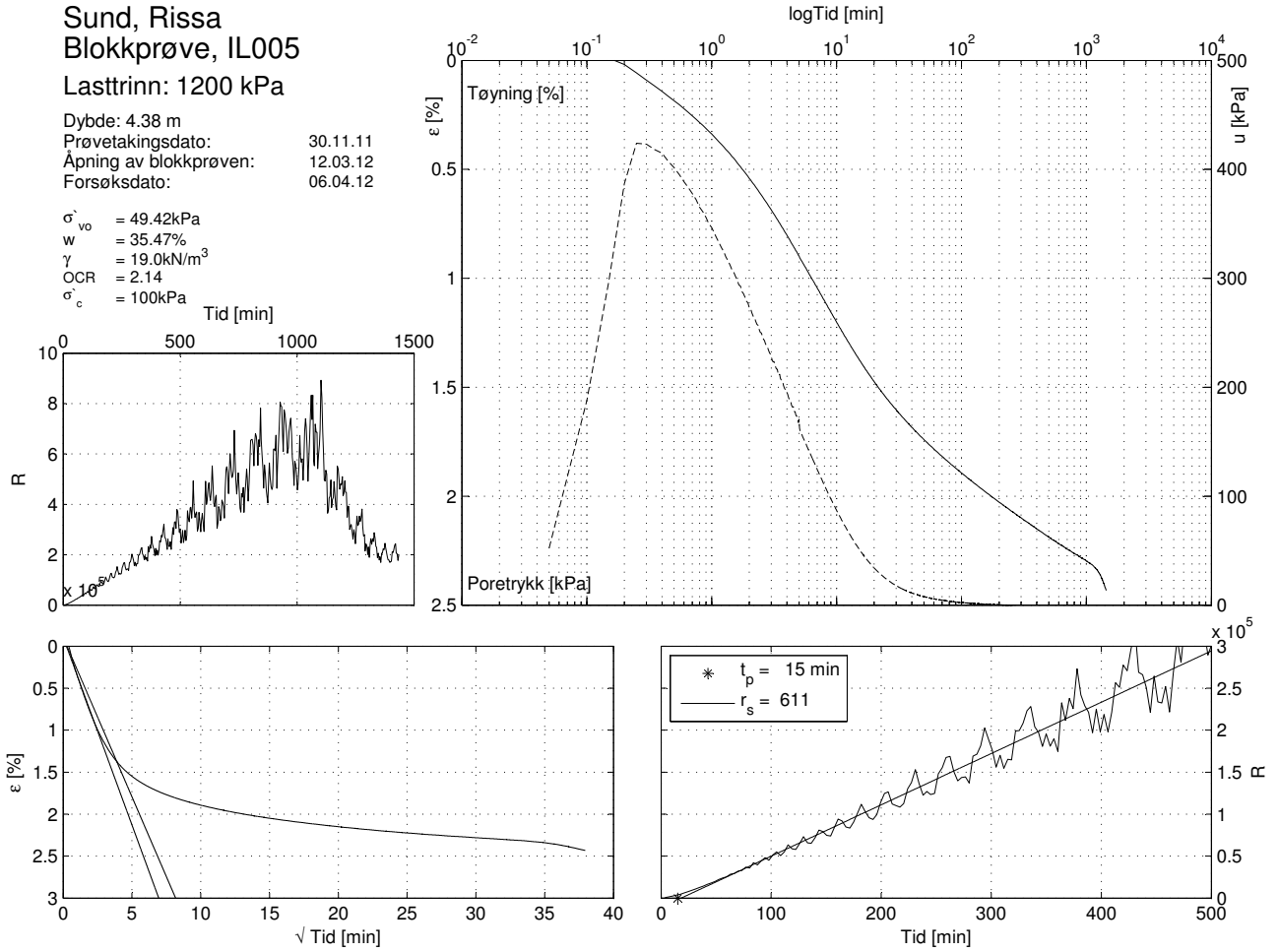


Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 1200 kPa

Dybde: 4.38 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa

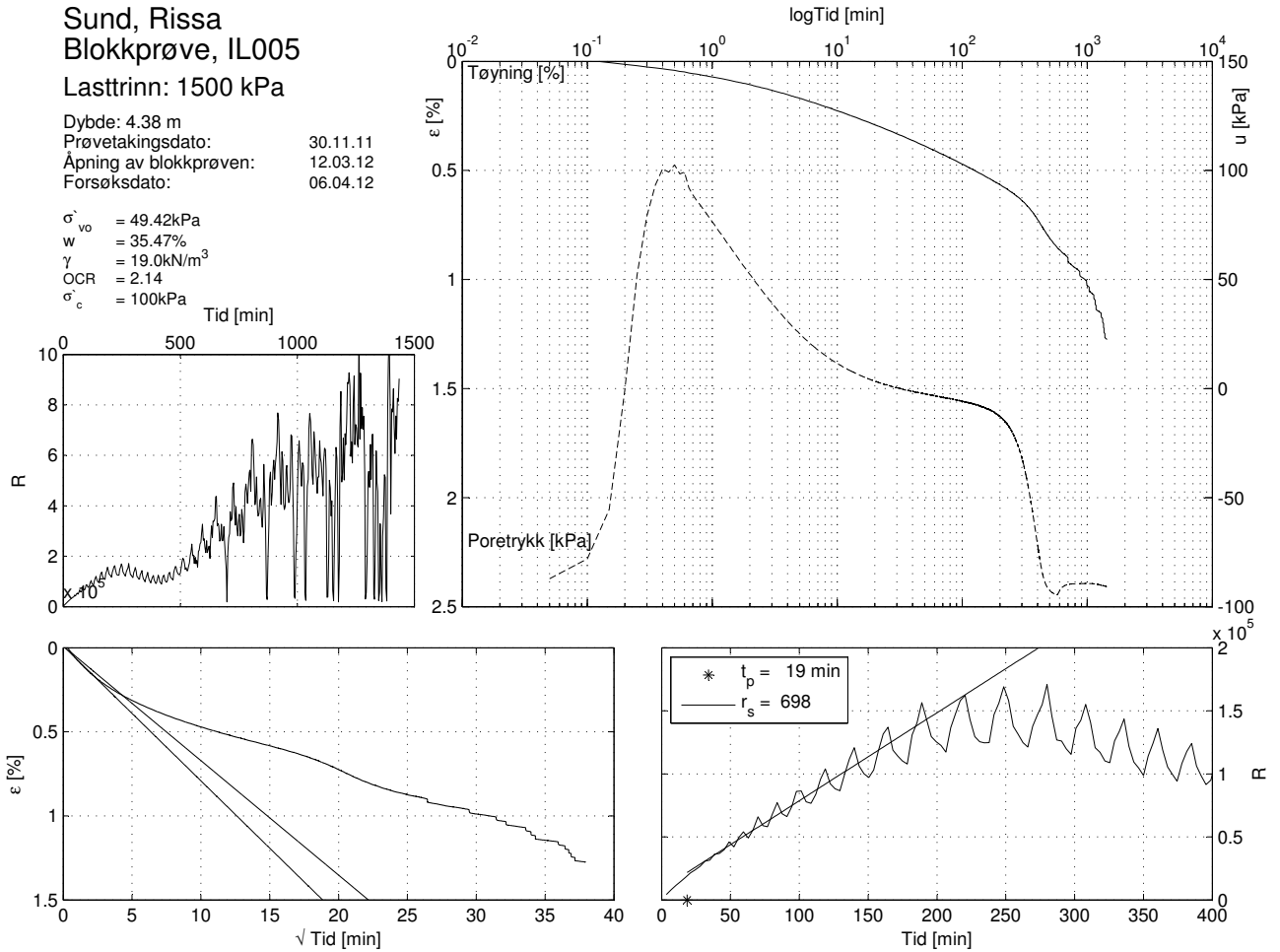


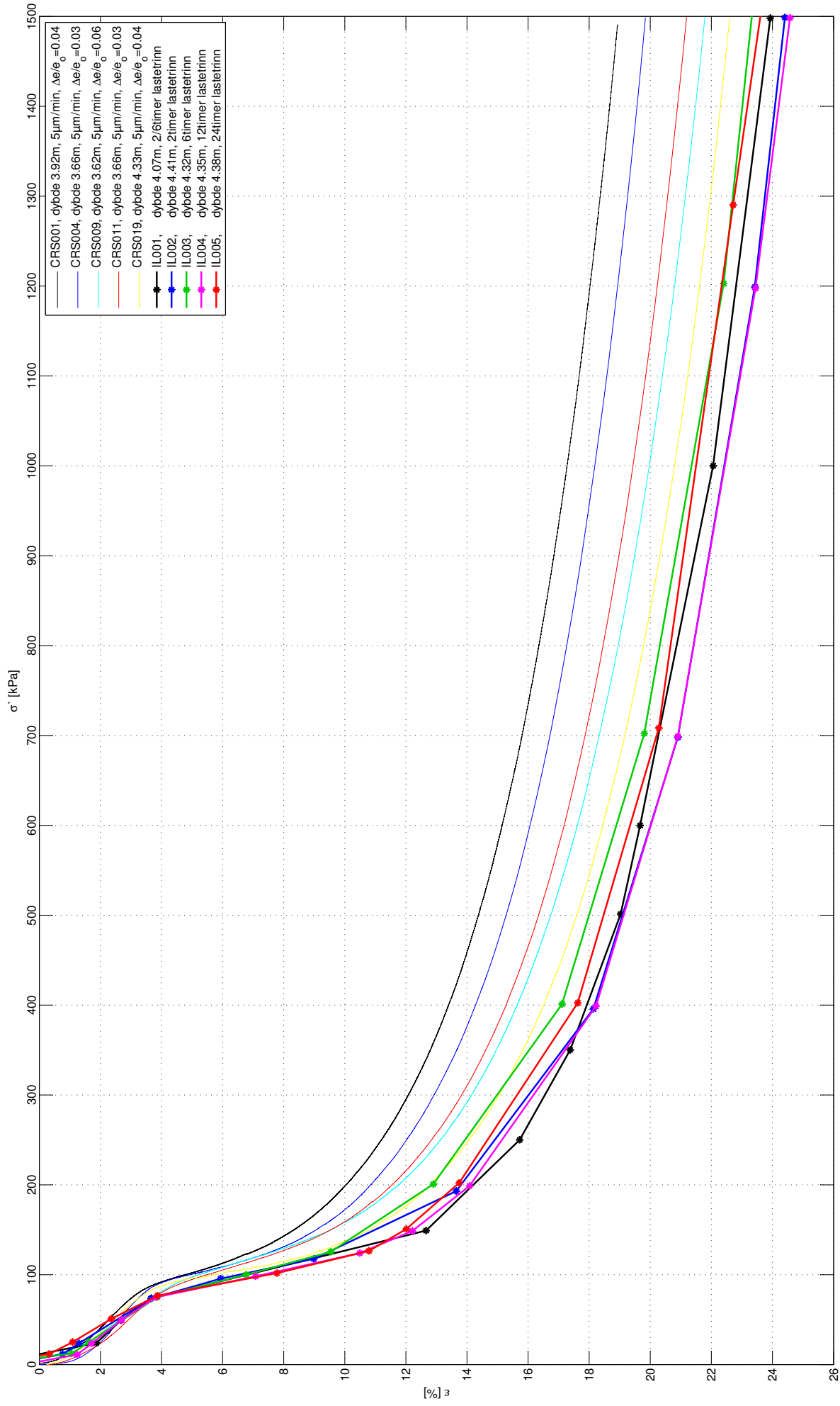
Sund, Rissa
 Blokkprøve, IL005

Lasttrinn: 1500 kPa

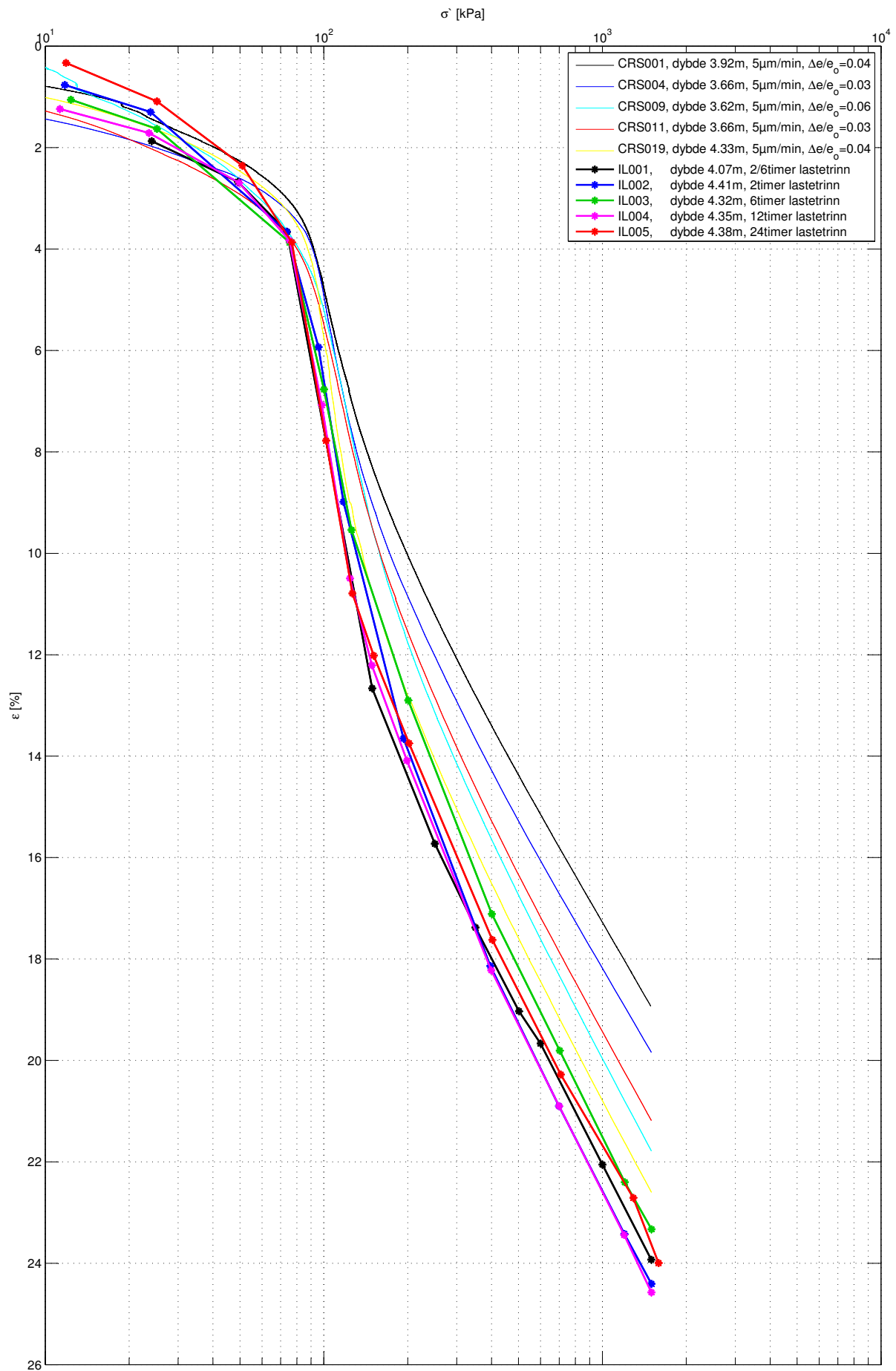
Dybde: 4.38 m
 Prøvetakingsdato: 30.11.11
 Åpning av blokkprøven: 12.03.12
 Forsøksdato: 06.04.12

σ'_{vo} = 49.42kPa
 w = 35.47%
 γ = 19.0kN/m³
 OCR = 2.14
 σ'_c = 100kPa



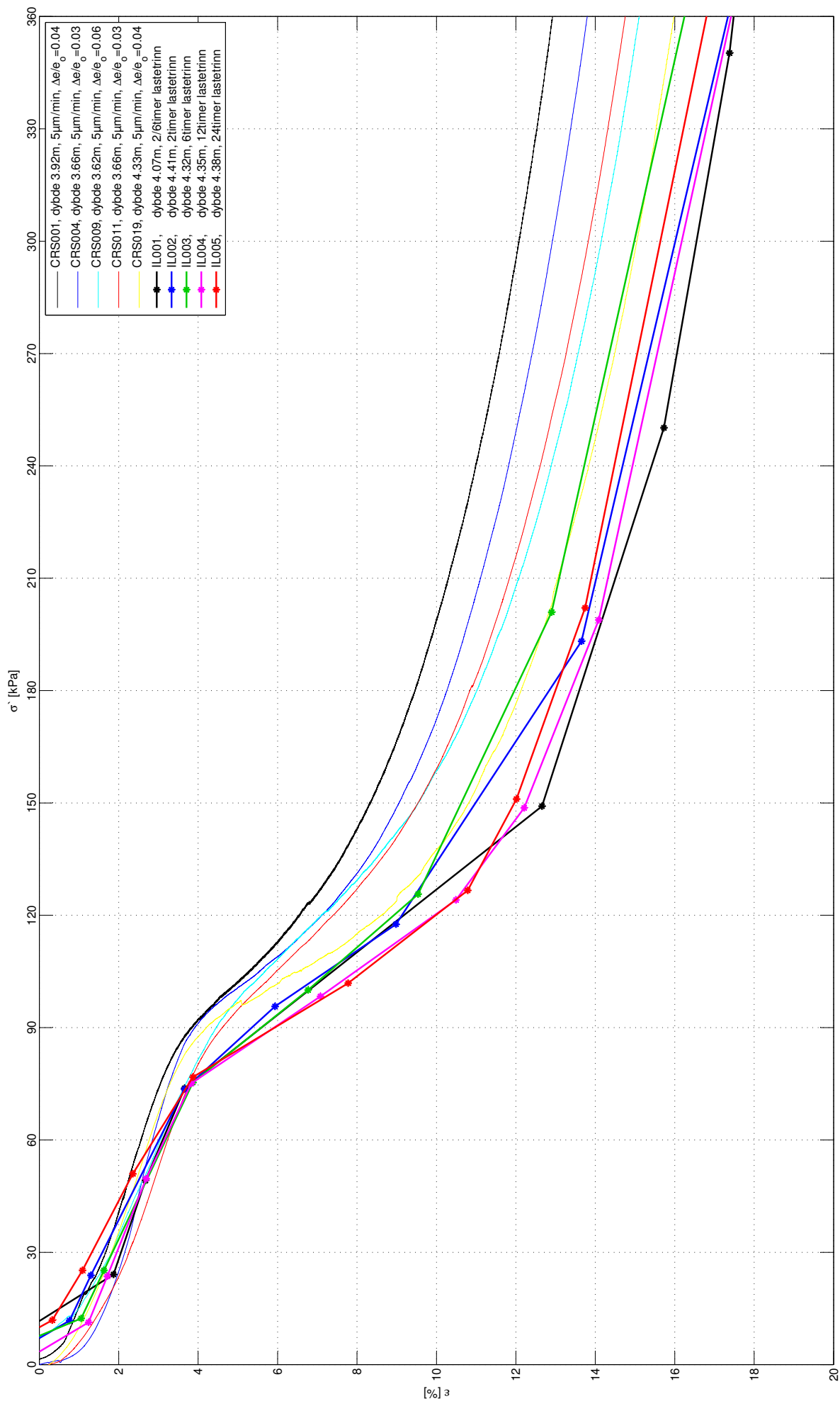


Sund, Rissa
 Blokkprøver, dybde 3.50-4.59m
 Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm x 350 mm
 Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m

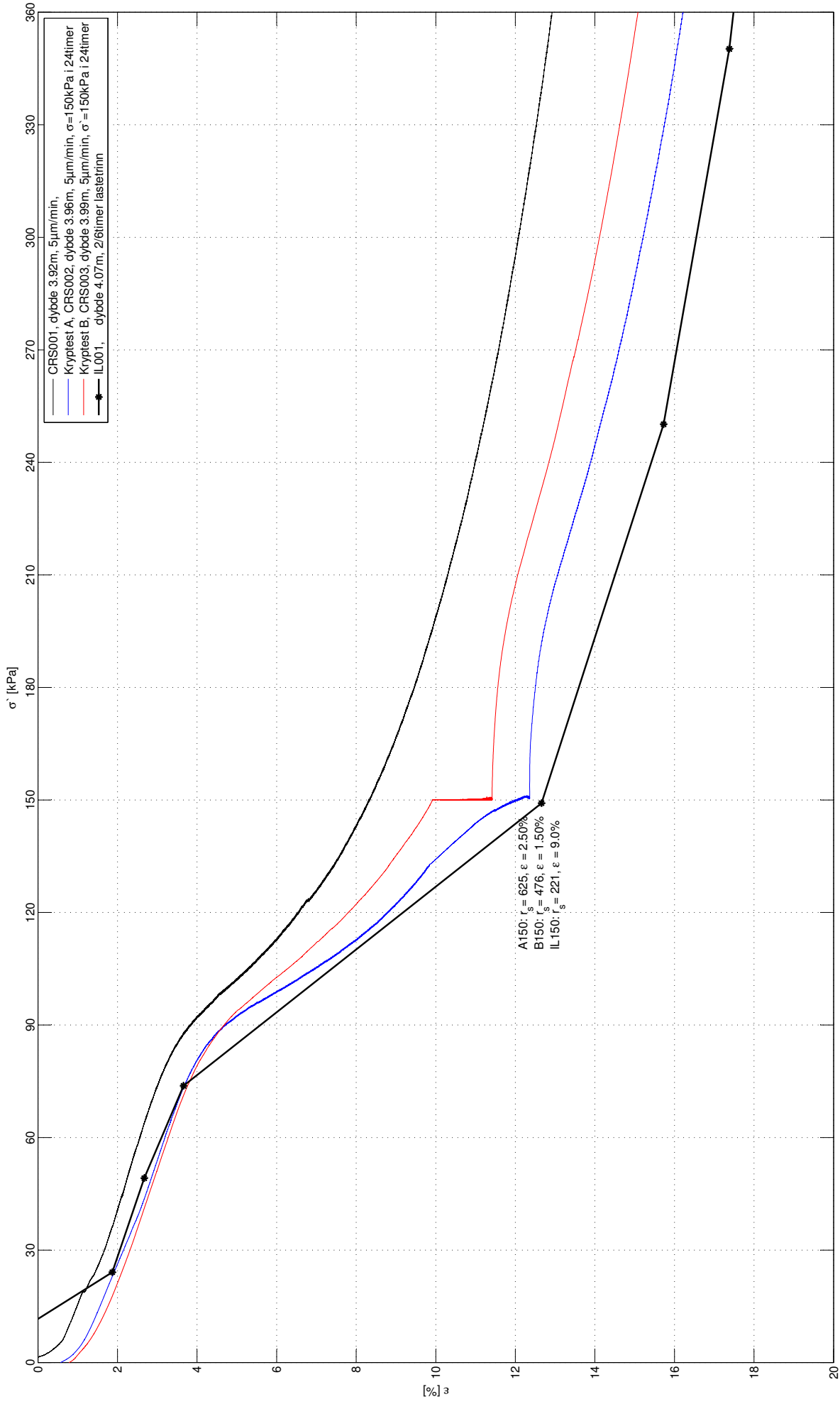


Sund, Rissa
 Blokkprøver, dybde 3.50-4.59m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm × 350 mm
 Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m

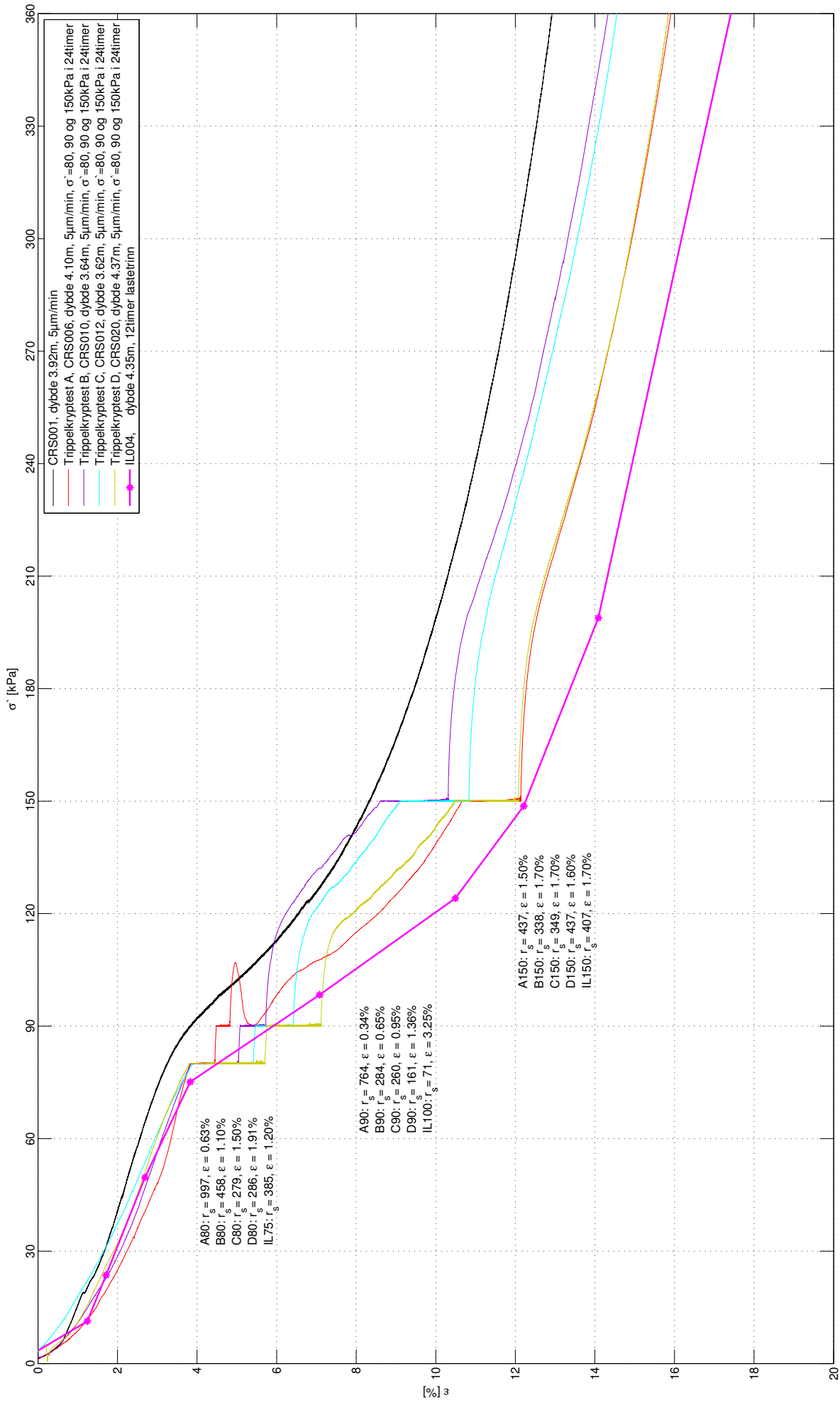


Sund, Rissa
Blokkprøver, dybde 3.50-4.59m
 Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke prøvetaker, 250 mm × 350 mm
 Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m



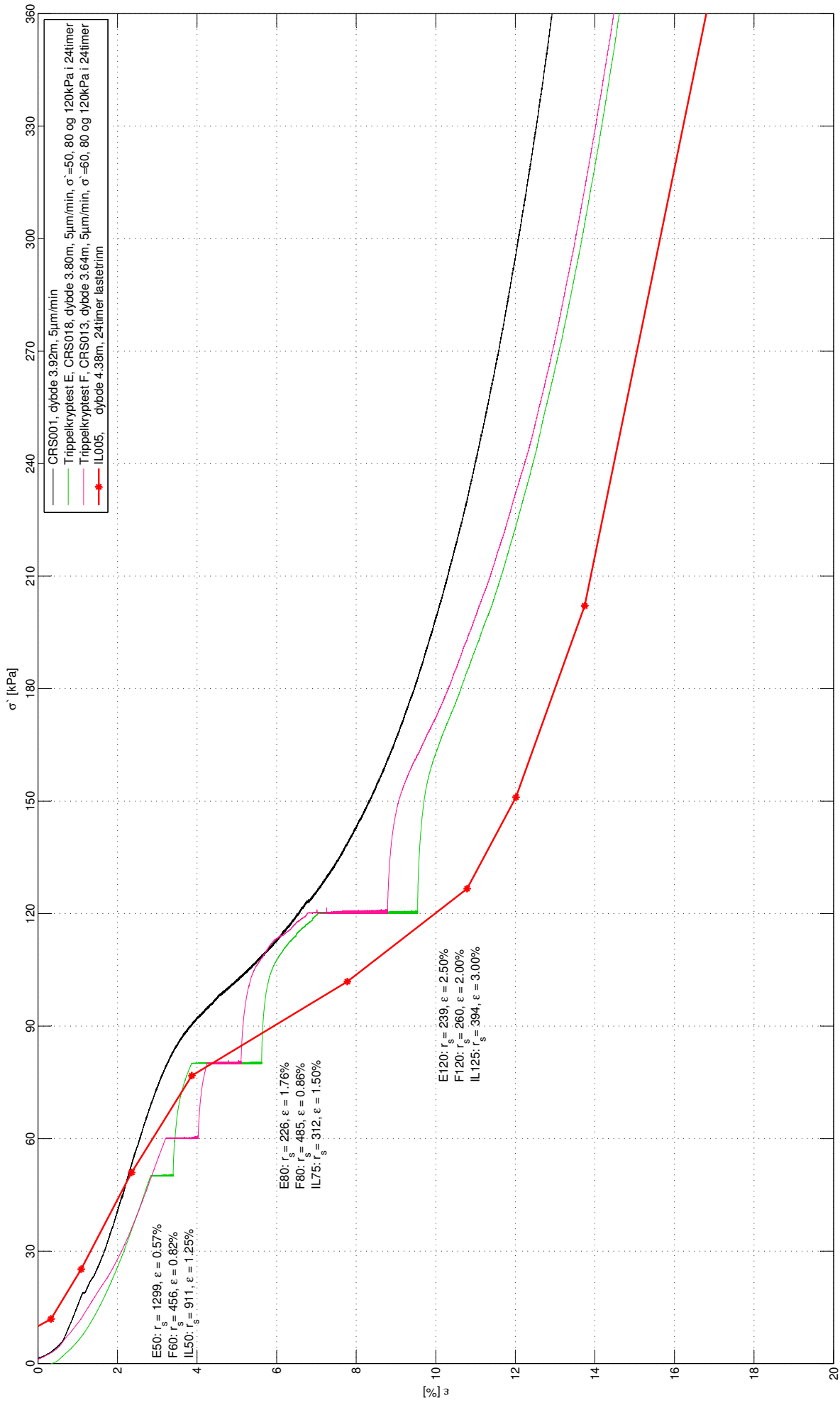
**Sund, Rissa
 Blokkprøver, dybde 3.50-4.59m**

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke prøvetaker, 250 mm x 350 mm
 Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m



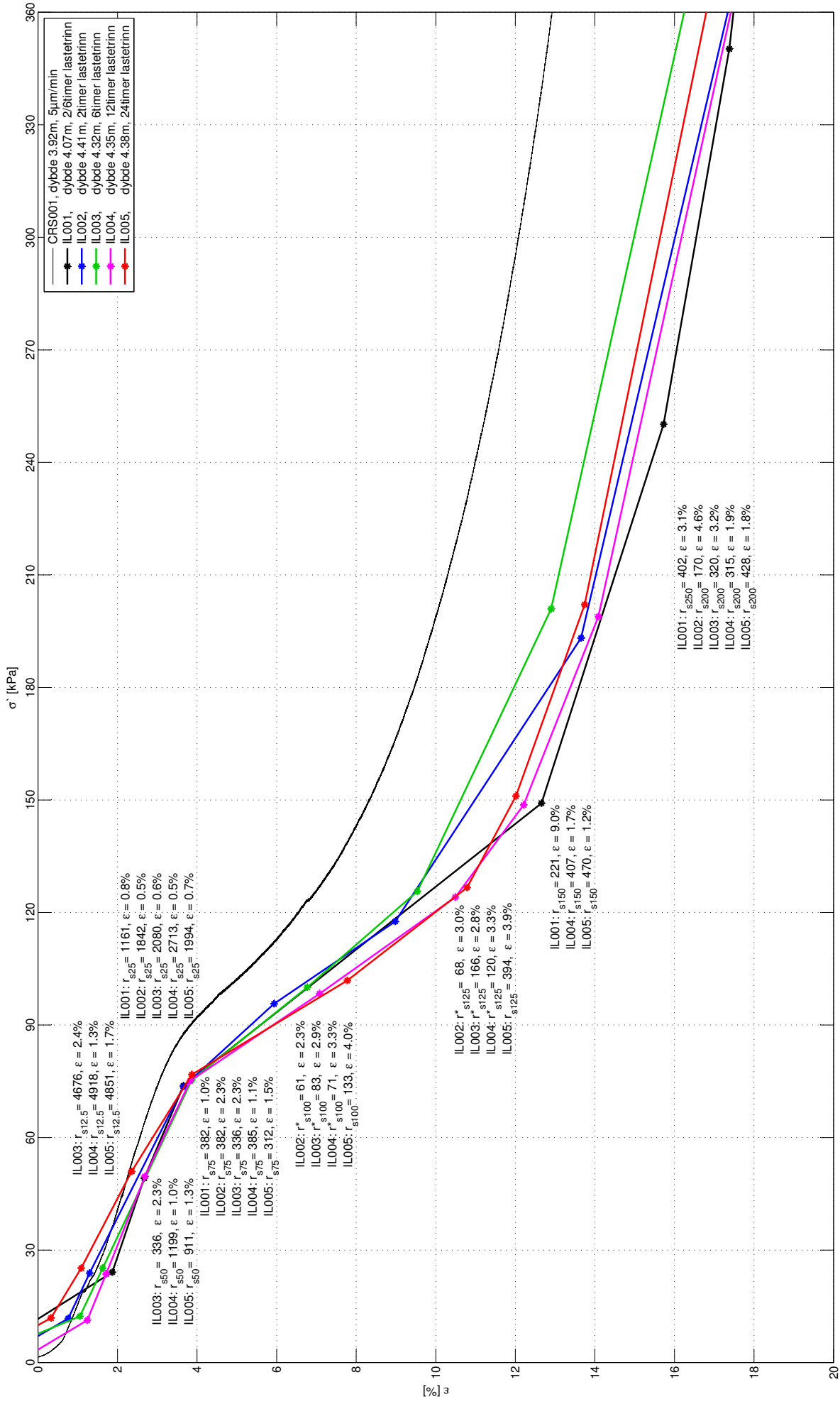
Sund, Rissa
Blokkprøver, dybde 3.50-4.59m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm x 350 mm
 Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m



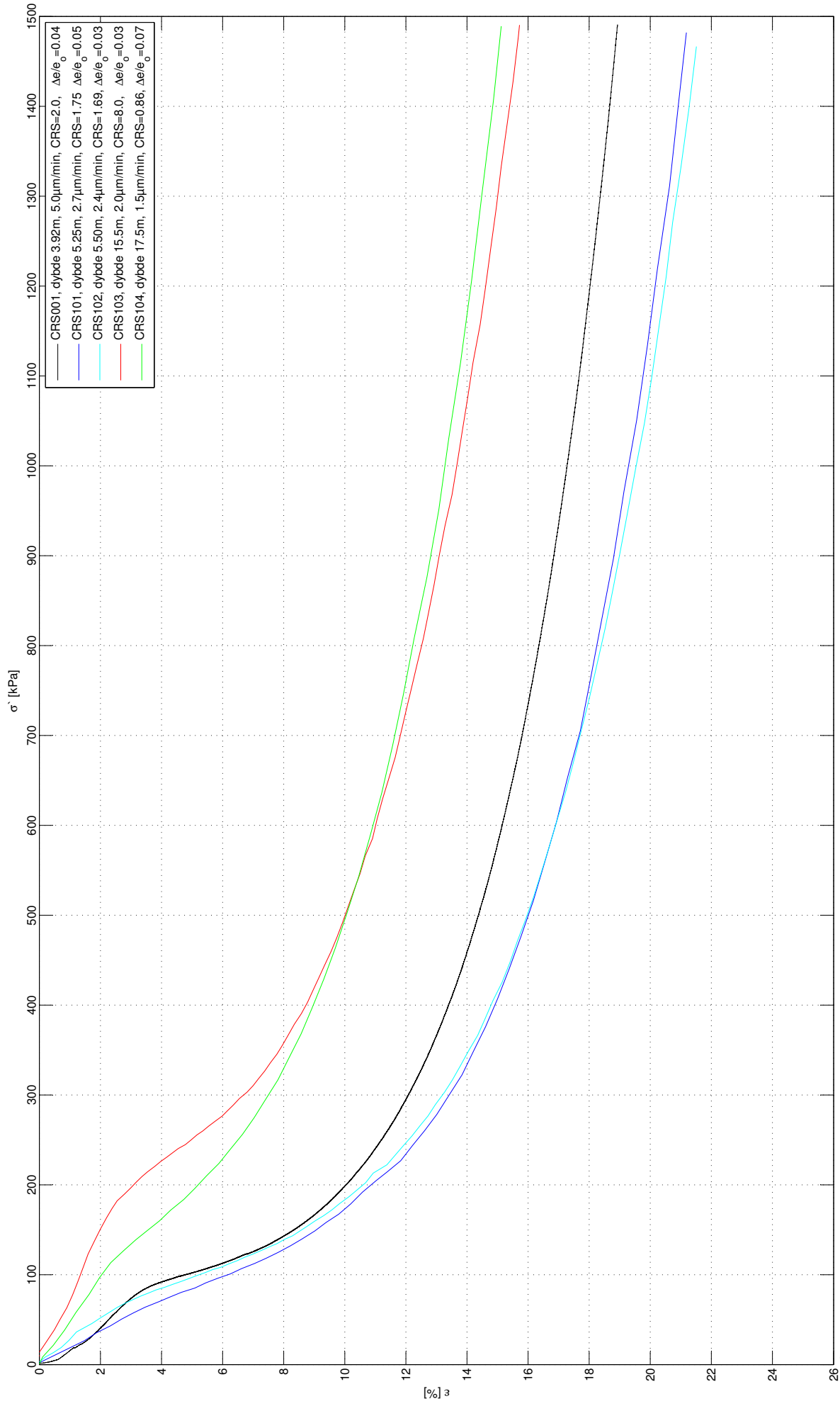
Sund, Rissa
Blokkprøver, dybde 3.50-4.59m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm \times 350 mm
 Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m



Sund, Rissa
Blokkprøver, dybde 3.50-4.59m

Prøvetakingsdato og -utstyr: 30.11.11, Sherbrooke pøvetaker, 250 mm x 350 mm
 Åpningsdato: 19.01.11 - 3.85m, 13.02.12 - 3.50m, 12.03.12 - 4.20m

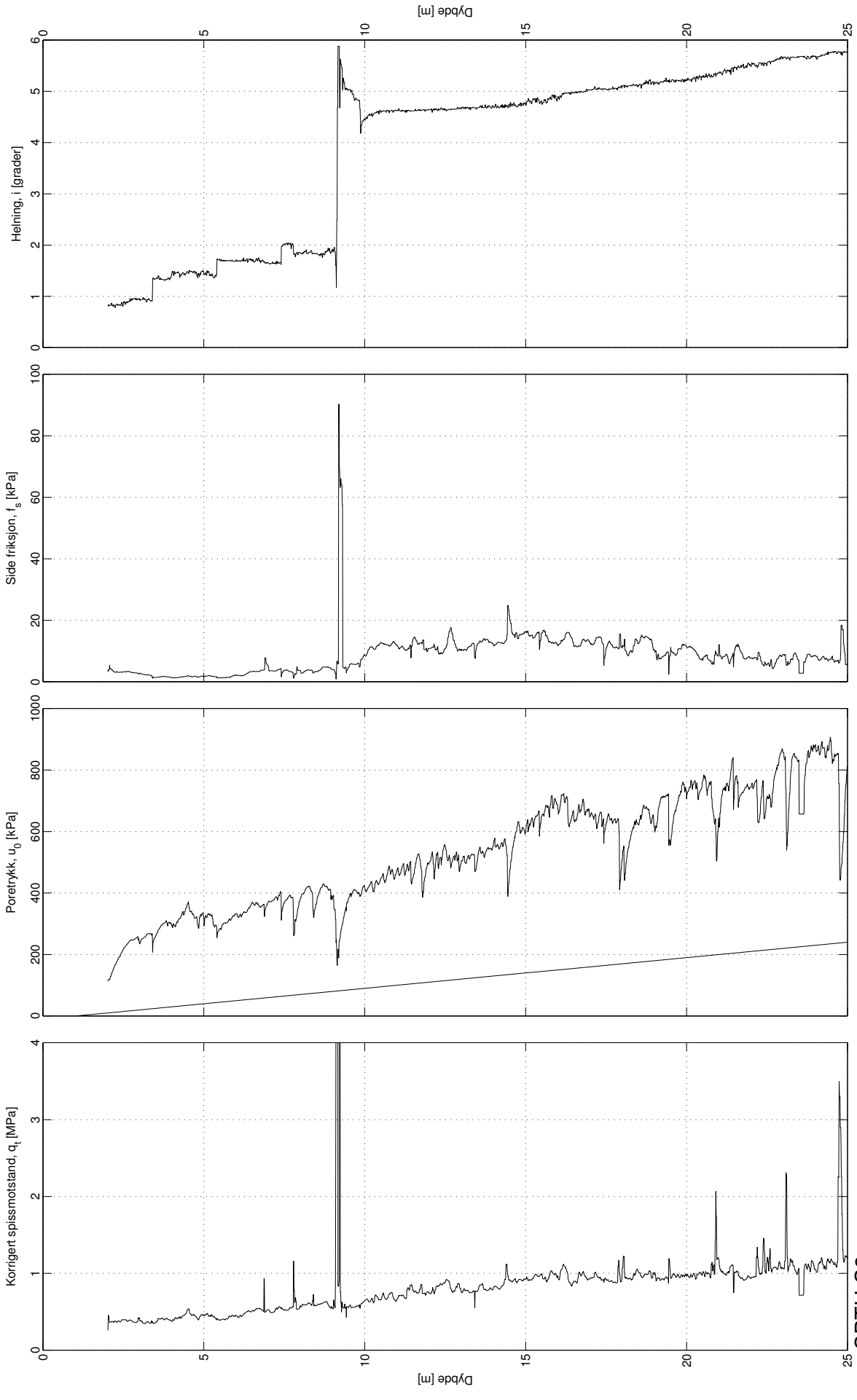


Sund, Rissa
 54 mm sylindrerprøver, C3 og C6, dybde 3.0-23.0m og 2.0-18.0m

Prøvetakingsdato: 05.10.11
 Åpningsdato: 31.10.11 - 09.12.11

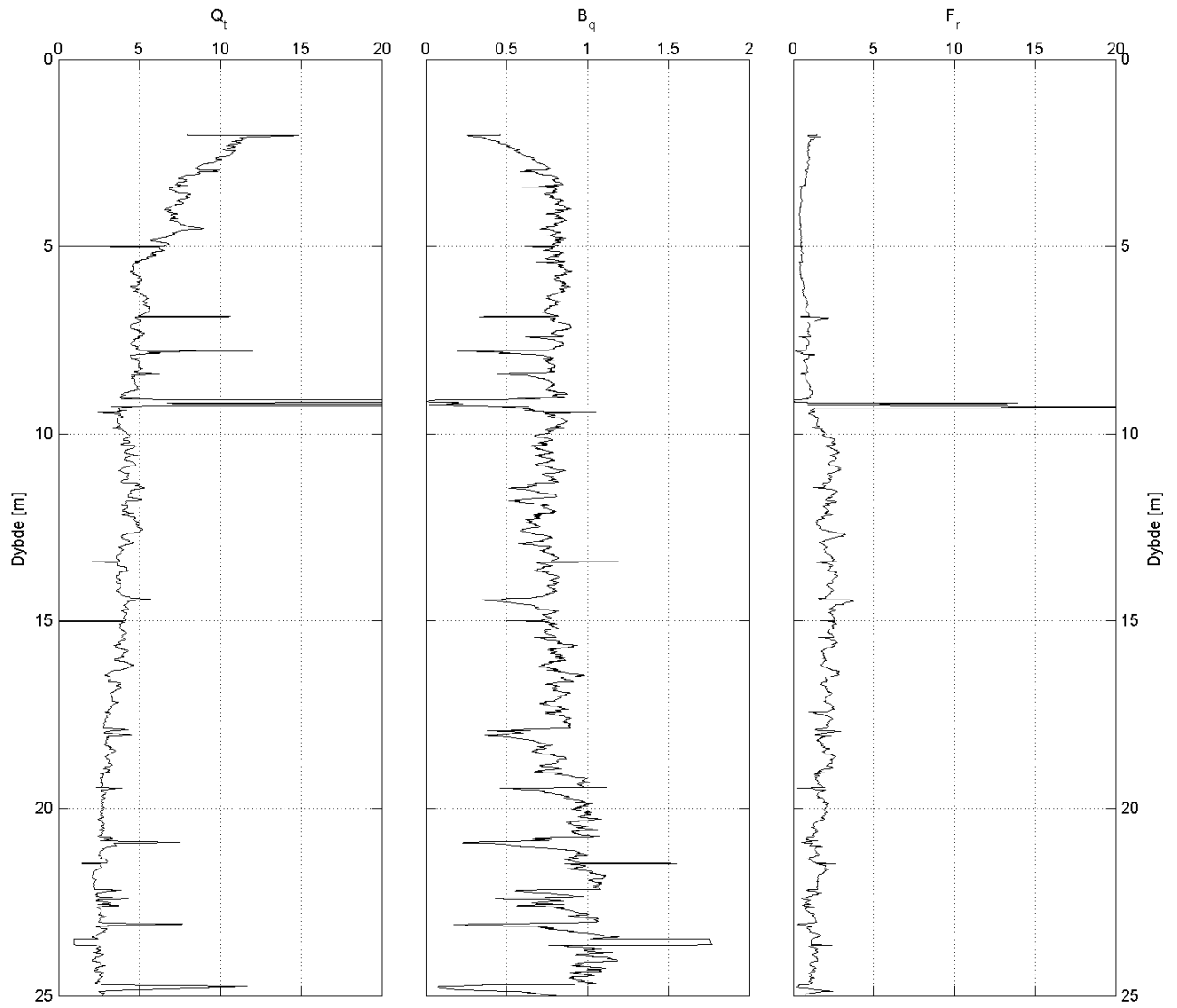
Tillegg D

CPTU



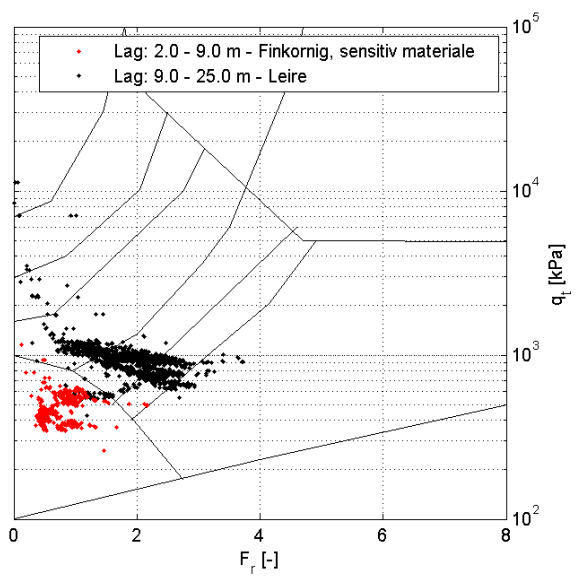
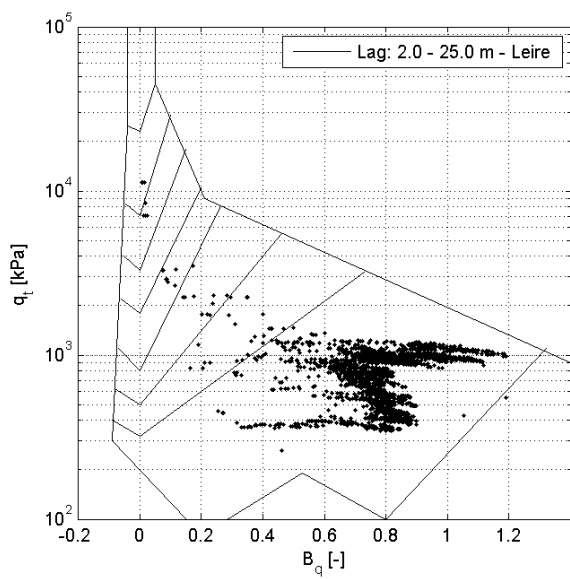
Utført av Geo-Vest Haugland, 2011

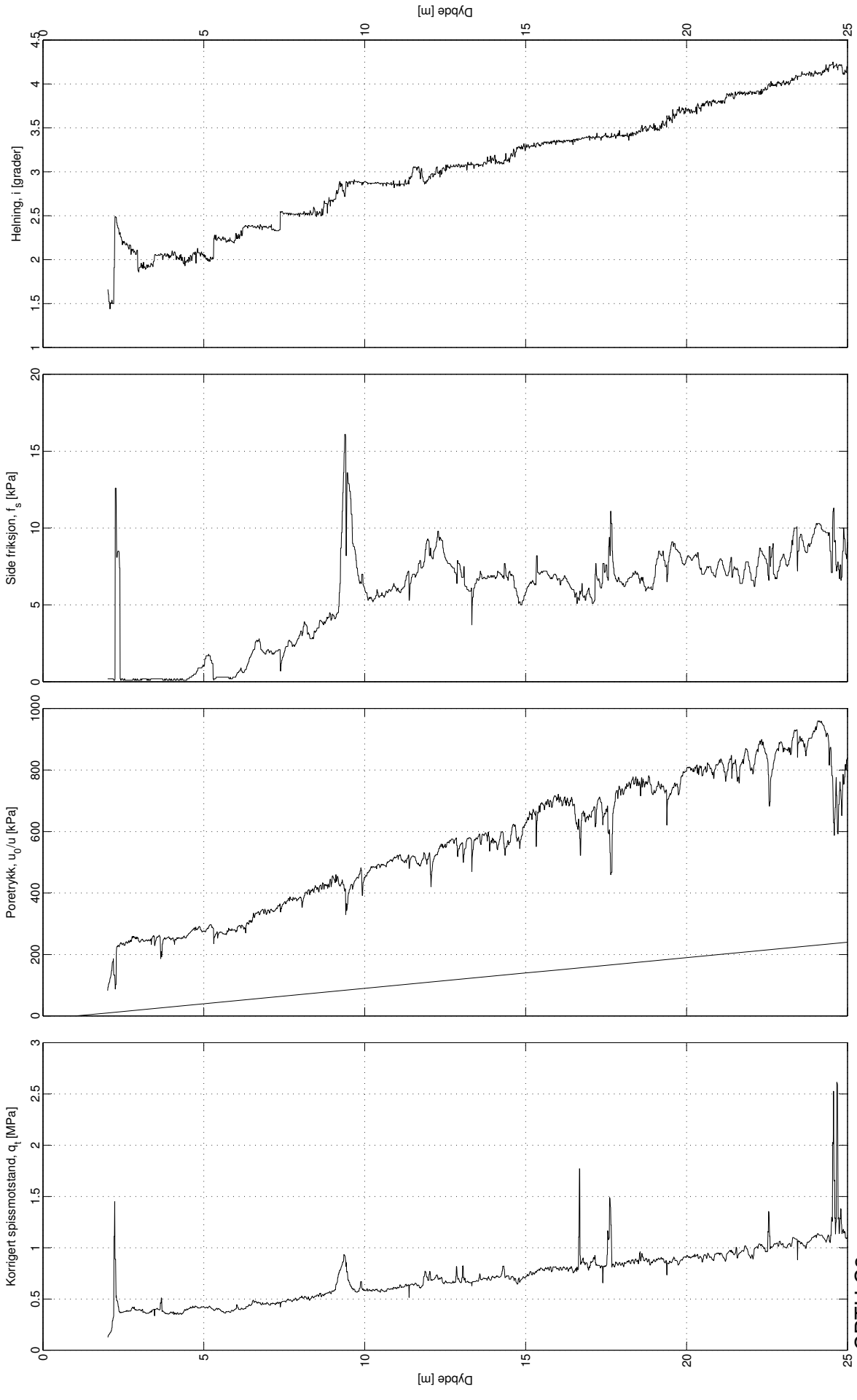
CPTU C2
 Sund, Rissa
 Kote: +9.2m
 GV: ~1.0m



CPTU C2 Sund, Rissa

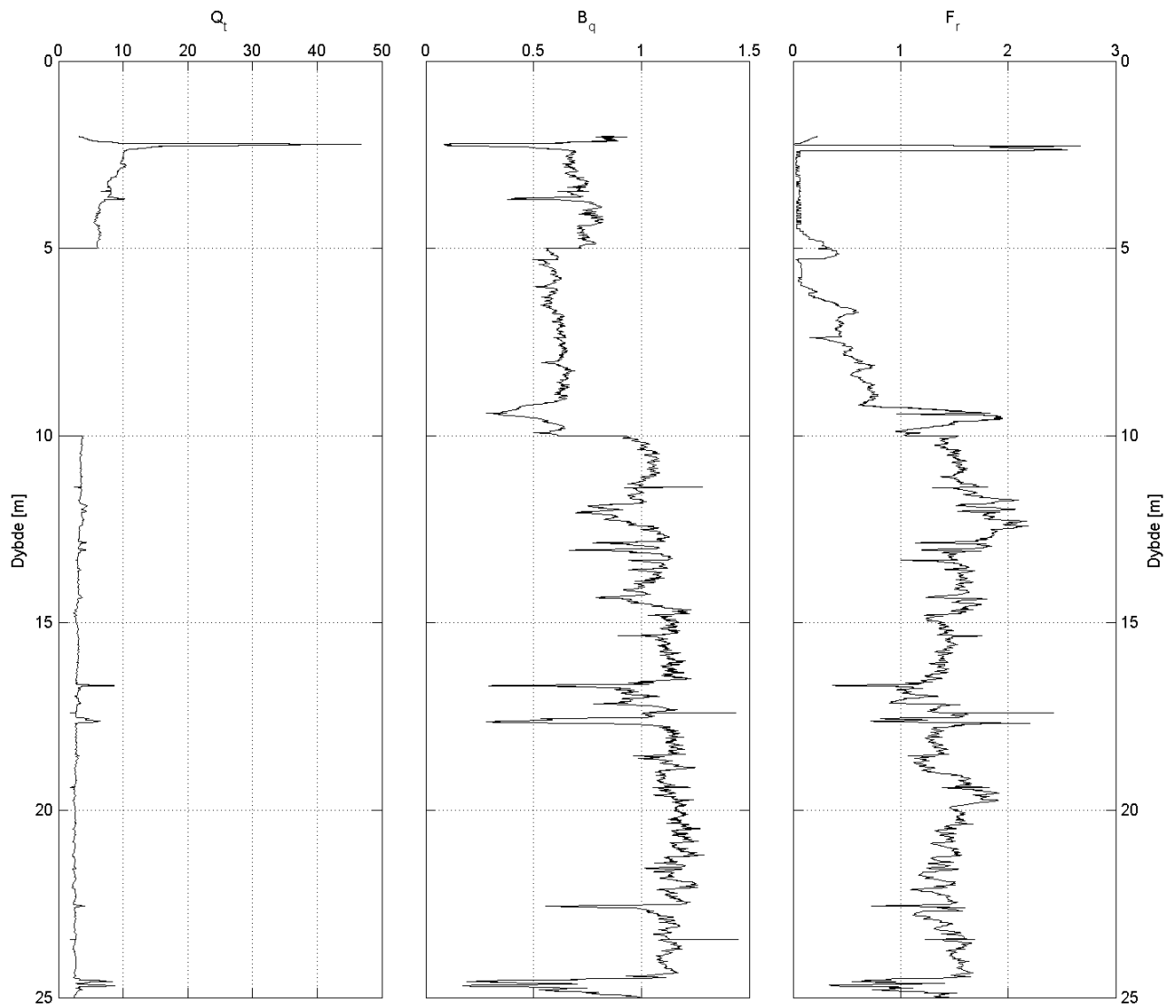
Kote: +9.2m
GV: ~1.0m





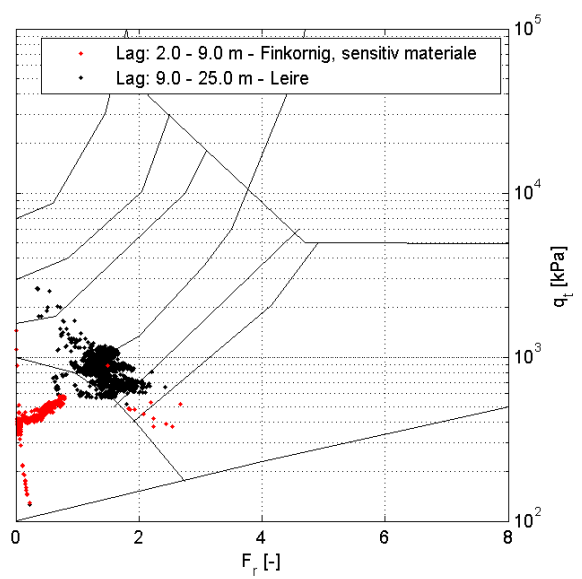
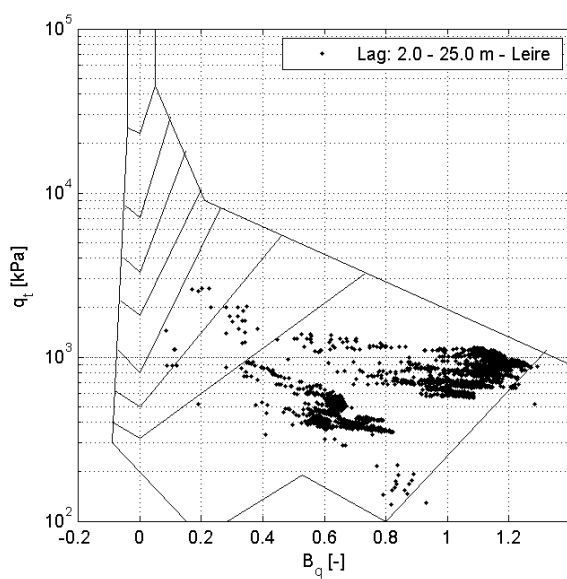
Utført av Geo-Vest Haugland, 2011

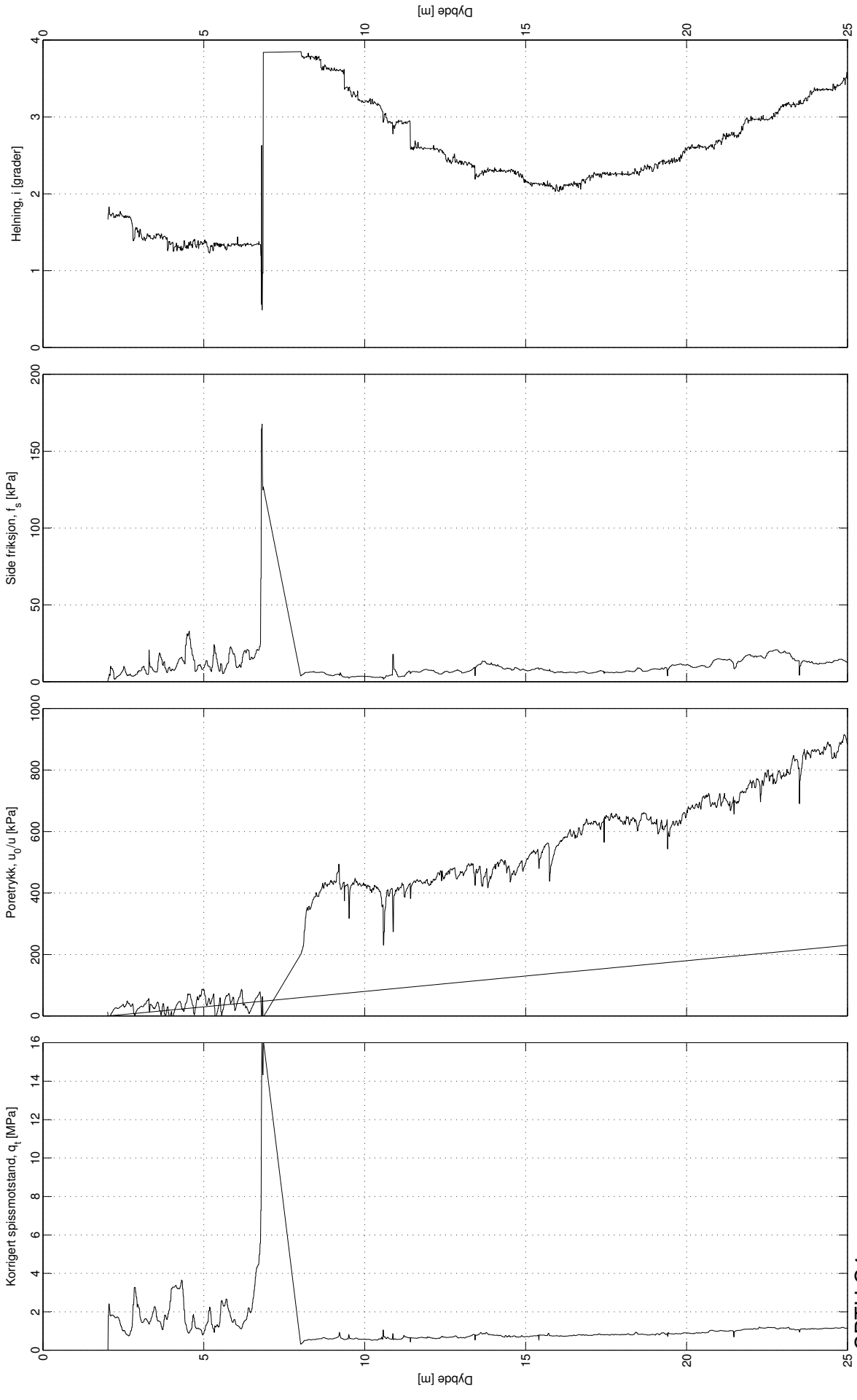
CPTU C3
 Sund, Rissa
 Kote: +2,17m
 GV: -1,0m



CPTU C3 Sund, Rissa

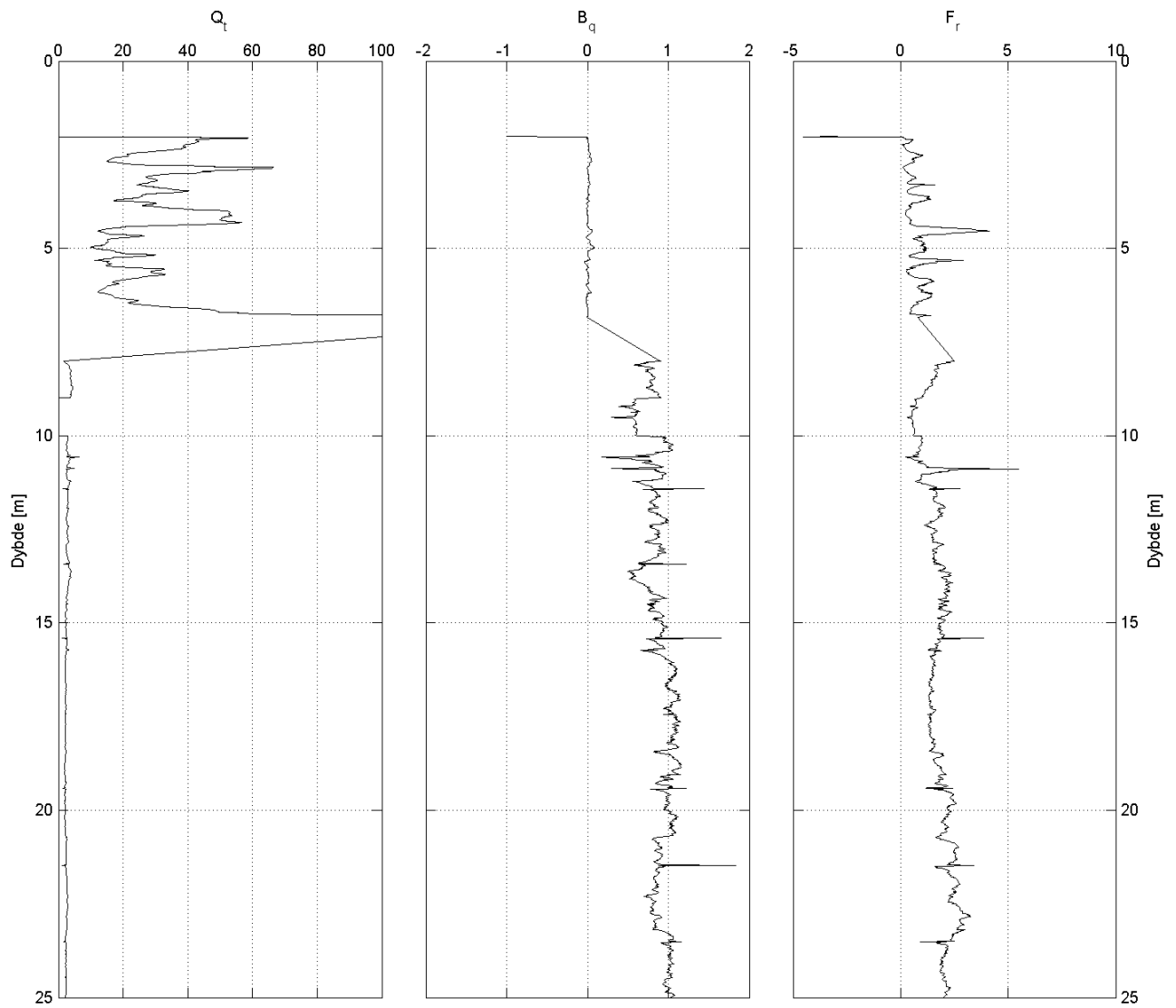
Kote: +2.17m
GV: ~1.0m





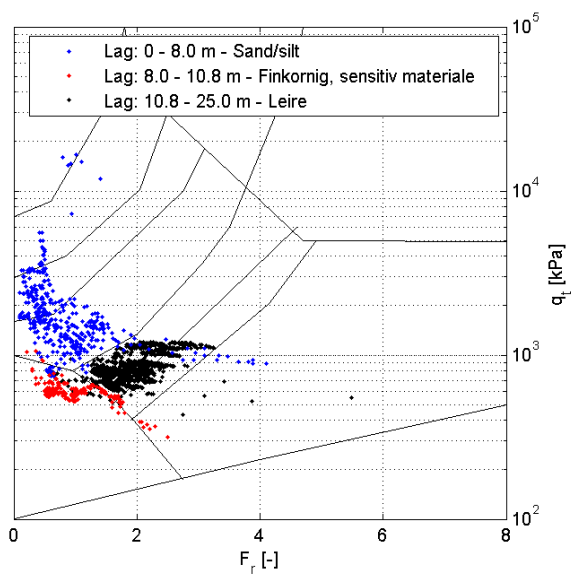
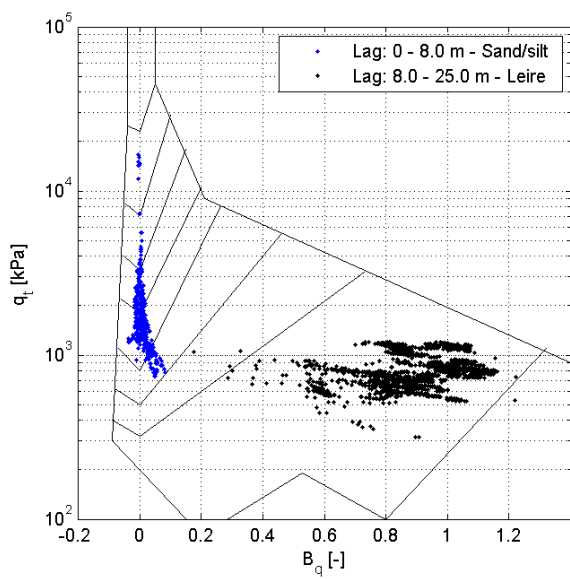
Utført av Geo-Vest Haugland, 2011

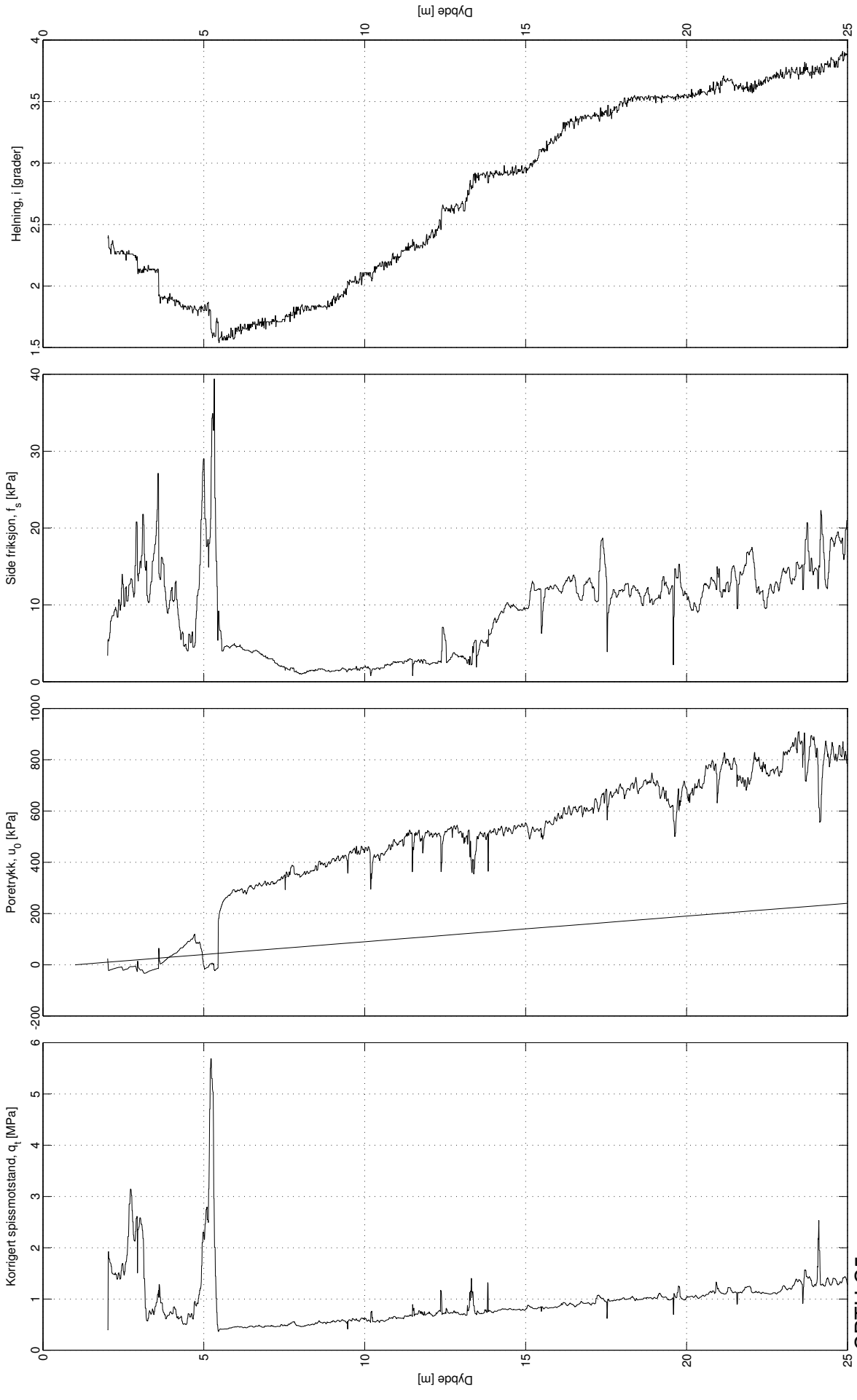
CPTU C4
 Sund, Rissa
 Kote: +21.9m
 GV: -2.0m



CPTU C4 Sund, Rissa

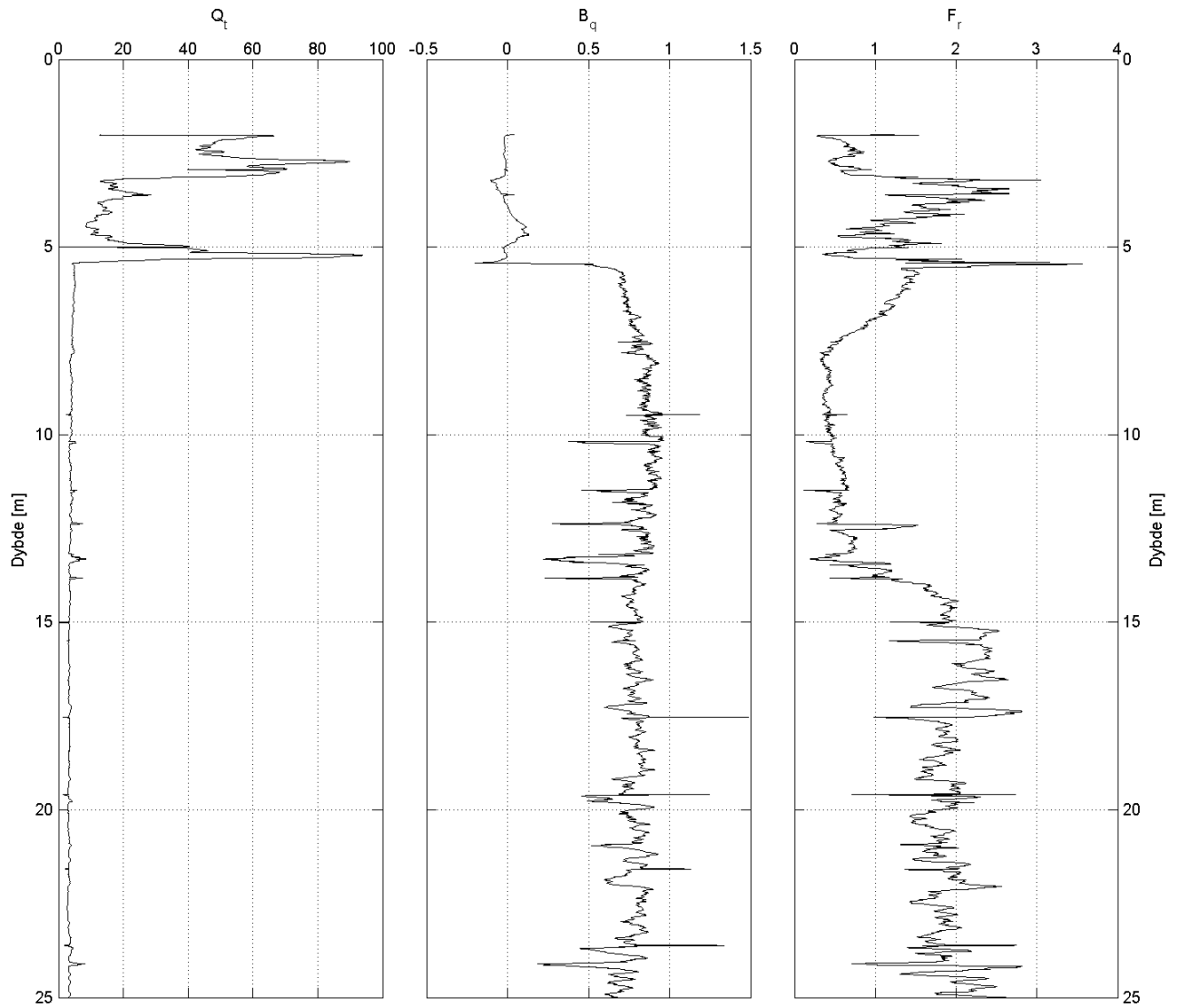
Kote: +21.9m
GV: ~2.0m





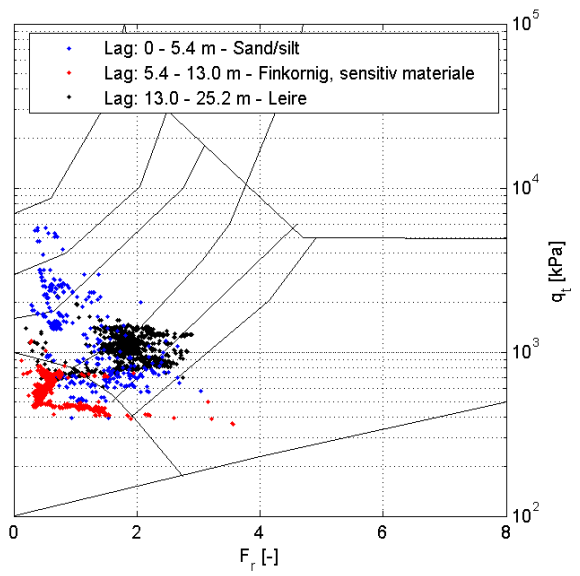
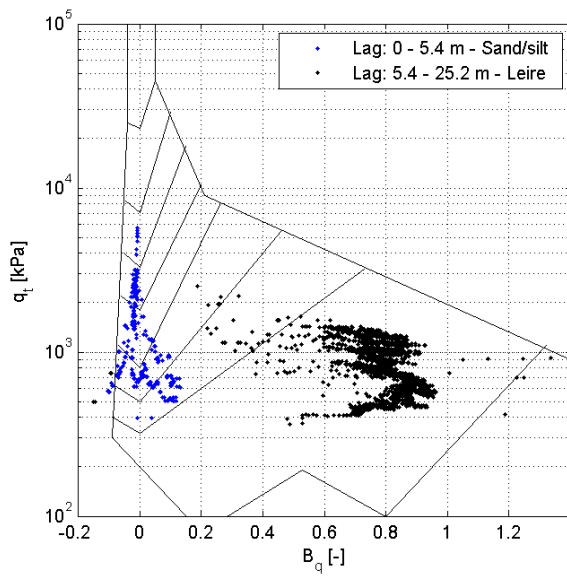
Utført av Geo-Vest Haugland, 2011

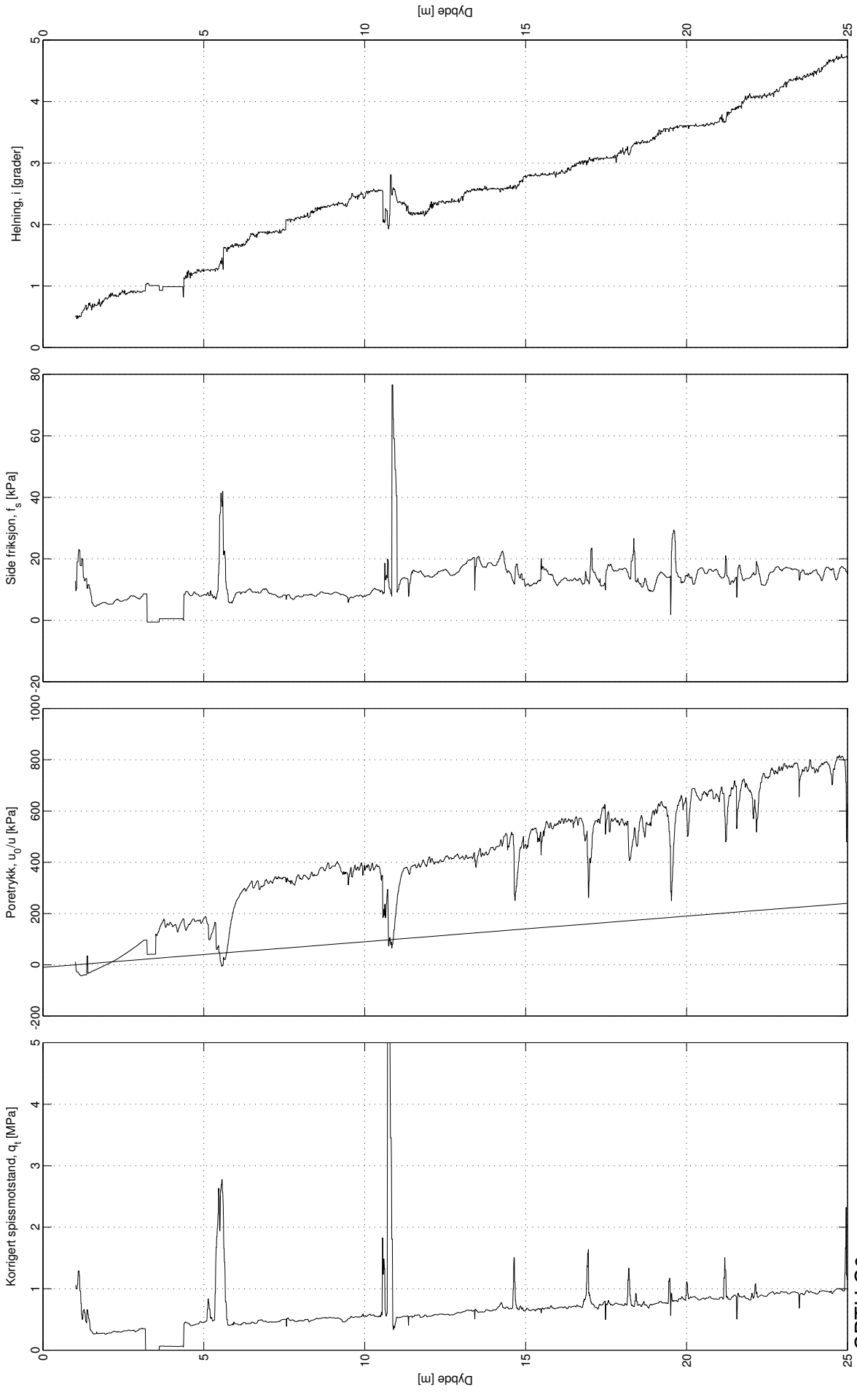
CPTU C5
 Sund, Rissa
 Kote: +12,7m
 GV: ~1,0m



CPTU C5 Sund, Rissa

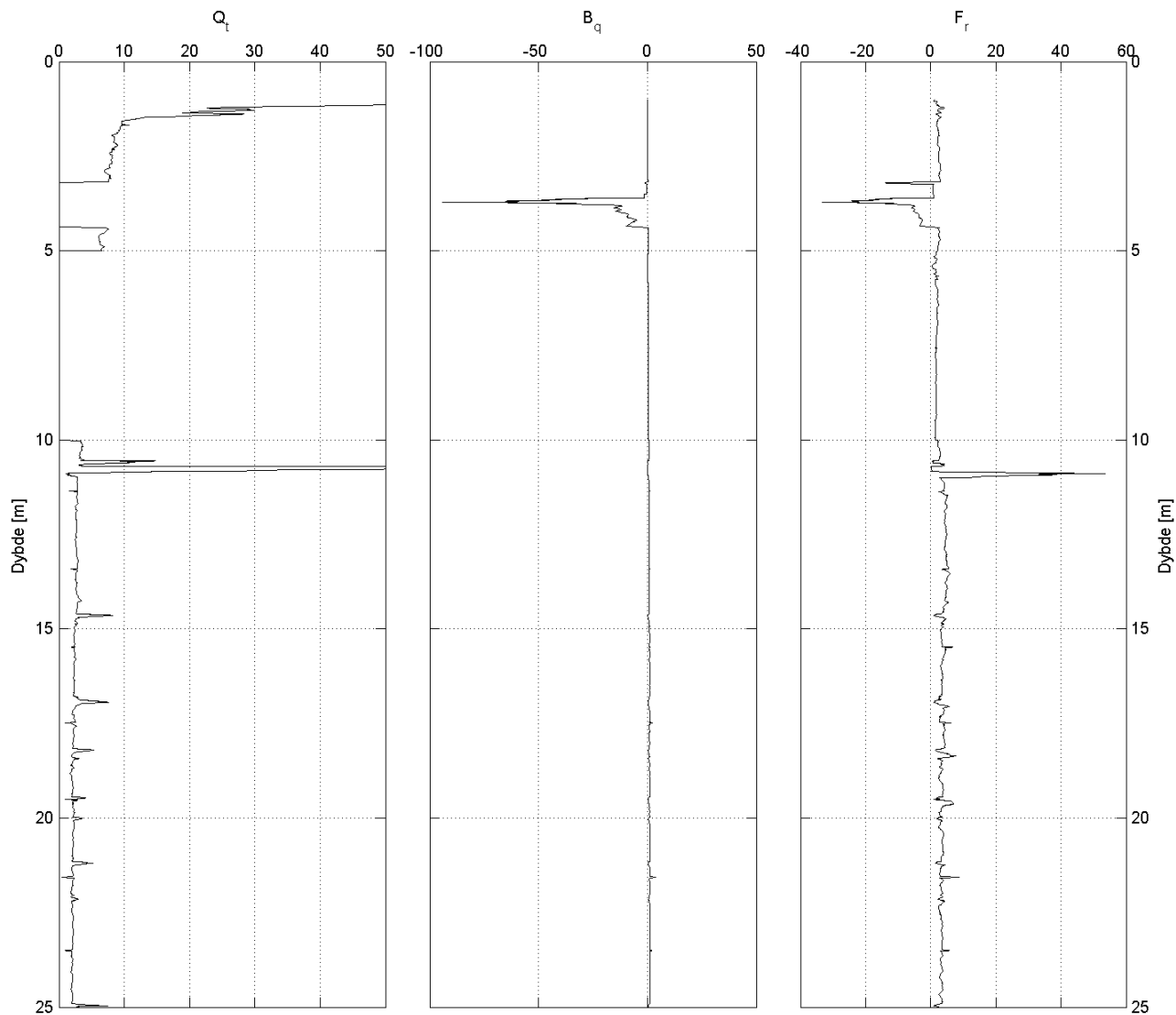
Kote: +12.7m
GV: ~1.0m





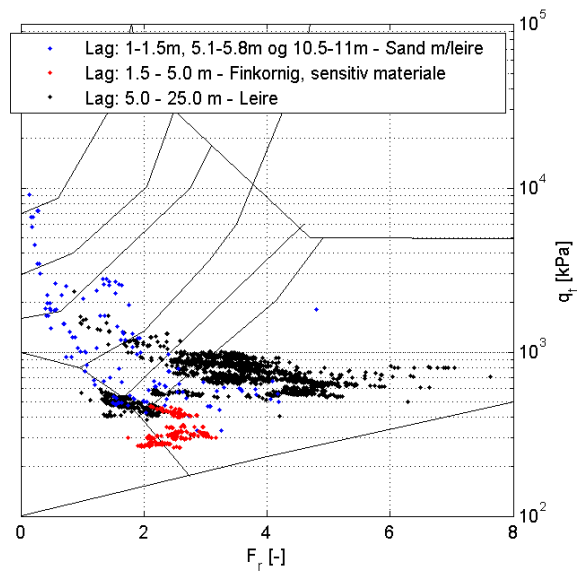
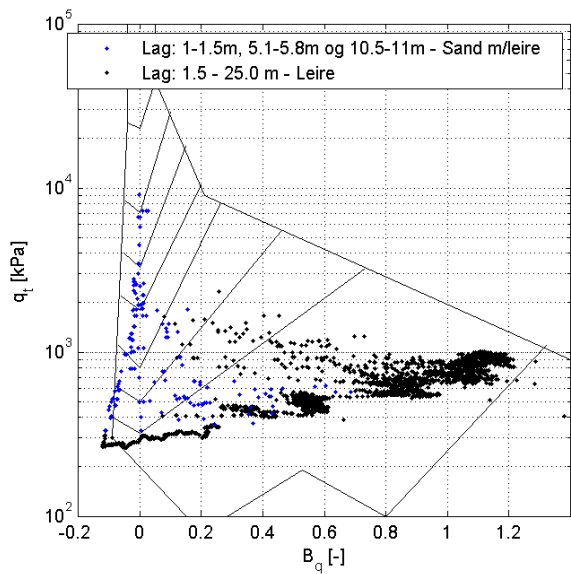
Utført av Geo-Vest Haugland, 2011

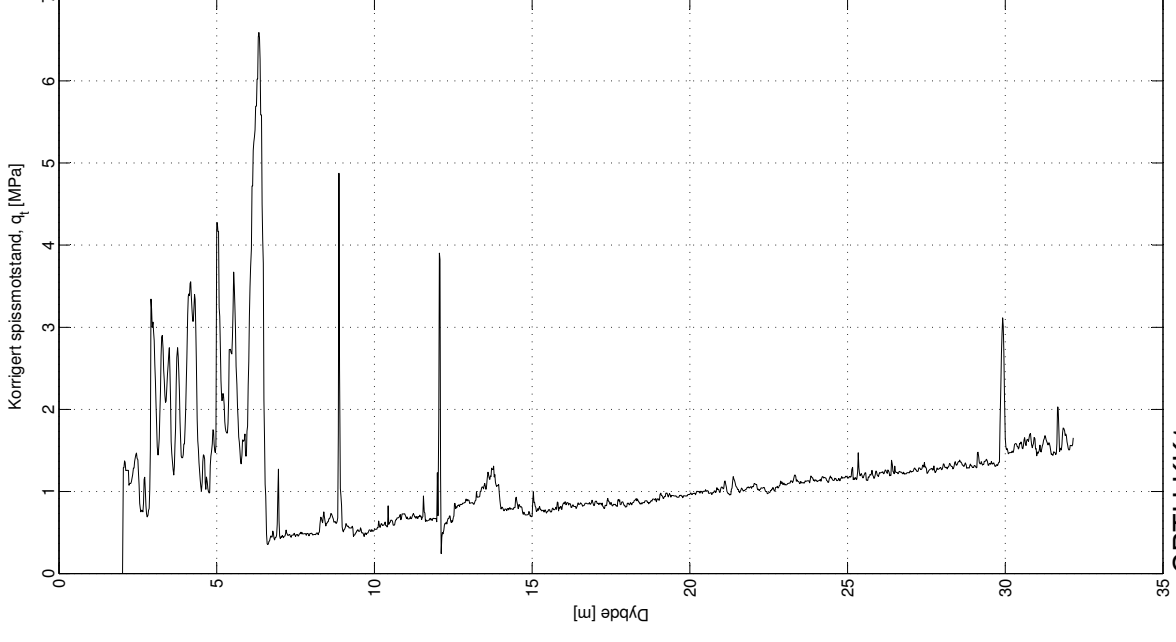
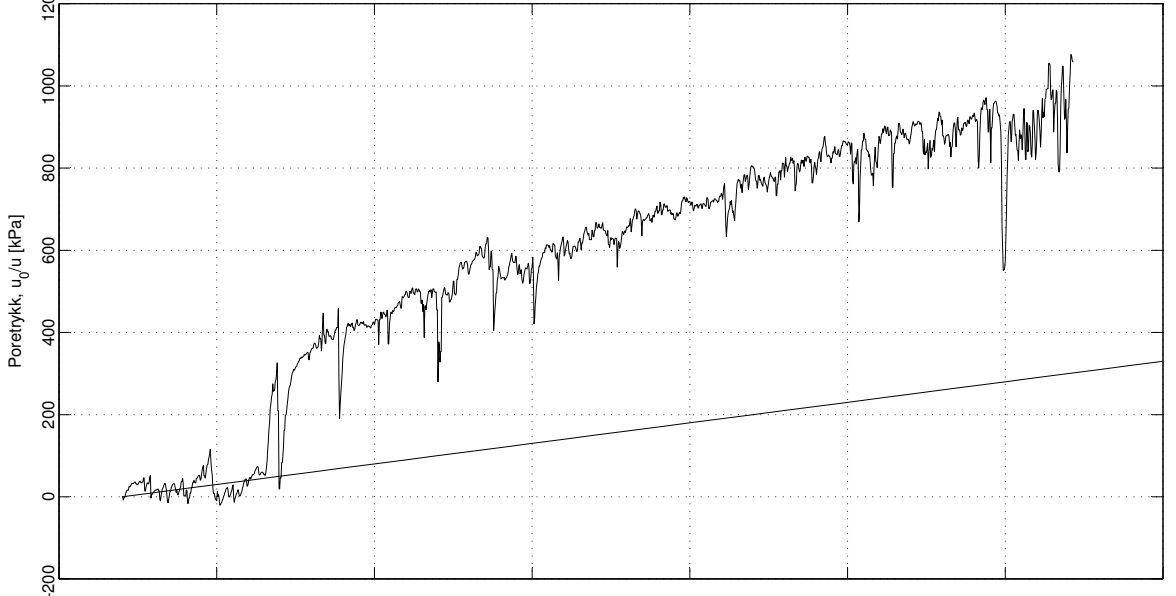
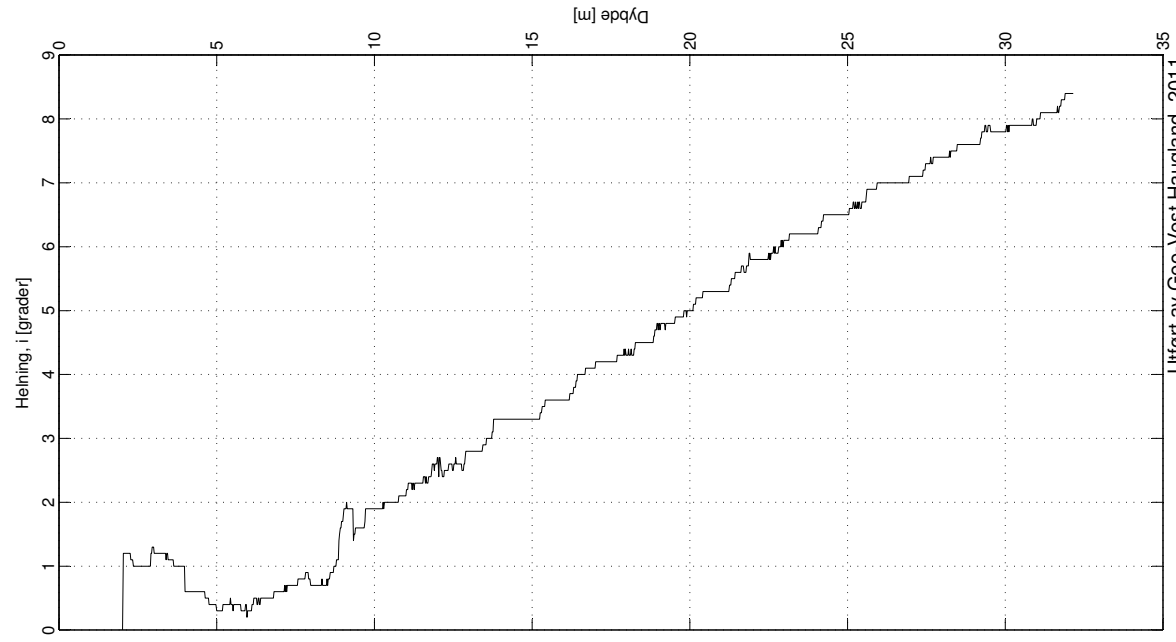
CPTU C6
 Sund, Rissa
 Kote: +1,9m
 GV: ~1,0m



CPTU C6
Sund, Rissa

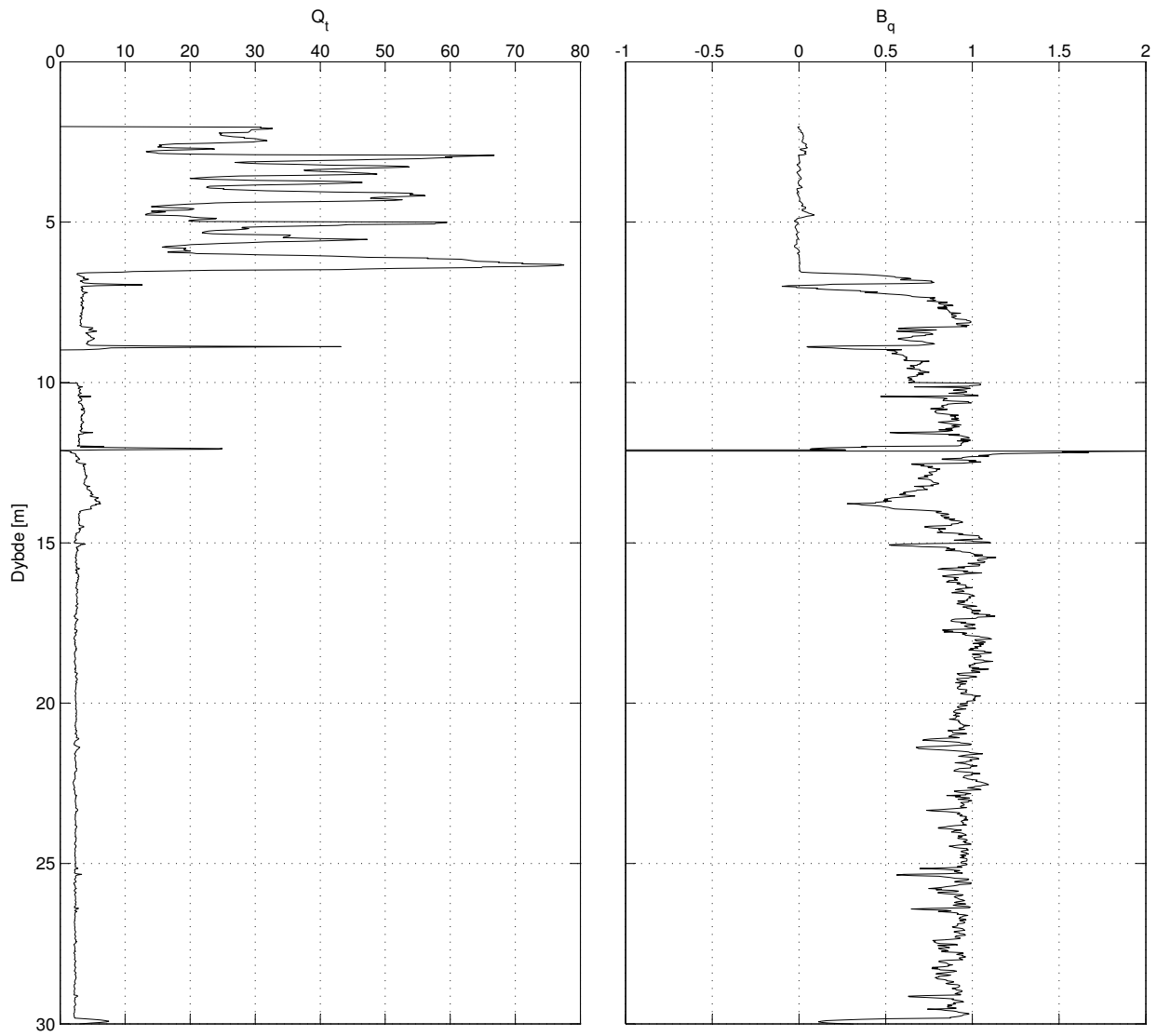
Kote: +2.17m
GV: ~1.0m





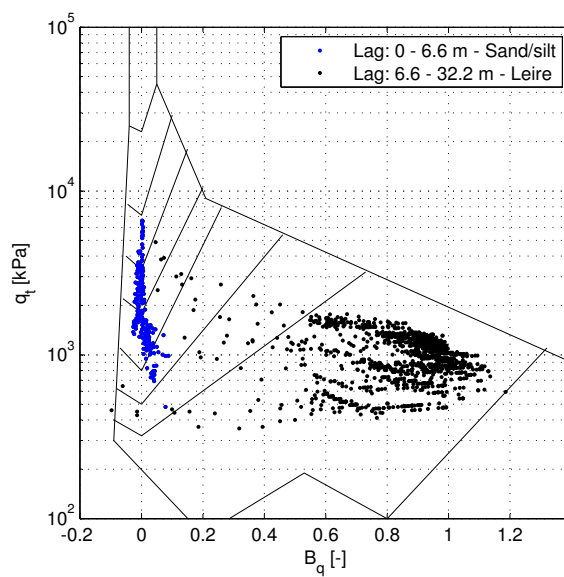
Utført av Geo-Vest Haugland, 2011

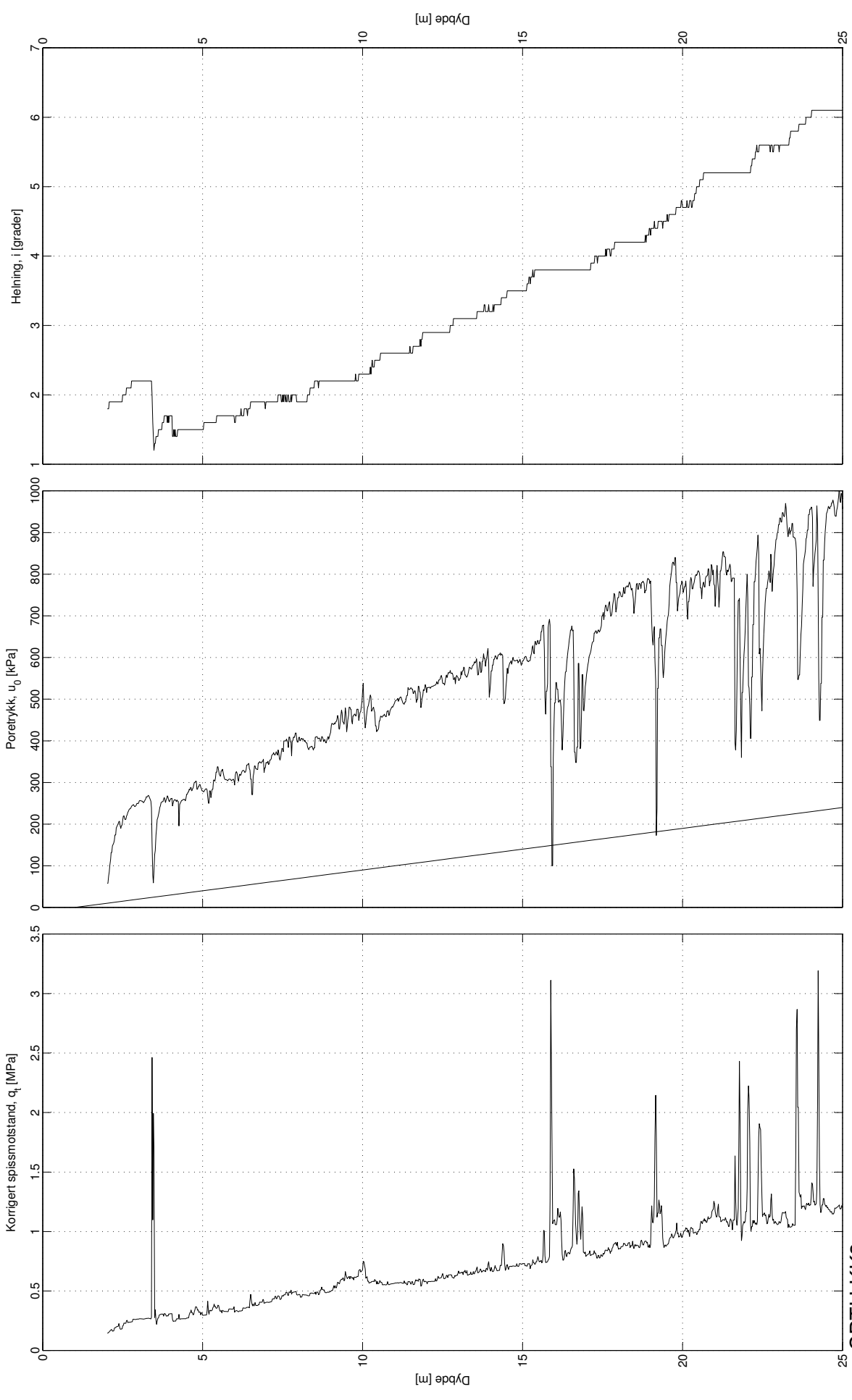
CPTU KK1
 Sund, Rissa
 Kote: +21.9m
 GV: -2.0m



**CPTU KK1
Sund, Rissa**

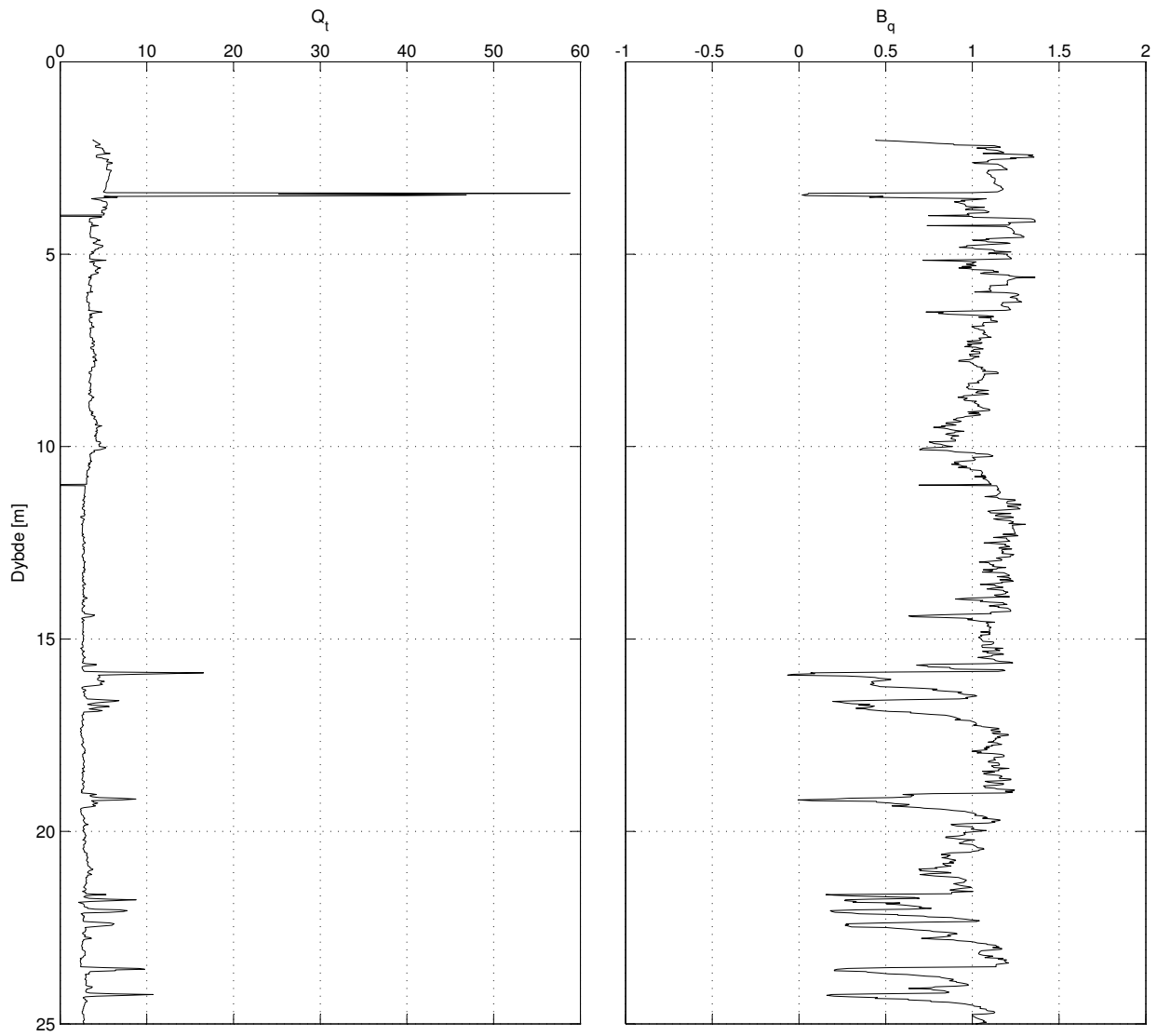
Kote: +21.9m
GV: ~2.0m





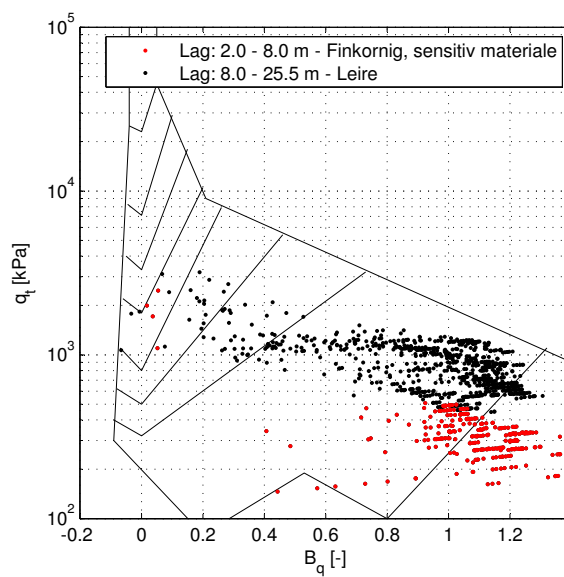
Utført av: NTNU (K. Kåsin), 2010

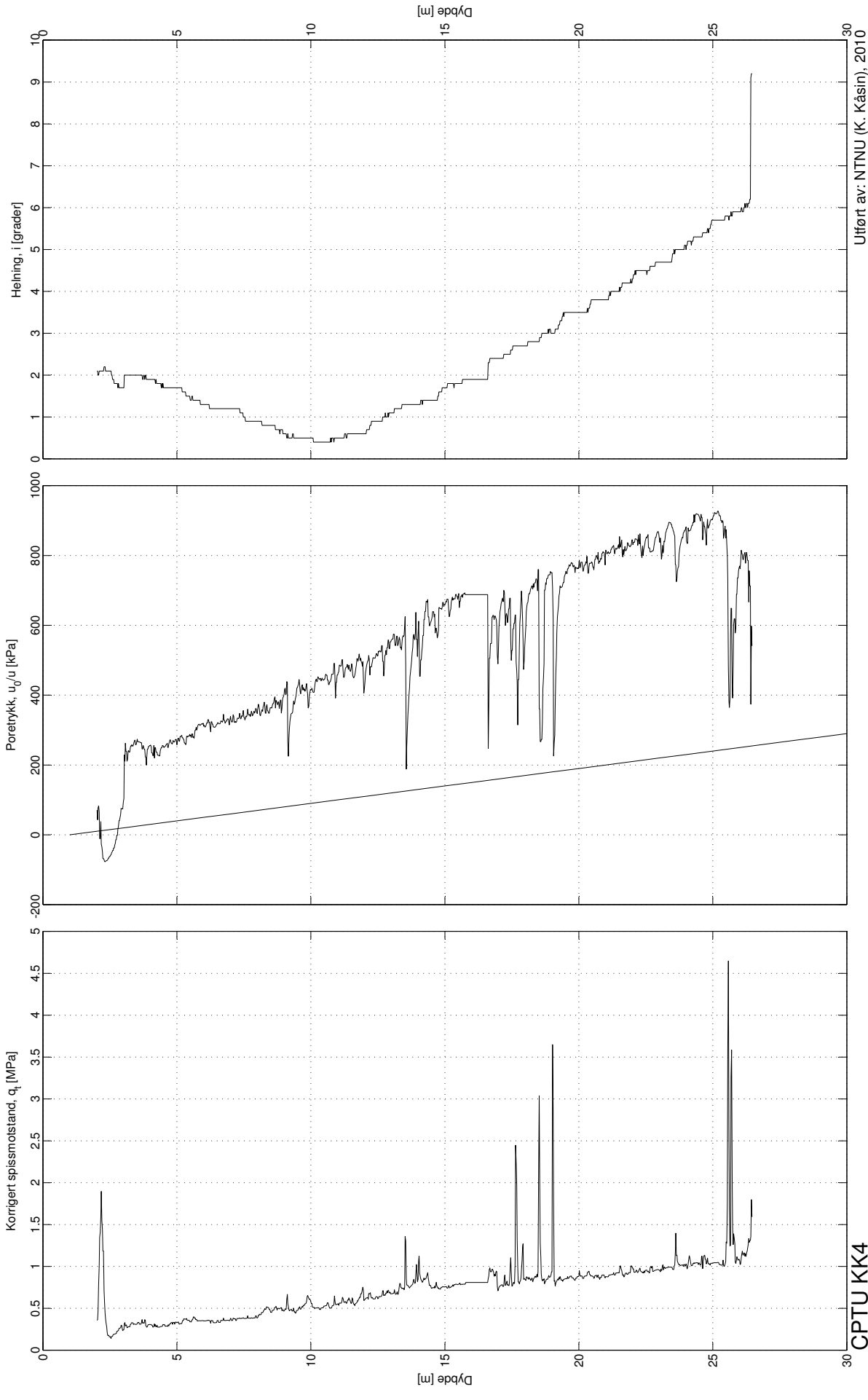
CPTU KK3
 Sund, Rissa
 Kote: +3.50m
 GV: ~1.0m



**CPTU KK3
Sund, Rissa**

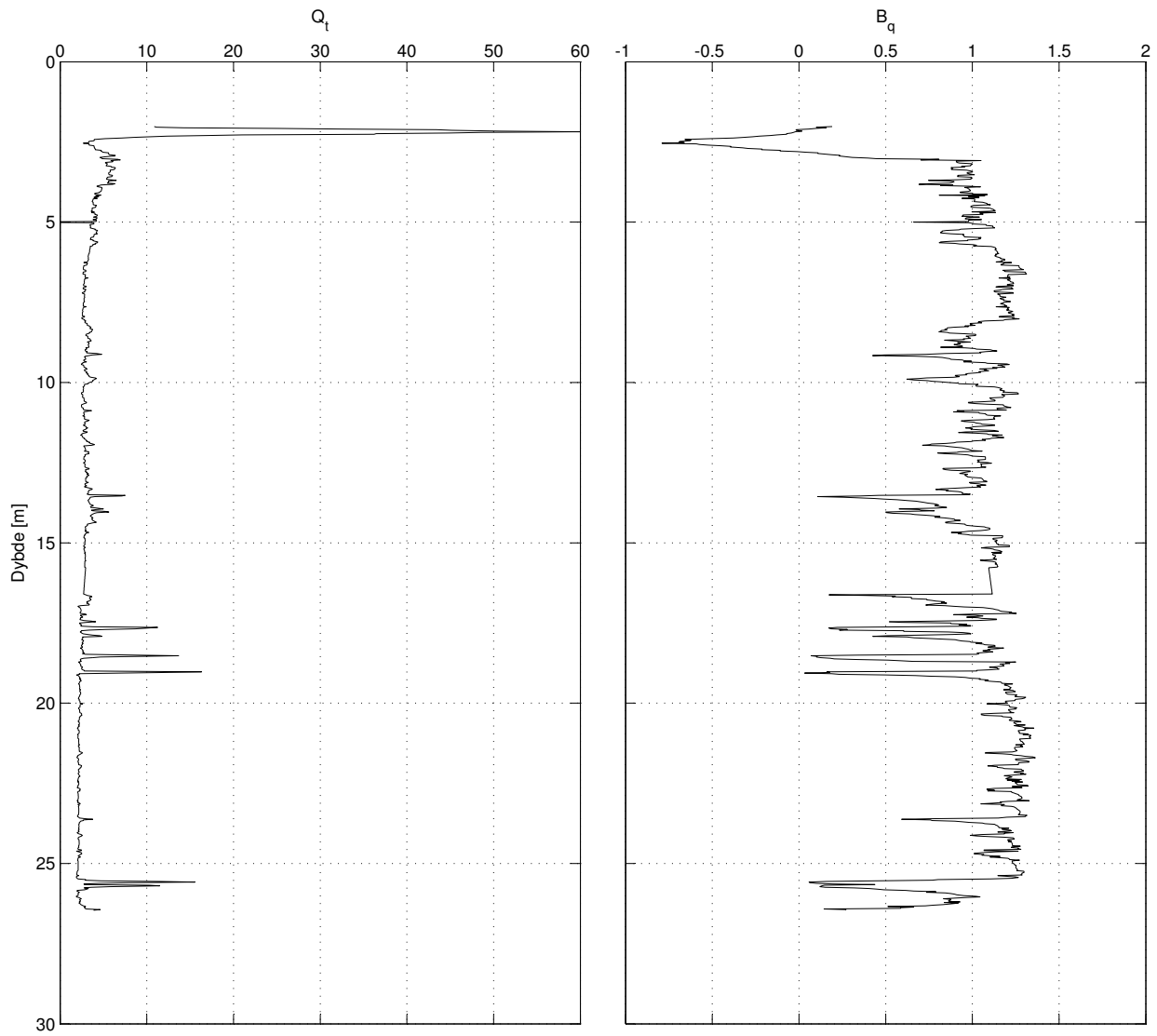
Kote: +3.5m
GV: ~1.0m





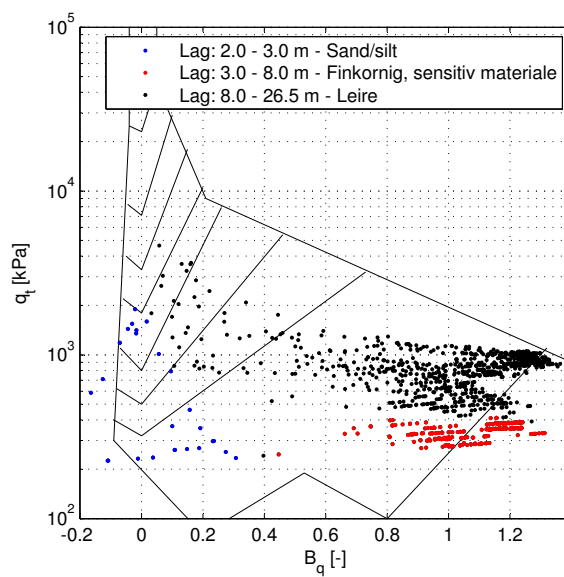
Utført av: NTNU (K. Kåsin), 2010

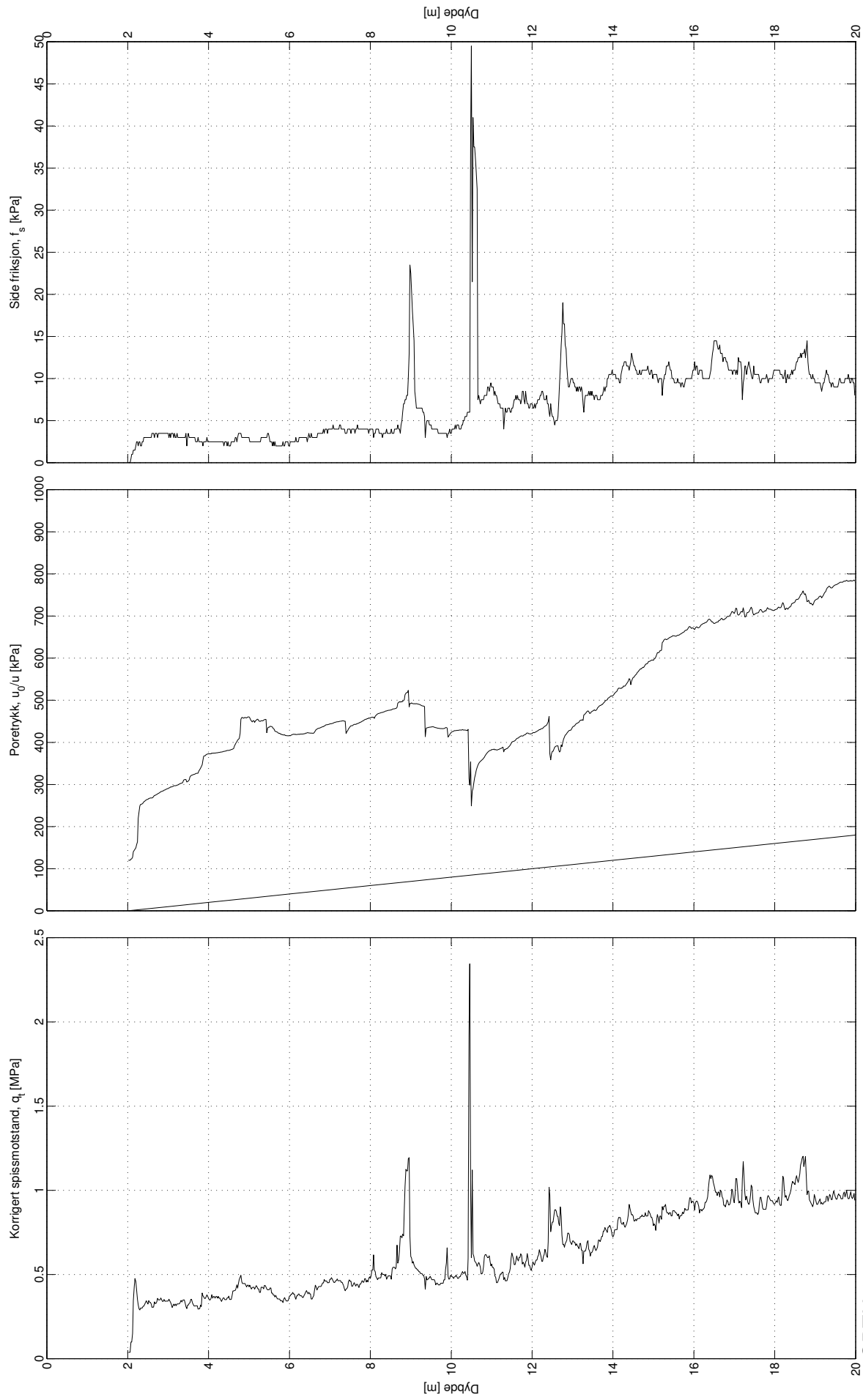
CPTU KK4
 Sund, Rissa
 Kjøte: +3,50m
 GV: -1,0m



**CPTU KK4
Sund, Rissa**

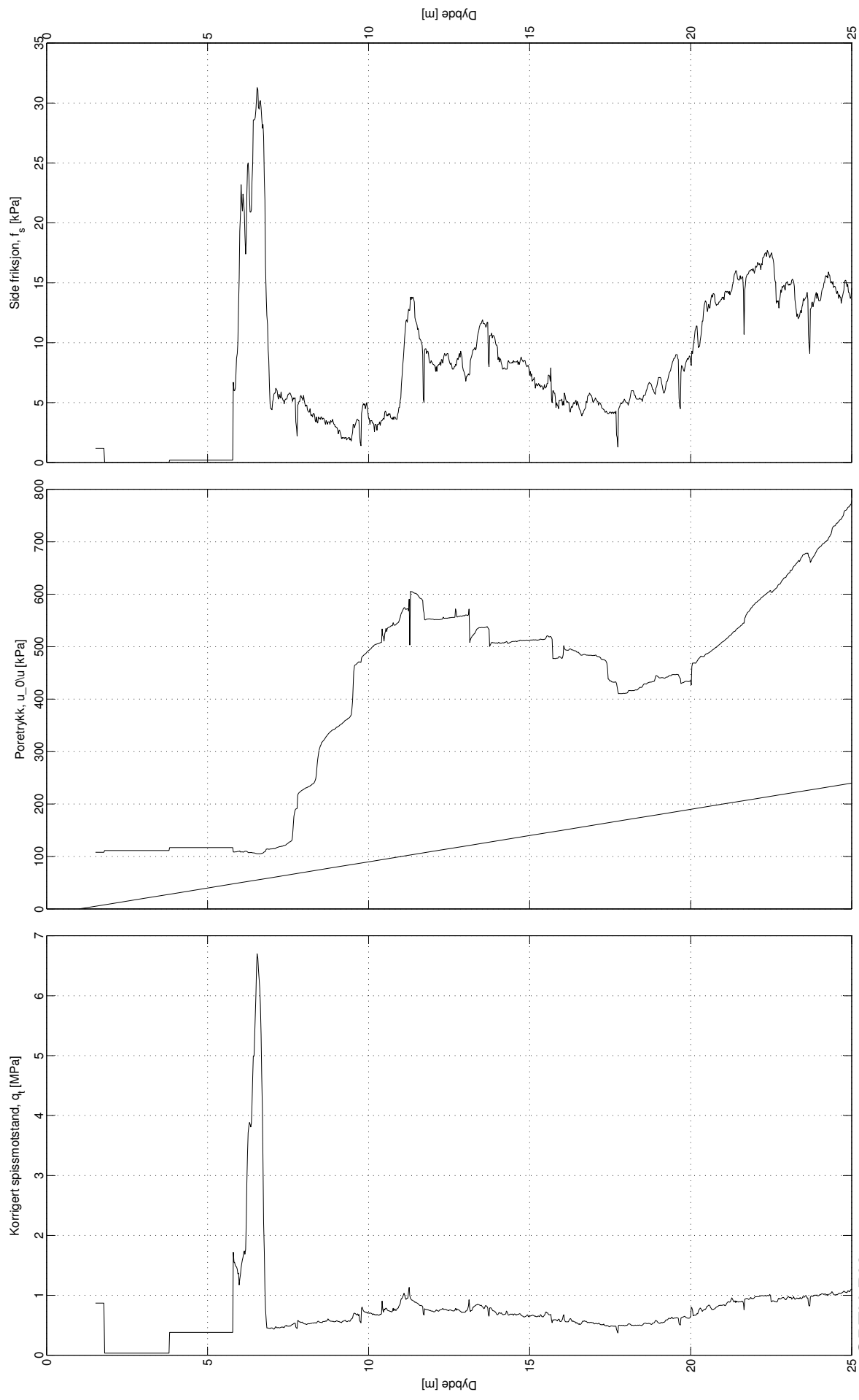
Kote: +3.5m
GV: ~1.0m





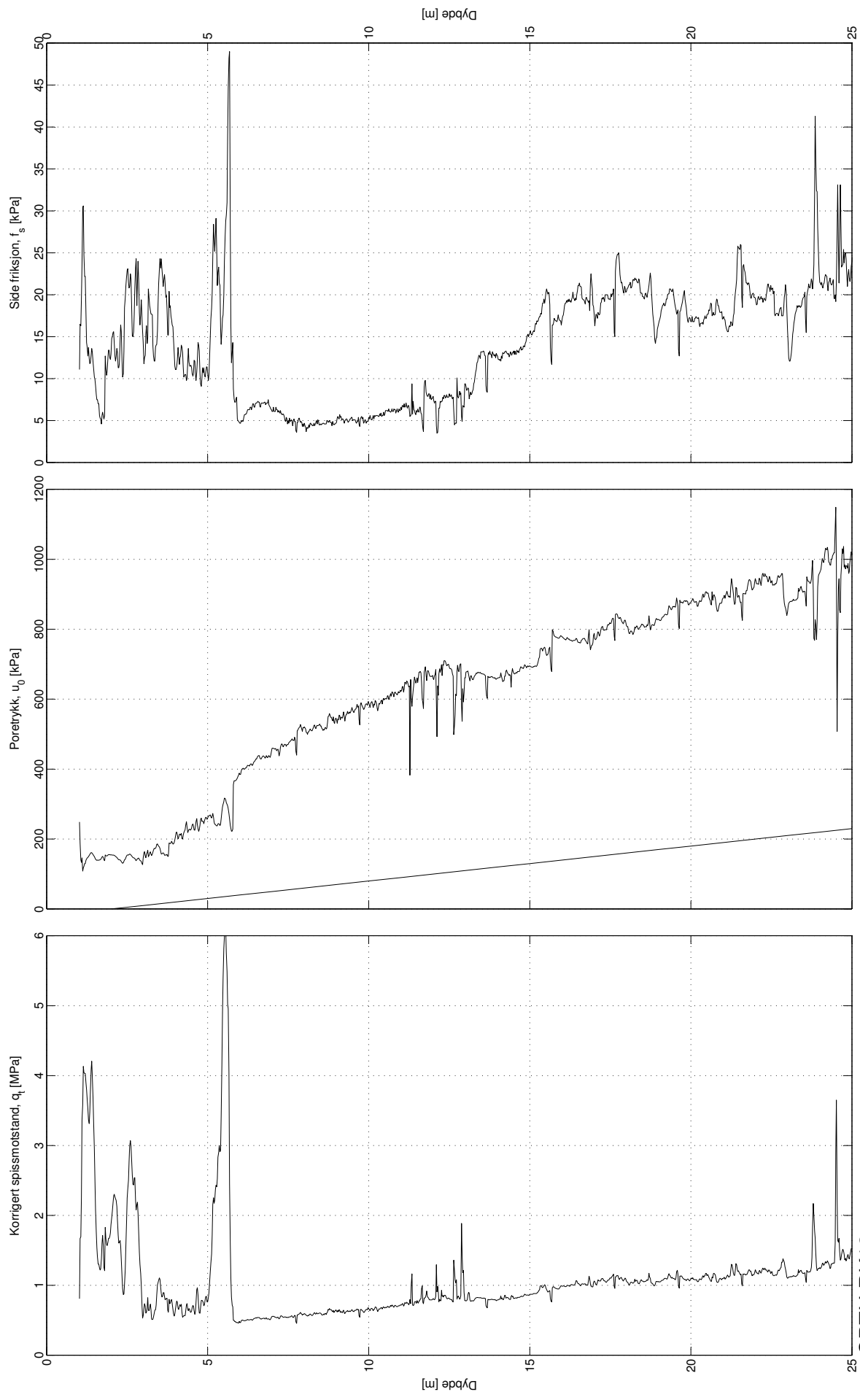
CPTU 16
 Sund, Rissa
 Kote: +9.0m
 GV: -2.0m

Utført av NGL, 2009



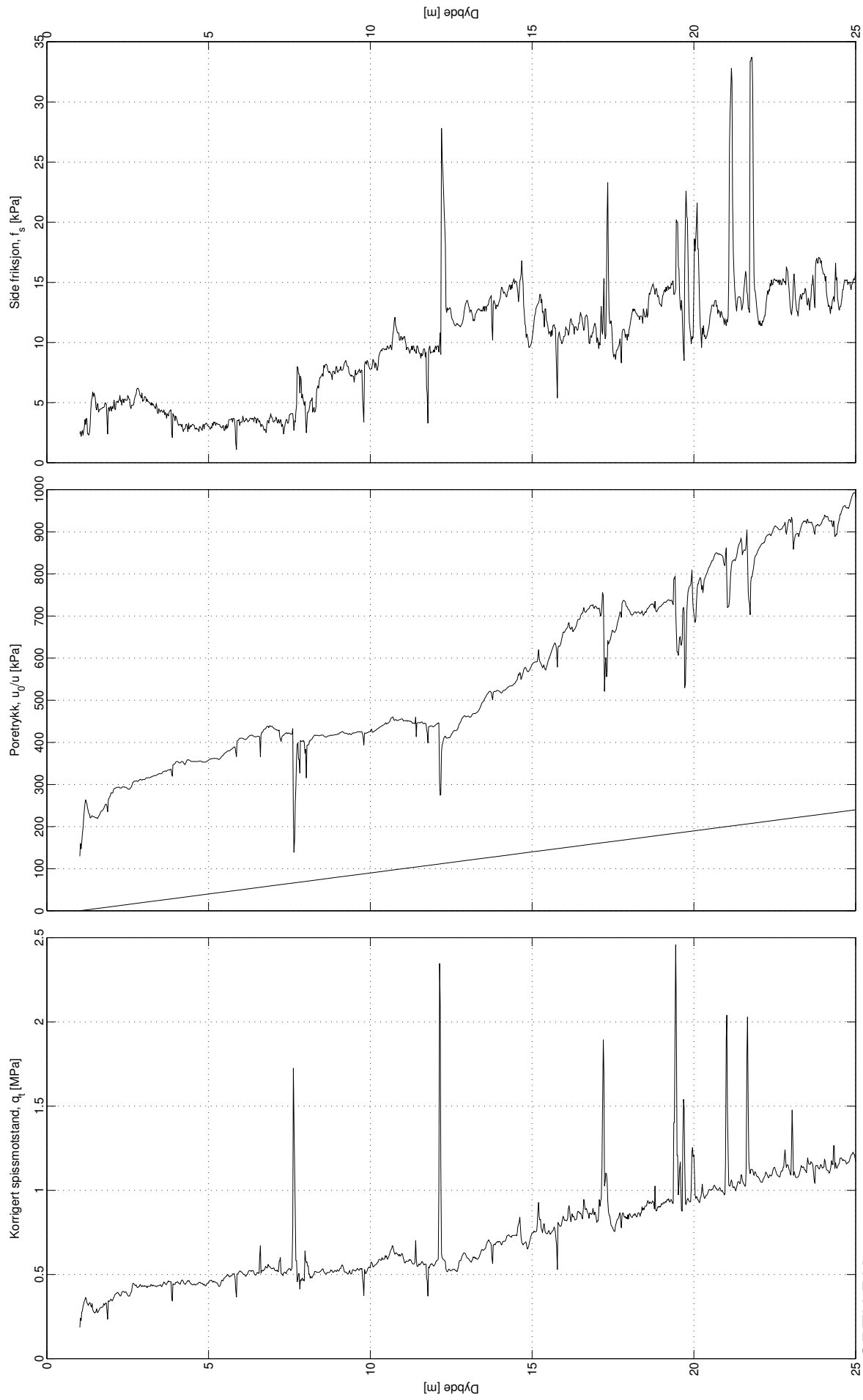
CPTU RK12
 Sund, Rissa
 Kote: +21.9m
 GV: ~1.0m

Utført av NGI, 2009



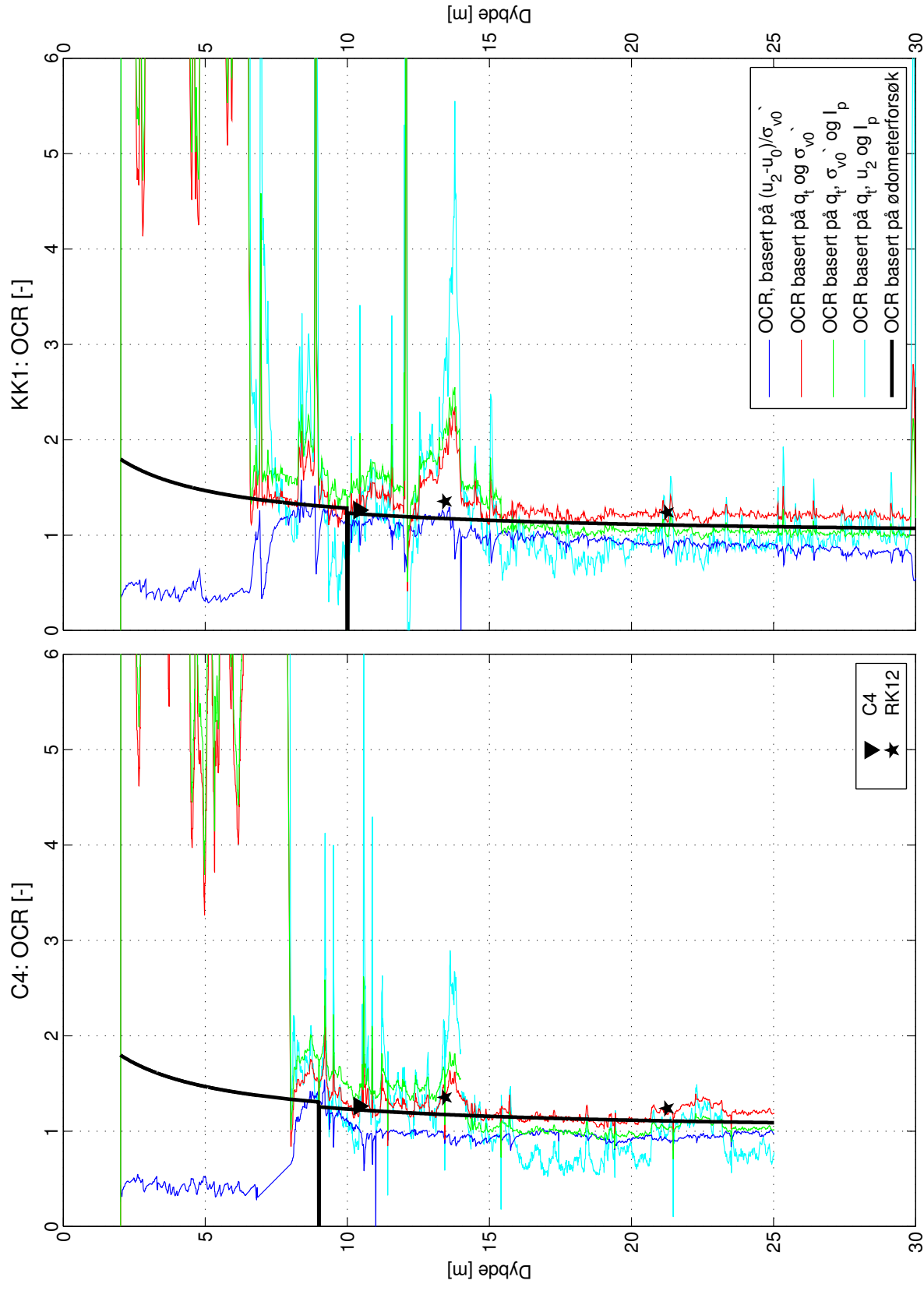
CPTU RK13
 Sund, Rissa
 Kote: +12.3m
 GV: -2.0m

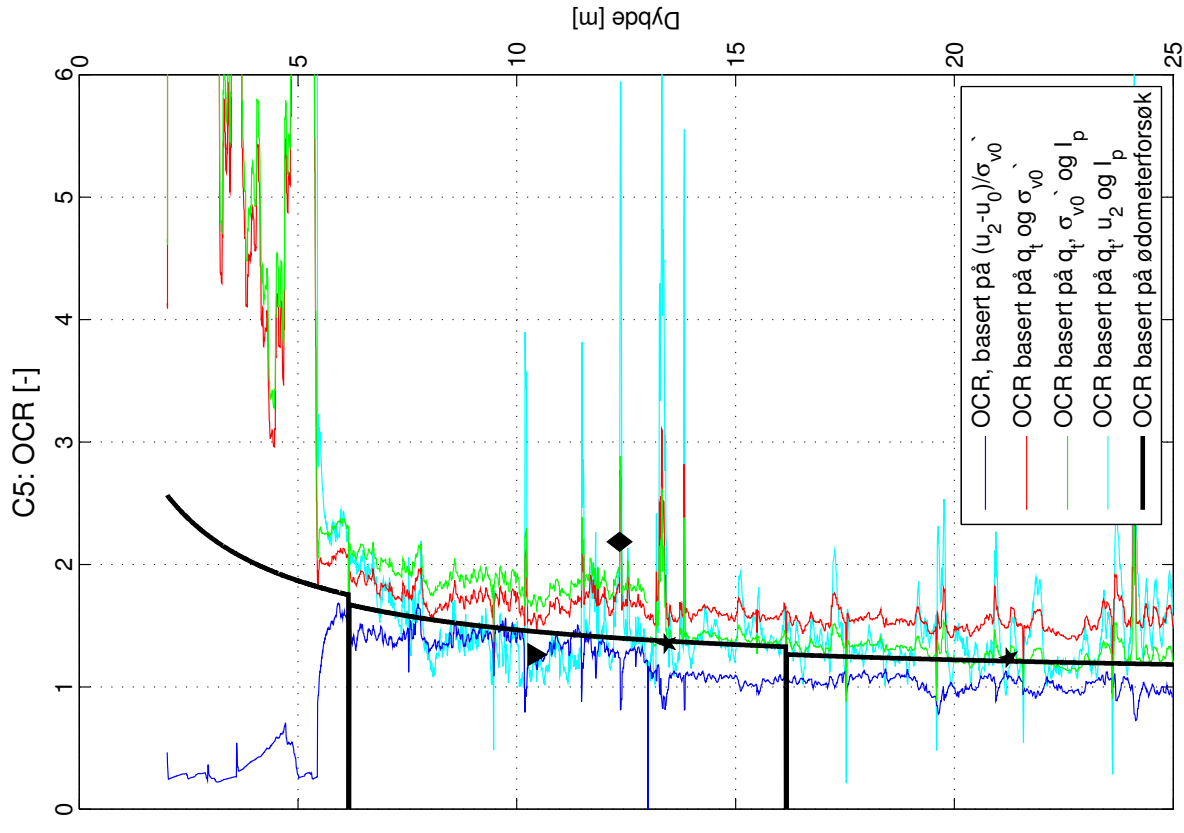
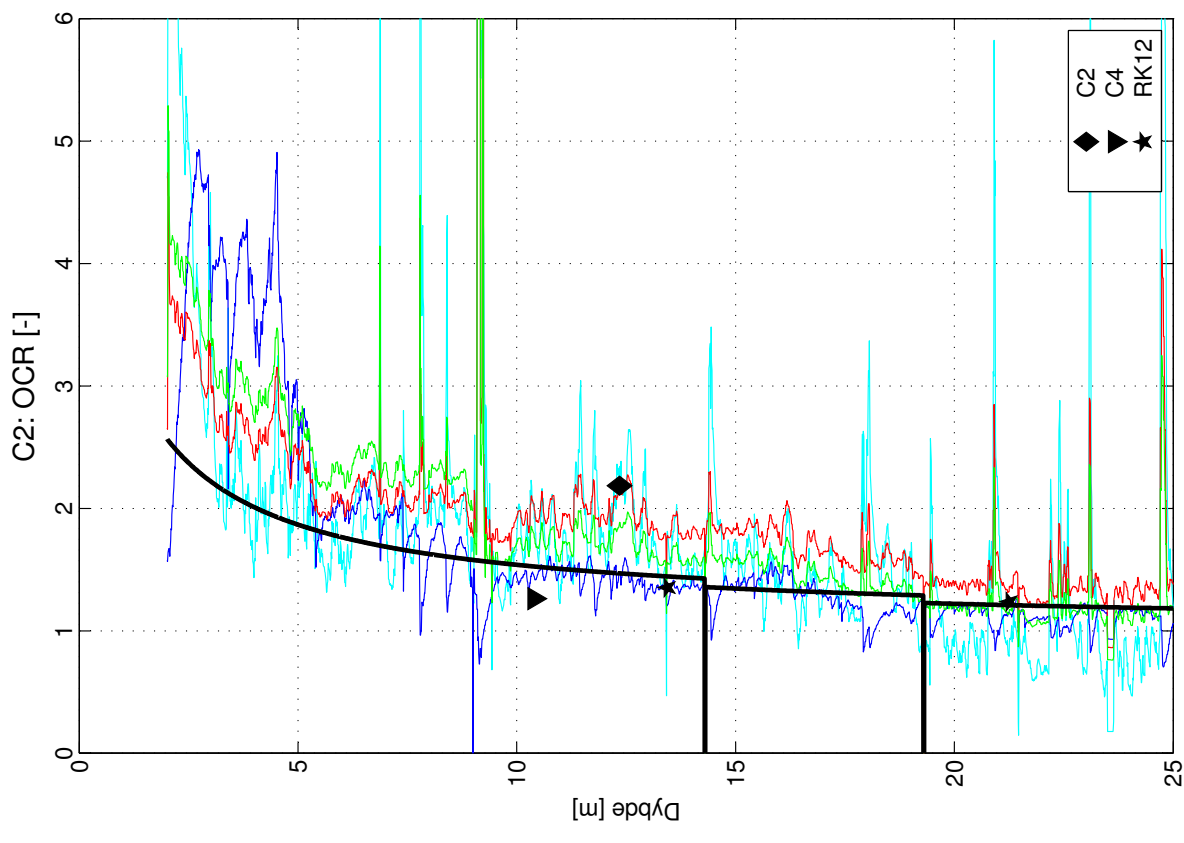
Utført av NGI, 2009

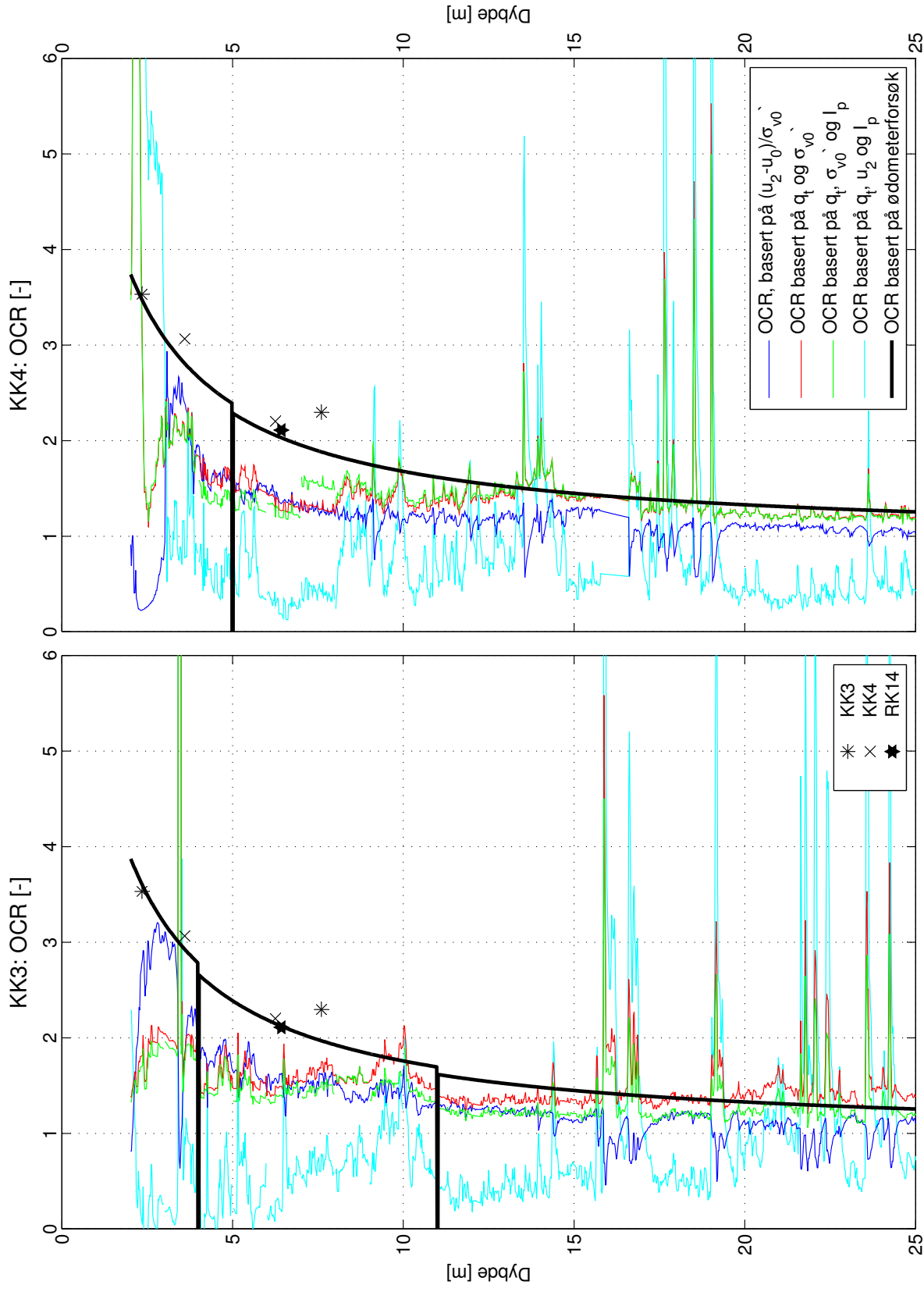


CPTU RK14
 Sund, Rissa
 Kote: +2,7m
 GV: ~1,0m

Utført av NGI, 2009







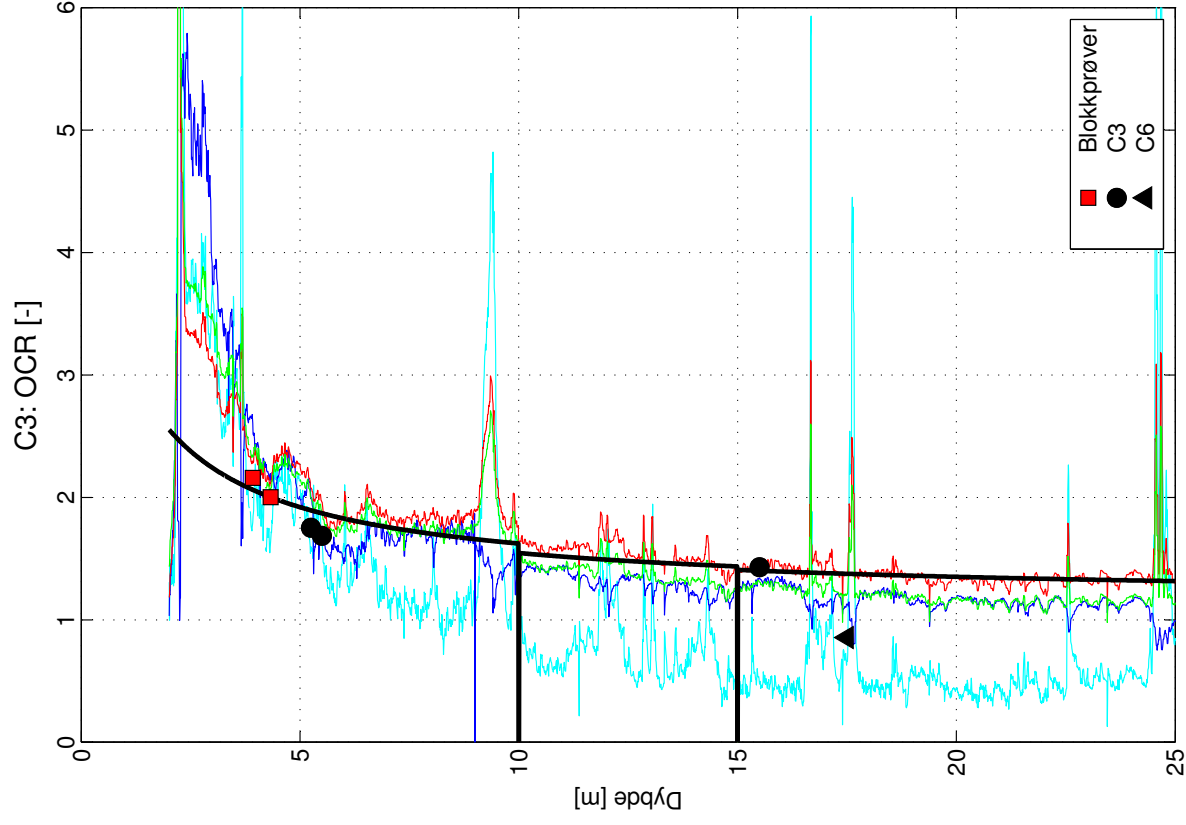
Sensitiv leire, 2-3m
 Lite sensitiv leire, 3-25m

Lite sensitiv leire, 2-25m

Kote: +3.50m
 GV: ~1.0m

- OCR, basert på $(u_2 - u_0) / \sigma'_{v0}$
- OCR basert på q_t og σ'_{v0}
- OCR basert på q_t , σ'_{v0} og l_p
- OCR basert på q_t , u_2 og l_p
- OCR basert på ødometerforsøk

- * KK3
- × KK4
- ★ RK14

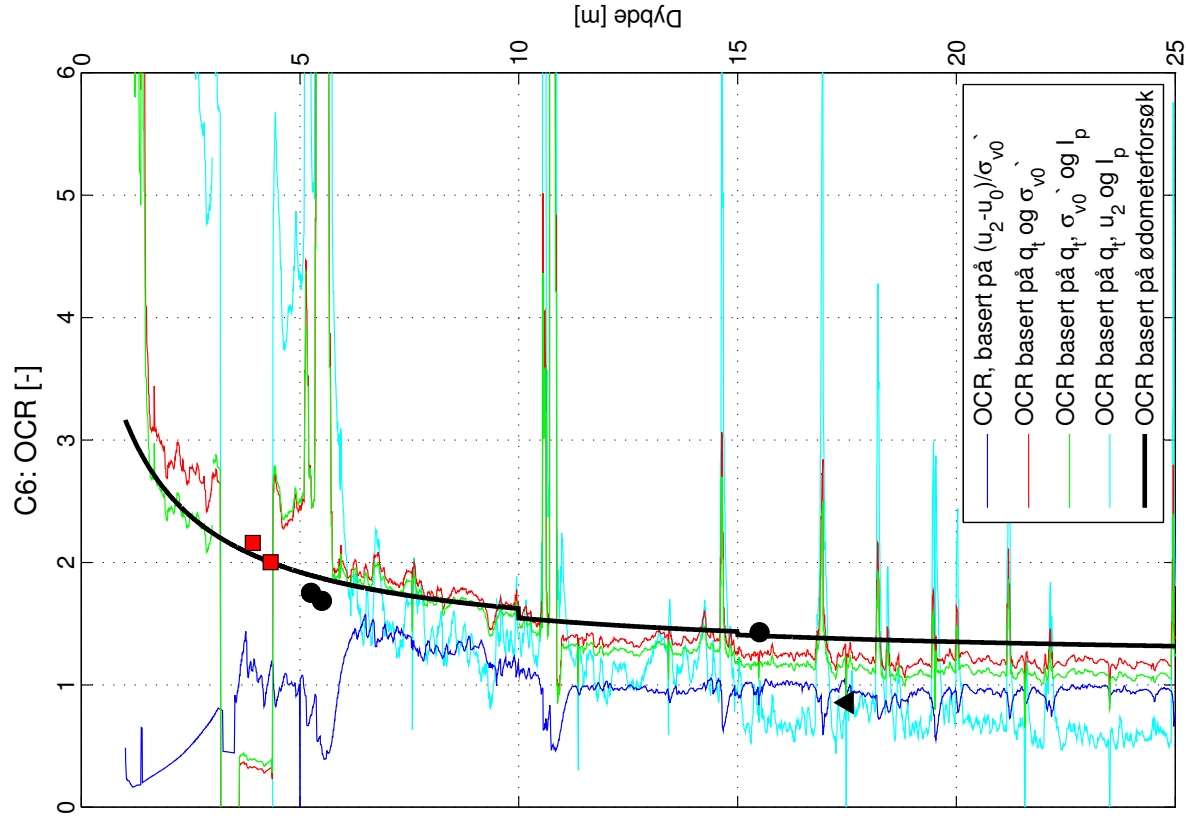


Kote: +2.17m

GV: ~1.0m

Sensitiv leire, 2-9m

Lite sensitiv leire, 9-25m

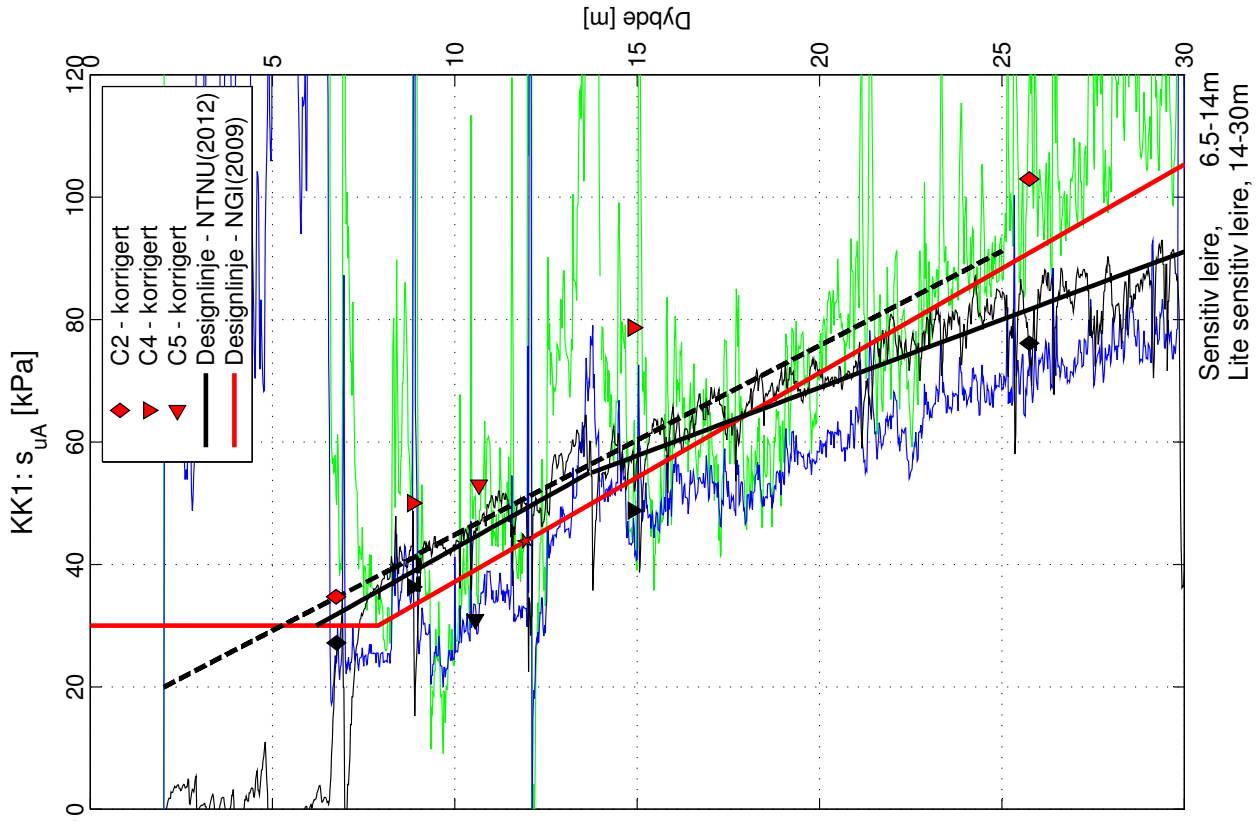
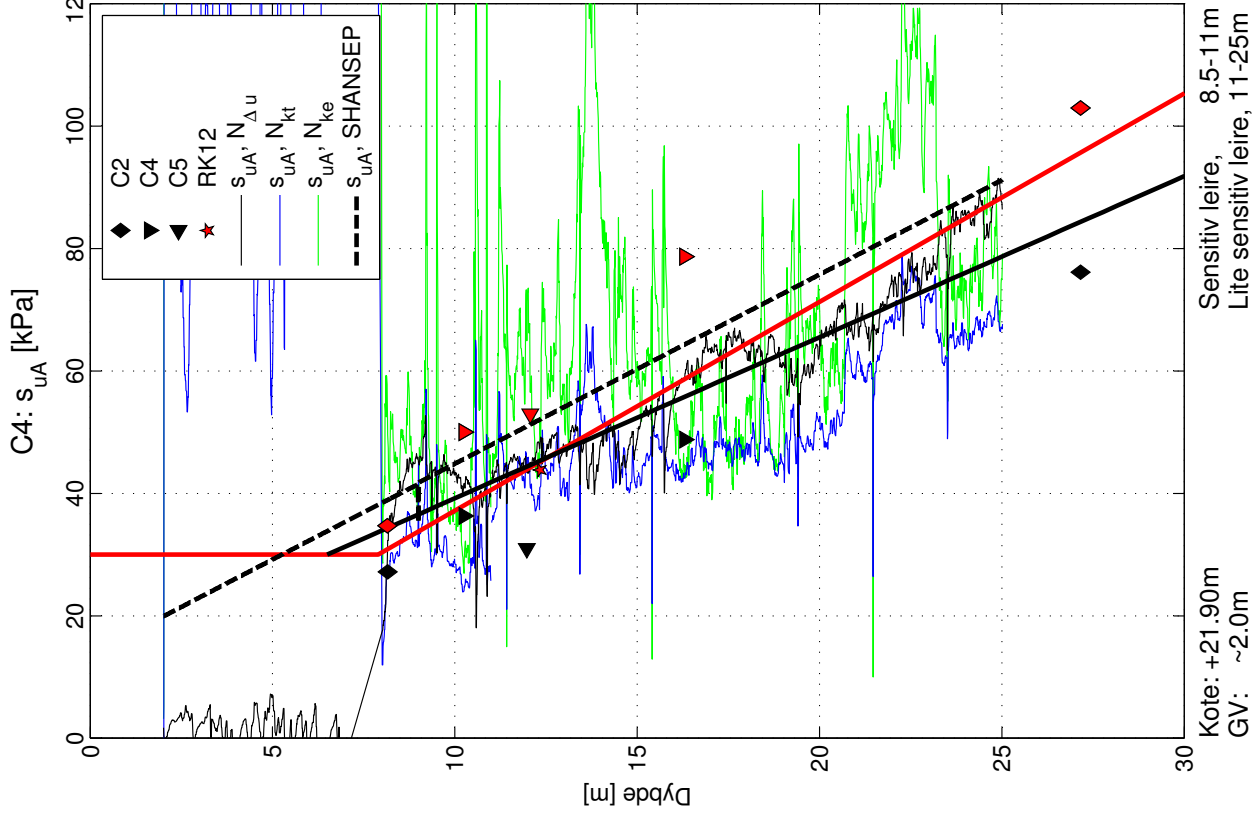


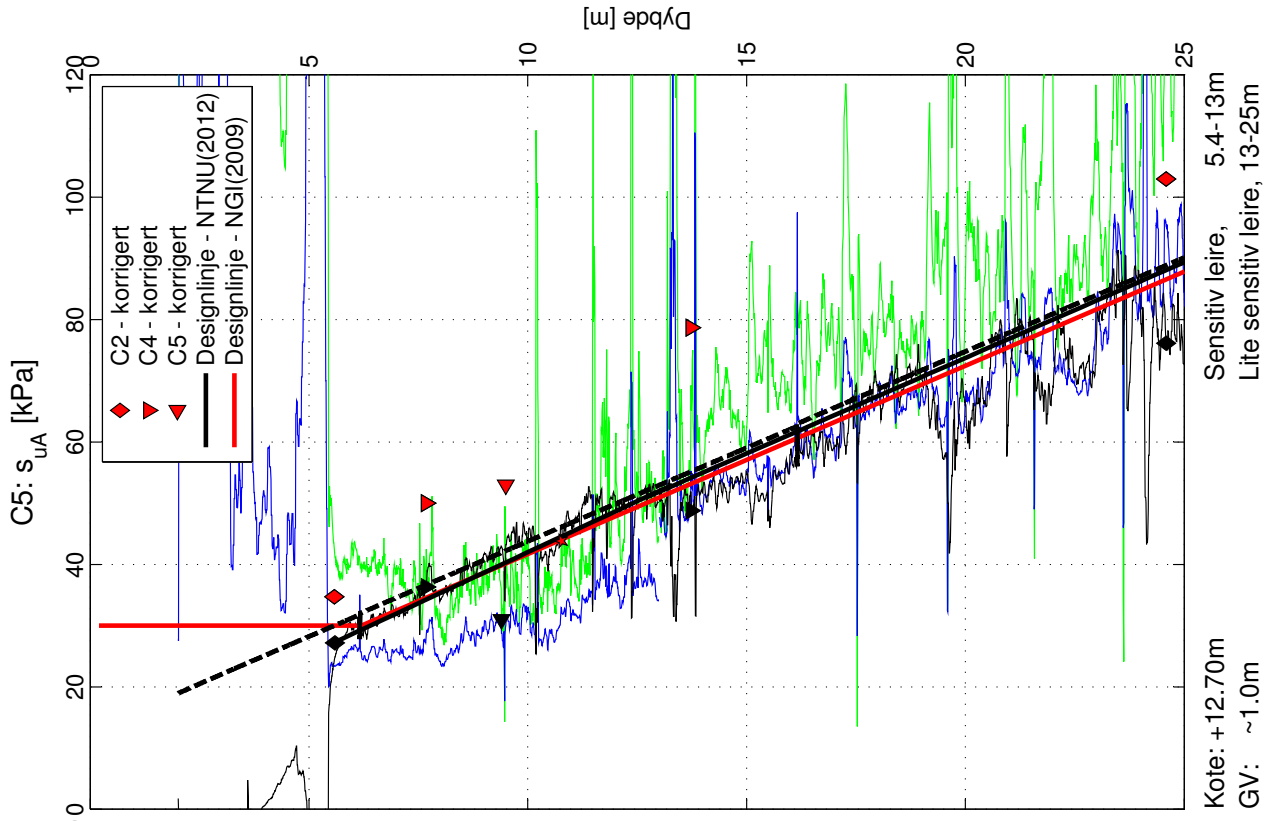
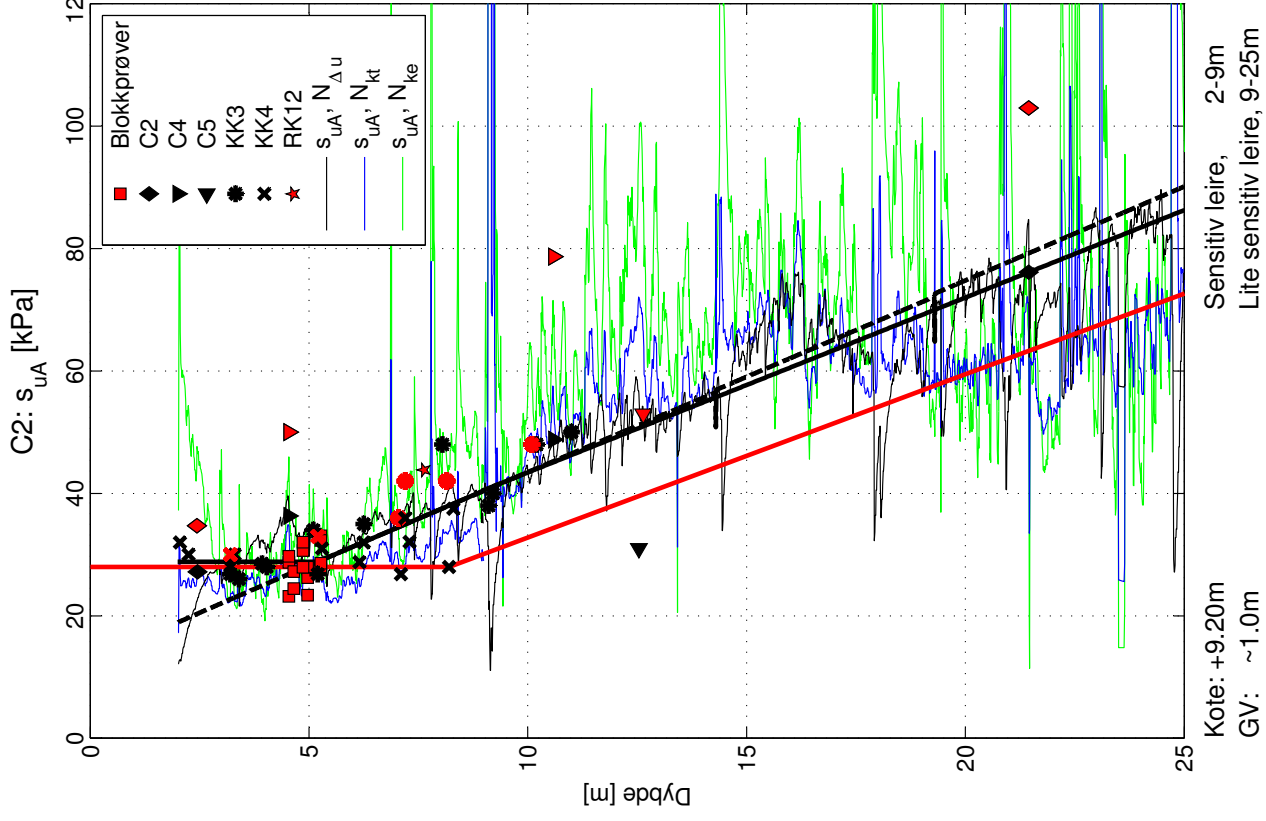
Kote: +1.9m

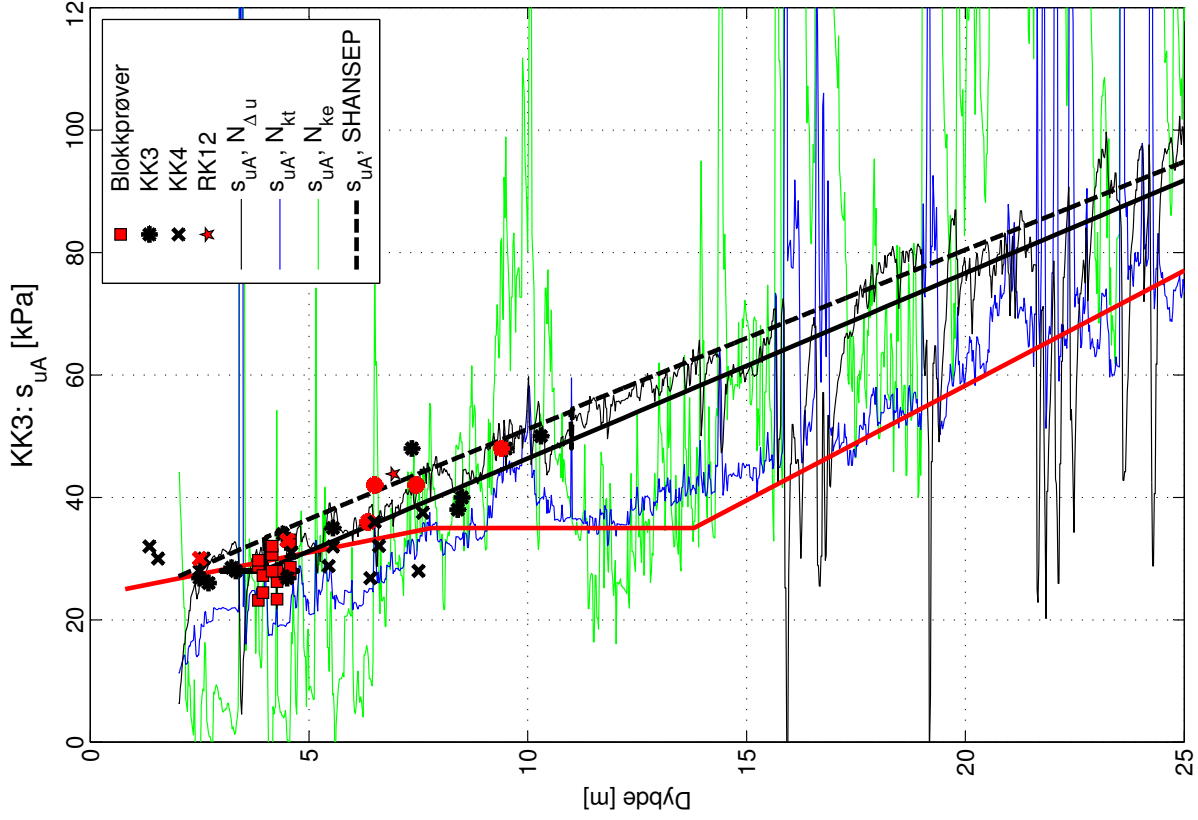
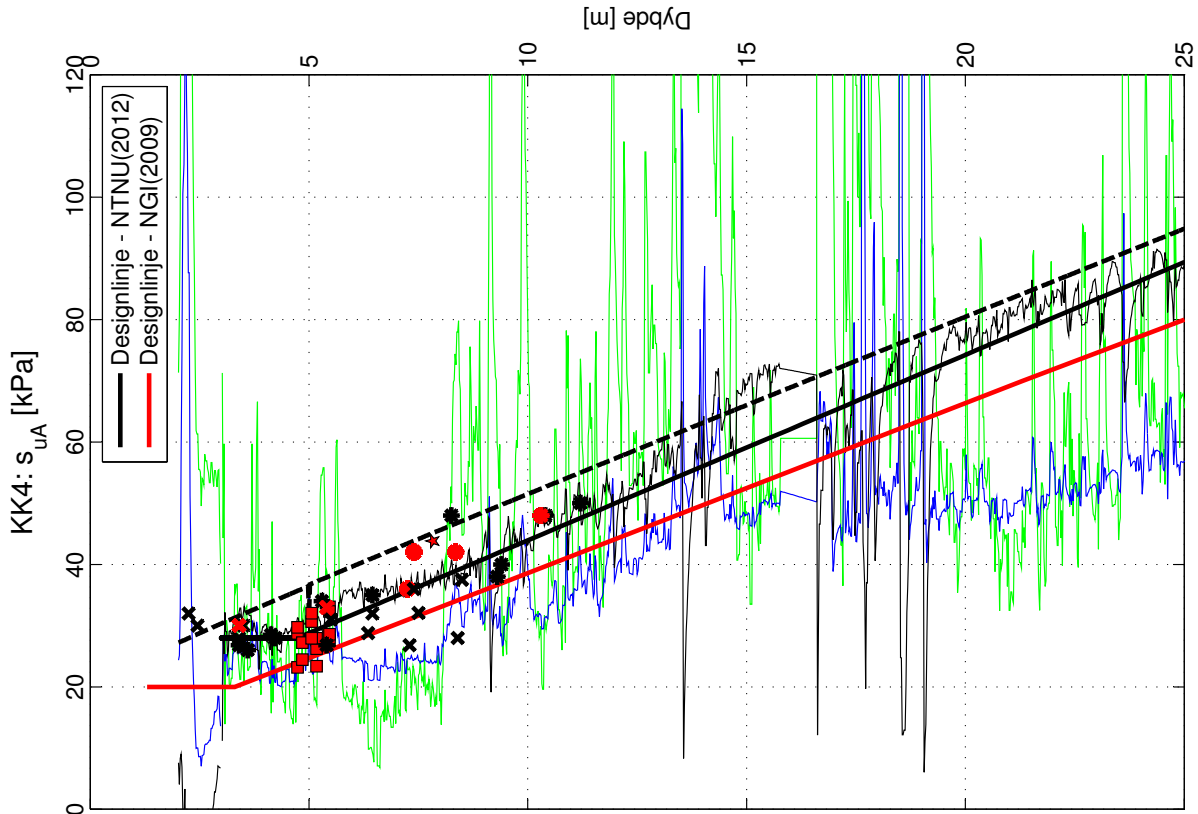
GV: ~1.0m

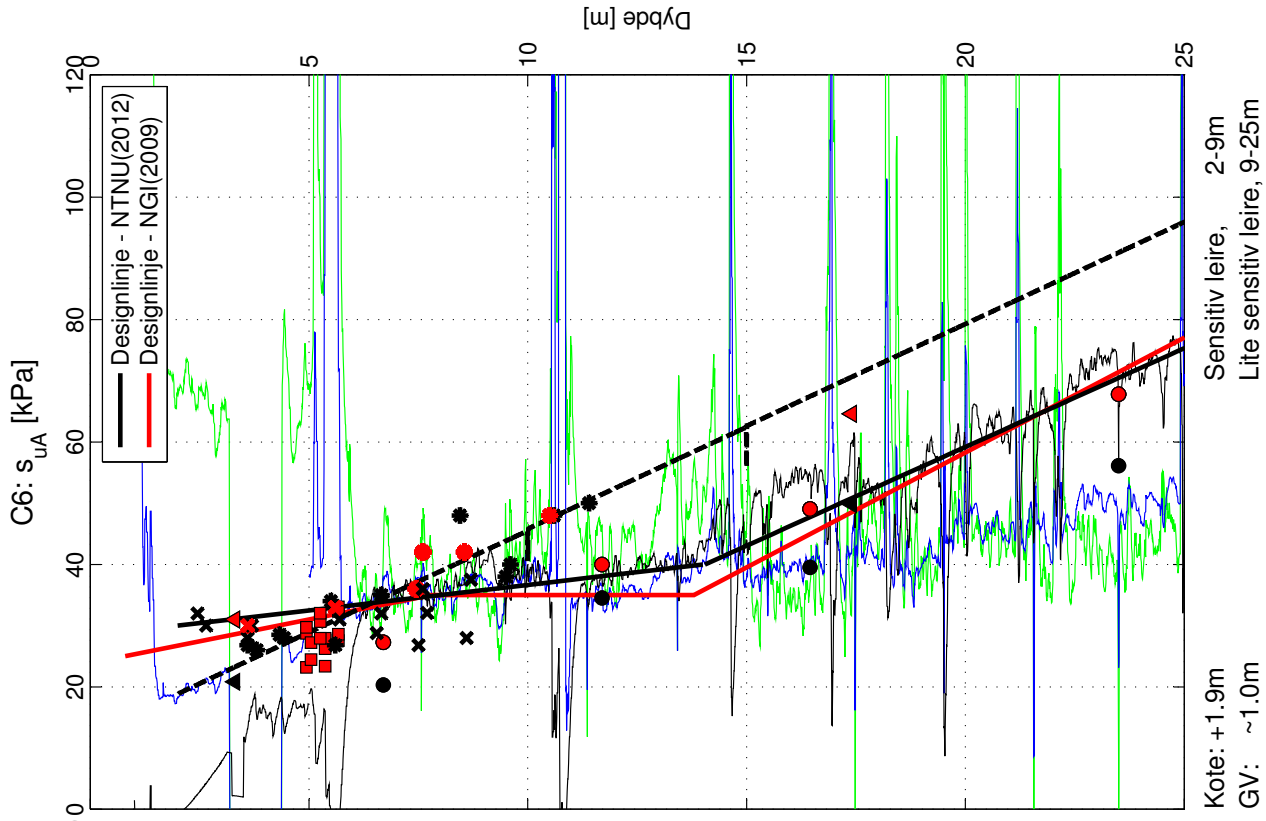
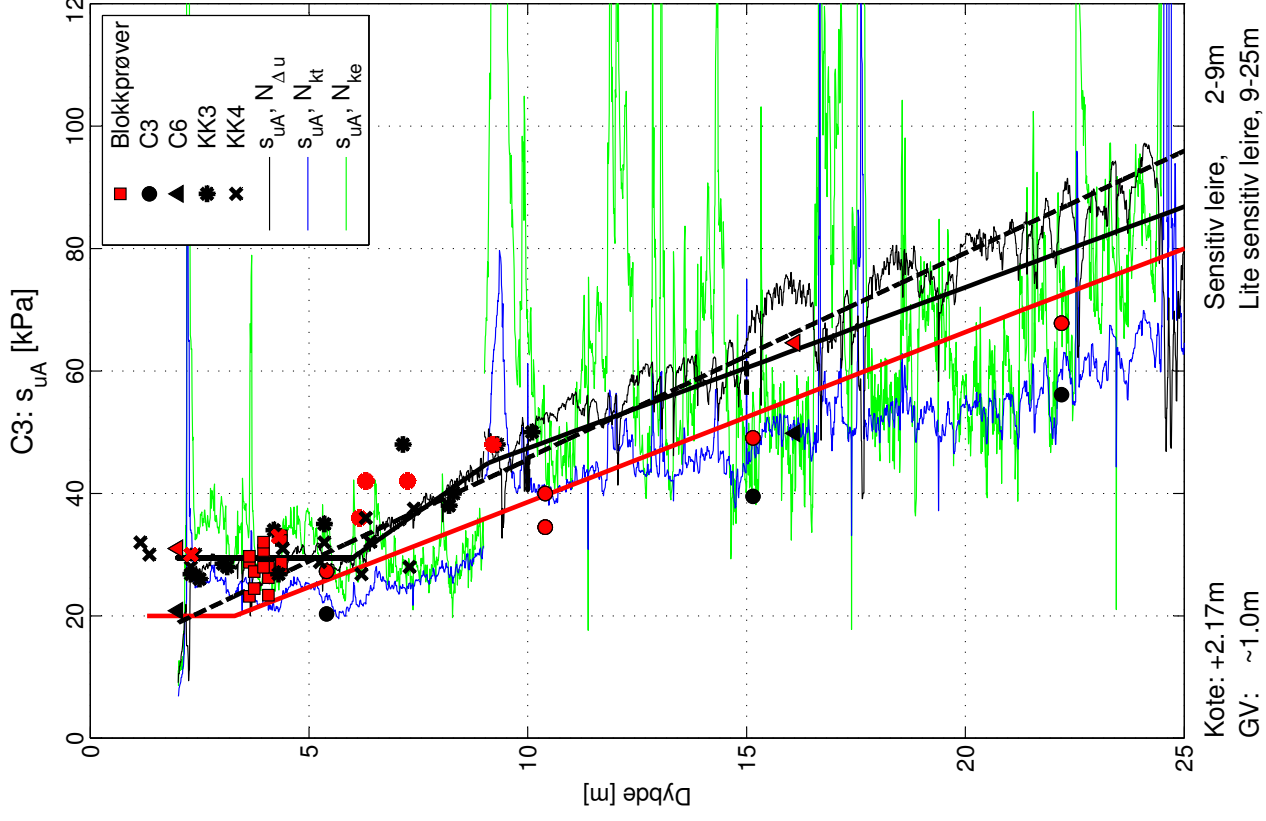
Sensitiv leire, 2-9m

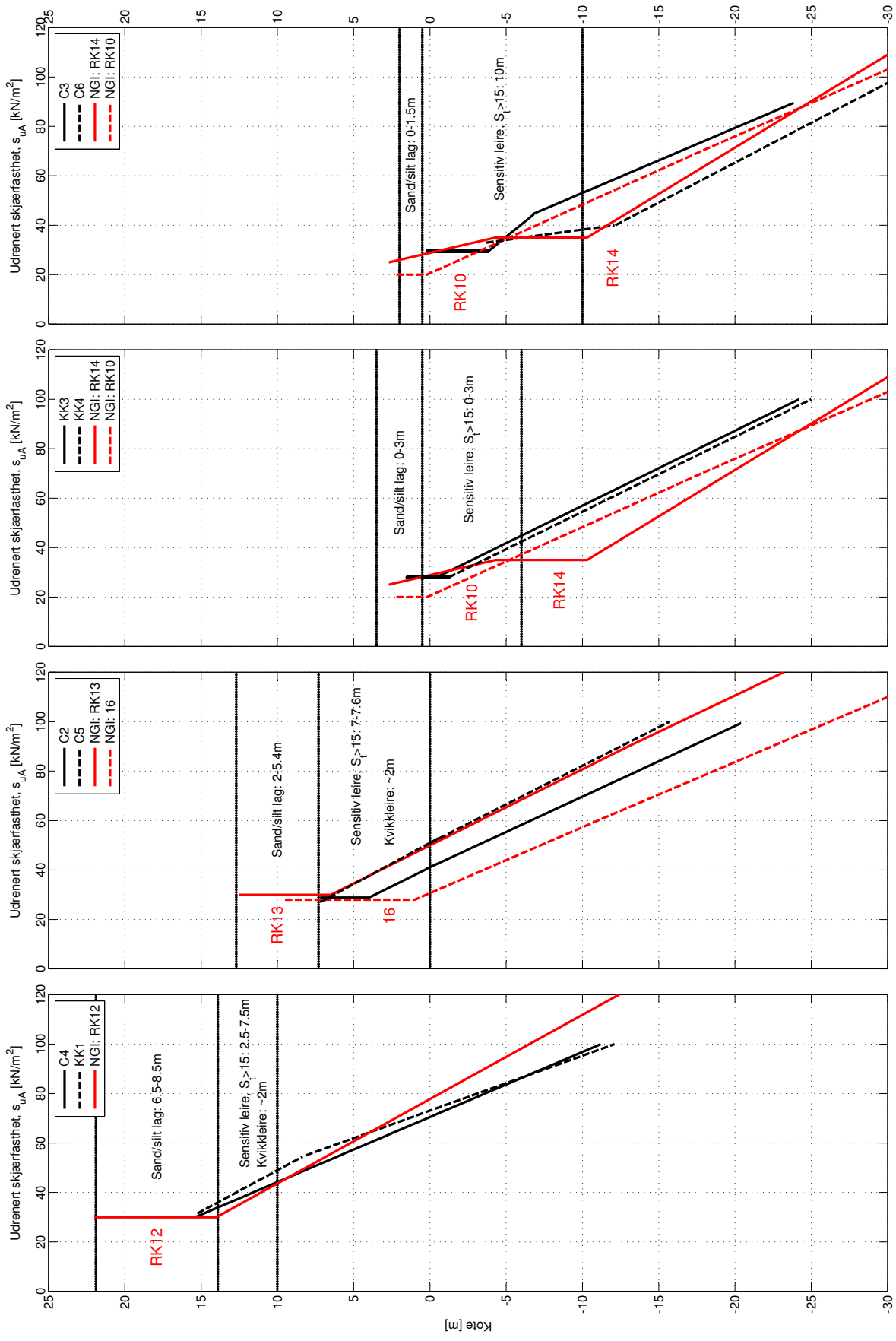
Lite sensitiv leire, 9-25m





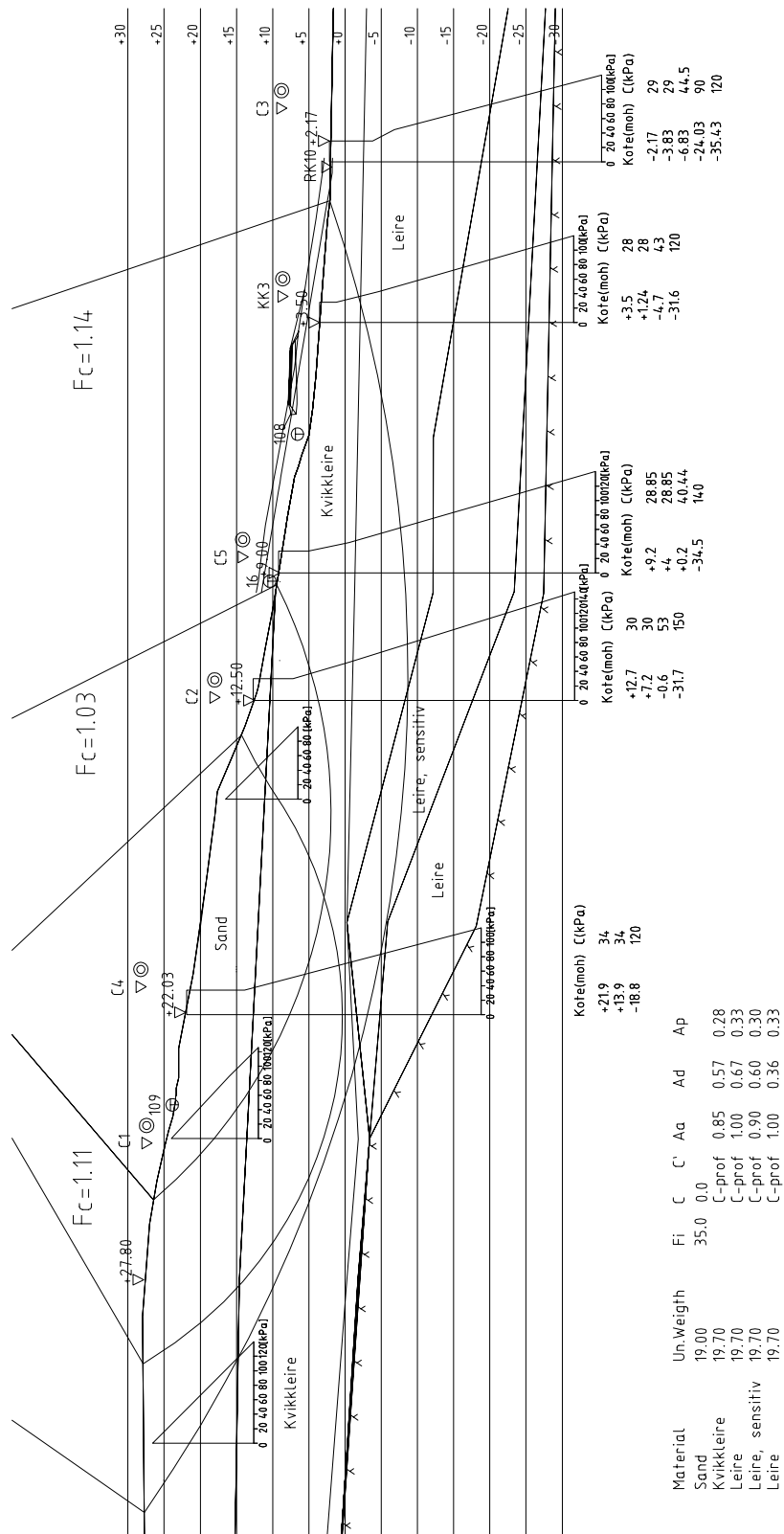




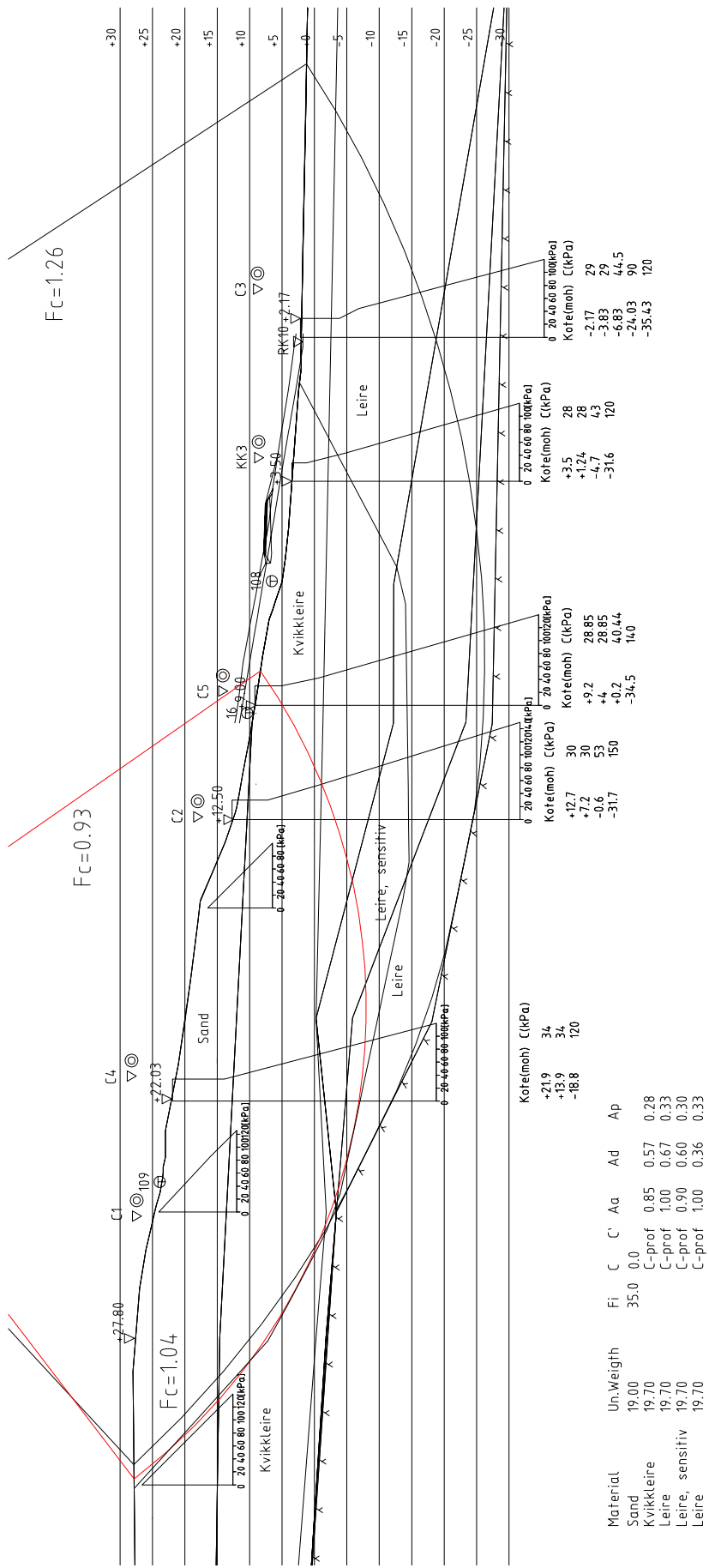


Tillegg E

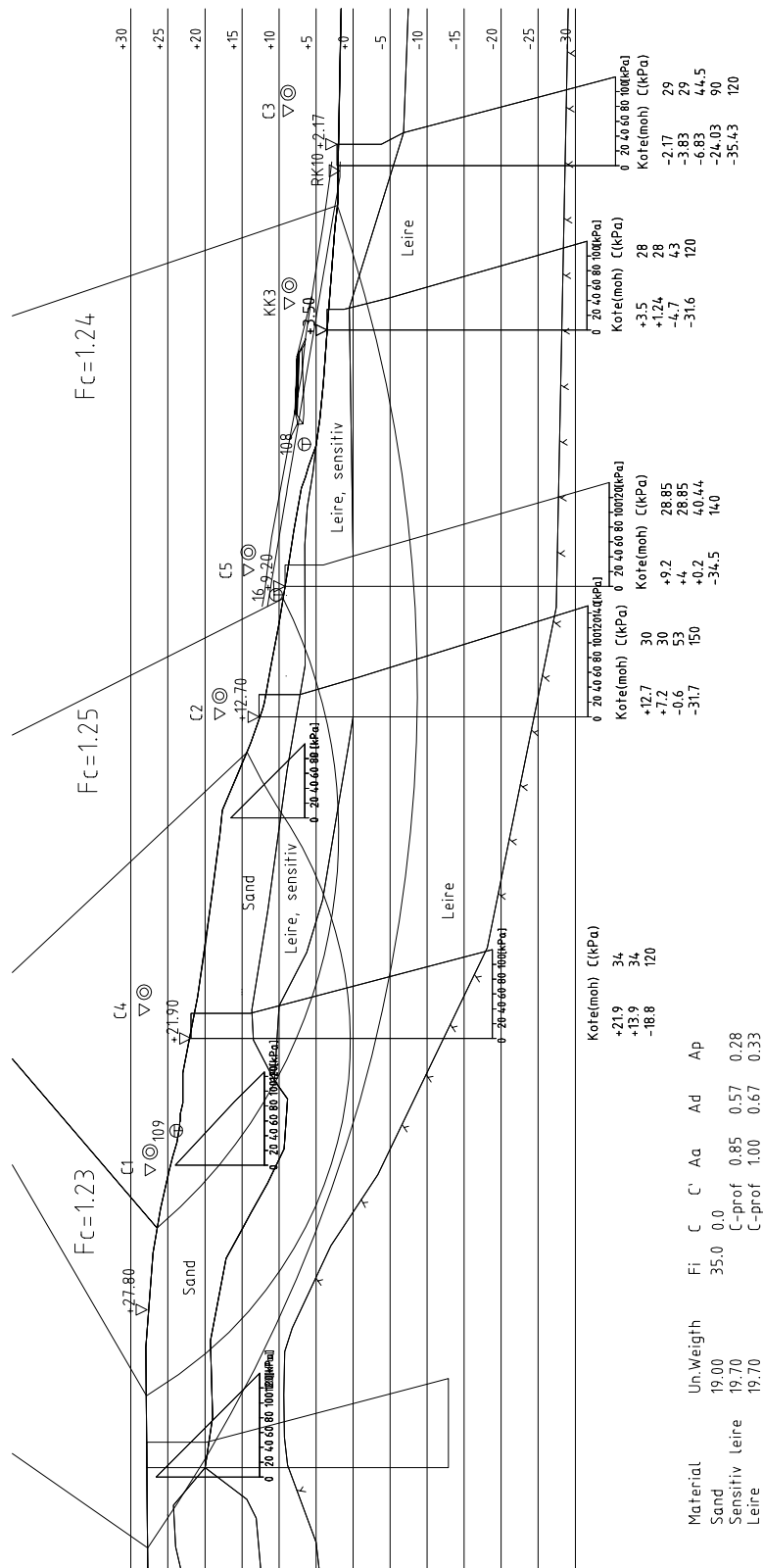
Skråningsstabilitet



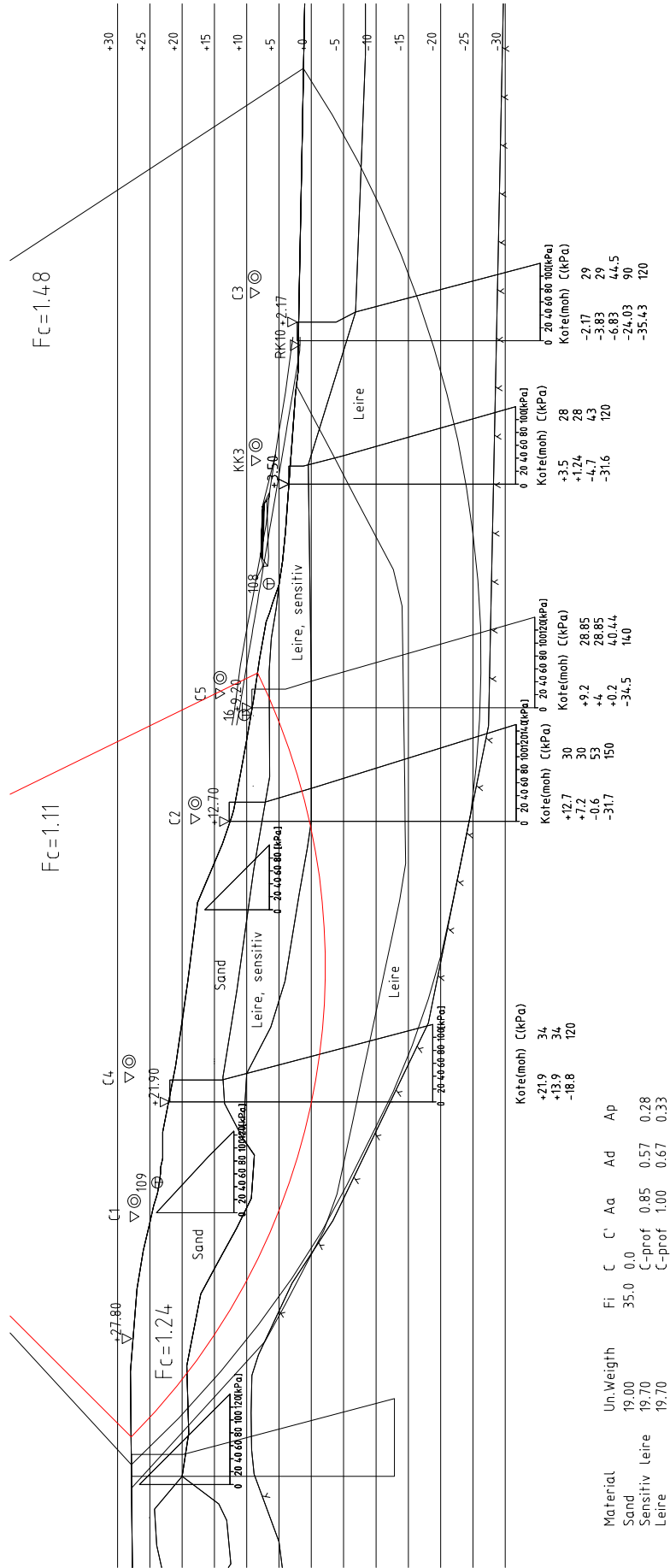
Figur E.1: Profil 3-3: NGIs geometri, nye C-profiler



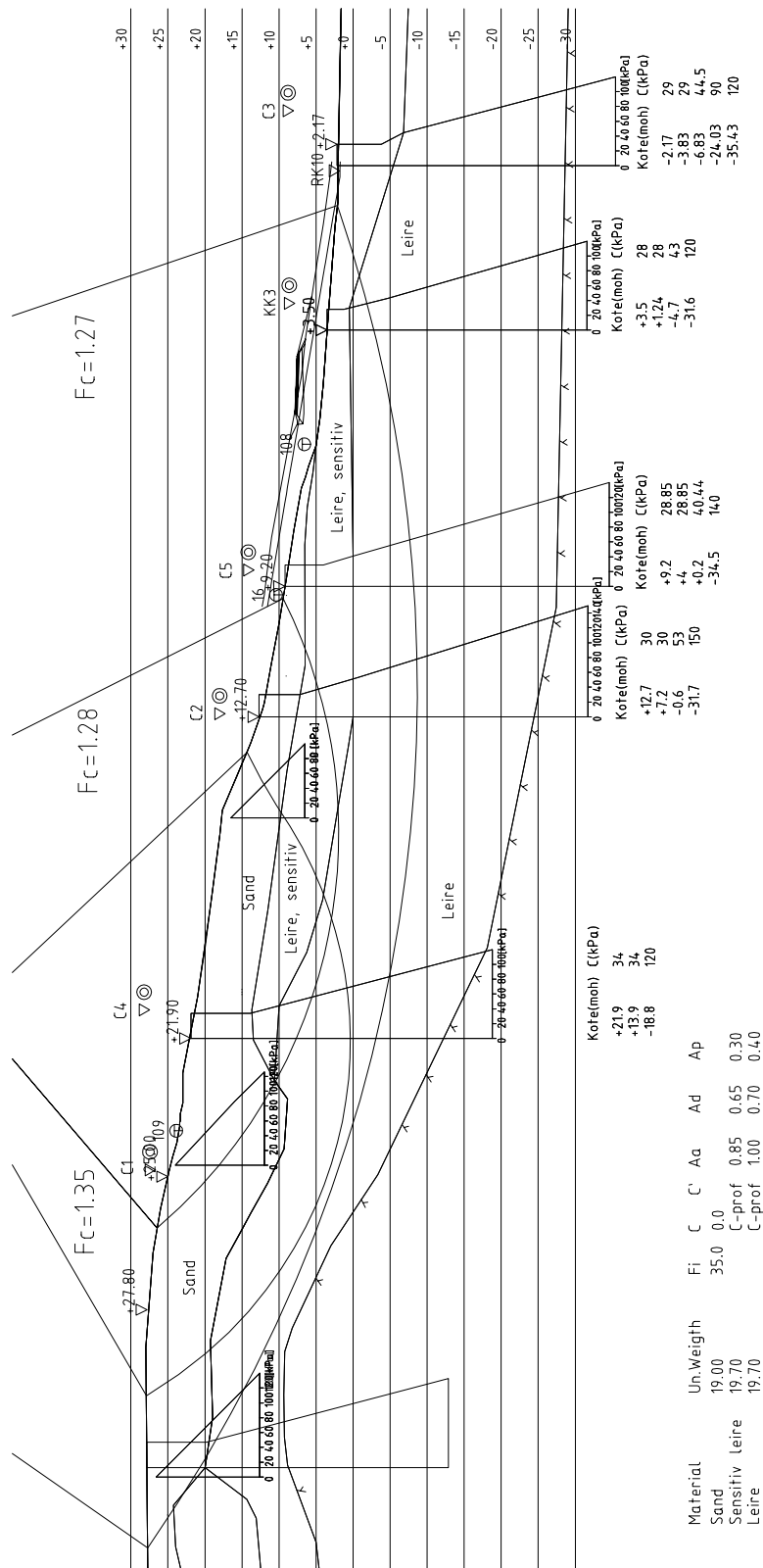
Figur E.2: Profil 3-3: NGIs geometri, nye C-profiler



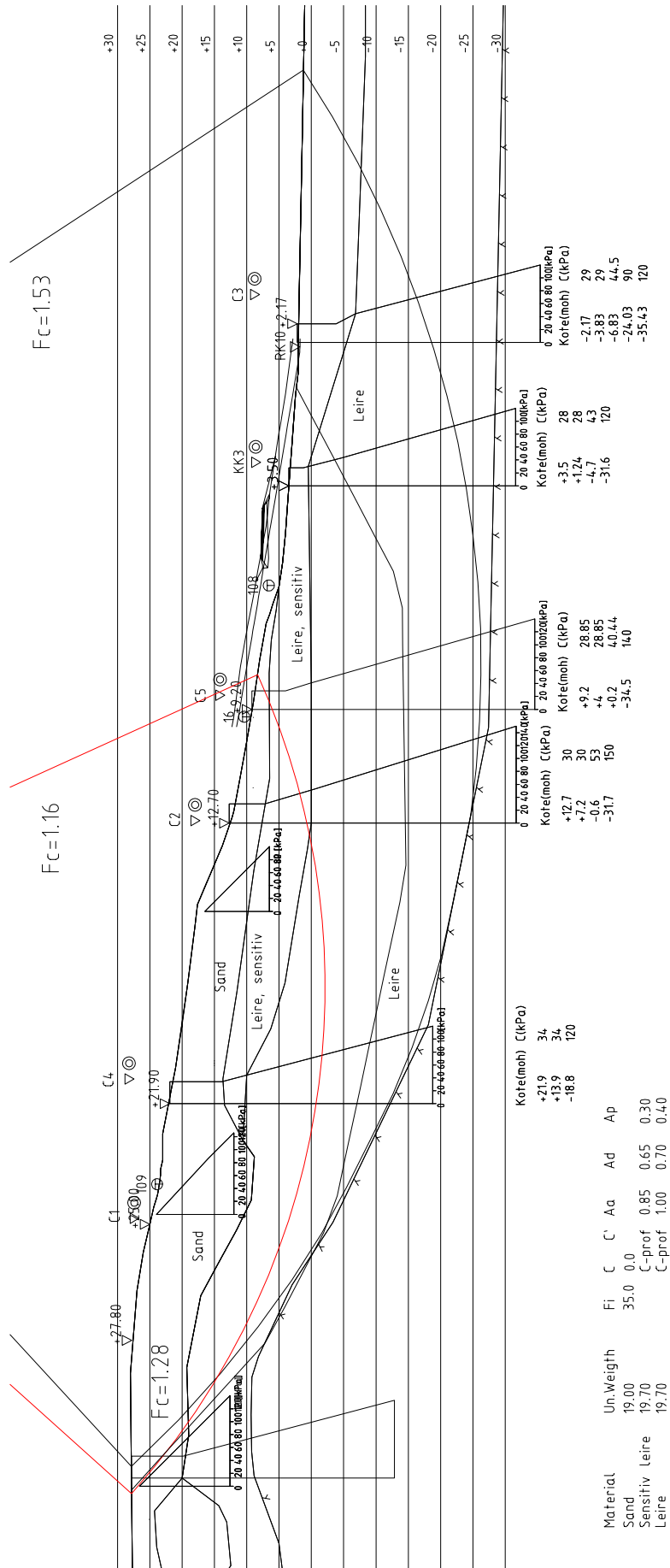
Figur E.3: Profil 3-3: Ny geometri, NGIs ADP-faktorer, nye C-profiler



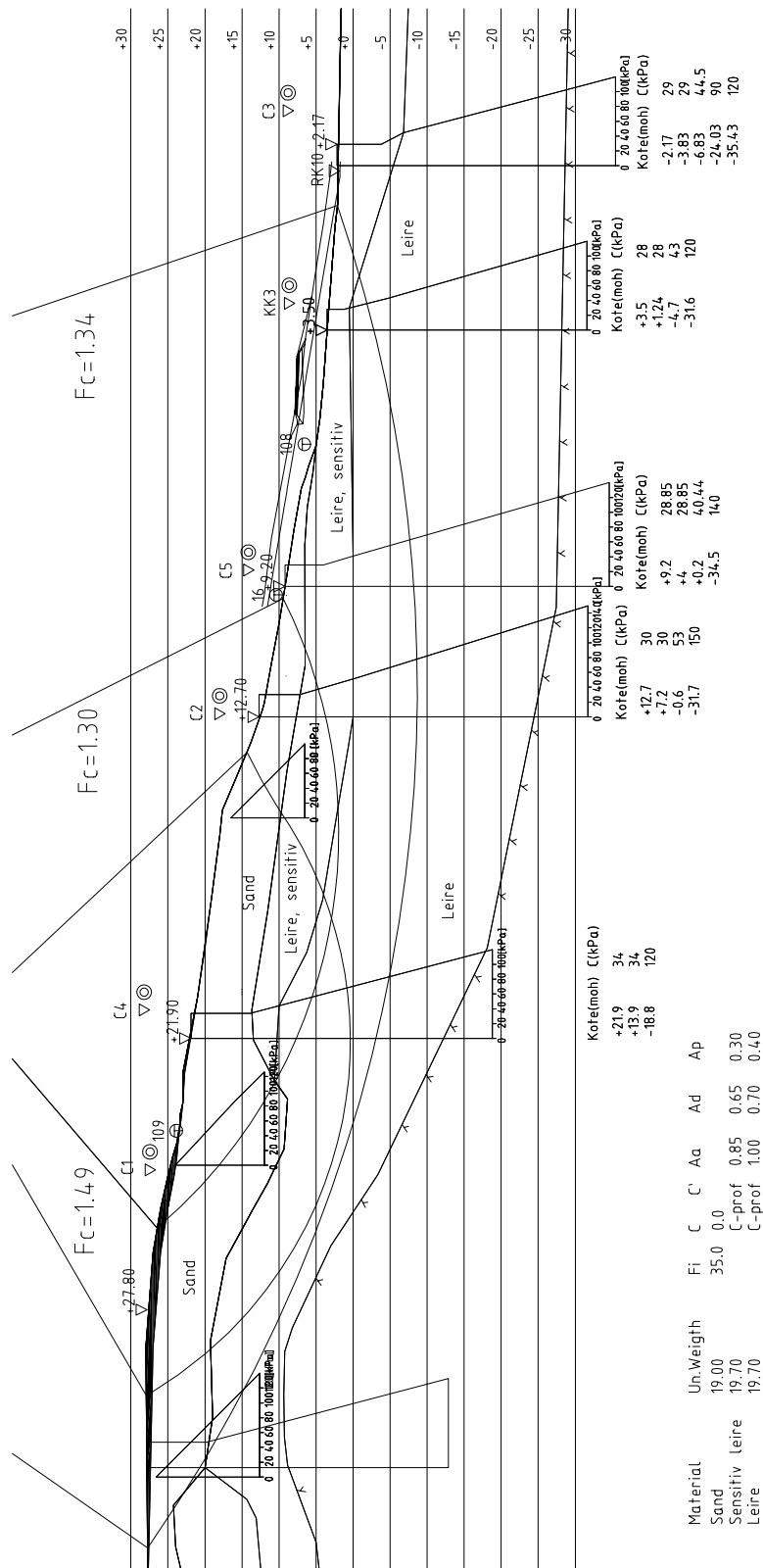
Figur E.4: Profil 3-3: Ny geometri, NGIs ADP-faktor, nye C-profiler



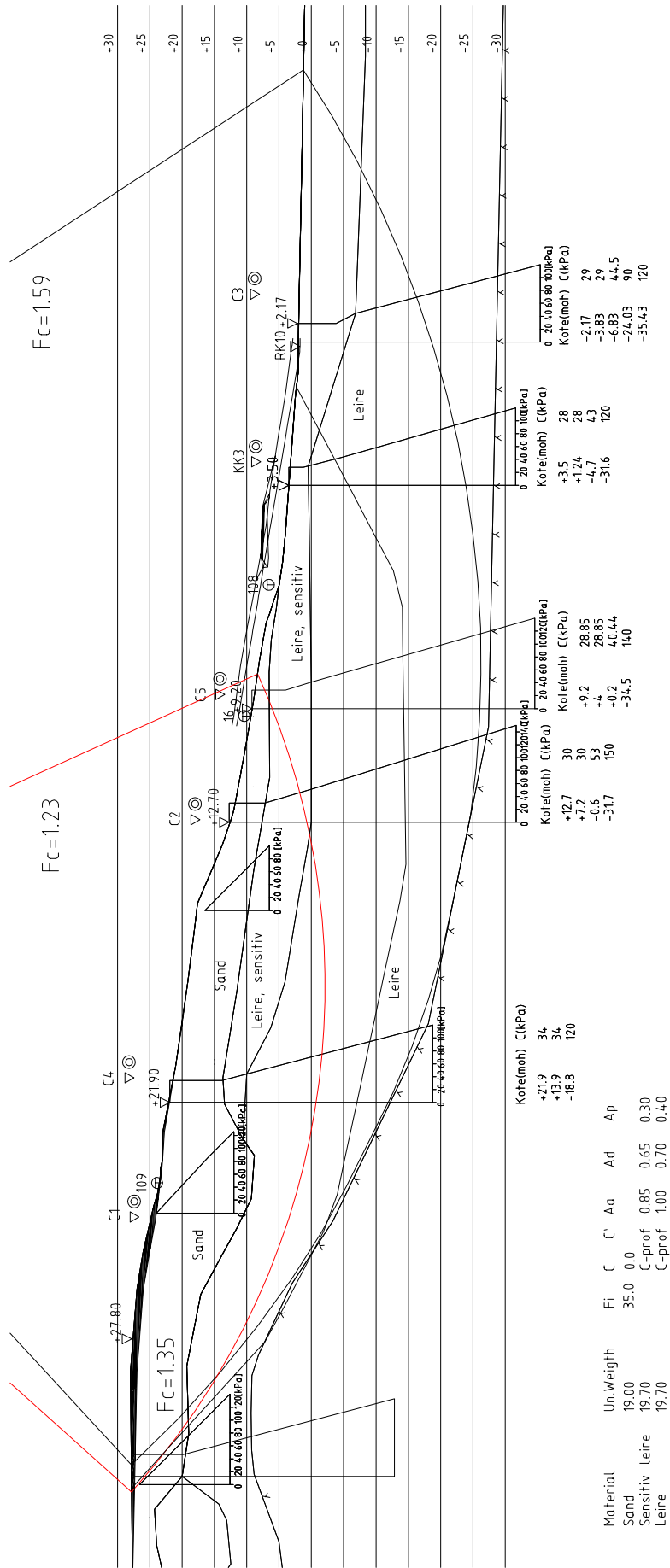
Figur E.5: Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler



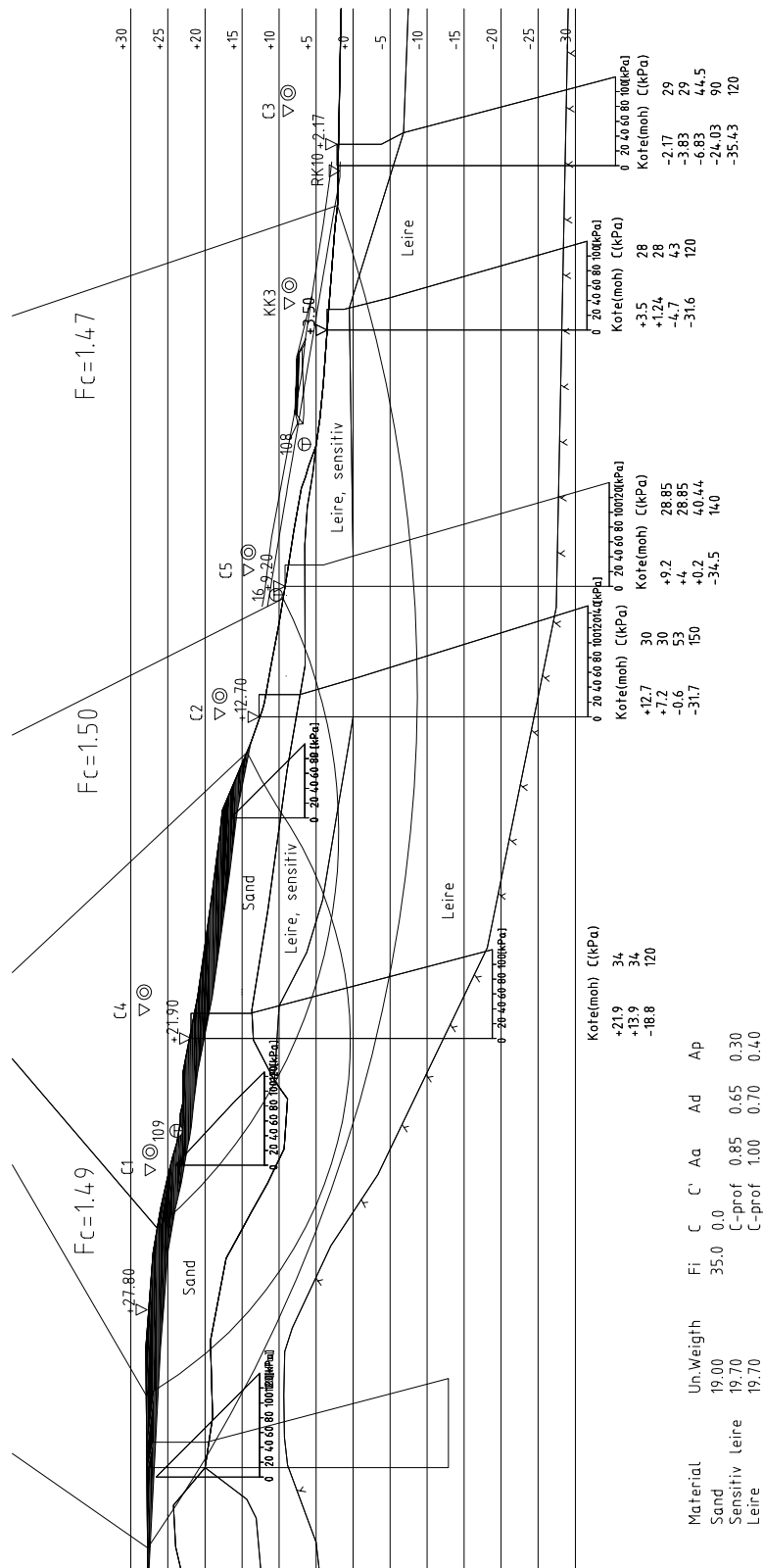
Figur E.6: Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler



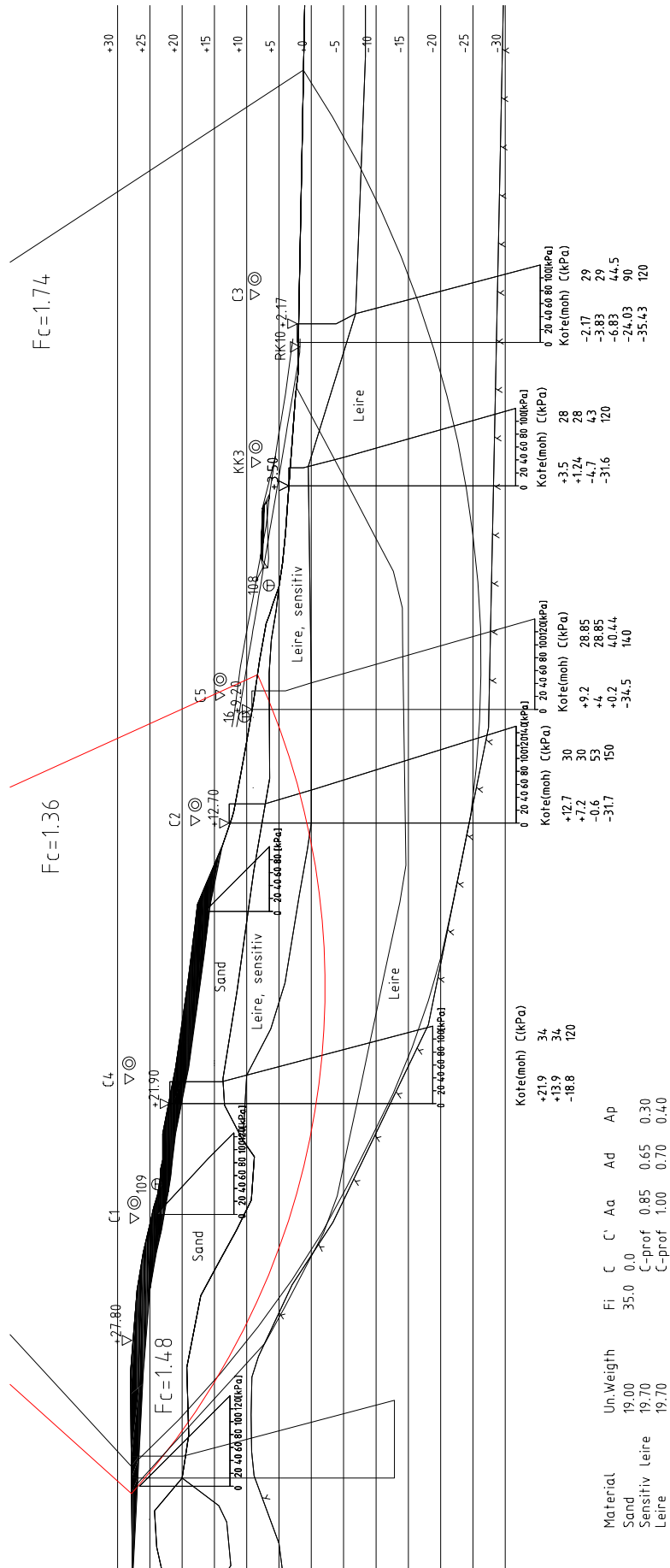
Figur E.7: Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler, avlastning 1m



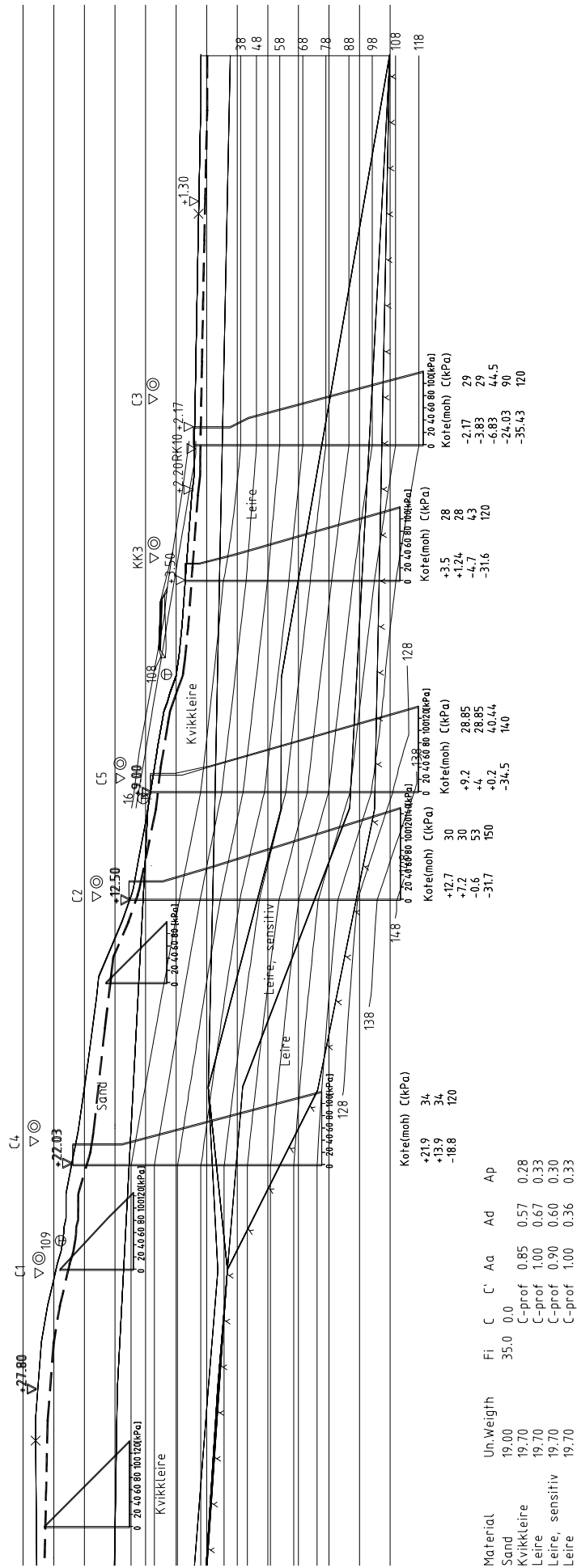
Figur E.8: Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler, avlastning 1m



Figur E.9: Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler, avlastning 2m



Figur E.10: Profil 3-3: Ny geometri, nye ADP-faktorer, nye C-profiler, avlastning 2m



Figur E.11: Profil 3-3: Nye isolinjer