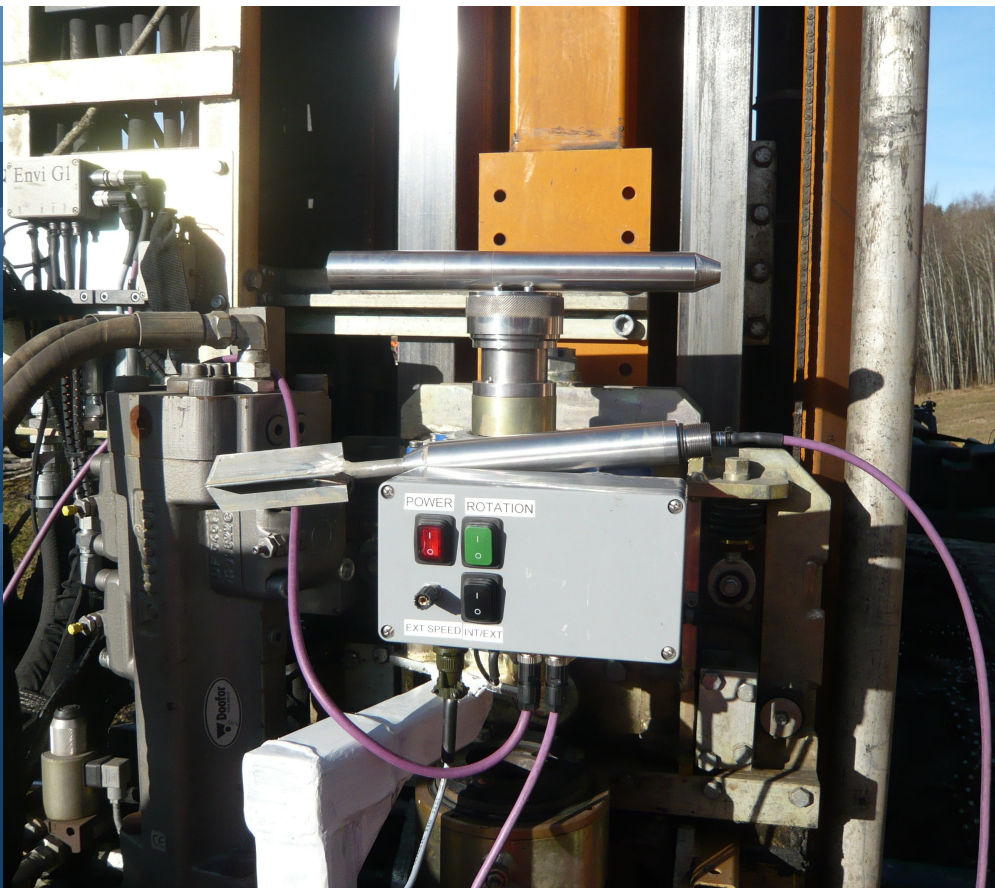




Detektering av kvikkleire ved hjelp av R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

101  
2015



R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

## Rapport nr 101-2015

### Detektering av kvikkleire ved hjelp av R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie.

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat  
**Redaktør:** Ingrid Havnen, NVE og Hanne Ottesen, SVV  
**Forfattere:** Rolf Sandven, Alberto Montafia v/Multiconsult AS.

**Trykk:** NVEs hustrykkeri  
**Opplag:**  
**Forsidefoto:** Arkiv NVE  
**ISBN** 978-82-410-1153-5  
**ISSN** 1501-2832

**Sammendrag:** Rapporten gir resultater fra felt- og laboratorieundersøkelser på to utvalgte forsøksfelt i Trøndelag med hovedfokus på R-CPTU og elektrisk vingebor-og forslag til videre arbeider. Dette som en videreføring av NIFS-rapportene for påvisning av kvikkleire (nr. 46/2012 og 47/2014) som omhandler ulike sonderingsmetoder. Disse 3 rapportene danner sammen grunnlag for en sluttrapport med anbefalte metoder og prosedyrer for detektering av kvikkleire og sensitive leirer

**Emneord:** detektering av kvikkleire, resistivitet, ledningsevne, R-CPTU, geofysiske metoder, ERT, elektrisk vingebor, EFVT, sprøbruddmateriale, kvikkleire, sensitiv leire, sonderinger, feltundersøkelser, laboratorieundersøkelser, feltstudie.

Norges vassdrags- og energidirektorat  
Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstua  
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)



---

RAPPORT

# NIFS, delprosjekt 6 kvikkleire

---

OPPDRAUGSGIVER

Statens vegvesen, Jernbaneverket og NVE

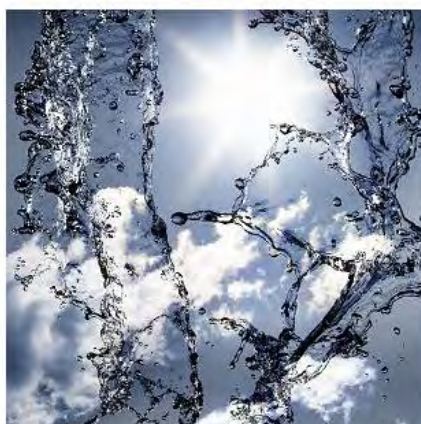
EMNE

Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie.

DATO / REVISJON: 6. oktober 2015 / 02

DOKUMENTKODE: 415559-RIG-RAP-003

---



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Tredjepart har ikke rett til å anvende rapporten eller deler av denne uten Multiconsults skriftlige samtykke.

Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

**RAPPORT**

OPPDRAG	<b>NIFS Naturfare – infrastruktur, flom og skred</b>	DOKUMENTKODE	415559-RIG-RAP-003
EMNE	Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie.	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	<b>Statens vegvesen, Jernbaneverket og NVE</b>	OPPDRAGSLEDER	Rolf Sandven
KONTAKTPERSONER	Ingrid Havnen (NVE), Hanne Bratlie Ottesen, Kristian Aunaas (SVV), Mostafa Abokhalil (JBV)	UTARBEIDET AV	Rolf Sandven, Alberto Montafia
		ANSVARLIG ENHET	3012 Midt Geoteknikk

**SAMMENDRAG**

Etatsatsningsprosjektet NIFS (Naturfare – infrastruktur, flom og skred) er et samarbeid mellom Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE), Jernbaneverket (JBV) og Statens vegvesen (SVV) og omfatter i alt 8 delprosjekter innrettet mot ulike typer naturfare. Delprosjekt 6 i etatsatsningsprosjektet, der SINTEF/Multiconsult AS og NGL er kontraktsfestede parter, har hovedfokus på kvikkleire. En av arbeidsoppgavene i dette delprosjektet omfatter detekteringsmetoder for påvisning av sprøbruddmateriale fra ulike felt- og laboratoriemetoder. Sprøbruddmateriale defineres her som kvikkleire ( $s_r < 0,5$  kPa) og sensitiv leire ( $s_r < 2,0$  kPa,  $S_t > 15$ ). Hensikten med dette studiet er å vurdere ulike felt- og laboratoriemetoder i forhold til påvisning av slike materialer på en rasjonell og pålitelig måte.

Jord er et komplekst tre-fase system der fast stoff og væskefasen virker sammen. Når jordpartikler blir avsatt i saltvann vil det være et stort antall oppløste ioner i porevannet. Utvaskede marine leirer har fått redusert antall oppløste ioner betydelig på grunn av grunnvannsstrømning og tilrenning av overflatevann fra nedbør og snøsmelting. På grunn av utvasking av saltionene vil disse leirene derfor kunne ha mye lavere ledningsevne og mye større elektrisk motstand enn de intakte og salte marine leirene. I Multiconsults state-of-the-art rapport 415559-RIG-002 om R-CPTU er det vist at resistiviteten i marine leirer avhenger av en rekke faktorer foruten porevannets saltinnhold, blant annet leirinnhold (korngradering), mineralogi, organisk innhold og vanninnhold.

Resistiviteten i jord kan bestemmes ved hjelp av geofysiske metoder, og bruk av disse i geotekniske undersøkelser har vist seg å kunne være en rasjonell og kostnadseffektiv strategi i større prosjekter. Bruk av 2D resistivetsmålinger på terrengoverflaten, kjent som Elektrisk Resistivitet Tomografi (ERT) har vist seg å være en anvendelig metode for kartlegging av sprøbruddmateriale, særlig i Norge og Sverige. Ved å kombinere nedhulls resistivetsbestemmelse og tradisjonell utførelse av trykksøndering med poretrykksmåling (R-CPTU) kan ytterligere informasjon om lagdeling og lages egenskaper oppnås. R-CPTU har allerede blitt benyttet for påvisning av kvikkleire her til lands, særlig i FoU-prosjekter, men også i en del næringslivsprosjekter. Det eksisterer imidlertid fremdeles noe usikkerhet knyttet til resultattolkning og forståelse av resistivitet som fysisk egenskap. Blant annet arbeides det med å etablere et typisk resistivetsintervall for utvaskede leirer, faktorer som påvirker jordarters resistivitet, forståelse av hvorfor noen utvaskede leirer ikke blir kvikke, samt mulige korrelasjoner mellom resistivitet og konvensjonelle geotekniske egenskaper.

Denne rapporten omfatter resultater fra felt- og laboratorieforsøk på to utvalgte forsøkssteder i Trøndelag, Klett og Fallan. På disse to forsøksstedene er det gjennomført konvensjonelle dreiestrykk- (DRT) og totalsonderinger (TOT), CPTU med og uten resistivetsmåling (CPTU, R-CPTU), 2D resistivetsmåling (ERT), elektrisk vingebor (EFVT) med registrering av uforstyrret og omrørt skjærfasthet, samt prøvetaking med laboratorieundersøkelser (rutine- og saltinnholdsbestemmelser).

Rapporten inneholder også forslag til videre arbeidsoppgaver innen sammenstilling og tolkning av resultater fra en rekke norske forsøkssteder der det er utført resistivetsmålinger, delvis også elektrisk vingebor. Dette arbeidet skal føre frem til en sluttrapport med anbefalte metoder og prosedyrer for detektering av kvikk og sensitiv leire.

02	06.10.2015	Endelig rapport sendt til oppdragsgiver	Rolf Sandven Alberto Montafia	Arne Vik	Arne Vik
00	25.11.2014	Sendt til oppdragsgiver for kommentarer	Rolf Sandven Alberto Montafia	Arne Vik	Arne Vik
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

**ENGLISH SUMMARY**

The NIFS project is a joint venture between the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), The Norwegian Railroad Administration (Jernbaneverket NNRA) and the Norwegian Public Road Administration (Statens vegvesen, NPRA). Task 6 of the NIFS project has its main focus on detection and behavior of quick clay. SINTEF and Multiconsult AS, in co-operation, are one of the two contracted parties within the NIFS project performing work within this task. In one of the work topics, major efforts are put into detection of quick clay from various field and laboratory investigation methods. The main objective is to evaluate if the methods are potentially able to identify quick clays in a rational and reliable way.

Soil is a complex three-phase system where a solid and a fluid phase interact with each other. When soil particles are deposited in seawater, the abundance of electrolytes in its pore water determines the electrical conductivity of the bulk soil. After being exposed to groundwater gradients and percolating water from rainfall and snow melting, leached marine clays have significantly less electrolytes dissolved in the pore water and can therefore be distinguished from un-leached marine clays by the higher resistivity. In this report, resistivity in marine clays is shown to depend upon a wide range of factors, including pore water salinity, clay content, mineralogy and water content.

Resistivity in soils can be measured with geophysical methods. The use of 2D geo-electrical investigations using Electrical Resistivity Tomography (ERT) has proven to be a useful tool for quick clay mapping. Adding resistivity measurements to classical cone penetration tests (R-CPTU) provides further information useful for downhole stratigraphy interpretation, and R-CPTU has already been used for quick clay mapping, both in R&D- and industry projects. The integration of these methods in geotechnical site investigations has proven to be a viable and efficient way to obtain information from large soil volumes. However, uncertainties still exist related to the interval of resistivity values corresponding to quick clays, factors influencing soil resistivity and development of correlations between resistivity and other geotechnical parameters.

This report includes results from field- and laboratory tests at two selected test sites in Trøndelag, Klett and Fallan. At these two sites, conventional soundings (rotary pressure (DRT) and total sounding (TOT)), CPTU with and without resistivity measurements (R-CPTU, CPTU), 2D resistivity testing (ERT), electrical field vane tests (EFVT) with determination of undisturbed and remoulded shear strength, together with undisturbed sampling and laboratory tests (index test and determination of salt content). The report also suggests further work within this work task, including interpretation and comparison of test results from a number of test sites where resistivity measurements with R-CPTU and ERT have been carried out. This work will eventually lead to a summary report with recommended methods and procedures for detection of quick and sensitive clays.

---



## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>SYMBOLLISTE</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>9</b>
1.1. Bakgrunn .....	9
1.2. Problemstilling .....	9
1.3. Hensikt med feltstudiet.....	10
<b>2. Beskrivelse av forsøkssteder</b> .....	<b>11</b>
2.1. Forsøksfelt Klett .....	13
2.1.1 Generelt.....	13
2.1.2 Terreng og grunnforhold .....	14
2.1.3 Poretrykksforhold .....	14
2.2. Forsøksfelt Fallan .....	15
2.2.1. Generelt.....	15
2.2.2. Terreng og grunnforhold .....	15
2.2.3 Poretrykksforhold .....	16
<b>3. Gjennomføring av og resultater fra nye grunnundersøkelser</b> .....	<b>16</b>
3.1. Forsøksfelt Klett .....	16
3.1.1 Feltundersøkelser .....	16
3.1.2. Laboratorieundersøkelser .....	17
3.1.3. Geofysiske undersøkelser .....	17
3.2. Forsøksfelt Fallan .....	18
3.2.1 Forsøksfelt Fallan .....	18
3.2.2. Laboratorieundersøkelser .....	19
3.2.3. Geofysiske undersøkelser .....	19
<b>4. Vurdering av oppnådde resultater</b> .....	<b>19</b>
4.1. Sonderingsresultater fra dreietrykk- og totalsondering.....	19
4.2. Resultater fra CPTU .....	20
4.3. Totalkraftmåling fra CPTU .....	23
4.4. Resistivitet i leire .....	26
4.5. Resistivitetmålinger med R-CPTU .....	27
4.6. Resistivitetmåling på overflaten (ERT).....	28
4.7. Sammenligning mellom R-CPTU og ERT-målinger.....	30
4.8. Resultater fra elektrisk vingeboring .....	31
4.9. Rutineundersøkelser i laboratoriet .....	34
4.10. Saltinnhold og ledningsevne .....	35
<b>5 Videre arbeid – forslag til prioriterte oppgaver</b> .....	<b>36</b>
5.1. Bruk av tradisjonelle sonderinger .....	37
5.2. Bruk av R-CPTU.....	37
5.3. Bruk av resistivitetmålinger på overflaten (ERT) .....	37
5.4. Sammenligning mellom R-CPTU- og ERT-resultater .....	38
5.5. Bruk av CPTU i detektering av sprøbruddmateriale – ny utvikling.....	39
5.5.1 Bruk av totalkraftmåling og stangfriksjon .....	39
5.5.2 Bruk av revidert spissmotstandstill $N_{mc}$ .....	41
5.5.3 Bruk av revidert poretrykksforhold $B_{qc}$ .....	41
5.6. Kombinert bruk av resultater fra CPTU og R-CPTU – nytt identifikasjonsdiagram.....	42
5.7. Elektrisk vingeboring – anbefalte prosedyrer .....	43
5.8. Anbefalte laboratorieundersøkelser .....	45
5.9. Strategi for grunnundersøkelser i kvikkleireterreng .....	48
<b>6. Referanser</b> .....	<b>50</b>

### Tegninger

415559-RIG-TEG-000	Situasjonsskisse Klett
415559-RIG-TEG-001	Situasjonsskisse Fallan
415559-RIG-TEG-002	Borplan Klett
415559-RIG-TEG-003	Borplan Fallan
415559-RIG-TEG-010	Prøveserie Klett, hull KS1

415559-RIG-TEG-011	Prøveserie Klett, hull KS2
415559-RIG-TEG-012	Prøveserie Fallan, hull FS2
415559-RIG-TEG-013	Prøveserie Fallan, hull FS4
415559-RIG-TEG-040.1	CPTU, $q_t$ , $u_z$ , $f_s$ , Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-040.2	CPTU, $N_m$ , $B_q$ , $R_f$ , Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-040.3	CPTU, Q- $B_q$ identifikasjonsdiagram, Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-040.4	CPTU, Q- $R_f$ identifikasjonsdiagram, Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-041.1	R-CPTU, $q_t$ , $u_z$ , $f_s$ , $\rho$ , Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-041.2	R-CPTU, $N_m$ , $B_q$ , $R_f$ , $\rho$ , Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-041.3	R-CPTU, Q- $B_q$ identifikasjonsdiagram, Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-041.4	R-CPTU, Q- $R_f$ identifikasjonsdiagram, Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-042.1	R-CPTU, $q_t$ , $u_z$ , $f_s$ , $\rho$ , Klett, hull KS2
415559-RIG-TEG-042.2	R-CPTU, $N_m$ , $B_q$ , $R_f$ , $\rho$ , Klett, hull KS2
415559-RIG-TEG-042.3	R-CPTU, Q- $B_q$ identifikasjonsdiagram, Klett, hull KS2
415559-RIG-TEG-042.4	R-CPTU, Q- $R_f$ identifikasjonsdiagram, Klett, hull KS2
415559-RIG-TEG-042.5	R-CPTU, tolkning av stangfriksjon $P_s$ , Klett, hull KS2
415559-RIG-TEG-043.1	R-CPTU, $q_t$ , $u_z$ , $f_s$ , $\rho$ , Fallan, hull FS2
415559-RIG-TEG-043.2	R-CPTU, $N_m$ , $B_q$ , $R_f$ , $\rho$ , Fallan, hull FS4
415559-RIG-TEG-043.3	R-CPTU, Q- $B_q$ identifikasjonsdiagram, Fallan, hull FS2
415559-RIG-TEG-043.4	R-CPTU, Q- $R_f$ identifikasjonsdiagram, Fallan, hull FS2
415559-RIG-TEG-043.5	R-CPTU, tolkning av stangfriksjon $P_s$ , Fallan, hull FS2
415559-RIG-TEG-044.1	R-CPTU, $q_t$ , $u_z$ , $f_s$ , $\rho$ , Fallan, hull FS4
415559-RIG-TEG-044.2	R-CPTU, $N_m$ , $B_q$ , $R_f$ , $\rho$ , Fallan, hull FS4
415559-RIG-TEG-044.3	R-CPTU, Q- $B_q$ identifikasjonsdiagram, Fallan, hull FS4
415559-RIG-TEG-044.4	R-CPTU, Q- $R_f$ identifikasjonsdiagram, Fallan, hull FS4
415559-RIG-TEG-050.1	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret og målt omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 8,50 m
415559-RIG-TEG-050.2	Elektrisk vingebor EFVT, målt friksjon og korrigert omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 8,50 m
415559-RIG-TEG-050.3	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret skjærfasthet, supplerende forsøk med 360° omdreining, Klett, hull KS1, dybde 8,50 m
415559-RIG-TEG-051.1	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret og målt omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 16,30 m
415559-RIG-TEG-051.2	Elektrisk vingebor EFVT, målt friksjon og korrigert omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 16,30 m
415559-RIG-TEG-052.1	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret og målt omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 16,70 m
415559-RIG-TEG-052.2	Elektrisk vingebor EFVT, målt friksjon og korrigert omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 16,70 m
415559-RIG-TEG-053.1	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret og målt omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 26,50 m
415559-RIG-TEG-053.2	Elektrisk vingebor EFVT, målt friksjon og korrigert omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 26,50 m
415559-RIG-TEG-054.1	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret og målt omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 34,60 m
415559-RIG-TEG-054.2	Elektrisk vingebor EFVT, målt friksjon og korrigert omrørt skjærfasthet, Klett, hull KS1, dybde 34,60 m
415559-RIG-TEG-055.1	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret og målt omrørt skjærfasthet, Fallan, hull FS1 (hull 2), dybde 8,50 m
415559-RIG-TEG-055.2	Elektrisk vingebor EFVT, målt friksjon og korrigert omrørt skjærfasthet, Fallan, hull FS2, dybde 8,50 m
415559-RIG-TEG-056.1	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret og målt omrørt skjærfasthet, Fallan, hull FS2, dybde 15,50 m
415559-RIG-TEG-056.2	Elektrisk vingebor EFVT, målt friksjon og korrigert omrørt skjærfasthet, Fallan, hull FS2, dybde 15,50 m
415559-RIG-TEG-057.1	Elektrisk vingebor EFVT, korrigert uforstyrret og målt omrørt skjærfasthet, Fallan, hull FS2, dybde 20,50 m

415559-RIG-TEG-057.2	Elektrisk vingebor EFVT, målt friksjon og korrigert omrørt skjærfasthet, Fallan, hull FS2, dybde 20,50 m
415559-RIG-TEG-058	Elektrisk vingebor EFVT. Sammenligning mellom udrenert skjærfasthet $c_u$ tolket fra CPTU, elektrisk vingebor og rutinedata lab. Klett forsøksfelt, hull KS1.
415559-RIG-TEG-059	Elektrisk vingebor EFVT. Sammenligning mellom udrenert skjærfasthet $c_u$ tolket fra CPTU, elektrisk vingebor og rutinedata lab. Fallan forsøksfelt, hull FS2.
415559-RIG-TEG-060	Korngradering, Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-061	Korngradering, Klett, hull KS2
415559-RIG-TEG-062	Korngradering, Fallan, hull FS2 (plott fra NTNU)
415559-RIG-TEG-063	Korngradering, Fallan, hull FS4 (plott fra NTNU)
415559-RIG-TEG-100	Borutskrift, dreietrykk- (DRT) og totalsonderinger (TOT), Klett, hull KS1
415559-RIG-TEG-101	Borutskrift, dreietrykk- (DRT) og totalsonderinger (TOT), Klett, hull KS2
415559-RIG-TEG-102	Borutskrift; totalsondering (TOT), Fallan, hull FS2

**Vedlegg**

Vedlegg A Kort beskrivelse av anvendte undersøkelsesmetoder

Vedlegg B Beskrivelse av forsøksfelt fra tidligere undersøkelser

Vedlegg C Supplerende data fra tidligere undersøkelser på nye forsøksfelt

C1 Fallan forsøksfelt

C2 Klett forsøksfelt

Vedlegg D Dokumentasjon av Anvendelsesklasse for CPTU og R-CPTU

D1 Dokumentasjon for Fallan forsøksfelt

D2 Dokumentasjon for Klett forsøksfelt

Vedlegg E Koordinater for utførte boringer

**Geotekniske bilag**

Geotekniske bilag. Feltundersøkelser.

Geotekniske bilag. Laboratorieundersøkelser.

Geotekniske bilag. Metodestandarder og retningslinjer.

**SYMBOLLISTE****Latinske symboler**

$a_c$	Aktivitetsindeks	-
$B_q$	Poretrykksforhold (CPTU)	-
$B_{qc}$	Korrigert poretrykksforhold (CPTU)	-
$C_u$	Uforstyrret udrenert skjærfasthet	kPa
$C_r$	Omrørt udrenert skjærfasthet	kPa
$C_{uA}$	Aktiv udrenert skjærfasthet	kPa
$C_{uD}$	Direkte udrenert skjærfasthet	kPa
$C_{uP}$	Passiv udrenert skjærfasthet	kPa
$C_{uv}$	Uforstyrret udrenert vingeorskjærfasthet	kPa
$C_{rv}$	Omrørt vingeorskjærfasthet	kPa
$f_s$	Sidrefriksjon friksjonshylse (CPTU)	kPa
$I$	Strømintensitet	A
$I_L$	Flyteindeks	%
$I_p$	Plastisitet	%
<b>J</b>	Elektrisk strømtetthet	A/m <sup>2</sup>
<b>K</b>	Geometrisk faktor	m
<b>n</b>	Porøsitet	%
$N_m$	Spissmotstandsforhold (CPTU)	-
$N_{mc}$	Korrigert spissmotstandstall (CPTU)	-
$q_t$	Korrigert spissmotstand (CPTU)	kPa
<b>P</b>	Total nedpressingskraft (CPTU)	kN
$P_s$	Stangfriksjon langs borstengene (CPTU)	kN
<b>R</b>	Elektrisk motstand	$\Omega$
$R_f$	Sidrefriksjonsforhold (CPTU)	-
$S_t$	Sensitivitet	-
<b>T</b>	Temperatur	K
<b>u</b>	Poretrykk	kPa
$u_1$	Poretrykk målt på konisk spiss (CPTU)	kPa
$u_2$	Poretrykk målt i referansenivå bak konisk spiss (CPTU)	kPa
<b>w</b>	Vanninnhold	%
$w_l$	Flytegrense	%
$w_p$	Plastisitetsgrense (utrullingsgrense)	%

**Greske symboler**

$\gamma$	Tyngdetetthet	kN/m <sup>3</sup>
$\rho$	Densitet	g/cm <sup>3</sup>
$\rho_w$	Porevannets resistivitet	$\Omega m$
$\sigma_w$	Porevannets elektriske ledningsevne	S/m

**Forkortelser**

AEM	Airborn electromagnetic measurements
CPTU	Trykksondering med poretrykkmåling
DRT	Dreietrykksondering
ERT	Elektrisk resistivitet tomografi
EFVT	Elektrisk vingeorbmåling
IP	Indusert polarisasjon
R-CPTU	Trykksondering med poretrykk- og resistivitetsmåling (forkortelsen CPTU-R er også benyttet)
TDR	Time domain reflectometry
TOT	Totalsondering



## 1 Innledning

### 1.1. Bakgrunn

Etatene Statens vegvesen (SVV), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Jernbaneverket (JBV) har tildelt samarbeidspartnerne SINTEF og Multiconsult en rammeavtale under etatsatsingsprosjektet Naturfare - Infrastruktur, flom og skred (NIFS). Arbeidsoppgavene gjennomføres innenfor delprosjekt 6 som omhandler kvikkleire. Hovedmålsettingen med NIFS-prosjektet er å "Samordne retningslinjer og utvikle bedre verktøy for geoteknisk prosjektering i kvikkleireområder".

Innenfor denne rammeavtalen er Multiconsult/SINTEF blant annet tildelt en oppgave med tittelen "Detektering av sprøbruddmateriale". En viktig del av denne aktiviteten går ut på å gjennomgå og sammenstille kriterier for detektering av sprøbruddmateriale fra ulike felt- og laboratoriemetoder. Det henvises i denne sammenheng til tidligere rapporter i studiet:

1. 415559-RIG-RAP-001rev00: Detektering av kvikkleire fra ulike sonderingsmetoder. Status og forslag til videre utviklingsoppgaver.
2. 415559-RIG-RAP-002rev00: Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU. State-of-the-art report.

Denne rapporten har hovedfokus på en vurdering av trykksondering med resistivitetsmåling (R-CPTU) og elektrisk vingeboring. Det er gjennomført et feltstudium med disse metodene på to utvalgte forsøkssteder nær Trondheim. I tillegg er det samlet data fra tidligere utførte undersøkelser med R-CPTU og elektrisk vingebor slik at det er etablert et arkiv fra en rekke forsøkssteder i Trøndelag og på Østlandet.

State-of-the-art studiet oppsummerte tidligere kunnskap og erfaringer knyttet til resistivitetsmålinger i kvikkleire, spesielt ved bruk av R-CPTU, men også i noen grad 2D resistivitetsmålinger på overflaten (ERT, Electrical Resistivity Tomography). Rapporten gav også et innblikk i hvordan jordartsdannelse, geokjemi og leirpartiklenes elektriske egenskaper påvirker resistiviteten. Videre ble dagens «state-of-the-art» og «state-of-the-practice» for R-CPTU beskrevet og vurdert, både når det gjelder utstyr, feltprosedyrer, tolkning av resultater og usikkerheter forbundet med dette. Denne vurderingen danner grunnlaget for de resistivitetsmålinger som er beskrevet i denne rapporten.

### 1.2. Problemstilling

Den store innsatsen for kartlegging av faresoner med kvikkleire har ført til et økende behov for raskere og mer pålitelig identifisering av sprøbruddmaterialer. Det er i dag en økende tendens til kombinert bruk av geofysiske og geotekniske undersøkelser i forbindelse med kvikkleirekartlegging, men også til andre geotekniske formål. Denne praksisen kan gi betydelige fordeler når det gjelder tolkning av grunnforholdene, både for geoteknikere og geofysikere. Generelt kan man si at geofysiske metoder dekker store områder på forholdsvis liten tid sammenlignet med geotekniske undersøkelser.

Geotekniske borhull gir kun informasjon som er typisk for borpunktet, og informasjon om grunnforholdene oppnås som regel gjennom interpolering av informasjon mellom to eller flere naborhull. Ved kombinerte målinger kan geoteknikere og geofysikere sammen avgjøre hvor sonderinger og prøvetakinger skal plasseres når resultater av de geofysiske grunnundersøkelsene er tilgjengelige. Kost-nytteverdien for de geotekniske grunnundersøkelsene kan da optimaliseres. Resultater av de geotekniske grunnundersøkelsene kan på sin side i noen grad benyttes av geofysikerne i etterkant til en mer detaljert og presis tolkning av resistivitetsmålingene. Et tett samarbeid i planlegging av

grunnundersøkelsen er imidlertid ikke så vanlig, og i praksis tolkes de geofysiske og geotekniske målingene etter at begge typer undersøkelser er utført.

Utførelse av geofysiske undersøkelser med bruk av resistivetsmåling har gitt klare signaler på at metodene kan være godt egnet til kvikkleirekartlegging, spesielt i en tidlig fase av grunnundersøkelsen. Så langt har den mest brukte geofysiske metoden for detektering av kvikkleire vært 2D-resistivetsmålinger på terrengoverflaten (ERT). Metodikken som benyttes til å bestemme resistivetsfordelingen i grunnen ved denne metoden er i noen grad påvirket av usikkerhet og begrenset oppløsning, spesielt ved målinger på større dyp og nær endene av måleprofilen.

Resistiviteten kan imidlertid også bestemmes lokalt i borehull ved hjelp av trykksonderinger med resistivetsmåling (R-CPTU). Med dette utstyret er det mulig å måle jordens elektriske egenskaper ved hjelp av en egen resistivetsmodul som kobles til selve trykksonden. I tillegg til måling av resistivitet kan jordens lagdeling bestemmes meget nøyaktig ved tolkning av de tradisjonelle CPTU-parametrene spissmotstand, poretrykk og sidefriksjon. Når resistivetsmålinger blir kombinert med ordinære CPTU-data ved nedhulls R-CPTU målinger, kan tolkning av hele profilen med hensyn på kvikkleire i mange tilfeller bli mer pålitelig.

Når det gjelder resistivetsbestemmelser har R-CPTU målinger noe mindre usikkerhet og bedre oppløsning enn ERT-målinger, men dekker til gjengjeld et vesentlig mindre volum. En kombinasjon av metodene vil derfor som regel være den optimale løsningen. I denne sammenhengen er relasjonen mellom jordartenes kjemiske, fysiske og geotekniske egenskaper og resistivitet viktig, og det er fremdeles behov for videre forskning og erfaringsinnhenting for å bedre forståelsen på dette feltet.

### 1.3. Hensikt med feltstudiet

Hensikten med dette prosjektet er å utføre nye R-CPTU og ERT på to godt dokumenterte forsøksfelter (Klett og Fallan), samt innhente tilsvarende resultater fra en rekke andre resistivetsundersøkelser på utvalgte forsøkssteder i Norge. Dette vil gi mer erfaring med resistivetsmålinger, hovedsakelig i kvikke/sensitive leirer, der også geografiske forskjeller mellom leirene kan vurderes. For de to forsøksfeltene er resultater fra R-CPTU profilene sammenlignet med resultater fra andre typer sonderinger og in situ målinger, ERT-målinger på overflaten og relevante undersøkelser i laboratoriet.

For videre arbeid med resistivetsmålinger er det først og fremst viktig å få oppsummert og systematisert erfaringene som er gjort med R-CPTU og ERT så langt. Dette gjelder ikke minst om måleresultatene som oppnås ved de to metodene er kompatible og gir rimelig samsvar ved homogene grunnforhold. Videre er det viktig å sammenstille erfaringer med generell tolkning av kvikkleire fra andre sonderingsmetoder, spesielt dreietrykk-/totalsondering, CPTU og elektrisk vingebor. Særlig forventes at bruk av R-CPTU vil kunne styrke detektering av kvikkleire gjennom kombinasjon av resistivitet og andre måledata fra CPTU. Herunder er det også forventninger om at avledede, dimensjonsløse størrelser fra CPTU-målingene, så som spissmotstandstall  $N_m$  og poretrykksforhold  $B_q$ , kan være bedre indikatorer enn de målte verdiene, spesielt i kombinasjon med klassifisering etter resistivitet.

I prosjektet er det således gjennomført en rekke nye aktiviteter etter at state-of-the-art rapporten om R-CPTU (Multiconsult rapport 415559-RIG-RAP-002) ble ferdigstilt høsten 2013. Denne rapporten omfatter derfor også en beskrivelse og sammenstilling av utførte og foreslåtte aktiviteter frem mot en avslutning av prosjektet i 2015, oppsummert i det følgende:

- **Data fra nye feltundersøkelser på Klett og Fallan:** Utførelse av nye feltundersøkelser på utvalgte forsøksfelt. Ettersom det foreløpig foreligger få målinger med R-CPTU på godt dokumenterte

forsøksfelter, har feltstudiet bidratt til en bedre og bredere forståelse av metodens anvendelse og tolkning av målingene i kvikke og sensitive leirer.

- **Data fra tidligere feltundersøkelser:** Innhenting og bearbeiding av tidligere resultater fra grunnundersøkelser på utvalgte forsøksfelt i Trondheimsområdet og på Østlandet. Dette finner sted i samarbeid med øvrige samarbeidspartnere i NIFS (NGI, Statens vegvesen, NTNU/SINTEF og NGU).
- **Utarbeidelse av forslag til videre arbeid med tolkning og sammenstilling av resultater, samt forslag til anbefalte prosedyrer:** Systematisering, tolkning og bearbeiding av måledata fra R-CPTU og 2D overflatemålinger fra utvalgte forsøkssteder. Utarbeidelse av anbefalt praksis for detektering av sprøbruddmateriale med analyse av dreietrykk- og totalsonderinger, resistivitetsmålinger (R-CPTU, ERT), CPTU med måling av totalkraft og bestemmelse av stangfriksjon.

Utførelse av elektrisk vingebor med tolkning av resultater inngår også i dette arbeidet. Sentrale tema her er vurdering av sprøbruddoppførsel, bestemmelse av omrørt skjærfasthet og sammenligning med konusforsøk i laboratoriet, samt vurdering av nødvendig omrøringsenergi for utvikling av progressive/retrogressive brudd og utløpsdistanse for omrørte masser. I dette arbeidet inngår også utveksling av erfaringer med bruk av elektrisk vingebor i Norge (Statens vegvesen, NGI), Sverige (Chalmers, Gøteborg) og Finland (TUT, Tampere).

For å oppnå et størst mulig erfaringsgrunnlag med R-CPTU og ERT foreslås det å invitere til et samarbeid med flere NIFS partnere, som NGI, Statens vegvesen, NTNU/SINTEF og NGU, samt Rambøll som ekstern partner. NGI har tidligere utført R-CPTU i en rekke Østlandsleirer (bl.a. E16 Kløfta-Kongsvinger, Smørgrav (Vestfossen) og Follobanen Oslo S-Ski) og kan utfylle resultater fra de forsøksfeltene som er gjennomført i Trøndelag. Statens vegvesen har også nylig tatt i bruk R-CPTU og har utført flere forsøk med utstyret, blant annet ved FV32 i Porsgrunn. NTNU/SINTEF-miljøet har også flere interessante forsøksfelt med R-CPTU resultater, blant annet Esp (Byneset), Rissa og Dragvoll i Trondheim. Multiconsult har, i tillegg til undersøkelsene på Klett og Fallan, gjennomført ERT og R-CPTU i flere næringslivsprosjekter, hvorav Ranheim Vestre foreløpig er det best dokumenterte. Rambøll og Multiconsult har samarbeidet om en masteroppgave (v/Erlend Hundal, 2014) der det blant annet ble benyttet R-CPTU og CPTU med totalkraftmåling for detektering av sprøbruddmateriale på tre forsøksfelt i Trondheimsområdet (Esp, Nidarvoll og Ranheim Vestre).

NGU har også betydelig kunnskap og erfaring innen bruk av ERT-målinger i ulike jordarter, og er således en meget aktuell samarbeidspartner.

## 2. Beskrivelse av forsøkssteder

Som en del av denne fasen i prosjektet har det også vært arbeidet med å innhente data fra andre forsøksfelter der det tidligere er utført resistivitetsmålinger med R-CPTU og ERT, samt i varierende grad resultater fra andre felt- og laboratoriemålinger. Hensikten har vært å etablere en datasamling som kan benyttes til å vurdere målinger og resultater i leirer med ulik sammensetning og spenningshistorie. Det er velkjent at Trøndelagsleirene jevnt over er siltige med lavt leirinnhold, muligens også med annen type mineralogi enn de generelt fetere og mer leirrike Østlandsleirene. Dette er en av innfallsvinklene som må følges opp i et videre studium.

For å kunne innhente data er det i løpet av prosjektet etablert et samarbeid med ulike aktører som har kunnet stille data fra relevante forsøksfelt til rådighet for prosjektet. Dette har samtidig etablert et grunnlag for utvidet samarbeid i den avsluttende fase av studiet.

Norges Geotekniske Institutt (NGI) har i det siste utført R-CPTU i en rekke leirforekomster på Østlandet og i Trøndelag, bl.a. E16 Kløfta-Kongsvinger, Vestfossen, Follobanen Oslo S-Ski og Hommelvik sjøside).

Statens vegvesen har nylig tatt i bruk R-CPTU og har blant annet utført forsøk i forbindelse med ny FV32 i Porsgrunn. NTNU/SINTEF-miljøet har flere interessante forsøksfelt som kan tenkes benyttet, blant annet på Esp (Byneset), Sund (Rissa), Tiller og Dragvoll (Trondheim). Multiconsult har tidligere gjennomført ERT og R-CPTU i flere næringslivsprosjekter. Videre har Rambøll og Multiconsult samarbeidet på en masteroppgave (Erlend Hundal, 2014) der det blant annet ble benyttet R-CPTU og CPTU med totalkraftmåling for detektering av sprøbruddmateriale på tre forsøksfelt i Trondheimsområdet (Esp, Nidarvoll og Ranheim Vestre). NGU har også betydelig kunnskap og erfaring innen bruk av ERT-målinger i ulike jordarter, og har også skaffet til veie resultater i prosjektet.

Tabell 2.1 Oversikt over aktuelle forsøkssteder med R-CPTU målinger og annen geoteknisk informasjon.

Prøvefelt	Sondering	CPTU	R-CPTU	ERT	Ving	Prøvetaking	Utvalgte referanser
<b>TRØNDELAG</b>							
Fallan	DRT/TOT	x	x	x	x	54	Multiconsult r414622-1 (2011) Multiconsult n414622-1 (2011) Multiconsult r414622-2 (2011)
Klett	DRT/TOT	x	x	x	x	54/76/Blokk	Multiconsult 415531-RIG-RAP-003 (2014)
Ranheim Vestre	TOT	x	x	x	-	54	Multiconsult 416235-RIG-RAP-002 (2014)
Leira	TOT	x	x	-	-	54/76	Multiconsult 416746-RIG-NOT-001-005 (2014)
Hommelvik sjøside	TOT	x	x	x	-	54/72	NGI rapport 20140383 (2014)
Dragvoll	DRT	x	x	x	-	54/Blokk	NTNU Masteroppgave Alberto Montafia (2013)
Rissa	DRT/TOT	x	x	x	-	54/76/Blokk	NTNU Masteroppgave Kristoffer Kåsin (2011)/Multiconsult r414792-2 (2012)
Esp, Byneset	DRT/TOT	x	x	x	-	54/76/Blokk	Rambøll/NTNU Masteroppgave Erlend Hundal (2014)
Tiller	DRT/TOT	x	x	x	x	54/76/Blokk	NTNU Div. PhD- og masteroppgaver: Sandven (1990), Ørbech (1999), Seierstad (2000), Long (2005), Yesuf (2008), Gylland (2011/2012), Sandene (2010), Holsdal (2012),
Nidarvoll	TOT	x	x	x	-	54	Rambøll/NTNU Masteroppgave Erlend Hundal (2014)
<b>ØSTLANDET</b>							
FV32 Gimlevegen, Porsgrunn	TOT	x	x	-	-	54	SVV FV32 Gimlevegen-Augestadvegen, 2010247270-145 (2010)
Smørgrav, Vestfossen +Vålen	DRT	x	x	x	-	72	NGI rapport 20081135 (2008) NGI rapport 20081246-1 (2009)
E16 Kløfta-Kongsvinger	TOT	x	x	x	-	72/Blokk	NGI rapport 20120491-01-R (2013)
Follobanen Oslo-Ski	TOT	x	x	x	-	72	NGI rapport 20110540-27-R (2012)

Resultater fra elektrisk vingebor er mer sparsomme da metoden har vært lite benyttet i de siste årene. Det foreligger derfor få resultater fra felt der det også foreligger informasjon fra resistivitetsmålinger.

En oversikt over aktuelle forsøksfelt i Trøndelag og på Østlandet som foreslås å danne et datagrunnlag for et videre studium er vist i tabell 2.1. Tabellen viser hvilke relevante geotekniske undersøkelser som er eller planlegges utført på de ulike feltene, samt nøkkelreferanser der data fra undersøkelsene er



presentert. En nærmere beskrivelse av forsøksfeltene er samlet i Vedlegg B, mens utvalgte resultater er vist i Vedlegg C.

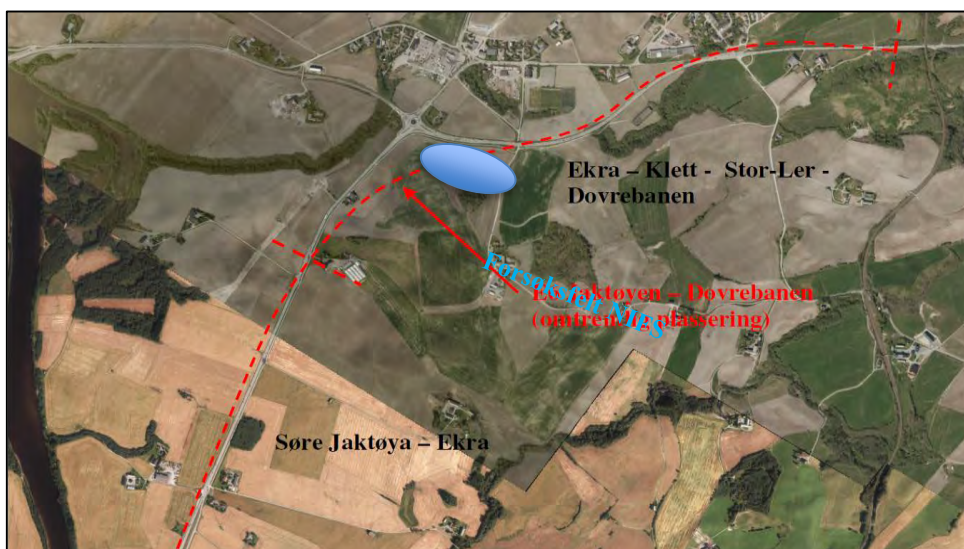
På denne bakgrunn ble det i dette prosjektet etablert 2 nye forsøksfelt i Trondheimsregionen, Klett og Fallan, der det ble lagt vekt på å gjennomføre en full undersøkelse i totalstasjoner, to på hvert felt. På disse nye forsøksstedene er det utført konvensjonelle sonderinger (DT, TOT, CPTU), resistivetsmålinger (R-CPTU, ERT), elektrisk vingebor, prøvetaking og laboratorieundersøkelser. I motsetning til de fleste av de øvrige forsøksstedene inneholder de to nye feltene således en komplett samling av relevante data for dette studiet.

De følgende kapitler beskriver topografi, grunnforhold, tidligere og pågående aktiviteter for de to nye forsøksstedene i dette prosjektet, Klett og Fallan, begge i Trondheimsregionen. Begge forsøksfeltene er godt dokumentert fra tidligere relevante grunnundersøkelser, og inneholder mektige forekomster av kvikkleire/sprøbruddmateriale. Hovedteksten inneholder de viktigste opplysninger om forsøksfeltene, mens detaljert informasjon er samlet i tegninger. Vedlegg C gir supplerende informasjon fra tidligere undersøkelser på de nye forsøksfeltene, mens Vedlegg D oppsummerer dokumentasjon av Anvendelsesklasse CPTU. Koordinater for boringer på Klett og Fallan er gitt i Vedlegg E. Situasjonsskart med beliggenhet av de to forsøksfeltene er vist i tegningene 415559-RIG-TEG-000 (Klett) og – 001 (Fallan).

## 2.1. Forsøksfelt Klett

### 2.1.1 Generelt

Statens vegvesen Region Midt planlegger ny E6 fra Jaktøya til Storler sør for Trondheim. Forsøksfelt Klett ligger like sør for dagens rundkjøring på Klett, innenfor kjent kvikkleiresone 440 Klett-Sørnypan, se figur 2.1.



Figur 2.1 Beliggenhet av forsøksfeltet ved Klett, sør for eksisterende veglinje.

Prosjektet omfatter ny vegløsning med av- og påkjøringsramper, arbeid med omlegging av lokalveger i området rundt Klett, samt omlegging og sikring av elven Sørå som renner gjennom deler av området.

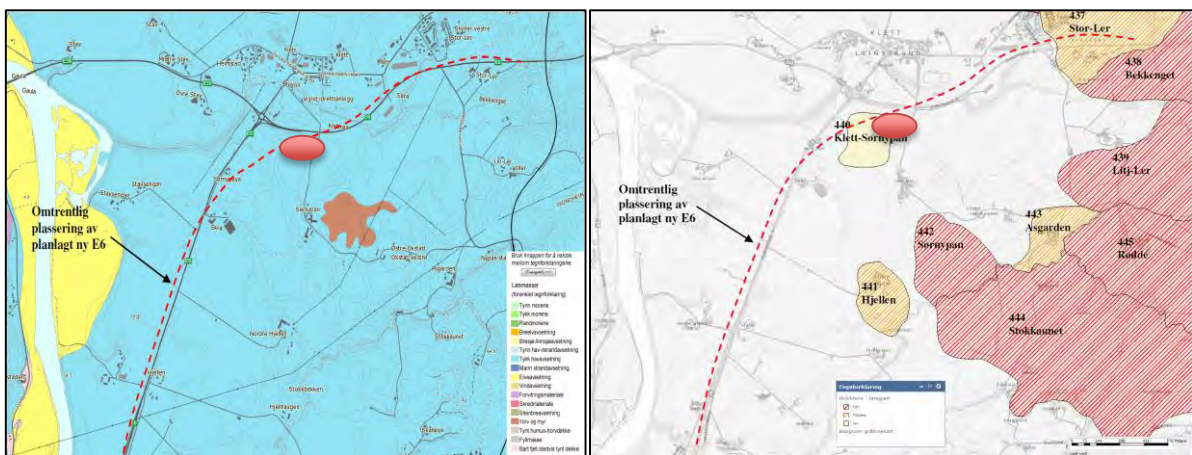
Det er utført grunnundersøkelser i en rekke omganger i nærheten av og på det aktuelle forsøksfeltet, se tegning 415559-RIG-TEG-002, blant annet av Statens vegvesen (borpunktene 1406 og 1408), Multiconsult, NTNU, NGI (borpunkt 1502) og Rambøll. I tillegg har NGI, Multiconsult, NTNU og NGU

har utført geotekniske og geofysiske målinger i forbindelse med utredning av kvikkleiresonene i dette området (Rødde-Stokkaunet), men disse ligger et stykke øst-sørøst for forsøksfeltet.

På forsøksfeltet har NGI nylig utført dreietrykk-/totalsondering, CPTU, prøvetaking og poretrykksmåling i forbindelse med prosjektering av ny veglinje. Statens vegvesen har i samarbeid med NTNU og Multiconsult gjennomført en studie på prøveforstyrrelse med testing av dagsferske prøver tatt med  $\phi 76$  mm stempelprøvetaker og NTNU  $\phi 160$  mm miniblokkprøvetaker. Multiconsult har som en del av R-CPTU feltstudie i NIFS gjennomført geotekniske og geofysiske undersøkelser som beskrevet i kap. 3.1.

### 2.1.2 Terreng og grunnforhold

I henhold til NVEs kvikkleirekartlegging går den planlagte veglinja for ny E6 gjennom to kvikkleiresoner, 437 Storler og 440 Klett-Sørnypan, se detaljert informasjon i vedlegg B.



Figur 2.2 Kvantærgeologisk kart og utbredelse av kvikkleiresoner i forsøksområdet på Klett ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

Kvikkleiresone 437 Stor-Ler er klassifisert med Middels faregrad, konsekvensklasse Meget alvorlig og risikoklasse 4, mens kvikkleiresone 440 Klett-Sørnypan er klassifisert med Lav faregrad, konsekvensklasse Mindre alvorlig og risikoklasse 1.

Terrenget langs veglinjen er småkupert og relativt flatt fram til Esp, og terrenget ligger i hovedsak mellom kote +20 og +47. Terrenget stiger i øst opp mot kvikkleiresone Storler. Forsøksfelt Klett ligger på en terrengrygg like sør for eksisterende/planlagt vegtrasé, se figur 2.1.

På strekningen mellom Ekra og Dovrebanen er det registrert et nært sammenhengende lag med kvikkleire/sprøbruddmateriale i dybden, kun avbrutt av enkelte lommer uten påvist sensitivt materiale. Grunnen består generelt av tynn tørrskorpeleire (1-3 m) over en mektig avsetning av leire. Leirmassene er generelt sensitive, og det er påvist kvikkleire i stor utstrekning. Saltinnholdet i opptatte prøver varierer mellom 1 og 4 g/l.

Størst mektighet av kvikkleiren med opp mot 25-30 m tykkelse er registrert ved planlagt toplanskryss ved Klett, der forsøksfelt Klett ligger. Sensitiviteten avtar gradvis etter ca. 20 m og grunnen består videre av middels fast til fast leire med enkelte lag av grovere materiale.

### 2.1.3 Poretrykksforhold

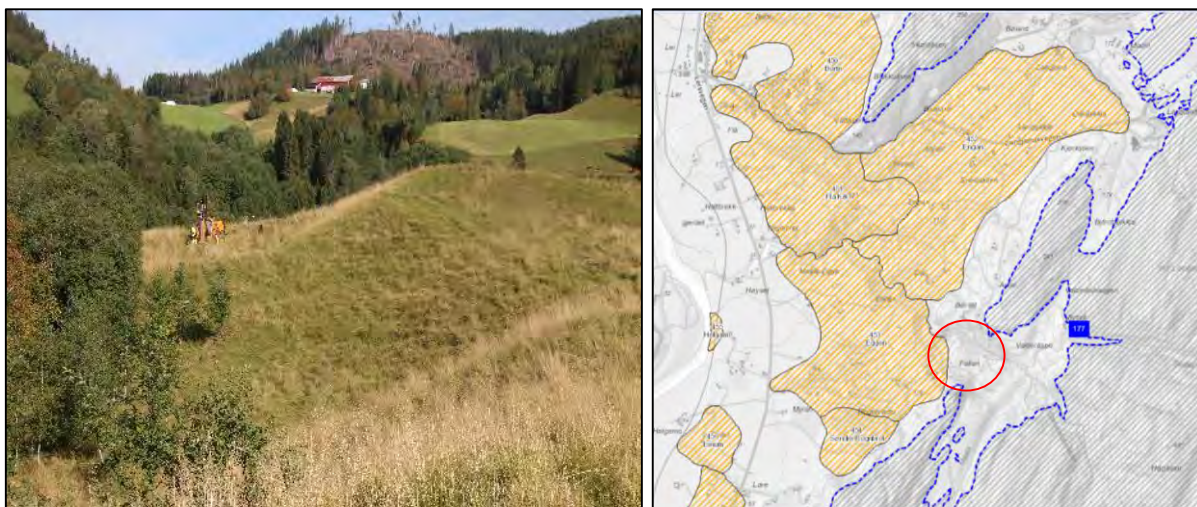
NGI har nylig påvist at grunnvannstand og poretrykksfordeling varierer i området og egne vurderinger må gjøres i hvert enkelt tilfelle. Målingene viser imidlertid at grunnvannstanden generelt ligger mellom 1 og 2 m under terreng, og at det ikke er påvist artesisk poretrykk i området. Målinger på toppen av skråninger viser derimot en poretrykksfordeling noe lavere enn hydrostatisk med dybden.

Grunnvannstanden varierer normalt med årstider og nedbør, og erfaringsmessig kan grunnvannsnivået stå vesentlig høyere i perioder med nedbør og/eller snøsmelting.

## 2.2. Forsøksfelt Fallan

### 2.2.1. Generelt

Fallan ligger i Melhus kommune, øst for E6 og ca. 5 km nord-nordøst for tettstedet Lundamo. Området ble utredet av Multiconsult i 2012 som en del av et gjennomførbarhetsstudium for en ny vegtrasé for E6 mellom Haga og Skjerdingsstad. Det aktuelle forsøksfeltet ligger i et område med marine avsetninger mellom to bergrygger, Valderåsen og Rognbrauta. Hele området Fallan er ei stor gammel skredgrop, med hovedskredet datert til ca. 1665.



Figur 2.3 Oversiktsbilde som viser terrengformasjoner og kvikkleiresoner ved Fallan i Melhus kommune (foto: Rolf Sandven).

Området er spredt bebyggt og består for en stor del av kulturlandskap omgitt av skogkledde åser. Damvassbekken renner langs området i nord, mens Møsta renner langs området i øst.

Som grunnlag for gjennomførbarhetsstudiet ble det utført grunnundersøkelser i området langs planlagt trasé. Statens vegvesen utførte feltundersøkelser med dreietrykk- og totalsonderinger, poretrykksmålinger,  $\phi 54$  mm prøvetaking og trykksondering med poretrykksmåling (CPTU). Multiconsult og Statens vegvesen utførte laboratorieundersøkelser på opptatte prøver, med rutineundersøkelser, treaksial- og ødometerforsøk.

NTNU utførte saltinnholdsbestemmelser på materiale fra samtlige prøvesylindre. Resultater fra felt- og laboratorieundersøkelsene er samlet i Multiconsults rapporter og notater r414622-01, -02 og n414622-01.

Norges Geologiske Undersøkelser (NGU) gjennomførte ERT målinger langs foreslått veglinje over det meste av løsmasseområdet og har utarbeidet eget notat på dette (se kap. 3.2.3).

### 2.2.2. Terreng og grunnforhold

Det undersøkte området på Fallan ligger i et småkupert terreng mellom kote ca. +95 til +127.

Grunnundersøkelser viser generelt at grunnforholdene i området består av et tynt topplag av matjord/vegetasjonsdekke med mellom 0,5 og 2,0 m tykkelse. Under dette laget påtreffes mektige avsetninger av marine sedimenter, med bløt og til dels sensitiv/kvikk leire over store deler av området. Leiren synes å være homogen, men med enkelte siltlag og siltige partier.



Rutinemessig skjærfasthet bestemt ved konus og enaksielt trykkforsøk øker omtrent lineært med dybden, mens sensitiviteten varierer med dybden. Prøvekvaliteten på opptatt materiale synes å være tilfredsstillende. Saltinnholdet i opptatte prøver varierer mellom 0,4 og 0,9 g/l.

### 2.2.3 Poretrykksforhold

Alle poretrykksmålerne er avlest etter utlignet initialporetrykk. Målingene indikerer at grunnvannstanden ligger 0,5-1,0 m under terrengoverflaten i området. Det er sannsynlig at grunnvannstanden vil variere noe med årstidene, og at den vil være høyest i området langs bekker og vassdrag. Poretrykksmålingene på Fallan viser stort sett poretrykksfordeling lavere enn hydrostatisk med dybden.

## 3. Gjennomføring av og resultater fra nye grunnundersøkelser

Utførte undersøkelser på de to nye forsøksfeltene omfatter en rekke ulike typer grunnundersøkelser som er relevante for dette prosjektet. Undersøkelsene omfatter blant annet konvensjonelle dreietrykk- og totalsonderinger (DRT, TOT), trykksondering med og uten resistivetsmåling (CPTU, R-CPTU), 2D resistivetsmåling på overflaten (ERT), elektrisk vingeboring (EFVT),  $\phi 54$  mm prøvetaking med rutineundersøkelser og saltinnholdsmåling i laboratoriet. En kort beskrivelse av de aktuelle felt- og laboratoriemetodene er vist i vedlegg A og i geotekniske bilag. I tillegg er data fra tidligere undersøkelser samlet i vedlegg C, samt koordinater fra utførte boringer i vedlegg E.

Det er benyttet NN2000 som referansesystem for høyde.

### 3.1. Forsøksfelt Klett

#### 3.1.1 Feltundersøkelser

Feltarbeid for geotekniske grunnundersøkelser ble utført i ukene 26 og 27 2014 av borleder Stian Langolf og borlederassistent Arne Buhagen Hansen. De nye feltundersøkelsene er utført i to totalstasjoner betegnet KS1 og KS2, nær borhullene 1502 og 1503 fra tidligere boringer. Plassering av totalstasjonene er vist på borplan for Klett i tegning 415559-RIG-TEG-002.

I hver totalstasjon ble det utført følgende boringer:

- 1 dreietrykksondering (DRT)
- 1 totalsondering (TOT)
- 1 trykksondering (CPTU) med totalkraftmåling
- 1 trykksondering med resistivetsmålinger (R-CPTU)
- Opptak av 1 prøveserie, med 4 stk.  $\phi 54$  mm sylindrerprøver fra forskjellige dybder

I tillegg ble leirens uforstyrrede og omrørte skjærfasthet bestemt ved hjelp av Geotech elektrisk vingebor (EFVT) på 4 forskjellige dybder (8.5, 16.5, 26.5 og 34.6 m) ved totalstasjon KS1. Det ble benyttet vingestørrelse 65 x 130 mm og manuell omrøring av vingen ved bestemmelse av omrørt skjærfasthet.

Sonderingsresultater er presentert på borutskriften, tegninger 415559-RIG-TEG-100 og -101. Resultater fra trykksonderinger med og uten resistivetsmålinger (R-CPTU, CPTU) er fremstilt i tegningene 415559-RIG-TEG-040.1 t.o.m. -042.5. Vingeboormålingene er vist som tolket uforstyrret udrenert skjærfasthet  $c_{uv}$ , omrørt udrenert skjærfasthet  $c_{rv}$  og registrert utstyrsfriksjon i tegningene



415559-RIG-TEG-050.1-054.2. I disse målingene ble prosedyren beskrevet i Statens vegvesen felthåndbok 280 benyttet:

1. Påføring av økende torsjonsmoment til 90° rotasjon av vingekorset. På en av målingene (z=8,5 m) ble vingekorset rotert 360° for å oppnå full registrering av etterbruddskurven for vurdering av omrøringsenergi.
2. Hurtig rotasjon 25 omdreininger av vingekorset med etterfølgende måling av torsjonsmomentet for omrørt materiale til 90° rotasjon av vingekorset.
3. Hurtig rotasjon med 4 nye omdreininger av vingekorset med etterfølgende måling av torsjonsmomentet for omrørt materiale til 90° rotasjon av vingekorset.
4. Ny hurtig rotasjon med 4 nye omdreininger av vingekorset med etterfølgende måling av torsjonsmomentet for omrørt materiale til 90° rotasjon av vingekorset.

Hver måling inkluderer således en kurve for førstegangs brudd i leiren rundt vingekorset, de øvrige målinger gjennomføres for fullstendig omrørt leire.

### **3.1.2. Laboratorieundersøkelser**

De opptatte prøvene er i hovedsak undersøkt i Multiconsults geotekniske laboratorium i Trondheim. Det er gjennomført utvidet prøveåpning med tanke på full klassifisering og identifisering av jordartene, inklusive bestemmelse av vanninnhold, densitet, udrenert skjærfasthet og korndensitet. I tillegg ble det utført hydrometeranalyse for bestemmelse av prøvens korngradering, samt måling av jordens plastisitet- og flytegrense.

Bestemmelse av saltinnhold ved hjelp av ledningsevne målinger på 8 prøver ble gjennomført ved NTNUs geotekniske laboratorium. Det henvises til vedlagte rapport fra NTNU i vedlegg C for detaljerte forsøksresultater.

Spesialforsøk for bestemmelse av materialparametere og stivhetsparametere er vurdert å ikke være relevante for studiets formål, og ble derfor ikke utført i denne omgang.

Resultater av rutineundersøkelser er presentert som geotekniske data i tegningene 415559-RIG-TEG-010 og -011 for henholdsvis totalstasjon KS1 og KS2. Kornfordeling for utvalgte prøver er vist på tegningene 415559-RIG-TEG-060 og -061.

### **3.1.3. Geofysiske undersøkelser**

Apex Geoservices Ltd. ble engasjert av Multiconsult AS for å utføre geofysiske undersøkelser på forsøksfeltet på Klett. Undersøkelsene ble utført i Uke 35 av Greg Balding fra Apex Geoservices med Per Arne Farstad, Multiconsult som assistent.

De geofysiske undersøkelsene omfattet både 2D resistivitetsmålinger fra terrengoverflaten (ERT) og 1D måling av skjærbølgehastighet (MASW) i ett punkt. Sistnevnte undersøkelse ble gjennomført i forbindelse med et annet oppdrag.

2D-resistivitet er målt i to kryssende profiler (R1 og R2), mens skjærbølgens hastighet er målt i ett punkt (M1). En komplett og detaljert beskrivelse av undersøkelsenes gjennomføring og resultater er presentert i tilhørende rapport fra Apex Geoservices (ref.). Resistivitetskart for lengde- (R1) og tverrprofil (R2) fra undersøkelsen er vist i figur 4.5 i kap. 4.



Figur 3.1 Opplegg for 2D resistivitetsmålinger på forsøksfelt Klett.

## 3.2. Forsøksfelt Fallan

### 3.2.1 Forsøksfelt Fallan

Feltarbeidet for geotekniske grunnundersøkelser ble utført i uke 37, 2014 av Stian Langolf og innleid assistanse fra Malvik bygdeservice.

De nye feltundersøkelsene er utført i to totalstasjoner betegnet FS2 og FS4. Disse stasjonene tilsvarer henholdsvis borpunktene 2 og 4 i Statens vegvesen undersøkelse i 2012. Plassering av totalstasjonene er vist på borplan for Fallan i tegning 415559-RIG-TEG-003.

Ved borpunkt FS2 ble det utført:

- 1 totalsonering (TOT)
- 1 trykksonering med resistivets- og totalkraftmåling (R-CPTU, CPTU)
- Opptak av 1 prøveserie, med 4 stk.  $\phi$ 54mm sylindrerprøver fra forskjellige dybder
- Måling av jordens skjærfasthet med elektrisk vingebor (EFVT), i både uforstyrret og omrørt tilstand på forskjellige dybder

I tillegg ble leirens uforstyrrede og omrørte skjærfasthet bestemt ved hjelp av Geotech elektrisk vingebor (EFVT) på 3 forskjellige dybder (8.5, 15.5 og 20.5 m) ved totalstasjon FS2. Det ble benyttet vingestørrelse 65 x 130 mm og manuell omrøring av vingen ved bestemmelse av omrørt skjærfasthet.

Ved borpunkt FS4 ble det utført:

- 1 trykksonering med resistivitetsmåling (R-CPTU)

- Opptak av 1 prøveserie, med 3 stk.  $\phi 54$ mm sylinderprøver fra forskjellige dybder

Sonderingsresultater er presentert på borutskrifter, tegninger 415559-RIG-TEG-102. Resultater fra trykksonderinger med og uten resistivitetsmålinger (R-CPTU, CPTU) er fremstilt i tegningene 415559-RIG-TEG-043.1 t.o.m. -044.5. Vingeformålingene er vist som tolket uforstyrret  $c_{uv}$  og omrørt udrenert skjærfasthet  $c_{rv}$  i tegningene 415559-RIG-TEG-055.1-t.o.m.-057.2. Både målte og korrigerede resultater, samt registrert friksjon i stangsystemet er vist. I disse målingene ble den samme prosedyren som for målingene på Klett benyttet (Statens vegvesen felthåndbok 280).

### 3.2.2. Laboratorieundersøkelser

De opptatte prøvene er i hovedsak undersøkt i Multiconsults geotekniske laboratorium i Trondheim. Det er gjennomført utvidet prøveåpning med tanke på full klassifisering og identifisering av jordartene, inklusive bestemmelse av vanninnhold, densitet, udrenert skjærfasthet og korndensitet. I tillegg ble det utført hydrometeranalyse for bestemmelse av prøvens korngradering, samt måling av jordens plastisitets- og flytegrense.

Det meste av rutineundersøkelsene, inklusive bestemmelse av prøvenes saltinnhold ved hjelp av ledningsevne måling ble gjennomført ved NTNUs geotekniske laboratorium. Det henvises til vedlagte rapport fra NTNU i vedlegg C for detaljerte forsøksresultater.

Resultater av rutineundersøkelser for prøver fra totalstasjon FS2 og FS4 er presentert som geotekniske data i tegningene 415559-RIG-TEG-012 og -013. Kornfordeling av jordprøver er vist på tegningene 415559-RIG-TEG-062 og -063.

### 3.2.3. Geofysiske undersøkelser

Norges geologiske undersøkelser (NGU) ble engasjert av Statens vegvesen for å utføre resistivitetsmålinger langs planlagt vegtrasé på Fallan i forbindelse med utredning av ny E6 gjennom Melhus kommune. Undersøkelsene ble utført i november 2010 av Einar Dalsegg med Kennet A. Olsen som assistent.

Profilen er 600 m langt og starter ved bekken Møsta i nord og ender litt sørvest for gården Fallan. I nord ligger profilen nær en bratt skråning hvor løsmasseoverdekningen trolig er liten. Også i den sørvestlige delen av profilen er det trolig grunt til fjell. Mellom ytterpunktene av profilen er det sedimenter med resistivitetsverdier fra ca. 6  $\Omega$ m til 80  $\Omega$ m, med hovedvekt på resistivitet rundt  $\pm 30$   $\Omega$ m. Mellom profilpunkt 370 og 450 er det noen linser med høyere motstand (opp til 300  $\Omega$ m). Trolig består det meste av løsmassene i profilen av utvasket leire.

Resistivitetskart fra undersøkelsen er vist i figur 4.6 i kap. 4.

## 4. Vurdering av oppnådde resultater

### 4.1. Sonderingsresultater fra dreietrykk- og totalsondering

Både på Klett og Fallan ble det utført dreietrykk- og totalsonderinger til ca. 35-40 m dybde. På Fallan er det påvist kvikkleire mellom ca. 5 m til ca. 25 m under terreng, mens kvikkleirelaget på Klett strekker seg fra ca. 6,0 m til ca. 25,0 m.

Det ble utført nye sonderinger av Multiconsult i forbindelse med NIFS-prosjektet, men det foreligger også sonderingsresultater fra tidligere undersøkelser. Samsvaret mellom nye og tidligere sonderinger er meget godt, og det er også god overensstemmelse mellom kurveprofilene for dreietrykkssonderinger og totalsonderinger. På Klett er nedpressingskraft for totalsondering i størrelsesorden 4-4,5 kN i

kvikkleirelaget, mens penetrasjonskraften for dreietrykksondering ligger noe lavere, mellom 2,5 og 3 kN. Forholdet mellom nedpressingskraften i de to metodene er altså ca. ca. 1,5. På Fallan ligger nedpressingskraft for dreietrykksondering mellom 1,0 og 2,5 kN (BP 2), mens totalsonderingskraften ligger mellom 2,8 og 3,1 kN i tilsvarende dybdeintervall.

Resultatene fra sonderingene er vist i tegningene 415559-RIG-TEG-100 tom -102.

Sonderingsresultatene viser tydelig beliggenhet av kvikkleirelagene for begge forsøksfeltene, og det er godt samsvar mellom sonderingsresultatene og data fra øvrige metoder. Grunnforholdene på begge forsøksfeltene vurderes som fordelaktige for påvisning av kvikkleire/sprøbruddmateriale ettersom topplaget er grunt og består av bløte til middels faste masser, uten innslag av grovere lag. Kvikkleirelaget er i tillegg forholdsvis bløtt og homogent. Dette er i overensstemmelse med vurderingene i rapport 415559-RIG-RAP-001 for slike grunnforhold.

## 4.2. Resultater fra CPTU

Det ble gjennomført referanse CPTU målinger uten bruk av resistivitetsmodul på begge forsøksfeltene. Målingene ble utført med Geotech sonde og sonderingsutstyr etter standard prosedyrer som beskrevet i NGF melding 5 (rev.2010). Alle CPTU-profilene på begge forsøksfeltene er av høy kvalitet og klassifisert i Anvendelsesklasse 1.

Resultater fra utførte CPTU og R-CPTU for Klett forsøksfelt er vist i tegningene 415559-RIG-TEG-040.1 – 415559-RIG-TEG-042.5, mens data for R-CPTU fra Fallan er vist i tegningene 415559-RIG-TEG-043.1 - -044.5. Dokumentasjonsark for Anvendelsesklasse for begge forsøksfelt er vist i vedlegg D.

### Forsøksfelt Klett

Sonderingen viser et svært homogent inntrykk fra ca. 2,0 m ned til ca. 28 m, der kvikkleire/sprøbruddmateriale dominerer. I det følgende er det gitt en vurdering av aktuelle indikatorer for kvikkleire fra CPTU-resultatene:

#### Netto spissmotstand $q_n$

Bortsett fra et lite parti mellom 5 og 9 m øker netto spissmotstand med dybden og gir derfor ingen klar påvisning av kvikkleire. I tråd med sonderingsresultater fra dreietrykk-/totalsondering burde man forvente en konstant eller avtagende netto spissmotstand i kvikkleirelaget, med økning i de ikke-sensitive lagene.

#### Spissmotstandstall $N_m, Q$

Spissmotstandstallet  $N_m = q_n/(\sigma_{vo}' + a)$  ( $Q = q_n/\sigma_{vo}'$ ) er normalisert med hensyn på effektivt overlagingstrykk og viser en helt annen tendens enn netto spissmotstand  $q_n$ . Kurven viser avtagende og etter hvert konstant verdi i hele kvikkleirelaget, men påviser ikke overgangen til ikke-sensitive masser ved ca. 28 m tydelig. Størrelsen  $N_m$  viser seg altså å være en effektiv indikator for kvikkleire i dette profilet, men gir muligens påvisning noe til konservativ side (for tykt kvikkleirelag).

#### Sidefriksjon $f_s$ – friksjonsforhold $R_f$

Målt sidefriksjon er større enn 0 i hele profilet og viser en svakt økende tendens med dybden. Ettersom man skulle forvente nær 0 registrert sidefriksjon i kvikkleirelaget, synes det som om første gangs penetrasjon med CPTU ikke gir en fullstendig omrøring av kvikkleiren. Dette er også kjent fra tidligere studier av CPTU-resultater i kvikkleire. Tilsvarende tendens observeres rimeligvis også for friksjonsforholdet  $R_f = f_s/q_n$ .

### Poretrykksforhold $B_q$

Poretrykksforholdet  $B_q$  defineres som  $B_q = \Delta u_2 / q_n$  og vurderes som en parameter med et visst potensiale for påvisning av kvikkleire. Ved kollaps av kvikkleiren oppstår et stort overskudd av vann med antatt oppstuvning av vann rundt sondespissen. Dette gir ofte svært høye  $B_q$ -verdier i normalkonsolidert kvikkleire, noen ganger med  $B_q$ -verdier betydelig over 1,0. I overkonsolidert leire fører imidlertid dilatanseffekter i leiren bak den koniske delen til at de skjærspenningsinduserte poretrykkene avtar noe, med reduserte  $B_q$ -verdier som resultat. I overkonsoliderte, sensitive leirer er derfor  $B_q$ -verdiene ofte i størrelsesorden 0,6-0,9 og kan være vanskelig å skille fra normalkonsolidert ikke-sensitiv leire. Måling av poretrykket like bak den koniske delen ( $u_2$ ) er således ingen fordelaktig plassering i forhold til kvikkleirebestemmelse.

I det aktuelle profilet på Klett ligger  $B_q$ -verdiene nær 1,0 i hele kvikkleirelaget, samtidig som det viser en klar endring i de ikke-sensitive lagene. Profilet må sies å være et svært godt eksempel på vellykket påvisning av kvikkleire i et svakt overkonsolidert sediment.

### Identifikasjonsdiagram Q- $B_q$ (Robertson & Campanella 1990)

For jordartsidentifikasjon er de dimensjonsløse forholdene Q- $B_q$  ofte benyttet. For Klett viser diagrammet en klassifisering som i hovedsak plasserer resultatene i kategori *Leire*, *siltig leire*, og med bare noen få punkter i kategori *Sensitivt, finkornig materiale*. Eksempelet viser tydelig begrensningen i riktig klassifisering av de norske kvikkleirene i dette og lignende identifikasjonsdiagrammer, noe som også er velkjent fra tidligere studier.

Problemet er først og fremst knyttet til poretrykksregistreringen ( $B_q$ ) like bak den koniske delen. For denne type sensitive materialer vil det være riktigere å måle poretrykket i kompresjonssonen foran spissen der kollapsen foregår, alternativt kompensere for innflytelsen av overkonsolidering og dilatans i uttrykket for  $B_q$ .

### Identifikasjonsdiagram Q- $R_f$ (Robertson & Campanella 1990)

I tillegg til Q- $B_q$  benyttes ofte Q- $R_f$ , der  $R_f$  er friksjonsforholdet, som supplement i jordartsidentifiseringen. For det aktuelle profilet fra Klett viser den friksjonsbaserte identifiseringen noenlunde samme resultat som Q- $B_q$  – diagrammet, og konklusjonen blir den samme som i avsnittet over. I dette tilfellet er det som før nevnt den ufullstendige omrøring av materialet etter første gangs penetrasjon som fører til at friksjonsforholdet estimeres for høyt i forhold til reell omrørt tilstand.

### **Forsøksfelt Fallan**

CPTU-sonderingen viser et svært homogent inntrykk fra ca. 3,0 m ned til ca. 13 m, der sedimentet blir litt mer siltig, se figur 4.1. Kvikkleire/sprøbruddmateriale dominerer fra ca. 5,0 m ned til ca. 25 m, før overgang til siltig, sandig leire med enkelte sandlag. I det følgende er det gitt en vurdering av aktuelle indikatorer for kvikkleire fra CPTU-resultatene.

### Netto spissmotstand - $q_n$

Bortsett fra et lite parti mellom 7 og 8 m øker netto spissmotstand med dybden og gir heller ikke på Fallan klar påvisning av kvikkleire. I tråd med sonderingsresultater fra dreietrykk-/totalsondering burde man forvente en konstant eller avtagende motstand i kvikkleirelaget, med økning i de ikke-sensitive lagene. I så måte er resultatene fra Klett og Fallan sammenfallende da netto spissmotstand ikke viser denne tendensen på noen av stedene.

### Spissmotstandstall $N_m$ , $Q$

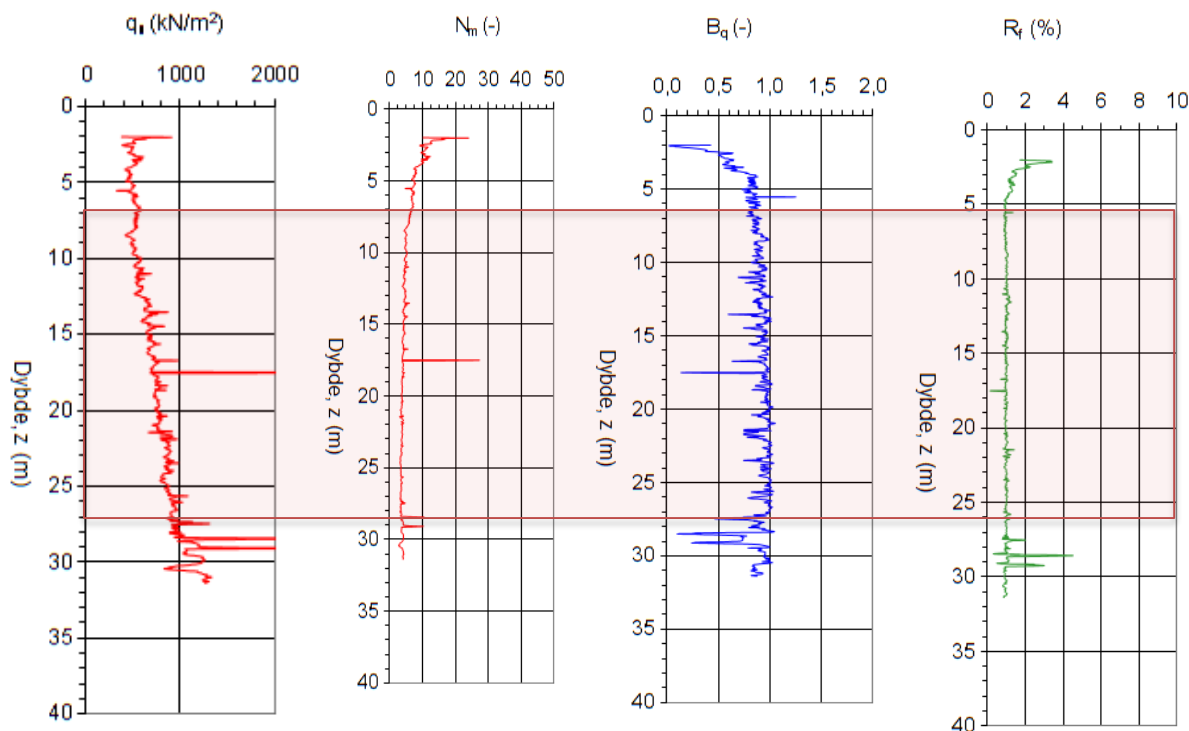
Spissmotstandstallet  $N_m = q_n / (\sigma_{vo}' + a)$  er normalisert med hensyn på effektivt overlageringstrykk og viser en helt annen tendens enn netto spissmotstand  $q_n$ . Kurven viser avtagende verdi i hele kvikkleirelaget, men påviser kun svakt overgangen til ikke-sensitive masser ved ca. 28 m. Størrelsen  $N_m$  viser seg altså å være en effektiv indikator for kvikkleire i dette profilet, men gir muligens påvisning noe til konservativ side også for profilet på Fallan.

### Sidefriksjon $f_s$ – friksjonsforhold $R_f$

Målt sidefriksjon er større enn 0 i hele profilet og viser en svakt økende tendens med dybden 99tilsvarende friksjonsmålingene på Klett. Tilsvarende tendens observeres også for friksjonsforholdet  $R_f = f_s / q_n$ .

### Poretrykksforhold $B_q$

I det aktuelle profilet på Fallan ligger  $B_q$ -verdiene svakt lavere enn 1,0 i hele kvikkleirelaget, samtidig som det viser en klar endring i de ikke-sensitive lagene. Profilet må, i likhet med profilet fra Klett, sies å være et svært godt eksempel på vellykket påvisning av kvikkleire i et noe overkonsolidert sediment.



Figur 4.1 Vurdering av avledede størrelser og dimensjonsløse forhold fra CPTU på Fallan. Vurdering fra netto spissmotstand  $q_n$ , spissmotstandstall  $N_m$ , poretrykksforhold  $B_q$  og friksjonsforhold  $R_f$ . Kvikkleire mellom ca. 5 – 25 m under terreng (Multiconsult r414622-1 (2011)).

### Identifikasjonsdiagram Q- $B_q$ (Robertson & Campanella 1990)

For jordartsidentifikasjon er de dimensjonsløse forholdene Q- $B_q$  ofte benyttet. For Fallan viser diagrammet en klassifisering som i hovedsak plasserer resultatene i kategori *Leire, siltig leire*. Det er ingen påviste punkter i kategori *Sensitivt, finkornig materiale* som man burde forvente. Også dette eksempelet viser tydelig begrensningen i riktig klassifisering av de norske kvikkleirene i dette og lignende identifikasjonsdiagrammer.

### Identifikasjonsdiagram Q-R<sub>f</sub> (Robertson & Campanella 1990)

I tillegg til Q-B<sub>q</sub> benyttes ofte Q-R<sub>f</sub>, der R<sub>f</sub> er friksjonsforholdet, som supplement i jordartsidentifisering. For det aktuelle profilet fra Klett viser den friksjonsbaserte identifiseringen noenlunde samme resultat som Q-B<sub>q</sub> – diagrammet, og konklusjonen blir den samme som i avsnittet over. I dette tilfellet er det den ufullstendige omrøring av materialet etter første gangs penetrasjon som fører til at friksjonsforholdet estimeres for høyt i forhold til reell omrørt tilstand.

### 4.3. Totalkraftmåling fra CPTU

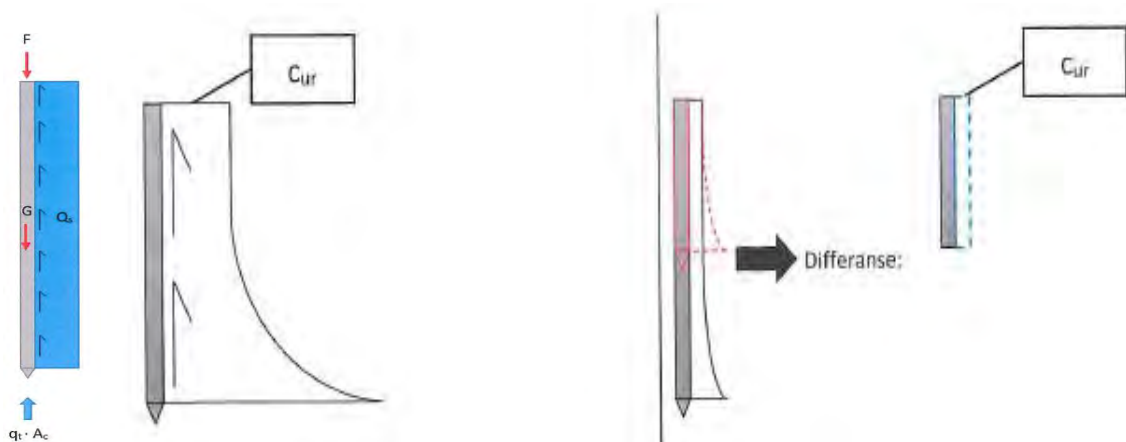
Ved utførelse av CPTU er det mulig å registrere total nedpressingskraft mot sonden slik at total, akkumulert stangfriksjon kan bestemmes. Denne vil kunne avvike noe i forhold til registrert friksjonsmotstand langs friksjonshylsen på CPTU-sonden, og representerer i utgangspunktet en reell friksjonskraft fra leiren i fullstendig omrørt tilstand. Beregnet stangfriksjon kan derfor benyttes til å vurdere kvikkleireforholdene på følgende måte:

Mobilisert stangfriksjonskraft  $P_s$  bestemmes ved å benytte total nedpressingskraft  $P$ , legge til vekt av stenger og subtrahere spisskraft  $q_t \cdot A_t$ , der  $A_t$  er tverrsnittsarealet av CPTU-sonden og  $q_t$  er korrigert spissmotstand for poretrykkseffekter, se figur 4.2. Mobilisert sidefriksjonskraft  $P_s$  plottes mot dybde.

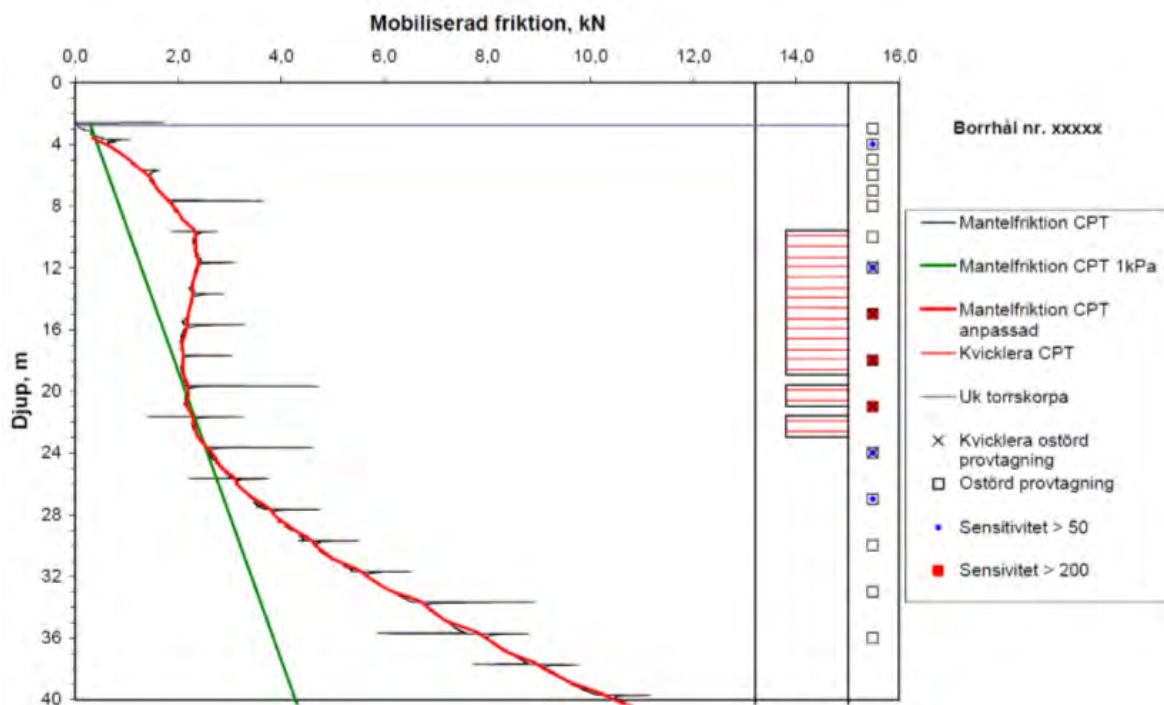
Stangfriksjonskraften  $P_s$  sammenlignes med en teoretisk, valgt friksjonskraft  $Q_f$ , der det i prosjektet er benyttet en jevnt fordelt sidefriksjon på 0,5 kPa tilsvarende største omrørte skjærfasthet for kvikkleire. Dette gir en lineært økende friksjonskraft som benyttes som referansekraft i vurderingen, se Figur 4.3. Det er selvfølgelig mulig å benytte andre referanseverdier for omrørt skjærfasthet, for eksempel grensen for sprøbruddmaterialer  $c_r < 2,0$  kPa.

Der kurven for mobilisert friksjonskraft  $P_s$  har brattere helning enn referansekurven  $Q_f$  er leiren trolig kvikk. Denne vurderingen kan sammenholdes med annen informasjon, som for eksempel resistivitet, resultater fra konusforsøk i laboratoriet eller andre målinger.

Ved penetrasjon av CPTU-sonden vil sidefriksjonen sjelden representere et fullstendig omrørt materiale, noe som gjør det vanskelig å vurdere kvikkleirestatus fra målt sidefriksjon. Derimot vil friksjonen langs stangsystemet representere en omrørt friksjon etter hvert som stengene presses lenger ned i grunnen, se figur 4.2.



Figur 4.2 Prinsipp for bestemmelse av stangfriksjon  $P_s$  (Hundal (2014)).



Figur 4.3 Sammenligning mellom mobilisert friksjon  $P_s$  og referansekurve for omrørt skjærfasthet = 1 kPa (Hundal (2014 etter Løfroth et al (2011))).

Det er registrert meget godt samsvar mellom tolkning av kvikkleire fra mobilisert sidefriksjon og resultater fra øvrige forsøk, blant annet i studiet av stabilitetsforholdene ved Göta älv (Løfroth et al (2011)). Det ble imidlertid påpekt at tolkning fra mobilisert stangfriksjon førte til noe overvurdering av kvikkleireforekomstene sammenlignet med øvrige benyttede metoder.

### Forsøksfelt Klett

På Klett ble det benyttet en noe forenklet prosedyre på grunn av feil med borrhållens interface-panel som førte til at totalkraften ikke ble registrert. Det ble derfor kjørt 2 profiler i samme borpunkt, ett med vanlig CPTU uten totalkraftmåling og ett profil der kun nedpressingskraften  $P$  med bruk av CPTU sonde og normert CPTU-hastighet ble benyttet. Deretter ble profilene for CPTU-data og total nedpressingskraft koblet. Ettersom forholdene på forsøksstedet er svært oversiktlige og homogene bedømmes avvikene ved denne rutinen å være marginale.

Figur 4.4 viser resultater fra sammenstillinger fra målingene som ble utført på Klett forsøksfelt. Tolket stangfriksjon etter prinsippene over viser at sprøbruddmateriale identifiseres i dybdeintervallet 2 – 27 m, mens den noe smalere kvikkleiredefinisjonen tolkes mellom 2,5 og 22,0 m. Dette må sies å være i godt samsvar med øvrige sonderingsresultater, og det er også god overensstemmelse med resultater fra laboratoriet.

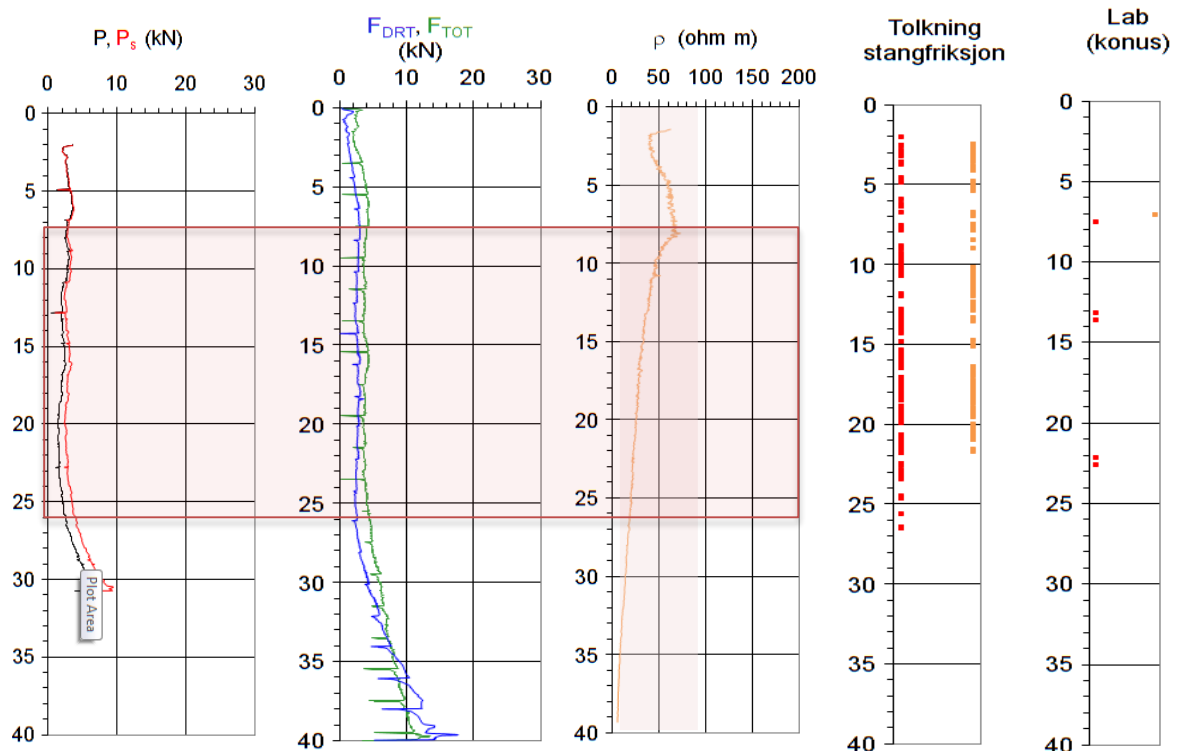
### Forsøksfelt Fallan

På Fallan ble det kjørt ordinær totalkraftmåling som en del av R-CPTU forsøkene. Figur 4.5 viser resultater fra sammenstillinger fra målingene som ble utført på Fallan forsøksfelt. Tolket stangfriksjon etter prinsippene over viser at kvikkleire identifiseres i dybdeintervallet 2,5 – 31 m, og det er her ingen særlig forskjell mellom tolket kvikkleire og tolket sprøbruddmateriale.

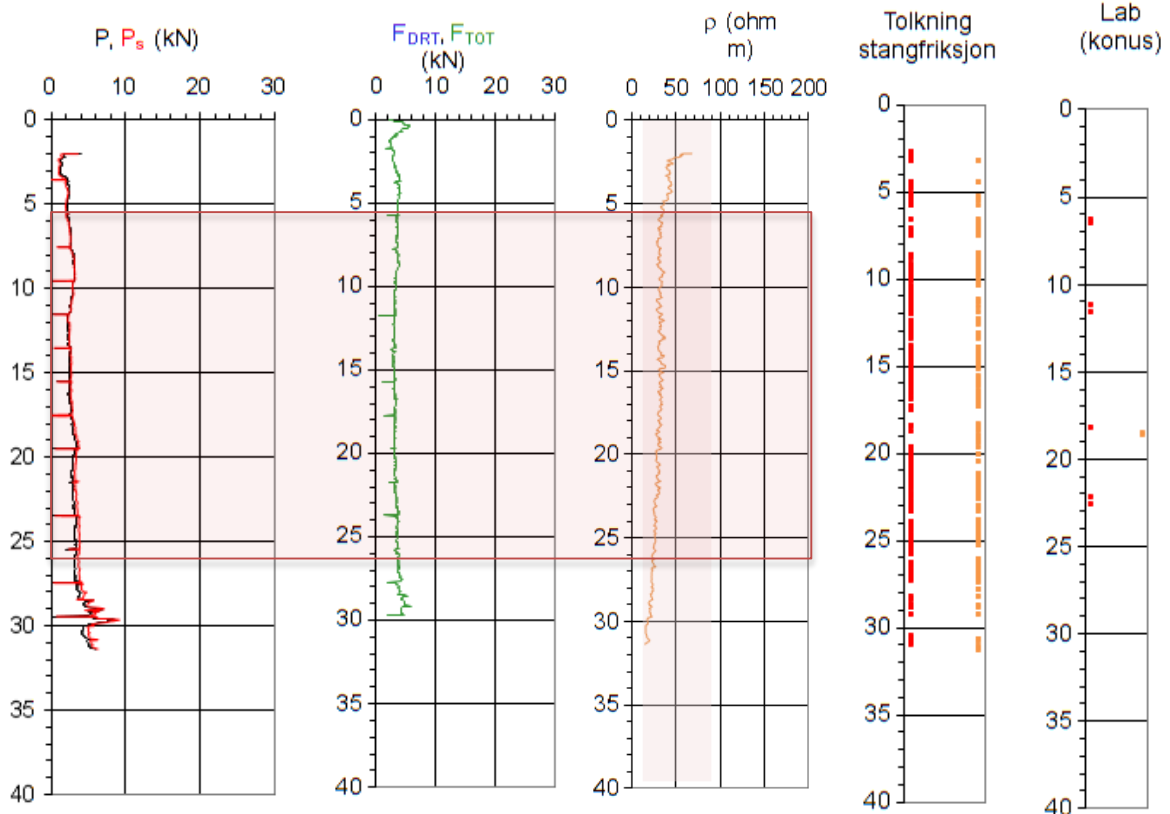
Det er godt samsvar med øvrige sonderingsresultater og resultater fra laboratoriet, men stangfriksjonsmålingene er noe konservative og viser sensitiv oppførsel i et større dybdeintervall enn



laboratoriemålingene. Totalkraftmålingene er imidlertid mindre konservative enn resistivetsmålingene som indikerer utvasket leire i hele det undersøkte profilet.



Figur 4.4 Klett forsøksfelt. Tolkning av kvikleire fra mobilisert stangfriksjon, sammenlignet med resultater fra resistivetsmåling R-CPTU og laboratoriedata.



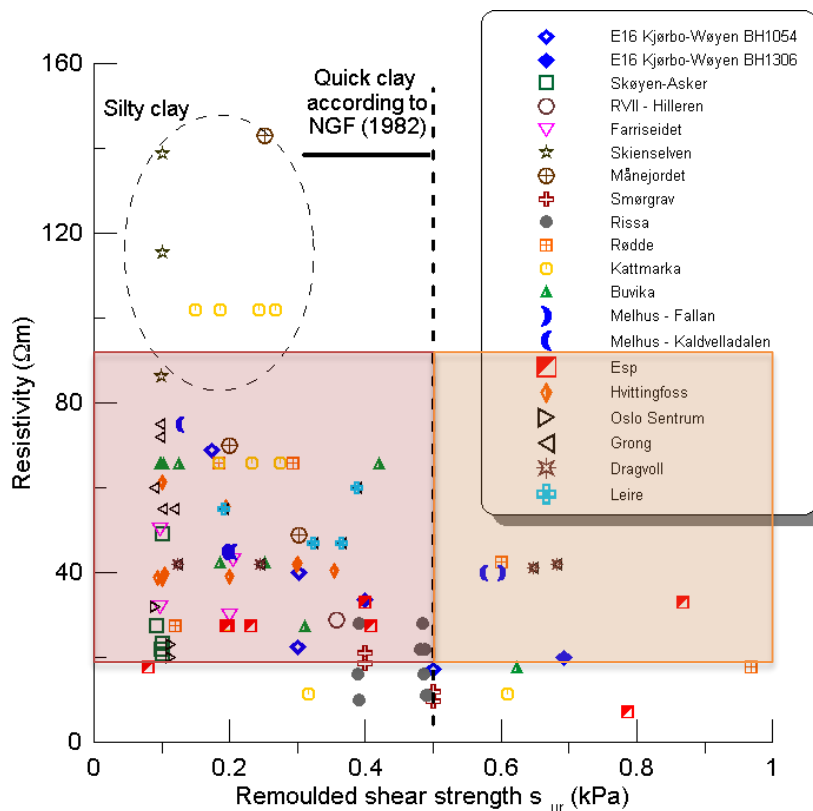
Figur 4.5 Fallan forsøksfelt. Tolkning av kvikleire fra mobilisert stangfriksjon, sammenlignet med resultater fra resistivetsmåling, R-CPTU og laboratoriedata.

#### 4.4. Resistivitet i leire

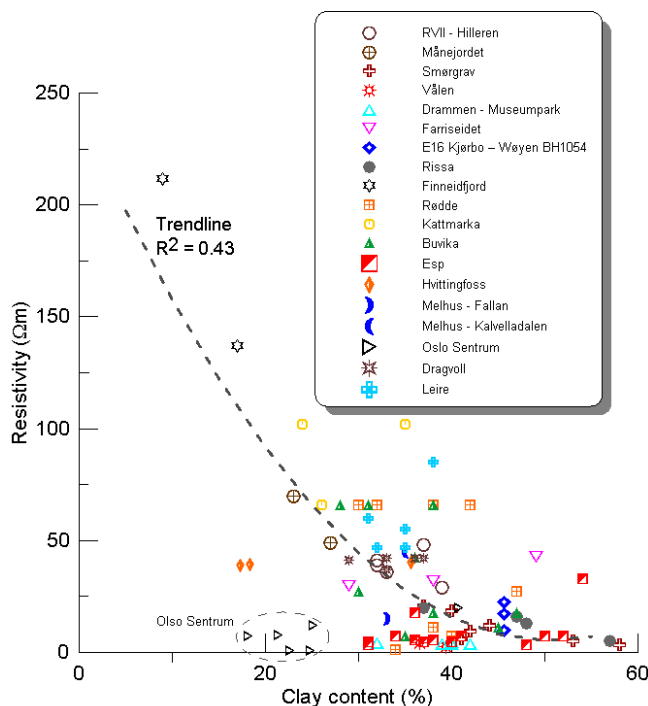
Når det gjelder grenseverdiene for resistivitet som skiller utvasket leire fra andre jordarter påvises det relativt godt samsvar i de fleste norske studiene, se for eksempel veiledende verdier i tabell 4.1. I noen tilfeller ble det imidlertid funnet at den nedre grensen for mulig kvikkeleire ligger så lavt som 5  $\Omega\text{m}$ , mens andre ganger ble det foreslått å flytte bunnverdien opp til ca. 15  $\Omega\text{m}$ . Det er tilsynelatende noe mer uenighet om hvor øvre grenseverdi bør plasseres, og variasjoner på 10-20  $\Omega\text{m}$  i forhold til vanlig grenseverdi på 100  $\Omega\text{m}$  kan antyde variasjonsområdet. Svensk kvikkeleire blir ofte karakterisert med enda lavere resistivitetsverdier. I Schälin og Tornborg (2009) ble det påvist kvikkeleire med målte resistivitetsverdier så lave som 3  $\Omega\text{m}$ . Dette skyldes sannsynligvis et høyt sulfatinnhold i de nevnte leirene. Oppgavene videre må konsentreres om å sammenstille resultater fra nyere studier og eventuelt oppdatere eksisterende erfaringsgrunnlag. Det er også viktig å etablere erfaringsdiagram og korrelasjoner mellom resistivitet fra R-CPTU målinger og ulike egenskaper med leirene.

Tabell 4.1. Resistivitet i ulike materialer (videre bearbeidet fra Solberg 2007 og Rømoen m.fl. 2010).

Jordart	Resistivitet ( $\Omega\text{m}$ )	Merknad
LEIRE, marin, saltholdig	1 – 10	
LEIRE, utvasket, mulig kvikk leire	10 – 100	Dette kan også være siltige masser eller leire som har passert det kvikke stadiet
LEIRE, tørrskorpe	70-300	
SILT, mett	50-200	
SAND, mett	200-1000	
BERG	Flere 1000	



Figur 4.6: Sammenheng mellom omrørt skjærfasthet  $c_r$  og resistivitet  $\rho$  ( $\Omega\text{m}$ ) for norske leirer. Data samlet av Long (2013).



Figur 4.7: Sammenheng mellom leirinnhold (%  $< 2\mu\text{m}$ ) og resistivitet  $\rho$  ( $\Omega\text{m}$ ) for norske leirer. Data samlet av Long (2013).

Som vist i oversikten er det noe overlapp mellom de ulike leirtypene, samt mellom leire og silt. Rømøen m.fl. (2010) påviste imidlertid et mulig intervall for utvasket leire mellom 5  $\Omega\text{m}$  og 90  $\Omega\text{m}$ , og foreslår å benytte lokale korrelasjoner mellom resistivitet og forekomst av kvikkleire for å begrense intervallet. Dette kan imidlertid kreve et stort datagrunnlag.

Figur 4.6 viser typiske sammenligningsdiagrammer mellom ulike rutinedata og resistivetsdata fra ERT-målinger i noen norske leirer, samlet og bearbeidet av Long (2013). Figuren viser en klar sammenheng mellom resistivitet  $\rho$  og omrørt skjærfasthet  $c_r$  for en rekke norske leirer. Det røde arealet indikerer kvikkleire basert på norsk definisjon og foreløpig klassifisering av resistivitet i kvikkleire. Sammenstillingen viser at det foreslåtte resistivetsintervallet for kvikkleire mellom 20-90  $\Omega\text{m}$  omfatter de fleste registreringer, men at det også er en del kvikkleireregistreringer med lavere resistivitet. Diagrammet viser også at registreringer som faller innenfor definisjonen av sprøbruddmateriale (oransje felt) har noe lavere resistivetsverdier, men befinner seg fremdeles innenfor klassifiseringsområdet for kvikkleire.

Sammenstillingen i figur 4.7 viser sammenhengen mellom leirinnhold (%  $< 2\mu\text{m}$ ) og resistivitet (Long (2013)). Figuren viser at resistiviteten avtar med økende leirinnhold, men som forventet er spredningen stor.

#### 4.5. Resistivetsmålinger med R-CPTU

Det er i senere tid blitt forsket på bruk av resistivetskartlegginger og R-CPTU for påvisning av områder med mulig kvikk eller sensitiv leire. Resistivetsmålinger baserer seg på at man kan identifisere forekomster av ulike løsmasser og grunnfjell fra materialenes elektriske ledningsevne. Ledningsevnen i en mett leire vil korrelere med saltinnholdet, og på bakgrunn av dette kan man identifisere utvaskede leirer der saltinnholdet er lavt, med muligheter for forekomst av kvikkleire. I selve resistivetsmålingen tilføres en elektrisk strøm mellom de to ytre elektrodene og potensialet måles mellom de to andre.

I bergarter og løsmasser er porevannet den primære lederen, mens mineraler og bergartskorn i seg selv er dårlige ledere. På grunn av dette vil mengden porevann og sammensetningen av dette påvirke materialets resistivitet i stor grad. Resistiviteten er imidlertid også avhengig av faktorer som vanninnhold, leirinnhold, organisk innhold og mineralogisk sammensetning.

Resultatene i dette studiet viser følgende:

- **Klett:** Resistiviteten i kvikkleirelaget varierer mellom 20  $\Omega\text{m}$  og 70  $\Omega\text{m}$ , med en klar knekk i resistivitetskurven ved ca. 8,0 m. I det ikke-sensitive laget under ca. 28 m ligger resistiviteten lavere enn 20  $\Omega\text{m}$  og reduseres etter hvert til under 10  $\Omega\text{m}$ .
- **Fallan:** For Fallan varierer resistiviteten lite og ligger stort sett mellom 20 og 40  $\Omega\text{m}$  i hele kvikkleirelaget. I det ikke-sensitive laget under ca. 29-30 m reduseres resistiviteten til under 20  $\Omega\text{m}$ .

Resistiviteten fra R-CPTU viser altså godt samsvar med øvrige metoder for påvisning, men det er den klart mest konservative metoden basert på dagens erfaringsbaserte klassifiseringsintervall.

#### 4.6. Resistivetsmåling på overflaten (ERT)

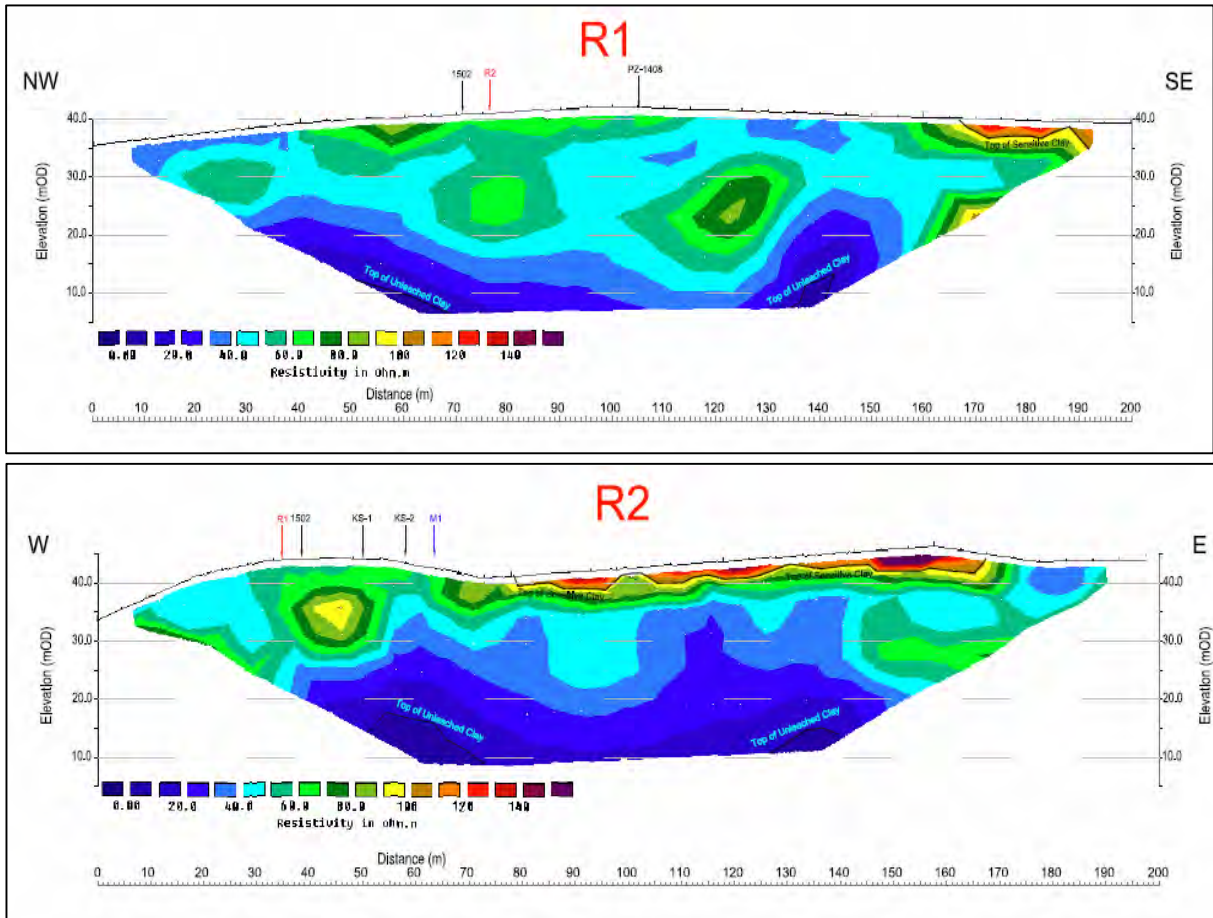
2D resistivetsmåling har vist seg som en lovende metode for å påvise områder med mulig kvikkleire (Solberg m.fl. 2011). Metoden vil i mange prosjekter kunne være en verdifull innledende sonderingsmetode i forkant av tradisjonelle geotekniske undersøkelser, særlig ved at de nødvendige geotekniske boringene kan plasseres mer hensiktsmessig i forhold til kartlegging av kvikkleireforekomstene. Bruk av metoden kan også gi besparelser i antall boringer, selv om dette ikke trenger å være hovedhensikten med resistivetsmålingene.

##### Forsøksfelt Klett

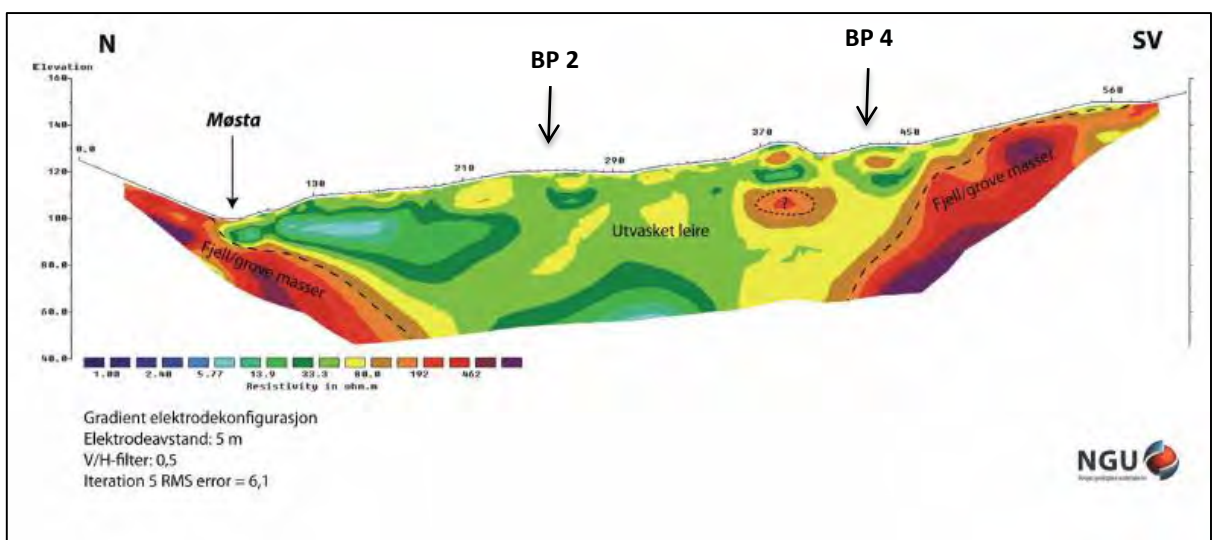
På Klett ble resistiviteten målt langs 2 profiler, hver av ca. 200 m lengde. Resultatet av resistivetsmålingene er vist i figur 4.8. Soner med saltutvasket leire tilsvarer her områder med middels – lys blå fargetoning på figuren, delvis også over mot lys-middels grønn. Partier med mørkere blå farge er saltholdig, intakt leire, mens områder med rød-lilla fremtoning er overflatelag/tørrskorpe med høy resistivitet. Som figuren viser definerer det utvaskede laget på Klett et stort basseng av mulig kvikk/sensitiv leire sentralt i profilet, mens det synes å være lokale lommer av mindre sensitive masser nær endene av profilet.

##### Forsøksfelt Fallan

På Fallan ble det utført resistivetsmålinger langs ett profil, sammenfallende med lengdeprofil for planlagt ny vegtrasé. Profilet er ca. 500 m langt og resultatet fra målingene er vist i figur 4.9. Soner med saltutvasket leire tilsvarer her områder med middels – lys grønn fargetoning på figuren, delvis også over mot gult. Partier med blå fargenyanser representerer saltholdig, intakt leire, mens områder med rød-lilla fremtoning er morenelag/berg med høy resistivitet. Resistivetsprofilet viser at utvasket leire ligger i en forsenkning (kløft) i berget, en lokalisering som gir gode betingelser for utvasking av salt på grunn av antatt stor vanntilførsel fra sprekker i berget.



Figur 4.8 Klett forsøksfelt. Resultater fra resistivetsprofilene R1 (lengdeprofil) og R2 (tverrprofil) fra ERT, med markering av eksisterende borhullsposisjoner langs profilet (Apex Geoservices (2014)).



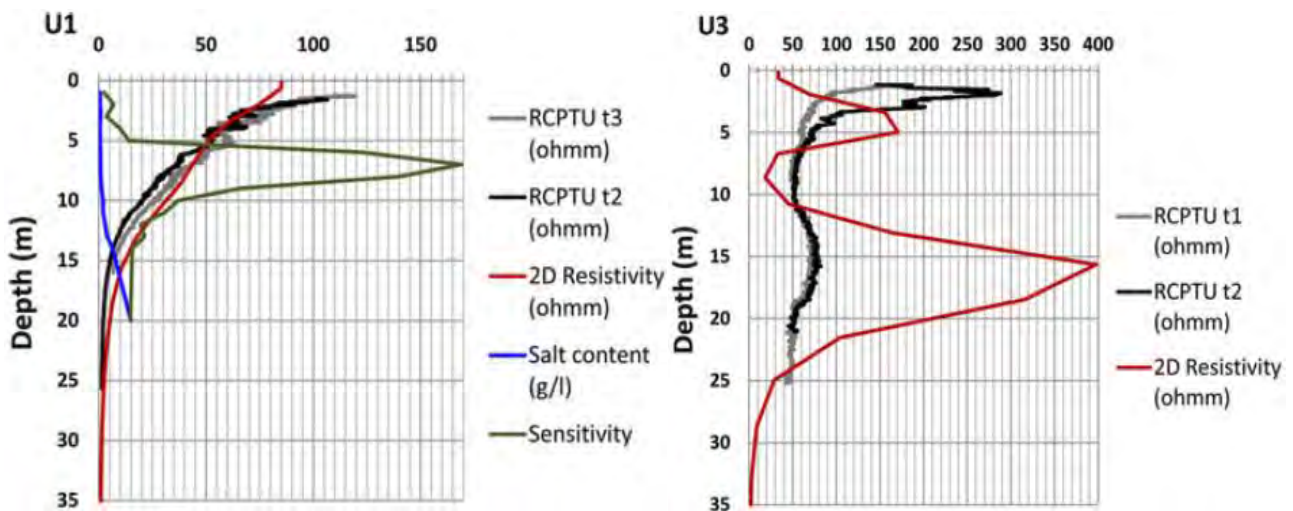
Figur 4.9 Fallan forsøksfelt. Resistivetsprofil F1 fra ERT med markering av eksisterende borhullsposisjoner langs profilet (NGU (2010)).

Som figuren viser når det utvaskede laget nesten opp til terrengoverflaten, noe som stemmer godt med fysiske observasjoner på stedet.

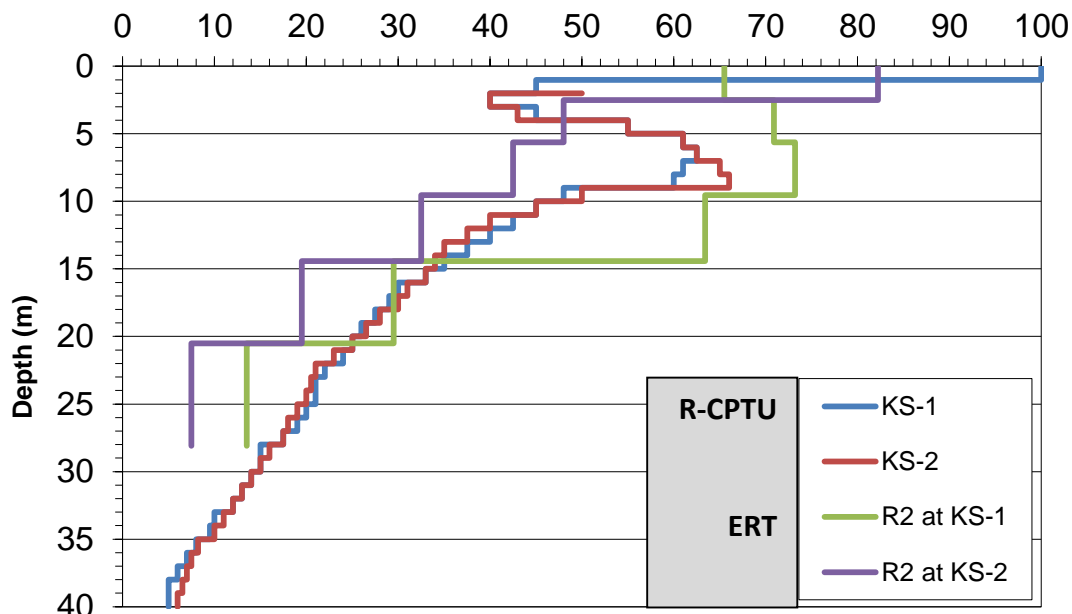
#### 4.7 Sammenligning mellom R-CPTU og ERT-målinger

Ved lite lagdelte, homogene sedimenter vil de målte resistivitetsverdiene fra R-CPTU og ERT være forholdsvis like, forutsatt at målingene er riktig utført. Ved mer kompliserte grunnforhold med lagdelt grunn og horisontale forskjeller i materialenes resistivitet kan imidlertid avviket mellom metodene bli betydelig, spesielt på større dyp. Eksempler på gode og avvikende resultater er vist i figur 4.10.

Overflatemålinger gir kontinuerlig informasjon om grunnforholdene mens sonderinger kun gir punktinformasjon med muligheter for å overse bortgjemte lommer av kvikkleire. Resistivetsmålinger på overflaten er best tilpasset undersøkelser utenfor tettbygd strøk ettersom kabler, ledninger og andre installasjoner i grunnen kan forstyrre målingene.



Figur 4.10: Eksempler av godt (venstre) og dårlig (høyre) samsvar mellom ERT og R-CPTU (Solberg m.fl. (2011)).



Figur 4.11: Klett forsøksfelt. Sammenligning mellom resistivetsverdier fra R-CPTU og ERT (Solberg m.fl. (2011)).

Figur 4.11 viser sammenligning mellom resultater fra ERT-målinger og R-CPTU fra forsøksfelt Klett. Helhetsinntrykket av resultatene er i gjennomsnitt godt samsvar mellom måleresultatene, med verdier i området mellom 10 og 80  $\Omega$ m. Det er klart at oppløsningen er vesentlig bedre i R-CPTU målingene, som gir forholdsvis distinkte verdier av resistiviteten. ERT-kurven har vesentlig dårligere oppløsning,



sannsynligvis fordi måleopplegget skulle ta hensyn til god dekning ned til ca. 40 m under terrengoverflaten. En forbedret oppløsning i ERT-målingene ville derfor gått på bekostning av nedtrengningsevne og begrenset måledybde.

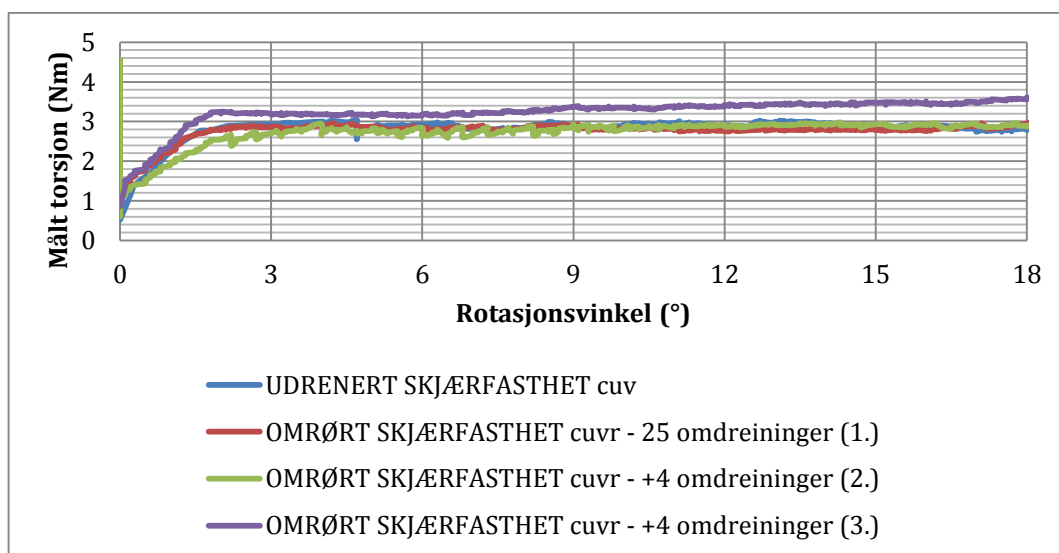
For de to forsøksfeltene Klett og Fallan med forholdsvis homogene leirer i grunnen er det betryggende at resultater fra ERT og R-CPTU samsvarer godt med hensyn på metodenes anvendelse.

#### 4.8. Resultater fra elektrisk vingeboring

Udrenert skjærfasthet målt med vingebor er beheftet med flere usikkerheter som for eksempel forhold knyttet til installasjon av vingeboret, utstyrmessige faktorer, bruddforhold rundt vingen samt anisotropiforhold mellom fastheten på horisontale og vertikale plan. Selv med sine ulemper kan vingeboret potensielt sett benyttes i forbindelse med kvikkleirekartlegging, men en del viktige forhold ved måling og tolking av resultater må avklares:

- Udrenert skjærfasthet til stabilitetsanalyser - hvilken skjærfasthet representerer målingene?
- Omrørt skjærfasthet til kvikkleireklassifisering - kan vi stole på verdiene ved dype målinger?
- Kvantifisering av omrøringsenergi - hvor mye arbeid skal til for å røre om en leire?
- Vurdering av skredmekanismer – hvilke egenskaper må leiren ha før/etter brudd for å initiere og vedlikeholde en progressiv/retrogressiv bruddutvikling?

God kjennskap til friksjonsforhold og andre utstyrsrelaterte faktorer er en forutsetning for at vingeborresultater skal kunne benyttes til å vurdere disse problemstillingene. Selv om elektrisk vingebor gir langt bedre dokumentasjon av målingene enn ved bruk av det manuelle vingeboret, er det fortsatt knyttet usikkerheter til bruk av utstyret. Som vist i figur 4.12 er det mulig å registrere utviklet friksjon i vingeborutstyret som funksjon av rotasjonsvinkel. Etter start av rotasjonen synes fullt utviklet friksjon i systemet å inntre etter ca. 3° rotasjon, for deretter å være forholdsvis konstant på den aktuelle dybden. Dette kan imidlertid variere og friksjonen i systemet synes å øke noe med økende dybdenivå. Dette kan imidlertid også skyldes elastisk deformasjon og «fjæring» i stengene.



Figur 4.12: Eksempel på friksjonsbestemmelse som funksjon av rotasjonsvinkel for vingeors ved gjennomføring av vingeborforsøk.

#### Udrenert skjærfasthet $c_{uv}$

Figur 4.13 viser sammenstilling av resultater fra Klett og Fallan forsøksfelter der verdier for uforstyrret og omrørt udrenert skjærfasthet er vist mot dybde z. Udrenert skjærfasthet viser en tilnærmet lineær

økning med dybden for begge forsøksfeltene, og kan tilnærmes med en linje  $c_{uav} = \alpha \sigma_{vo}'$ , der  $\alpha = 0,25$  og  $\sigma_{vo}'$  er effektivt overlagingstrykk (gjennomsnittlig skjærfasthet, laveste aktive skjærfasthet i NC-leire).

Sammenligning mellom udrenert skjærfasthet  $c_u$  tolket fra CPTU, elektrisk vingebor og rutinedata er vist i tegningene 415559-RIG-TEG-058 og -059 for henholdsvis Klett og Fallan forsøksfelter. Sammenstillingen viser resultater som forventet for begge forsøksfeltene, med vingeboreskjærfasthet noe lavere enn tolket verdi fra CPTU (aktiv skjærfasthet), men med omtrent samme verdier som rutinedata fra konus og enaksielt trykkforsøk.

### Omrørt skjærfasthet $c_{rv}$

I dette prosjektet ble den omrørte skjærfastheten  $c_{rv}$  bestemt etter følgende prosedyre:

- Første gangs bestemmelse etter 25 omdreininger av vingen
- Andre gangs bestemmelse etter 4 nye rotasjoner av vingen
- Tredje gangs bestemmelse etter ytterligere 4 rotasjoner av vingen

Figur 4.13 viser at den omrørte skjærfastheten ikke viser særlige variasjoner i forhold til første gangs bestemmelse etter 25 rotasjoner på noen av feltene.

På grunn av usikkerhetene knyttet til tolkning av omrørt skjærfasthet fra vingeborforsøk, er det relevant å undersøke sammenhengen mellom denne verdien og omrørt skjærfasthet fra konusforsøk i laboratoriet, se figur 4.14. Sammenstillingen viser at vingeborbestemt skjærfasthet samsvarer godt med laboratoriemålte verdier ned til ca. 15 m. Under dette nivået overvurderes den omrørte skjærfastheten i vingeboresmålingene.

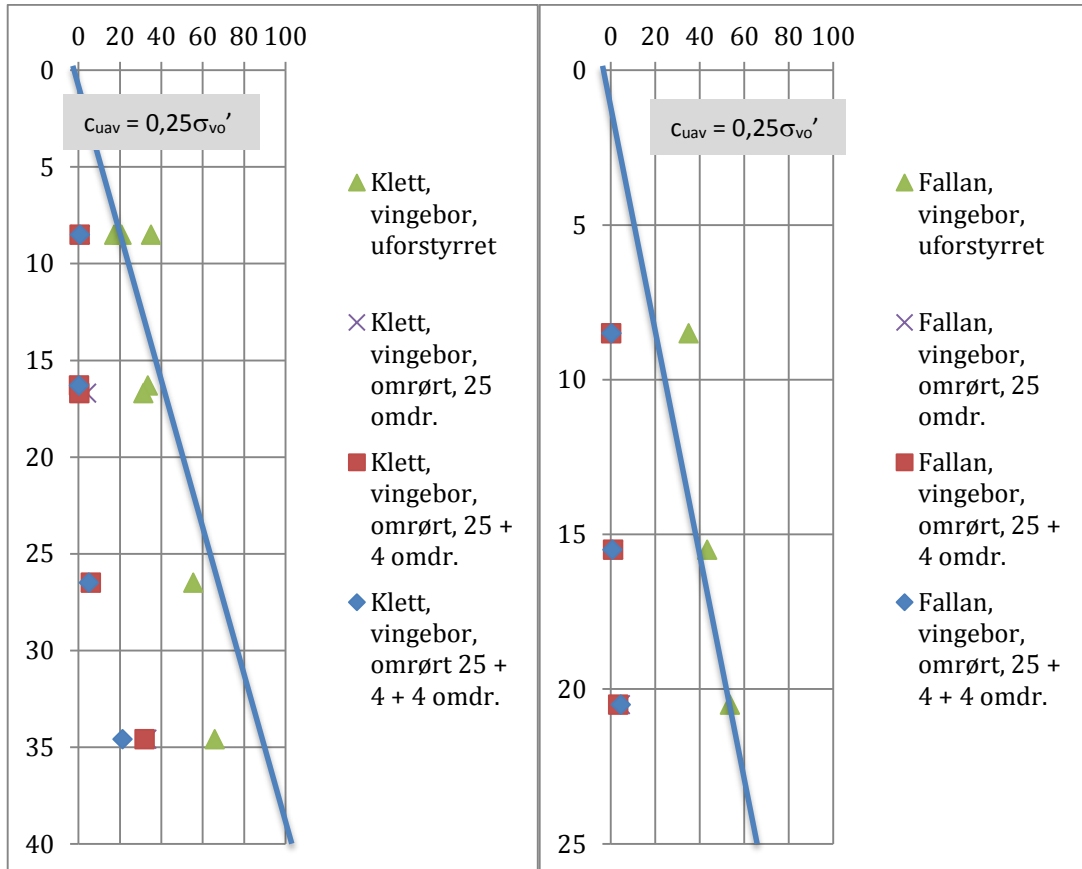
Dette kan være forårsaket av utstyrsmessige faktorer ved at det oppstår en fjæringseffekt (elastisk deformasjon) i stengene ved påføring av store torsjonsmomenter og dype målinger. En annen mulig forklaring er likevel at mindre forstyrret materiale presses inn i den omrørte bruddsonen rundt vingen ved høye jordtrykk. Konsekvensen av denne effekten synes å være at man ikke kan forvente riktig bestemmelse av omrørt skjærfasthet ved større dyp, noe som reduserer metodens potensiale for in situ detektering av kvikkleire betydelig.

### Arbeidskurve fra vingeborforsøk

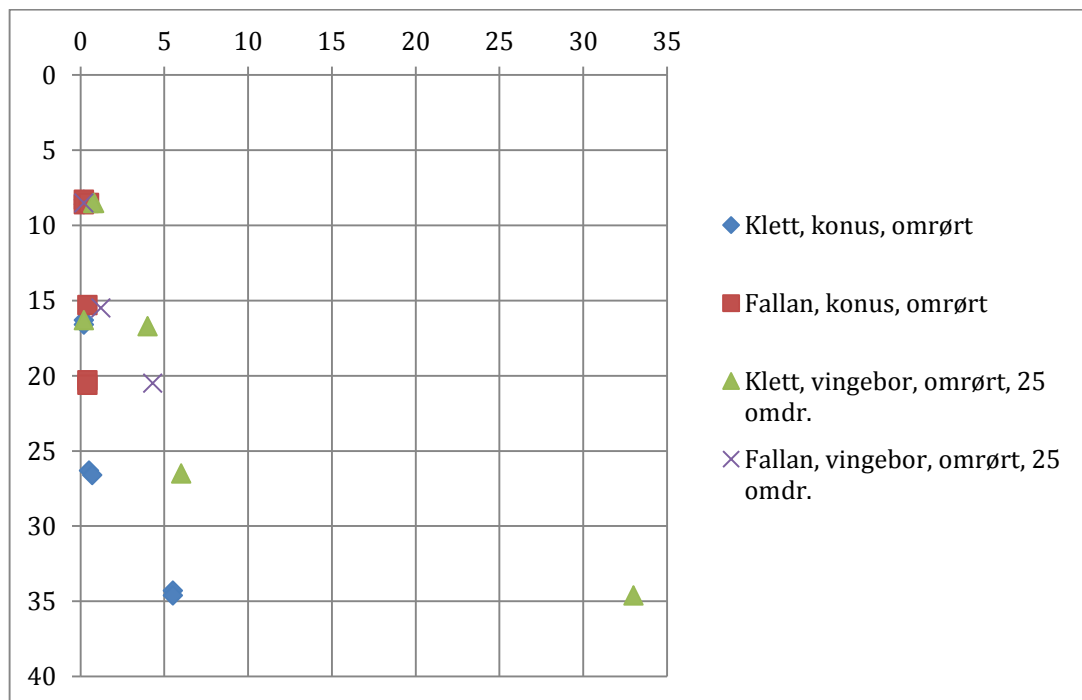
Når det gjelder utvikling av et retrogressivt kvikkleireskred er det flere faktorer som er avgjørende. For eksempel så må leiren ha en svært lav omrørt skjærfasthet, og skredmassene må kunne forlate skredgropen slik at veggene i skredgropen er mest mulig frie. I denne sammenhengen er det relevant å se på hvor mye arbeid som må til for å omrøre leiren fullstendig. Det kan forventes at en sensitiv leire har svakere kornbindinger enn en ikke-sensitiv leire og dermed mindre motstand mot omrøring.

Dette er aspekter som kan vurderes med bakgrunn i resultater fra vingeborforsøk. Hvis man registrerer hele rotasjonskurven, og ikke bare torsjonsmomentene for uforstyrret og omrørt tilstand, vil man kunne vurdere potensiell sprøbruddoppførsel fra arbeidskurvens form. På bakgrunn av dette er det mulig å bestemme nødvendig energi for å bringe materialet over i omrørt tilstand, se figur 4.15 (ref. Thakur et al (2013)).

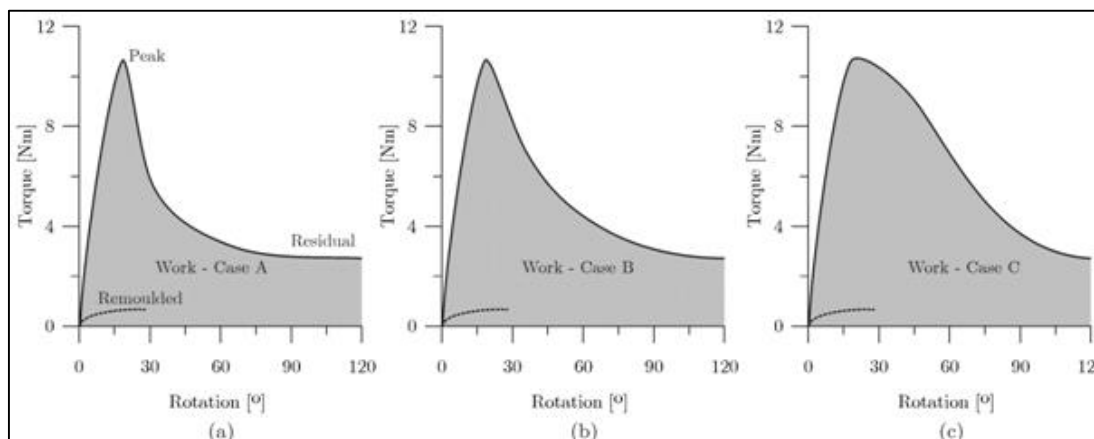




Figur 4.13: Klett og Fallan forsøksfelter. Vingeborresultater - sammenligning mellom udrenert uforstyrret og omrørt skjærfasthet.



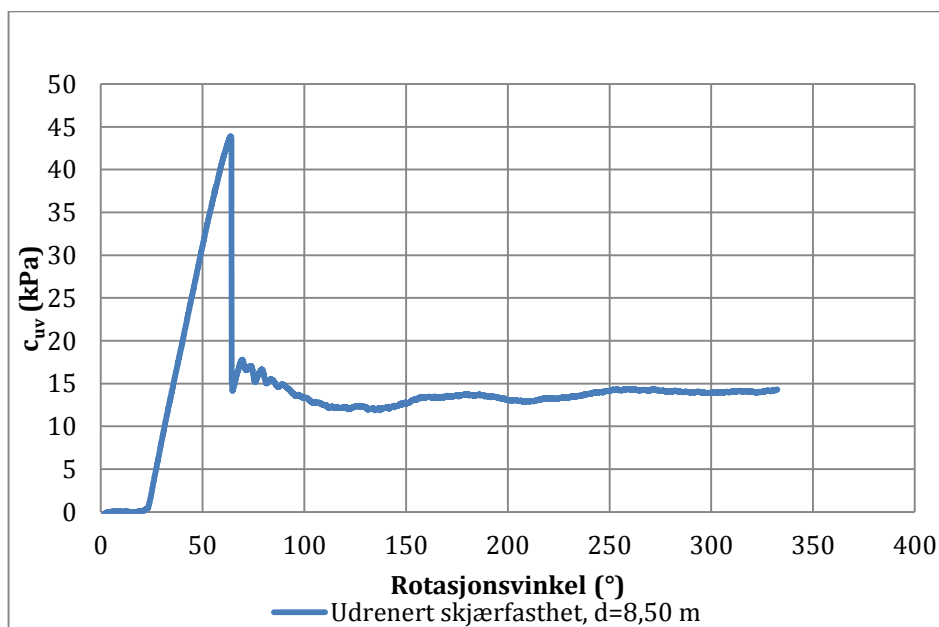
Figur 4.14: Omrørt skjærfasthet  $c_{rv}$ . Sammenligning mellom verdier fra elektrisk vingebor og omrørt konusforsøk i laboratoriet.



Figur 4.15: Arbeidskurve for ulike leirer bestemt ved elektrisk vingeborforsøk (Thakur m.fl.(2013)).

Tilfelle (a) viser en leire som raskt mister sin fasthet, noe som krever lite tilført arbeid for at leiren skal bli omrørt. Tilfelle (c) viser derimot et materiale som krever betydelig mer arbeid. Materiale (a) vil ha størst potensiale for en retrogressiv bruddmekanisme og en omfattende skredutvikling. En slik tolkning av arbeidskurven gir informasjon utover den uforstyrrede og omrørte skjærfasthet, og kan være verdifull informasjon i forbindelse med vurdering av aktuelle skredmekanismer.

Figur 4.16 viser arbeidskurven fra et vingeborforsøk på 8,50 m dybde fra Klett forsøksfelt. Her er vingen rotert nesten en full omdreining (330°) for å få en god bestemmelse av etterbruddsforløpet for materialet. Det bemerkes her at rotasjonsvinkelen bør økes utover de foreskrevne 90° i prosedyren hvis resultatene skal benyttes i energibetraktninger.



Figur 4.16: Klett forsøksfelt. Arbeidskurve fra vingeborforsøk,  $d = 8,50$  m.

#### 4.9. Rutineundersøkelser i laboratoriet

Selv om det er gjort fremskritt i påvisning av mulig sprøbruddmateriale i ulike typer feltundersøkelser, er fremdeles den sikreste metoden for påvisning å utføre rutineundersøkelser på opptatte prøver. I dette prosjektet ble det derfor tatt opp prøver på ulike nivåer for å bekrefte kvikkleirestatus, spesielt i deler av profilet der indikasjonene fra feltundersøkelsene var noe usikre.

Vanninnhold  $w$ : Gir ingen direkte informasjon om kvikkleirestatus, men i kvikkleirer er ofte det naturlige vanninnholdet høyere enn flytegrensen. Sammenhengen mellom resistivitet og vanninnhold kan være interessant og må undersøkes.

Densitet  $\rho$ : Gir ingen direkte informasjon om kvikkleirestatus. Sammenhengen mellom resistivitet og densitet kan være interessant og må undersøkes.

Udrenert skjærfasthet  $c_u$ : Gir ingen direkte informasjon om kvikkleire, men udrenert skjærfasthet er lavere for kvikkleirene under ellers like betingelser. Sammenhengen mellom udrenert skjærfasthet og resistivitet kan være interessant og må undersøkes.

Omrørt skjærfasthet  $c_r$ : Definisjon av kvikkleire er basert på verdien av omrørt skjærfasthet ( $c_r < 0,5$  kPa), og bestemmelse av denne størrelsen fra konusforsøk på omrørt materiale blir benyttet som verifikasjon av kvikkleire.

Sensitivitet  $S_t$ : Sensitiviteten for kvikkleire er som regel høy på grunn av svært lav  $c_r$ . Sensitiviteten ( $S_t = c_u/c_r$ ) er likevel ikke en entydig og sikker størrelse for bestemmelse av kvikkleire ettersom prøveforstyrrelse kan påvirke den udrenerte skjærfastheten  $c_u$  betydelig. Det er derfor ikke anbefalt å etablere korrelasjoner basert på sensitiviteten. Den omrørte skjærfastheten  $c_r$  bør normalt foretrekkes.

Flytegrense  $w_l$ : Flytegrensen for kvikkleirer er ofte betydelig redusert, slik at den er lavere enn det naturlige vanninnholdet (flyteindeks  $I_f > 1$ ). Verdien i seg selv er imidlertid ingen indikator, og flytegrensen må derfor alltid sammenlignes med det naturlige vanninnholdet for å kunne vurdere forholdene. Andre forhold enn saltutvasking kan imidlertid også påvirke flytegrensen, for eksempel høyt siltinnhold eller høyt organisk innhold.

Plastisitetsgrense  $w_p$ : Leirens plastisitetsgrense gir ingen direkte informasjon om kvikkleirestatus, utover at den er vanskelig og tidkrevende å bestemme i kvikkleirer.

Plastisitet  $I_p$ : Plastisiteten er ofte svært lav (5-10 %) i kvikkleirer på grunn av lave verdier for flytegrensen. Utover det gir ikke plastisiteten noen direkte informasjon om kvikkleirestatus.

Kornfordeling: Leirens kornfordeling (leirinnhold) gir ingen direkte informasjon om kvikkleirestatus. Sammenhengen mellom kornfordeling (leirinnhold) og resistivitet kan være interessant og må undersøkes.

I dette prosjektet ble det gjennomført utvidet rutineundersøkelse på alle opptatte prøver, se borprofiler i tegningene 415559-RIG-TEG-010 til -011 og 415559-RIG-TEG-012 til -013 for henholdsvis Klett og Fallan.

#### 4.10. Saltinnhold og ledningsevne

Det er fra tidligere etablert en klar sammenheng mellom en leires saltinnhold i porevannet og materialets resistivitet, se blant annet state-of-the-art rapport 415559-RIG-RAP-002. Selv om dette bare er en av flere mulige faktorer som påvirker resistiviteten, er det svært viktig å måle saltinnhold eller ledningsevne i en geoteknisk undersøkelse av kvikkleire. Det anbefales derfor at dette må inngå som en del av rutineundersøkelsene for kvikkleirer.

I dette prosjektet ble det gjennomført saltinnholdsbestemmelse ved hjelp av ledningsevne måling og korrelasjon mellom ledningsevne (elektrisk konduktivitet) og en rekke løsninger med kjent saltinnhold utført ved NTNU. Resultater er oppsummert i vedlegg C.

Resultatene viser at saltinnholdet i kvikkleirelagene på Fallan forsøksfelt ligger mellom 0,6 og 0,9 g/l (< 1,0 g/l), mens det for Klett forsøksfelt ligger noe høyere, mellom 1,0 og 4,0 g/l. Vanligvis blir en leire

kvikk når saltinnholdet er lavere enn ca. 5 g/l, noe som rimeligvis passer godt for resultatene fra kvikkleirelagene på Klett og Fallan. Det bemerkes imidlertid at prøven fra 30,45 m på Klett forsøksfelt er tatt fra et ikke-sensitivt lag, men den har likevel et saltinnhold som kunne medføre sensitiv eller kvikk leire.

Det er ikke foretatt noen fullstendig geokjemisk analyse av oppløste ioner i porevannet. Dette vil sannsynligvis være nødvendig for en dypere analyse og bedre forståelse av resistivitet i de aktuelle leirene.

## 5 Videre arbeid – forslag til prioriterte oppgaver

Sammen med de tidligere rapportene 415559-RIG-RAP-001 og 415559-RIG-RAP-002 danner denne rapporten et grunnlag for en sluttrapportering med sammenstillinger og anbefalinger vedrørende detektering av kvikkleire fra ulike felt- og laboratorieundersøkelser. For å oppnå et godt faglig grunnlag for videre arbeid, vil det være hensiktsmessig å organisere det videre arbeid i en arbeidsgruppe med representanter fra brukere av resistivitetmålinger. Dette kan være partnere i NIFS-prosjektet, styrket med sentrale aktører nasjonalt og internasjonalt. Det vil være en styrke for arbeidet at gruppen også har internasjonale representanter med innsikt i og erfaring fra resistivitetmålinger. Det er videre ønskelig å inkludere masterstudenter fra NTNU i det foreslåtte arbeidet.

Prioriterte oppgaver for samarbeidsgruppen foreslås å være:

- Sammenligning mellom resultater fra R-CPTU/ERT og øvrige sonderingsmetoder og laboratiemålinger, inklusive tolket stangfriksjonsmåling i CPTU
- Sammenstilling av målte resistivitetsverdier for kvikkleire/sprøbruddmateriale fra R-CPTU og ERT-målinger
- Korrelasjoner mellom resistivitetsverdier fra R-CPTU og resultater fra rutineundersøkelser og saltinnholdsmålinger. Tilsvarende korrelasjoner for ERT er allerede etablert (Long m.fl. (2013))
- Utvikle nytt identifikasjonsdiagram med basis i R-CPTU målinger, der avledede parametre fra spissmotstand, poretrykk og resistivitet kombineres
- Sammenligning av resultater fra vingeboringer med resultater fra laboratorieforsøk og CPTU, inklusive tolket stangfriksjonsmåling
- Oppsummering, konklusjoner og anbefalinger for ulike metoder, inklusive forbedret strategi for grunnundersøkelser i kvikkleireterreng

For videre arbeid med resistivitetmålinger innenfor NIFS prosjektet er det først og fremst viktig å få oppsummert og systematisert erfaringene som er gjort med R-CPTU og ERT så langt. Videre er det viktig å sammenstille erfaringer med generell tolkning av kvikkleire fra CPTU, inklusive nye tolkningsmetoder, og sammenligne dette med resultater fra resistivitetmålingene. Bruk av R-CPTU vil videre gjøre det mulig å kombinere ordinære CPTU-parametre og resistivitet, slik at identifiseringen av kvikkleire/sprøbruddmateriale kan baseres på ulike fysiske egenskaper for jorden. I dette ligger et potensiale i å utvikle nye identifiseringsdiagrammer som kombinerer prinsippene inn mot en sikrere tolkning av kvikkleire. Kombinasjon av resistivitetmåling og en forbedret tolkning av mobilisert stangfriksjon vil også være en interessant kombinasjon som kan ha stort potensiale og bør bearbeides videre

I det følgende er det gitt en kort status for noen av de mest interessante påvisningsmetodene, samt forslag til videre arbeidsoppgaver frem mot en anbefalingsrapport.

## 5.1 Bruk av tradisjonelle sonderinger

Tradisjonelle sonderingsmetoder som dreietrykk- og totalsondering kan i mange tilfeller være tilstrekkelige for påvisning av kvikkleire. Det er imidlertid vist i en tidligere rapport i dette studiet (415559-RIG-RAP-001) at disse metodene kan gi feilaktige konklusjoner om kvikkleireforekomster, det vil si at kvikkleire ikke kan påvises sikkert fra disse sonderingene alene. Det synes ikke å være nevneverdige forskjeller mellom dreietrykksondering og totalsondering i påvisningspotensiale, selv om det er innbyrdes forskjeller i penetrasjonskraftens størrelse.

Dreiesondering, som tidligere var mye benyttet til formålet, vil også kunne gi rimelig gode påvisninger på grunne dyp, noe avhengig av tørrskorpens tykkelse og mektigheten på kvikkleirelaget. Selv om denne metoden benyttes lite nå vil den være et godt supplement på steder der det er dårlig fremkommelighet for tyngre borerigger, og der nødvendig sonderingsdybde ikke er for stor (10-15 m).

Detekteringspotensialet med konvensjonelle sonderingsmetoder ble i tidligere nevnte rapport vurdert å være avhengig av vanlig forekommende lagbetingelser og grunnforhold i marine leiravsetninger. Det henvises til rapport 415559-RIG-RAP-001 for nærmere beskrivelse av disse.

I den avsluttende del av studiet vil det ikke bli utført nye vurderinger av disse metodene, utover en oppsummering av anbefalt praksis, erfaringer og begrensninger knyttet til kulepunktene som nevnt tidligere.

## 5.2 Bruk av R-CPTU

For å kunne utnytte potensialet av R-CPTU i sin helhet, må det gjennomføres videre studier på noen utvalgte problemstillinger. Det er utvilsomt viktig å forstå bedre hvilke faktorer som påvirker jordens resistivitet, og hvilke effekter disse faktorene kan ha i R-CPTU og ERT resistivetsmålinger. I Norge er det gjennomført en del forskningsoppgaver innen bruk av R-CPTU ved NGI og NTNU, blant annet Ottesen (2009), Rømoen m. fl. (2010), Aasland (2010), Montafia (2013), Long (2013) og Hundal (2014). I tillegg er det utført studier innen resistivetsmåling ved NGU (f.eks. Solberg (2007) og Solberg m.fl. (2008, 2012)). I Sverige er det gjennomført studier innen R-CPTU av bl.a. Dahlin m.fl. (2004), Schälén og Tornborg (2009) og Løfroth m.fl. (2011) (Göta älv utredningen).

Et siktemål i det videre studium er å utvikle tilsvarende sammenstillinger basert på R-CPTU målinger, ettersom slike sammenstillinger vil være basert på lokale målinger med bedre oppløsning, og med direkte relasjon til sammenlignbare boredata i nærliggende borehull. Det forventes at slike sammenstillinger vil ha noe mindre spredning enn de ERT-baserte diagrammene. Generelt må man likevel forvente spredning hvis man prøver å korrelere resistivitet mot kun én egenskap ved jorden. Resistiviteten av jord påvirkes av en rekke egenskaper for jordpartikler og porevann, noe som er kommentert i kap. 5.8.

Det er også etablert sammenstillinger mellom resistivitet og en rekke andre rutinedata, for eksempel vanninnhold, sensitivitet, densitet og plastisitet med noe varierende resultater. Sammenhengen mellom resistivitet og saltinnhold og kommenteres for øvrig nærmere i kap. 5.8.

I det videre arbeid vil det i tillegg også fokuseres på muligheter og begrensninger med metoden i praktisk bruk, og hvordan resultater fra resistivetsmålinger med R-CPTU best kan sammenstilles og tolkes sammen med øvrige felt- og laboratoriedata.

## 5.3 Bruk av resistivetsmålinger på overflaten (ERT)

Bruk av 2D resistivetsmålinger (ERT) for detektering av kvikkleire er i hovedsak aktuelt for undersøkelser av store områder eller korridorer i terrenget, der kartleggingen for eksempel kan påvise lag med salte eller utvaskede marine sedimenter med relativt god sikkerhet. I tillegg kan metoden benyttes til å påvise barrierer av ikke-sensitivt materiale i grunnen, for eksempel oppstikkende

berghorisoner, mektige sand og gruslag eller kontinuerlige lag av ikke-sensitiv leire. Denne informasjonen vil være svært verdifull for å kunne bedømme utstrekningen av progressive/retrogressive kvikkleireskred, samt kunne gi mer realistiske anslag av maksimalt volum av omrørte skredmasser fra et eventuelt kvikkleireskred.

I det videre arbeid vil det i tillegg også fokuseres på muligheter og begrensninger med metoden i praktisk bruk, og hvordan resultater fra resistivitetsmålinger med ERT best kan sammenstilles og tolkes sammen med øvrige felt- og laboratoriedata.

#### 5.4 Sammenligning mellom R-CPTU- og ERT-resultater

Det er noe usikkert om målt resistivitet med 2D overflatemåling gir samsvarende verdier målt med R-CPTU i et gitt nivå. Målemetodene er forskjellige og det er derfor forventet noe avvik mellom størrelsesordenen på verdier målt med de to metodene. R-CPTU gir en lokal måling i motsetning til den overflatebaserte kartleggingen hvor målingene involverer et større jordvolum. Samtidig er samsvar mellom metodene viktig for et felles tolkningsgrunnlag og eventuell kombinert bruk av resultater fra R-CPTU og ERT-målinger.

Selv om både R-CPTU- og ERT-metodene påviser variasjon i den elektriske ledningsevnen i jorden påvirkes oppnådde resultater av en rekke metodespesifikke forhold, som kommentert nedenfor:

- Omfanget av det elektriske feltet som produseres av en R-CPTU sonde er ekstremt lite (2,5 \* sondediameteren) sammenlignet med det som forårsakes av ERT-elektrodene, selv når avstanden mellom elektrodene i ERT reduseres til et minimum. Den mest direkte konsekvensen av feltets størrelse er at man må lage en kunstig grunnmodell for å kunne beregne den reelle resistiviteten med ERT. Verdiene man får ut av inversjonen er dermed et resultat av de beregningsbetingelsene som anvendes.
- Oppløsningen som kan oppnås med ERT er vesentlig dårligere enn den som oppnås med R-CPTU, spesielt på større måledybder. Skarpe kontraster er for eksempel umulig å fremstille realistisk i en ERT-tolkning, og må alltid forstås som gradvise endringer.
- Det er store forskjeller i strømpåføring mellom de to metodene og man kan ikke utelukke at disse forskjellene påvirker resultatene. Det er også observert at R-CPTU målinger ofte gir litt lavere resistivitet enn ERT når de kan sammenlignes direkte, noe som kan forklares med forstyrrelse av jorden rundt resistivitetsmodulen i R-CPTU.
- Det elektriske feltet som påføres jorden fra et elektrodeutlegg på overflaten har form av en halvkule. Det vil i praksis si at ERT-målingene også er følsomme for horisontale variasjoner i jordens egenskaper normalt på profilretningen (3D-effekter). Store avvik mellom tverr- og lengdeprofiler tyder på vesentlige horisontale variasjoner loddrett på profilretningen, noe som ofte kan kontrolleres ved å presentere resultater fra lengde- og tverrprofiler i et såkalt «fence»-diagram.
- Elektrisitet strømmer mot minste motstand, og hvis laget med minst motstand ligger øverst kan responsen fra det nedre laget bli dempet. Også når topplaget har veldig høy resistivitet kan de underliggende lagene være skjult i målingene. Når avviket mellom ERT og R-CPTU øker, er det derfor som regel på grunn av foreliggende jordartsstrukturer i grunnen som ikke ligger direkte under elektrodekablene. Hvis grunnen er lite lagdelt, men med lag som er karakterisert av veldig forskjellige verdier, vil denne forskjellen likevel kunne føre til avvik mellom verdiene målt ved de to metodene. Det er mulig å begrense disse effektene ved bruk av forskjellige elektrodekonfigurasjoner som er spesielt godt egnet til formålet.



Forutsatt at R-CPTU målinger er riktige, kan de under gode forhold benyttes ved invertering av 2D målingene slik at en oppnår en bedre oppløsning i og styring av profilet i enkeltpunkt. Med disse betingelser kan ERT profiler få en mer detaljert oppløsning, særlig i overgangsområder mellom to lag med svært forskjellig ledningsevne og ved større dyp. Her reduseres omfanget av overgangsområdet, og grensen mellom ulike lag kan komme tydeligere frem.

I det videre studiet foreslås å sammenstille resistivitet fra målinger med ERT og R-CPTU på de utvalgte forsøksfeltene og sammenligne resultatene med tidligere kunnskap. Det er viktig å identifisere situasjoner der ERT- og R-CPTU resultatene samsvarer bra og i hvilke tilfeller det forekommer avvik.

## 5.5 Bruk av CPTU i detektering av sprøbruddmateriale – ny utvikling

Erfaringene med påvisning av kvikkleire direkte fra CPTU-målinger har som beskrevet i tidligere kapitler vært varierende, og det foreligger ikke i dag noen entydig, tilstrekkelig dokumentert metode for påvisning av kvikkleire fra CPTU-målingene  $q$  (spissmotstand),  $u$  (poretrykk) og  $f_s$  (sidefriksjon), eller de avledede relasjonene  $N_m$  (spissmotstandstall),  $B_q$  (poretrykksforhold) og friksjonsforhold ( $R_f$ ). Dette skyldes i hovedsak at parametrene i tilstrekkelig grad tar hensyn til forhold ved kvikkleirens oppførsel som påvirker målingene, blant annet sensitivitet, nødvendig omrøringsenergi og prekonsolideringsforhold. Det foreslås derfor å se på alternative måter å benytte CPTU-målingene på som mer entydig kan benyttes til påvisning av kvikkleire:

- ✓ Bruk av totalkraftmåling og stangfriksjon
- ✓ Bruk av revidert spissmotstandstall  $N_{mc}$
- ✓ Bruk av revidert poretrykksforhold  $B_{qc}$
- ✓ Bruk av forhold mellom stangfriksjon og sidefriksjon på sonde

Forslag til konkrete oppgaver innenfor disse fire forslagene er kommentert i kapitlene som følger.

### 5.5.1 Bruk av totalkraftmåling og stangfriksjon

Ved penetrasjon av CPTU-sonden vil sidefriksjonen sjelden representere et fullstendig omrørt materiale, noe som gjør det vanskelig å vurdere kvikkleirestatus fra målt sidefriksjon. Derimot vil friksjonen langs stangsystemet representere en omrørt friksjon etter hvert som stengene presses lenger ned i grunnen.

Det eksisterer pr. i dag få norske forsøksfelt der total nedpressingskraft ved utførelse av CPTU har blitt registrert. Foruten data fra forsøksfeltene i NIFS-studiet, Klett og Fallan (Multiconsult), er det så langt registrert totalkraft under nedpressing ved Esp, Nidarvoll (Rambøll) og Ranheim Vestre (Multiconsult). Hundal (2014) hadde i sin masteroppgave tilgang til de tre siste forsøksstedene og konkluderer med at metoden synes å gi noe konservativ påvisning av kvikkleireforekomstene, men at datamengden er for liten til å fastslå metodens reelle potensiale. Resultatene fra Klett og Fallan tilsier også at kvikkleire kan påvises, men at metoden tilsynelatende overvurderer forekomstene i forhold til reell mengde. Det er likevel verdifullt at kvikkleire kan påvises i profiler der dette materialet forekommer, selv om mengden synes å være overvurdert.

Hundal (2014) foreslår i sin masteroppgave også å etablere et forholdstall mellom den akkumulerte sidefriksjonen på friksjonshylsen og den totale stangfriksjonen langs stengene. Dette forholdstallet kan indikere omrøringsgraden av materialet mot friksjonshylsen og hvor mye energi som kreves for å røre om materialet fullstendig. Hundal foreslår å etablere dette forholdet fra følgende uttrykk:

$$k_{omr} = P_{scalC}/P_s \quad (5.1)$$

der:

$P_s$  = stangfriksjon beregnet fra målt totalkraft

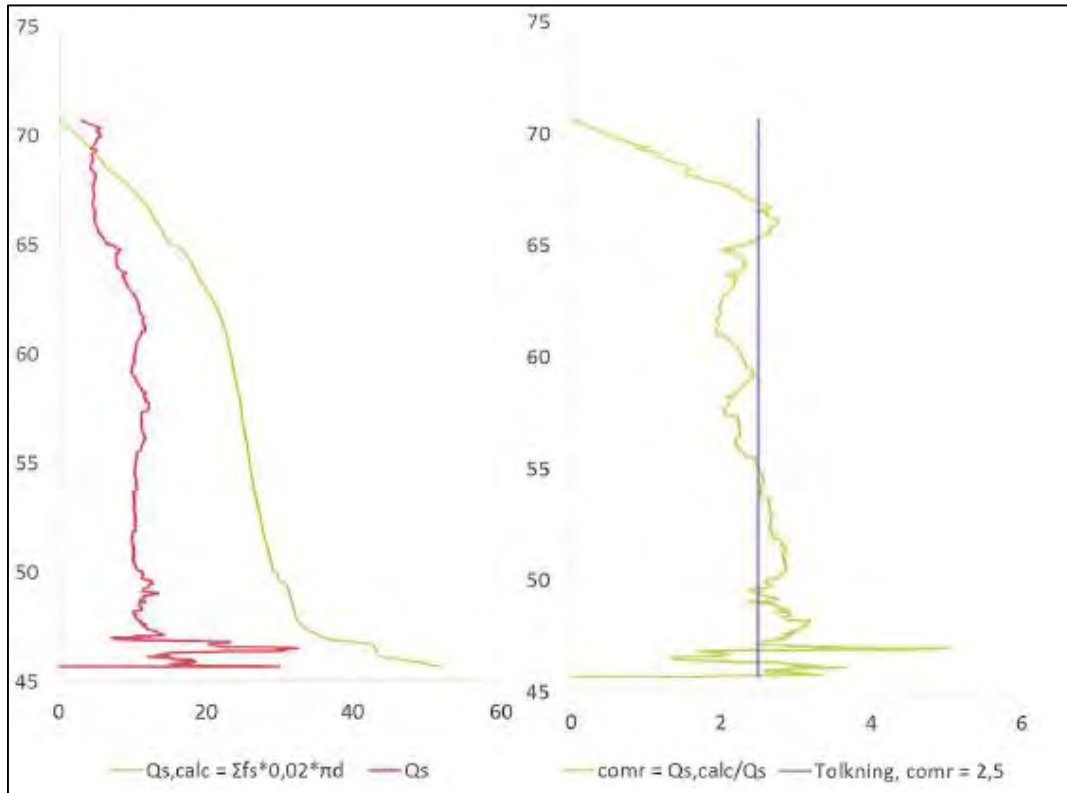
$P_{scalC} = \sum f_s * \Delta z * \pi * d$  = beregnet stangfriksjon for valgt sidefriksjon

$\Delta z$  = dybdeøkning mellom hver måling

$d$  = stangdiameter

I figur 5.1 venstre er den akkumulerte kraften fra friksjonshylsen (grønn kurve) vist sammen med den totale stangfriksjonen (rød kurve). Den grønne kurven i figuren til høyre er forholdstallet mellom de to kurvene i venstre del, altså omrøringsfaktoren  $k_{omr}$ . I dette tilfellet er verdien ca. 2,5, og faktoren synes etter hvert å være konstant. Dette kan imidlertid variere med de stedlige forholdene. Hundal (2014) fant at dette forholdet ikke kunne relateres direkte til kvikkleirepåvisning i hans datasett, men foreslår at det gjøres mer omfattende vurderinger basert på en større datamengde og i ulike typer (kvikk)leire. Dette kan derfor være en oppgave å arbeide videre med i den foreslåtte videreføringen. Omrøringsforholdet kan uansett være av interesse å vurdere med hensyn på hvor lett materialet lar seg omrøre ved første gangs penetrasjon av CPTU-sonden.

Ettersom det ikke er noe ekstraarbeid å registrere total nedpressingskraft ved utførelse av CPTU, bør dette gjøres rutinemessig slik at data- og erfaringsmengden økes. Det bør derfor være et siktemål i fortsettelsen av studiet å bearbeide en større datamengde for å vurdere metodens muligheter og begrensninger, og at involverte fagmiljøer i NIFS-prosjektet bidrar til dette.



Figur 5.1 Tolkning av omrøringsgrad  $k_{omr}$ . Resultater fra Nidarvoll, Trondheim (Hundal (2014)).

### 5.5.2 Bruk av revidert spissmotstandstall $N_m$

Som nevnt i kap. 4.2 synes spissmotstandstallet  $N_m$  å være en effektiv indikator på kvikkleire, bedømt ut i fra helningen på  $N_m$ -kurven mot dybde. Dog synes parameteren å overvurdere forekomsten av kvikkleire i et profil noe.

Spissmotstandstallet  $N_m$  er definert som:

$$N_m = q_n / (\sigma_{vo}' + a) \quad (5.2)$$

der:

$\sigma_{vo}'$  = effektivt overlagingstrykk (dagens)

$a$  = attraksjon (avtagende effekt med dybden, betyr lite for  $z > 5$  m)

Her er tradisjonelt det nåværende effektive overlagingstrykket benyttet som referansespenning. Etter vårt syn vil det være riktigere og mer representativt å benytte prekonsolideringsspenningen  $\sigma_c'$  som referanse i forhold til materialets reelle oppførsel, slik at:

$$N_{mc} = q_n / (\sigma_c' + a) \quad (5.3)$$

der:

$\sigma_c'$  = prekonsolideringsspenning = OCR \*  $\sigma_{vo}'$

Prekonsolideringsspenningen varierer som regel forskjellig fra  $\sigma_{vo}'$ , og vil kunne gi et riktigere bilde av materialets egenskaper og således  $N_m$ -variasjonen med dybden, forutsatt at man har tilstrekkelige og pålitelige verdier for  $\sigma_c'$  slik at et  $\sigma_c' - z$  profil kan etableres. Denne størrelsen kan også inngå i et forbedret identifikasjonsdiagram for (R)-CPTU, sammen med revidert poretrykksforhold  $B_{qc}$  og  $\rho$ , se kap. 6.6.

Et nærmere studium av  $N_{mc}$  til bruk ved kvikkleireklassifisering bør være en prioritert oppgave i et videre studium på grunn av metodens åpenbare potensiale.

### 5.5.3 Bruk av revidert poretrykksforhold $B_{qc}$

Poretrykksforholdet  $B_q = \Delta u_2 / q_n$  er en effektiv indikator på kvikkleire i normalkonsoliderte leirer, der dilanseeffekten i jorden bak sondens koniske del er beskjedent og poretrykksresponsen i kompresjonssonen under den koniske spissen ( $u_1$ ) er omtrent som den målte i referanseposisjon bak spissen ( $u_2$ ). Ved penetrasjon i kvikkleirer er da ofte  $B_q \geq 1,0$  på grunn av kvikkleirenes kontraktante bruddoppførsel med store poreovertrykk.

I overkonsoliderte leirer er dette bildet annerledes, og prøvens dilanseeenskaper ved høye skjærtøyninger bidrar i større grad til den totale, målte poretrykksresponsen. Dette fører til at målte poretrykk bak spissen blir noe lavere enn de poretrykk som utvikler seg i bruddsonen under spissen ( $u_1$ ), der dilanseeffekten er mindre på grunn av lavere skjærspenningsbidrag til poretrykkene her. For overkonsoliderte kvikkleirer kan derfor  $B_q$ -verdiene ligge betydelig lavere enn 1,0, og det vil være vanskelig å etablere et entydig kriterium for påvist kvikkleire ut i fra  $B_q$  alene.

Rent praktisk ville det være fordelaktig å benytte en sonde med poretrykksmåling både i  $u_1$ - og  $u_2$ -posisjonen, men slike sonder er ikke vanlig benyttet i Norge, selv om de finnes kommersielt

tilgjengelige internasjonalt. Det må derfor utvikles alternative strategier for alternativ bestemmelse av de målinger som utføres i dag.

Ettersom  $B_q$  i noen grad påvirkes av prekonsolideringsforhold og materialets dilatanssegenskaper, vil det være naturlig å utnytte dette i en alternativ bestemmelse av et revidert poretrykksforhold  $B_{qc}$ . Dette kan for eksempel gjøres på følgende måter:

$$1. \quad B_{qc} = (u_2 - u_o) / (q_{nc}) = \Delta u_2 / (q_t - \sigma'_c) > B_q = \Delta u_2 / (q_t - \sigma_{vo}') \quad (5.4)$$

$$2. \quad B_{qc} = (u_1 - u_o) / (q_n) = (k_{oc-leire} * u_2 - u_o) / q_n \quad (5.5)$$

der:  $k$  = erfaringsbasert konstant som angir forholdet mellom poretrykket målt på ulike steder langs sonden ( $k_{oc-leire} = 1,25-1,9$  avhengig av overkonsolideringsgrad) (se for eksempel Sandven (1990)).

$$3. \quad B_{qc} = (u_1 - u_o) / (q_{nc}) = (u_2 - u_o) * OCR^m = \Delta u_2 * OCR^m \quad (5.6)$$

der:  $OCR$  = overkonsolideringsforhold og  $m$  = eksponent i verdiområdet 0,1-0,3. Uttrykkene kan også kombineres, for eksempel ved:

$$4. \quad B_{qc} = (u_1 - u_o) / (q_{nc}) = (k_{oc-leire} * u_2 - u_o) / (q_t - \sigma'_c) = (k_{oc-leire} * u_2 - u_o) / q_n \quad (5.7)$$

I fortsettelsen av dette studiet bør effekten av denne revisjonen på eksisterende og nye forsøksdata testes ut. Potensialet i å lykkes med denne fremgangsmåten anses å være stor ved bruk av ett eller flere av de foreslåtte uttrykkene. Dette vil også kunne bidra til et bedre grunnlag for identifikasjon av kvikkleire fra nye identifikasjonsdiagrammer, sammen med revidert spissmotstandstall  $N_{mc}$  og målt resistivitet fra R-CPTU.

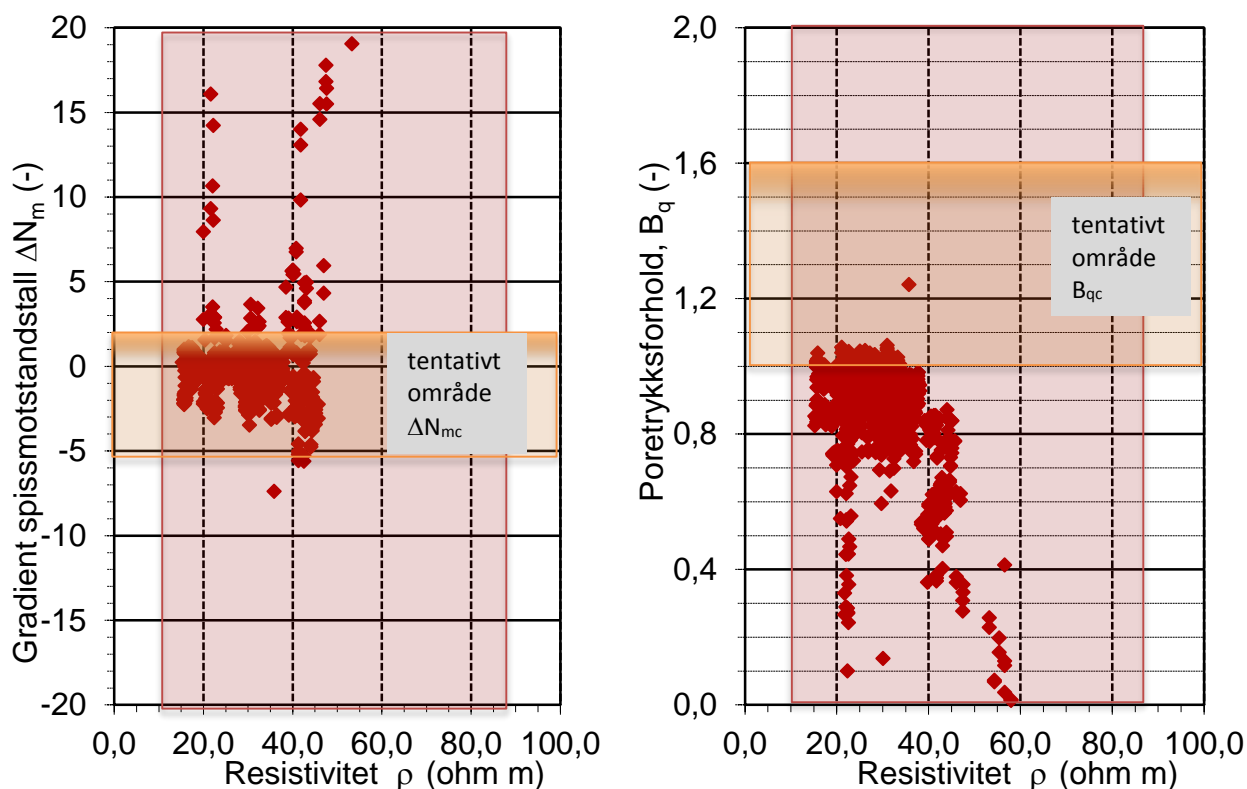
## 5.6 Kombinert bruk av resultater fra CPTU og R-CPTU – nytt identifikasjonsdiagram

Erfaring med bruk av eksisterende identifikasjonsdiagrammer for CPTU (f.eks. Robertson (1990)) har vist at de ikke er særlig treffsikre og bare unntaksvis gir riktig klassifisering av norsk kvikkleire/sprøbruddmateriale. Det er derfor behov for å se nærmere på alternative diagrammer basert på erfaringer i norske kvikkleirer, der flere ulike fysiske egenskaper med jorden kombineres. Figur 6.2 viser forslag til alternative identifikasjonsdiagrammer det det foreslås å benytte:

1. Kombinasjon av revidert spissmotstandstall  $\Delta N_{mc}$  (stigningsforhold for  $N_{mc}$ -kurve) og resistivitet  $\rho$ , der  $N_{mc}$  er gitt av ligning 5.3
2. Kombinasjon av revidert poretrykksforhold  $B_{qc}$  og resistivitet  $\rho$ , der  $B_{qc}$  er gitt av ett av uttrykkene 5.4 – 5.7.
3. Kombinasjon av alle parametrene  $\Delta N_{mc}$ ,  $B_{qc}$  og  $\rho$  i et trekket identifikasjonsdiagram

Dette gir en kombinasjon av ulike fysiske størrelser som mekanisk stivhet (spissmotstandsforhold), hydrauliske egenskaper (poretrykksforhold) og resistivitet som samlet burde gi klarere indikasjon av kvikkleire enn dagens metoder.

Figur 5.2 viser et eksempel på klassifisering basert på de eksisterende definisjoner av  $N_m$  ( $\Delta N_m$ ) og  $B_q$ . I et revidert diagram vurderes det å benytte stigningsforholdet for  $N_{mc}$ -kurven ( $\Delta N_{mc}$ ), da  $N_m$ -kurvene ser ut til å være den mest robuste indikatoren for kvikkleire. Kurvene synes alltid å ha negativ eller vertikal helning i partier med kvikkleire, slik at  $\Delta N_{m(c)}$ -verdiene blir liggende rundt 0 med tyngdepunkt på negativ side. Det forventes at bruk av  $\Delta N_{mc}$  i stedet for  $N_m$  vil forsterke denne tendensen.



Figur 5.2 Forslag til nye identifikasjonsdiagrammer for kvikkleirepåvisning basert på reviderte parametre  $N_{mc}$ ,  $B_{qc}$  og  $\rho$  fra R-CPTU på Fallan forsøksfelt. (NB! Figuren viser verdier basert på  $N_m$  og  $B_q$ ).

For poretrykksforholdet foreslås det å benytte et korrigert poretrykksforhold  $B_{qc}$  (se ligningene 5.4-5.7), som forventes å gi  $B_{qc}$ -verdier  $>1$  for overkonsoliderte kvikkleirer, analogt dagens erfaringer med NC-leire og  $B_q$  ( $B_q > 1$ ).

Med dette som utgangspunkt forventes punktmengden for  $\Delta N_{mc}$  og  $B_{qc}$  for kvikkleirer å ligge innenfor de tentative, oransje feltene i figur 5.2. I det videre studiet bør disse konseptene testes ut på de utvalgte forsøksdata som nå er samlet.

## 5.7 Elektrisk vingeboring – anbefalte prosedyrer

I forhold til kartlegging av kvikkleireforekomster har vingebormåling et utvilsomt potensiale for bruk til dette formålet. Metoden kan i denne sammenhengen blant annet benyttes til:

1. Bestemmelse av omrørt skjærfasthet in situ, noe som muliggjør in situ klassifisering av kvikkleire med  $c_{rv} < 0,5$  kPa, forutsatt at den omrørte skjærfastheten lar seg måle riktig med vingeboret. Dette vil være en viktig mulighet ved bruk av vingebor i kvikkleirekartlegging.
2. Bestemmelse av udrenert skjærfasthet  $c_{uv}$  og in situ sensitivitet  $S_{tv} = c_{uv}/c_{rv}$ . Det har pågått en diskusjon vedrørende hvilken verdi for den udrenerte skjærfastheten som bestemmes ved vingeboret. Det er også nødvendig å korrigere målt verdi med hensyn på plastisitet  $I_p$  og effektivt overlageringstrykk  $\sigma_{vo}'$ . Usikkerheten ved bruk av målte data i praktisk parameterbestemmelse er derfor betydelig.
3. En ny og forholdsvis utforsket anvendelse er bruk av arbeidskurven (torsjonsmoment – rotasjonsvinkel) til bestemmelse av nødvendig omrøringsenergi for leire, noe som kan anvendes til energibetraktninger knyttet til mulighet for retrogressiv/progressiv bruddutvikling.

Elektrisk vingebor muliggjør måling av friksjon i stangsystemet. Denne verdien kan tas hensyn til ved tolkning av både den uforstyrrede og omrørte skjærfastheten  $c_{rv}$ , der spesielt bestemmelse av  $c_{rv}$  er

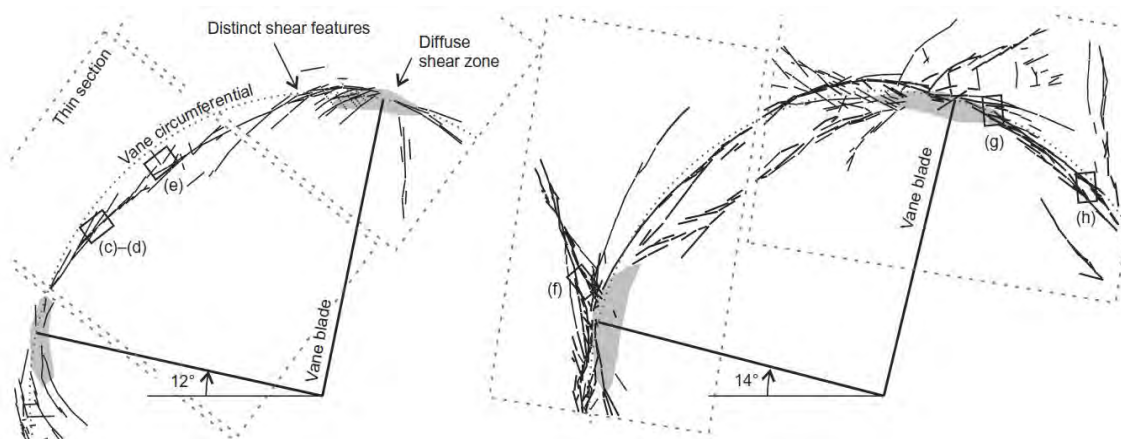
viktig for kvikkleirebestemmelsen. Det skal svært liten friksjonseffekt til før omrørt skjærfasthet overstiger 0,5 kPa (kvikkleiredefinisjonen), og dette var tidligere en betydelig feilkilde ved bestemmelse av omrørt skjærfasthet med manuelt utstyr. Kvikkleirer har ofte en omrørt skjærfasthet i området 0,1-0,2 kPa. For et manuelt vingebor med dimensjonene 55 mm x 110 mm tilsvarer dette et torsjonsmoment < 0,1 Nm. Dette er verdier i samme område som den interne friksjonen i utstyret, og kan dermed sies å være under måleoppløsningen til vingeboet. Dette fører igjen til usikkerheter med hensyn på tolkning av slike lave verdier, og gir vanligvis en generell overestimering av omrørt skjærfasthet fra manuelt vingebor sammenlignet med konusforsøk utført i laboratoriet. Det anbefales generelt å benytte elektrisk vingebor med gyldig kalibreringssertifikat ved bruk av vingebor til in situ kvikkleirebestemmelse, men det kreves fremdeles mer dokumentasjon av denne muligheten også med denne metoden. Det forventes også at utstyr med registrering av torsjonsmoment og vingerotasjon nede på målnivå vil være mer nøyaktig enn utstyr med registrering på overflaten.

Vingeboet er også følsomt for heterogeniteter i jorda. Hvis deler av vingen (side, topp/bunn) er påvirket av et sterkere/svakere lag eller en stein vil det innvirke på målingene i stor grad. Det anbefales derfor å kjøre flere serier med vingeborforsøk for å minimere denne usikkerheten. Ved større dybder og store skjærfasthetsverdier kan man få betydelige deformasjoner i instrument og stenger. For å oppnå brudd innenfor det ønskede tidsrom kan det være nødvendig å benytte en større rotasjonshastighet under første del av forsøket. Forsøk viser også at den målte skjærfastheten øker med tiden etter at vingen er presset ned i leira (Flaate 1966).

Ved påfallende høye skjærfasthetsverdier bør det kontrolleres om det er samsvar mellom benyttet vingestørrelse og kalibreringsformelen. Denne forutsetter lineær mobilisering av skjærspenningene fra 0 ved innerstangen til full omrørt skjærfasthet i periferien langs den omskrevne sylinder. Forskning utført ved NTNU (Gylland m.fl. 2013) viser at det mobiliseres en forholdsvis tynn sone der materialet er i brudd ved rotasjon av vingeboet, se figur 5.3.

Det må også vurderes om lave verdier på uforstyrret skjærfasthet kan skyldes at leiren foran vingen blir omrørt på grunn av stein, skjell eller liknende som presses ned foran vingen. Lave verdier kan også skyldes at stengene ikke har vært godt nok sammenskrudt før torsjonsbelastningen.

Det er for tiden fornyet interesse for bruk av elektrisk vingebor i geoteknikkbransjen, spesielt innen kvikkleirevurderinger. Det må imidlertid dokumenteres at bruk av metoden gir pålitelige resultater, og at oppnådde data forstås og brukes riktig. Det bør derfor samles mer erfaring med bruk av metoden, både med hensyn på utstyrvalg, prinsipp for måling av torsjonsmoment (på overflaten eller nær ving), eventuell dybdeavhengighet og forbedret prosedyre for utførelse.



Figur 5.3 Resultater fra mikrostudier av partikkelorientering og mobiliserte skjærsoner langs omrørt sone rundt et vingebo (Gylland m.fl. (2013)).



Det anbefales at det videre studiet i NIFS rettes inn mot dette, blant annet ved å sammenligne data oppnådd i feltprosjektet med tilsvarende studier utført av NTNU, Statens vegvesen, NGI og andre aktører som besitter og bruker utstyret. Arbeidet bør resultere i anbefalte prosedyrer for utførelse og tolkning av resultater fra elektrisk vingebor, basert på beskrivelsene over.

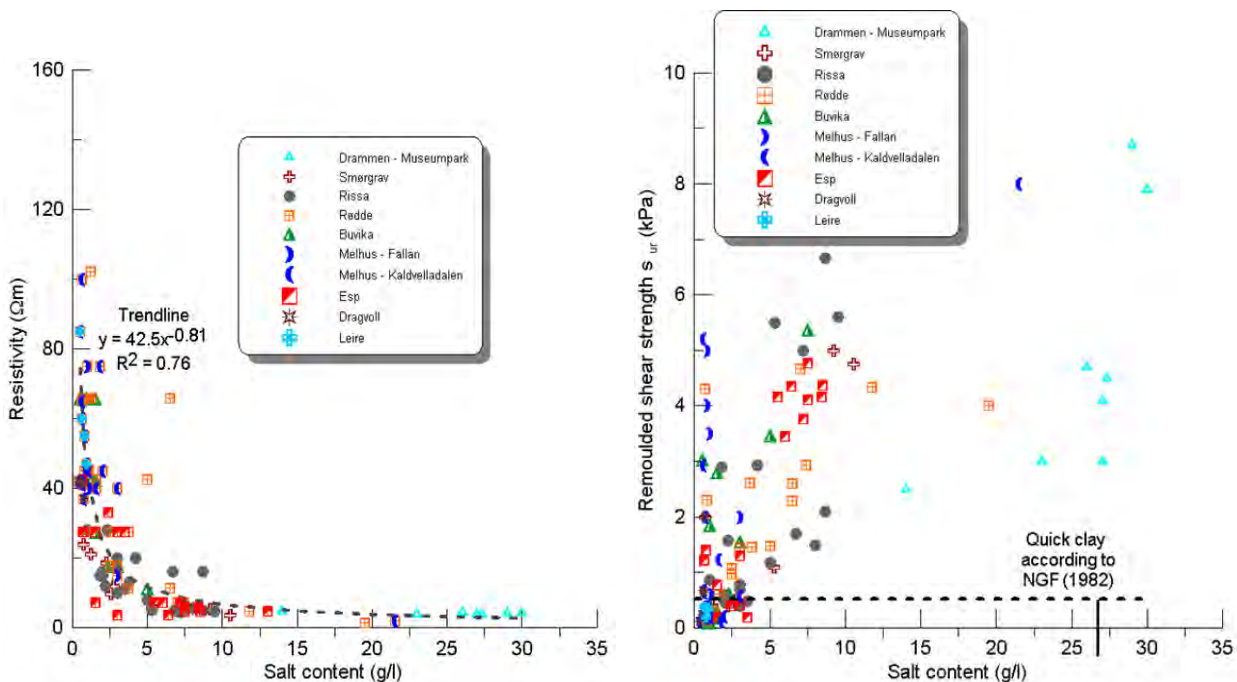
## 5.8 Anbefalte laboratorieundersøkelser

Selv om in situ testing og måling er attraktivt og rasjonelt og man behersker flere detekteringsmetoder enn før, er det fremdeles nødvendig å ta opp prøver og kjøre forsøk i laboratoriet. Laboratorieforsøk gjør det mulig å kontrollere forutsetningene for testing, samtidig som man får observert og analysert materialet og dets sammensetning. Både på kort og lang sikt vil derfor laboratoriebestemmelse med konus på uforstyrret og omrørt materiale være den sikreste bestemmelsen av kvikkleire, men dette krever forholdsvis dyr og omfattende prøvetaking i et vanskelig materiale.

Samtidig gir opptatte prøver muligheter for å skille porevann fra mineralkorn for ulike kjemiske undersøkelser, noe som blant annet kan benyttes til å forstå materialets målte resistivitet. Selv om denne metodikken kanskje ikke beherskes fullt ut ennå, bør det utvikles metoder som raskt og rasjonelt kan gi svar på de viktigste kjemiske bestanddeler i prøvematerialet.

### Saltinnhold

Porevannets saltinnhold blir ofte trukket frem som den faktoren som har størst innvirkning på resistiviteten. I dag er det generelt akseptert at porevann med saltkonsentrasjon mindre enn ca. 5 g/l er en nødvendig forutsetning for at utvasket marin leire skal omdannes til kvikkleire. Likevel finnes det eksempler på marin leire med veldig lavt saltinnhold som ikke viser kvikk oppførsel, sannsynligvis på grunn av forvitningsprosesser og forhøyet innhold av spesielle ioner som for eksempel magnesium- eller karbonationer ( $\text{CO}_3$ ). Det finnes også eksempler på leire med saltinnhold høyere enn 5 g/l som viser seg å være kvikke.



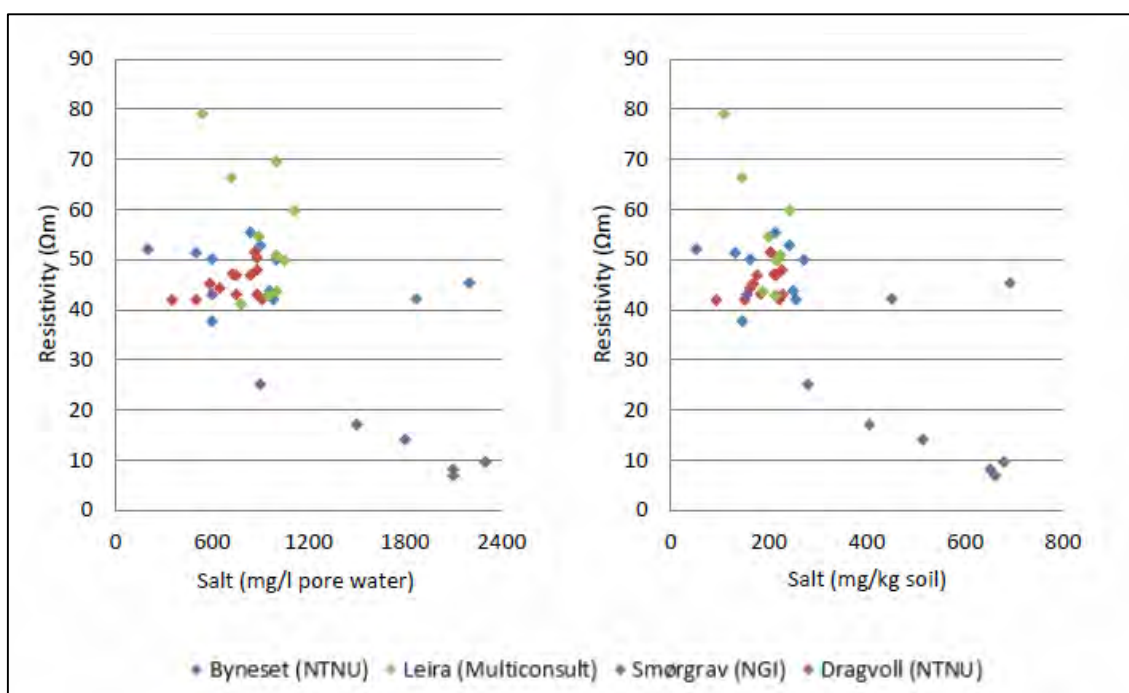
Figur 5.4: Forhold mellom saltinnhold og ERT-resistivitet samt saltinnhold og omrørt skjærfasthet  $c_r$  i utvalgte norske leirer (Long (2013)).

Det antas også at saltinnhold under en viss grense ikke lenger er den viktigste parameter som styrer resistiviteten i leire. Resultater presentert av Montafia (2013) antyder at resistiviteten avtar jevnt for

saltinnhold over ca. 1 g/l, mens det for lavere saltinnhold tilsynelatende ikke synes å være noen sammenheng mellom saltinnhold og resistivitet, som vist i figur 5.5.

Resultater fra utførte geokjemiske analyser viser at utvaskede leirer som ikke var kvikke/sensitive, hadde et forhøyet magnesium- og karbonatinnhold ( $\text{CO}_3$ ) som sannsynligvis har blitt utvekslet fra leirmineralenes overflate gjennom forvitring (se for eksempel Løfroth et al 2011). Dette viser at partiklenes mineralogi også er viktig i det totale bildet.

Saltinnhold i porevannet kan måles med forskjellige metoder. Kjemiske laboratorieanalyser kan både identifisere hvilke elektrolytter som finnes oppløst i porevannet og kvantifisere disse. Andre laboratorier som er utstyrt for å måle vannets ledningsevne beregner saltinnholdet direkte fra ledningsevne målingene. Begge metoder har både fordeler og ulemper. Kjemisk analyse av porevannet er en kostbar og tidskrevende metode, men gir en komplett oversikt over hvilke salter som er oppløst. Ledningsevne målinger er vesentlig billigere og raskere, men saltinnholdet må da beregnes ut ifra korrelasjoner. Porevannets ledningsevne kan også oppnås fra korrelasjoner basert på saltanalyser. Den siste metoden er åpenbart mer utsatt for feilkilder idet forskjellige elektrolytter gir forskjellige bidrag til porevannets ledningsevne, mens tabeller og korrelasjoner vanligvis er utarbeidet fra kunstige løsninger (f.eks. NaCl i vann) eller sjøvann. Dessuten er vannets ledningsevne avhengig av temperaturen i løsningen.



Figur 5.5: Sammenheng mellom saltinnhold og resistivitet (Montafia (2013)).

### Bestemmelse av mineralogi for kornskjelettet

Mineralogiens betydning når det gjelder resistivitet i jord må også utforskes. Det finnes indikasjoner på at den kan påvirke de kjemiske forvitningsreaksjonene og dermed indirekte porevannkjemien. Imidlertid synes mineralogien å ha begrenset innflytelse på strømmen av kationer gjennom det diffuse dobbellaget rundt partiklene.

## Vanninnhold

Som regel er jordens resistivitet høyere enn porevannets resistivitet, og man kan derfor forvente at høyere vanninnhold medfører lavere resistivitet. Vanninnholdets bidrag er tydelig når leiren ikke er vannmettet. Under en grenseverdi i vanninnholdet som ligger nær 20 % øker resistiviteten vesentlig. De fleste norske leirene har et vanninnhold som varierer mellom 30 % og 40 %, men verdier ned mot 20 % og over 60 % har vært rapportert.

## Flytegrense

De geologiske prosessene som danner kvikkleire påvirker også noen andre geotekniske parametere, som for eksempel materialets flytegrense. Prosessene som bidrar til å svekke forbindelsen mellom jordpartikler, som for eksempel utvasking, fører til lavere vanninnhold i flytegrensetilstanden. Disse prosessene har ikke stor påvirkning på det naturlige vanninnholdet, og vanligvis er det bare noen få prosent i vanninnholdsverdi som skiller utvasket leire fra ikke-utvasket leire med samme opprinnelse. Forholdet mellom vanninnhold i naturlig tilstand og materialets flytegrense blir da høyere enn 100 % (flyteindeks  $I_L > 1,0$ ). I Canada benyttes i større grad verdien for flyteindeksen til å klassifisere kvikkleire.

Det kan være en mulig sammenheng mellom en leires flytegrense (evt. flyteindeks) og variasjoner i materialets resistivitet, selv om det ikke synes å være åpenbare fysiske eller kjemiske forklaringer på dette.

## Kornfordeling og leirinnhold

Jordarter klassifiseres etter kornfordeling og i utgangspunkt har hver jordart et typisk intervall av resistivitetsverdier. I marin leire kan man måle resistivitetsverdier mellom 1  $\Omega\text{m}$  og 100  $\Omega\text{m}$ , avhengig av utvaskingsgraden. Saltinnholdet i porevannet kan bare delvis forklare hvorfor dette intervallet er så stort, og hvorfor verdiene har så stor spredning ved lavere saltinnhold.

På grunn av leirmineralers elektriske egenskaper beskrevet i kapittel 2.1, har sannsynligvis leirinnholdet en viss innflytelse i denne sammenhengen. Teoretisk sett har leire med høyere leirinnhold også høyere ledningsevne enn leire med lavere leirinnhold. Simoni og Vannucchi (2006) viste at effekten av leirpartiklene er betydningsfull ved lavt saltinnhold. For det ekstreme tilfellet av saltinnhold lik 0 g/l, øker ledningsevnen i en blanding av sand og leire med ca. 20 % når leirinnholdet øker fra 0 % til 10 %. Sannsynligvis er denne innvirkningen ved høyere leirinnhold i noen grad begrenset og ikke like tydelig.

Leirinnholdet i jord er definert som forholdet mellom vektprosent av alle faste partikler med størrelse  $< 2 \mu\text{m}$  og vekt av alle faste partikler i jordprøven. Alle de mindre partiklene trenger ikke å bestå av leirmineraler, og ikke alle leirmineralene har størrelse mindre enn  $2 \mu\text{m}$ . Også de andre fraksjonene (silt og sand) påvirker sannsynligvis resistiviteten i en leirig jord, slik at det egentlig er det innbyrdes forholdet mellom leire-, silt- og sandfraksjonen som blir viktig. Dette forholdet antas å kunne påvirke materialenes resistivitet i betydelig grad, se figur 6.2 med erfaringsdata fra norske leirer.

## Tyngdetetthet

Tyngdetettheten er også relatert til mengden av vann i jorden. Sammenhengen mellom tyngdetetthet og resistivitet er imidlertid svakere enn den mellom vanninnhold og resistivitet, men denne parameteren blir muligens noe viktigere når saltinnholdet blir mindre avgjørende.

## Organisk innhold

Effekten av organisk stoff på resistivitetsmålinger bør også vurderes. Jord med høyt innhold av organisk materiale har som regel høyere vanninnhold og lavere densitet enn vanlige jordarter, men mye av

dette vannet kan være bundet til det organiske stoffet og bidra ikke til den elektriske ledningsevnen. Om disse jordartene kan detekteres med resistivitetsmålinger må verifiseres, da det er liten erfaring med målinger i denne type materialer. I Finland har man nylig begynt å benytte resistivitetsmålinger med R-CPTU for å kunne påvise mengden organisk innhold i marine leirer, og det kan være gode grunner til å følge utviklingen her.

### Prøvingsmiljø

Temperaturen påvirker resistiviteten i jord men spiller vanligvis en mindre rolle enn andre faktorer, i det temperaturen i jorden er tilnærmet konstant året rundt (under ca. 5 m fra terrengoverflaten). Likevel er porevannet ganske følsomt for temperaturendringer, og variasjoner i porevannets resistivitet er noe høyere når saltinnholdet er lavt. Dette må det tas hensyn til ved målinger av resistiviteten i laboratoriet og ved kalibrering av utstyr for resistivitetsmåling (R-CPTU).

## 5.9 Strategi for grunnundersøkelser i kvikkleireterreng

Det er en økende tendens i dag å bruke kombinerte geofysiske og geotekniske undersøkelser i forbindelse med ulike geotekniske formål. Denne praksisen gir fordeler når det gjelder tolkningen av resultatene, både for geoteknikere og geofysikere. Ved integrerte målinger, kan geoteknikere og geofysikere sammen avgjøre hvor sonderinger og prøvetakinger skal plasseres når resultater av de geofysiske grunnundersøkelsene er tilgjengelige. Nytteverdien til de geotekniske grunnundersøkelsene kan da optimaliseres.

Det finnes dog noen områder der resistivitetsmålinger ikke kan utføres på grunn av topografiske eller andre begrensninger. Støykilder som strømkabler og togspor er ganske viktige eksempler, der resistivitetsmålingene kan ha begrenset nøyaktighet. I urbaniserte områder kan det derfor være vanskelig eller umulig å utføre 2D-resistivitetsmålinger av høy kvalitet. Her kan imidlertid R-CPTU være en praktisk løsning.

Kartlegging av store vegprosjekter som planlegges bygget langs korridorer i terrenget er imidlertid godt egnet til anvendelse av ERT og R-CPTU i kombinasjon. Med ERT kan man dekke store deler av vegens trasé, eventuelt ulike traséforslag, på forholdsvis kort tid, og samtidig finne kritiske områder som trenger detaljerte geotekniske undersøkelser. I noen tilfeller kan også luftbårne resistivitetsmålinger være aktuelle (AEM Airborn Electromagnetic Measurements) for å påvise områder med løsmasser og antatte forekomster av kvikkleire.

ERT målinger har potensiale til å skille utvasket marin leire fra saltholdig marin leire, og kan hensiktsmessig benyttes til å påvise barrierer av ikke-sensitivt materiale i grunnen, for eksempel oppstikkende berghorisonter, mektige sand og gruslag eller kontinuerlige lag av ikke-sensitiv leire. Denne informasjonen vil være veldig verdifull ved skredvurderinger, blant annet for å kunne bedømme potensielt volum av et progressivt/retrogressivt kvikkleireskred. Kombinasjonen av geofysiske og geotekniske grunnundersøkelser kan i tillegg gi informasjon om utstrekning og mektighet av kvikkleirelagene over hele området. Når ERT- målinger er «kalibrert» mot geotekniske data vil geoteknikere ha et meget godt grunnlag for geotekniske utredninger og skredvurderinger.

En fremtidig, anbefalt strategi for grunnundersøkelser i kvikkleireområder er foreslått nedenfor. Denne må bearbeides videre i kommende prosjekt frem mot en anbefalt og omforent praksis:

- **Resistivitetsmålinger utføres i et tidlig stadium av kartleggingen**

- ✓ ERT egner seg godt i område- trasékartlegging og i terreng med vanskelig tilgjengelighet for borerigger

- ✓ Vanlig kartstudie utføres i forkant, eventuelt i kombinasjon med undersøkelser fra luft (AEM), for å legge riktig strategi for målinger
- ✓ Indikerer områder med mulige kvikkleireforekomster
- **Resultater fra ERT/AEM benyttes til planlegging av geoteknisk sonderingsprogram**
  - ✓ Ordinære sonderinger og CPTU/R-CPTU
  - ✓ R-CPTU bør prioriteres i alle borepunkt med CPTU, marginal tilleggstid i forhold til CPTU
  - ✓ Utførelse av R-CPTU i nøkkelpunkt gir et utfyllende og mer detaljert bilde av kvikkleireforekomstene
  - ✓ R-CPTU kan også benyttes til å forbedre tolkning av ERT-resultater (kjent lokal resistivitet)
- **Ved utførelse av CPTU/R-CPTU må total nedpressingskraft måles**
  - ✓ Gir mulighet for bestemmelse av friksjonsgradient med kvikkleireidentifikasjon
  - ✓ Meget godt supplement til resistivitetsmåling
- **Prøvetaking utføres i utvalgte punkter for verifikasjon av kvikkleire/sprøbruddmateriale**
  - ✓ Lokalisering baseres på resultater fra ERT, sonderinger, CPTU/R-CPTU
  - ✓ Konusforsøk fremdeles viktigste metode for verifisering
  - ✓ Her er det også rom for utførelse av forsøk med elektrisk vingebor
  - ✓ Geokjemiske analyser kan være viktige for å forstå og tolke resistivitetsmålingene

For å kunne utnytte potensialet av R-CPTU i sin helhet, må det forskes videre på noen områder av problemfeltet. Det er uten tvil viktig å bedre forstå hvilke faktorer påvirker resistiviteten i jorden, og hvilke effekter dette kan ha for resistivitetsmålinger.

Det synes åpenbart at komplette geokjemiske undersøkelser i laboratoriet må gjennomføres som en nødvendig del av resistivitetsmålinger i fremtiden. Dette er så langt kun utført i noen få tilfeller her i landet, av mange ulike grunner. Hovedfokus i disse analysene må være å gjennomføre en detaljert bestemmelse av porevannets kjemi, slik at resistivitet (og muligens også noen geotekniske parametere), kan korreleres til innholdet av mono- og multivalente oppløste kationer. Selv om dette tiltaket ikke er direkte relatert til R-CPTU, vil en slik undersøkelse også bidra til en bedre forståelse av tolkningsprosessen for denne metoden.

Det kan også være nyttig og måle resistivitet på andre måter enn det gjøres i dag. Her kan for eksempel elektrodekonfigurasjon i R-CPTU, strømpåføring og kalibreringsprosedyren mulige faktorer som kunne varieres for å se hvilken effekt det har på målingene. Det kunne også vært interessant å måle IP-effekt (indusert polarisasjon) i R-CPTU målinger, på samme måte som det gjøres ved ERT. Polarisationseffekter er vanskeligere å måle enn resistivitet fordi signalene er vesentlig mindre, og resultatene er ofte ubrukelige på grunn av for mye støy. Med «lokale» målinger rundt sonden, kan mye av støyen reduseres og måleverdiene blir mer karakteristiske for jorden som omgir sonden. Dette kan kanskje utnyttes i forbindelse med karakterisering av (kvikk)leire.

## 6. Referanser

### Publikasjoner

1. Gylland, A., Jostad, H.P, Nordal, S. & Emdal, A. (2013) *Micro-behaviour of shear vane tests in soft sensitive clay*. Geotechnique 14, vol.63, pp.1264-1270.
2. Long, M. Personal communication (2013, 2014).
3. Long, M., Donohue, S., L'Heureux, J. S., Solberg, I. L., Rønning, J. S., Limacher, R. & Lecomte, I. (2012). *Relationship between electrical resistivity and basic geotechnical parameters for marine clays*. Canadian Geotechnical Journal, 49(10), 1158-1168.
4. Löfroth, H., Suer, P., Dahlin, T., Leroux, V. & Schälin, D. (2011). *Quick clay mapping by resistivity - Surface resistivity, CPTU-R and chemistry to complement other geotechnical sounding and sampling*. In Statens Geotekniska Institut, SGI. Göta älv utredningen. GÄU. Delrapport 30. Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Sweden.
5. Rankka, K., Andersson-Sköld, Y., Hultén, C., Larsson, R., Leroux, V. & Dahlin, T. (2004). *Quick clay in Sweden*. Swedish Geotechnical Institute (SGI), Report 65, 145.
6. Robertson, P.K. (1990). *Soil classification using the cone penetration test*. Canadian Geotechnical Journal, 27 (1), pp.151-158.
7. Rømoen, M., Pfaffhuber, A. A., Karlsrud, K. & Helle, T. E. (2010, May). *Resistivity on marine sediments retrieved from R-CPTU-soundings: A Norwegian case study*. In Proceedings of 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing (pp. 9-11).
8. Sandven, R. & Solberg, I-L. (2013). *Geophysical and geotechnical investigations for a major highway in a quick-clay area*. In Proceedings 1st International Workshop for landslides in Sensitive Clays. Quebec, Canada.
9. Schälin, D., & Tornborg, J. (2009). *Evaluation of CPT-R and resistivity measurements in quick clay area*. M.Sc. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of GeoEngineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
10. Solberg I.L., Dalsegg E., L'Heureux J.S. & Rønning J.S. (2012). *Resistivitetmålinger for løsmassekartlegging ved skredgrop på Byneset, Sør-Trøndelag*. NGU Rapport nr. 2012.004
11. Solberg, I-L., Hansen, L., Rønning, J. S., Haugen, E. D., Dalsegg, E. & Tønnesen, J. F. (2012). *Combined geophysical and geotechnical approach to ground investigations and hazard zonation of a quick clay area, mid Norway*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 71(1), 119-133.
12. Solberg, I-L., Rønning, J. S., Dalsegg, E., Hansen, L., Rokoengen, K., & Sandven, R. (2008). *Resistivity measurements as a tool for outlining quick-clay extent and valley-fill stratigraphy: A feasibility study from Buvika, central Norway*. Canadian Geotechnical Journal, 45(2), 210-225.
13. Thakur, V., Degago, S. A., Oset, F., Aabøe, R., Dolva, B. K., Aunaas, K. & L'Heureux, J. S. (2013). *Characterization of Post-failure Movements of Landslides in Soft Sensitive Clays*. In Landslides in Sensitive Clays (pp. 91-103). Springer Netherlands.
14. Torrance, J. K. (1974). *A Laboratory Investigation of the Effect of Leaching on the Compressibility and Shear Strength of Norwegian Marine Clays*. Norwegian Geotechnical Institute Publication, (104).

### Tekniske rapporter

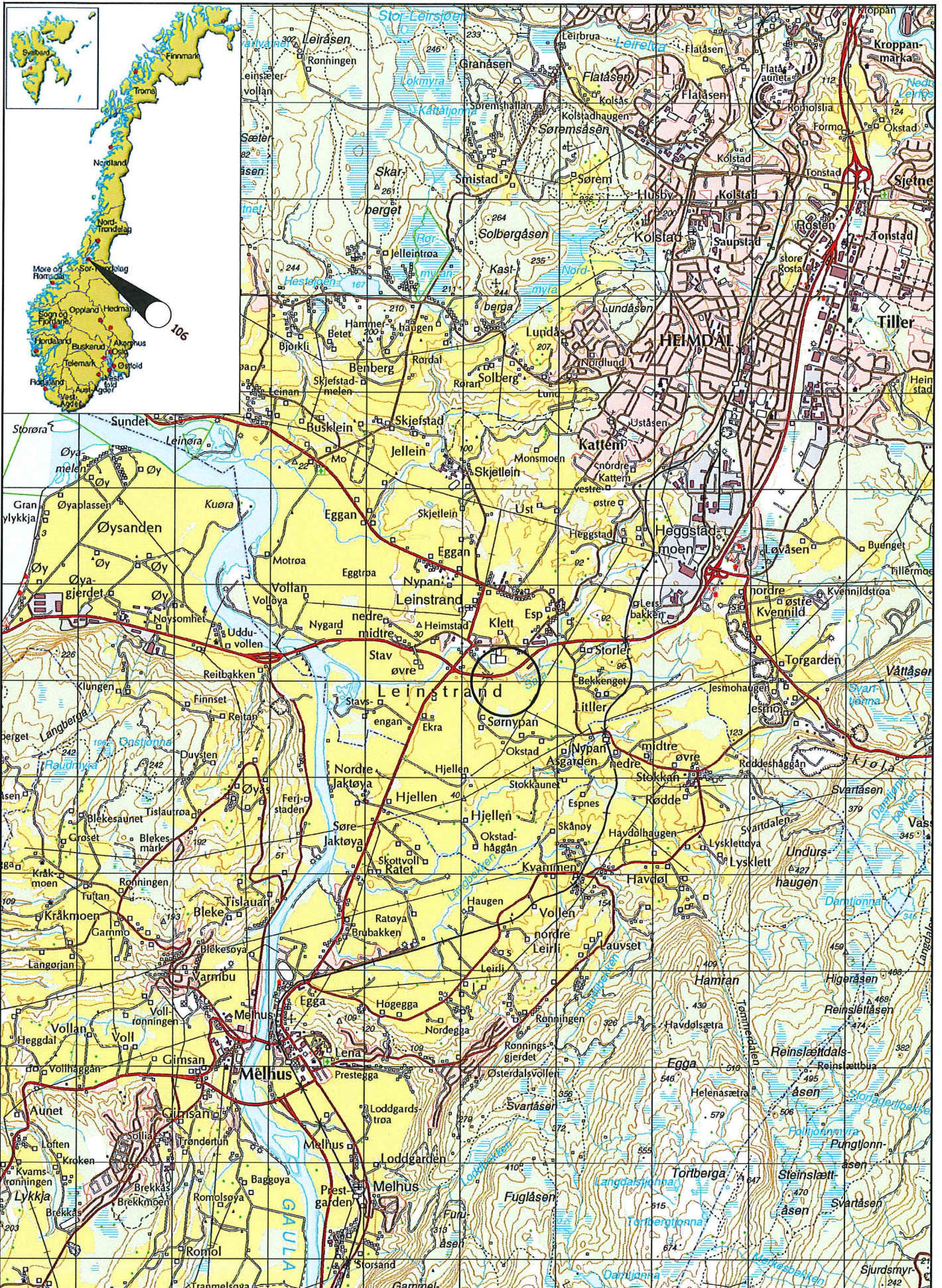
15. Apex Geoservices Ltd (2014). *Report on the geophysical survey at Klett Norway for Multiconsult*. Report AGL14202-02, 22.09.2014.
16. Multiconsult (2014). *Datarapport grunnundersøkelser, dagsferske prøver*. Rapport til Statens vegvesen 415531-RIG-RAP-003, 14.05.2014.

17. NIFS (2013). Etatsprogrammet NATURFARE – Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS). *Delprosjekt 6: Kvikkleire. Deloppgave SM 6.4.2 Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU. State-of-the-art rapport.* 06.12.2013.
18. NIFS (2012). Etatsprogrammet NATURFARE – Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS). *Delprosjekt 6: Kvikkleire. Deloppgave SM 6.4.2 Detektering av kvikkleire fra ulike sonderingsmetoder. Status og forslag til videre utviklingsoppgaver.* 20.01.2012.
19. Multiconsult (2011). *Ny E6 Haga - Skjerdingsstad. Utredning for kommuneplan. Datarapport grunnundersøkelser. Beskrivelse av grunnforhold.* Rapport til Statens vegvesen r414622-1 30.06.2011.
20. Multiconsult (2011). *Ny E6 Haga - Skjerdingsstad. Utredning for kommuneplan. Geoteknisk vurdering av alternativ trasé.* Rapport til Statens vegvesen r414622-2, 22.12.2011.
21. Multiconsult (2011). *Ny E6 Haga - Skjerdingsstad. Utredning for kommuneplan. Parametervalg for stabilitetsberegninger.* Notat til Statens vegvesen n414622-1 , 07.07.2011.
22. Norges geologiske undersøkelse (NGU) (2010). *Resistivitetmålinger i Kaldvelladalen og ved Fallan, Melhus kommune.* Notat til Statens vegvesen, 07.12.2010.

### PhD- og masteroppgaver

23. Hundal, E. (2014). *CPTU med målt total sonderingsmotstand. Nye muligheter for å detektere kvikkleire.* Masteroppgave, Institutt for bygg, anlegg og infrastruktur, NTNU.
24. Montafia, A. (2013). *Influence of Physical Properties of Marine Clays on Electric Resistivity and Basic Geotechnical Parameters.* Masteroppgave, Institutt for bygg, anlegg og infrastruktur, NTNU.
25. Tilahun, T. (2013). *Detection of quick clay from various sounding methods.* Masteroppgave, Institutt for bygg, anlegg og infrastruktur, NTNU.
26. Aasland, R. A. (2010). *Kartlegging av kvikkleire med 2D resistivitet og R-CPTU i Rissa.* Masteroppgave, Institutt for bygg, anlegg og infrastruktur, NTNU.
27. Ottesen H.B. (2009). *CPTU med resistivitetmåling.* Masteroppgave, Institutt for bygg, anlegg og infrastruktur, NTNU.
28. Solberg, I-L. (2007): *Geological, geomorphological and geophysical investigations of areas prone to clay slides: Examples from Buvika, Mid Norway.* PhD avhandling, Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU.
29. Berger, B. (1983). *Geofysiske metoder anvendt i ingeniørgeologiske undersøkelser.* PhD avhandling, Institutt for petroleumsteknologi og anvendt geofysikk, NTH (NTNU).





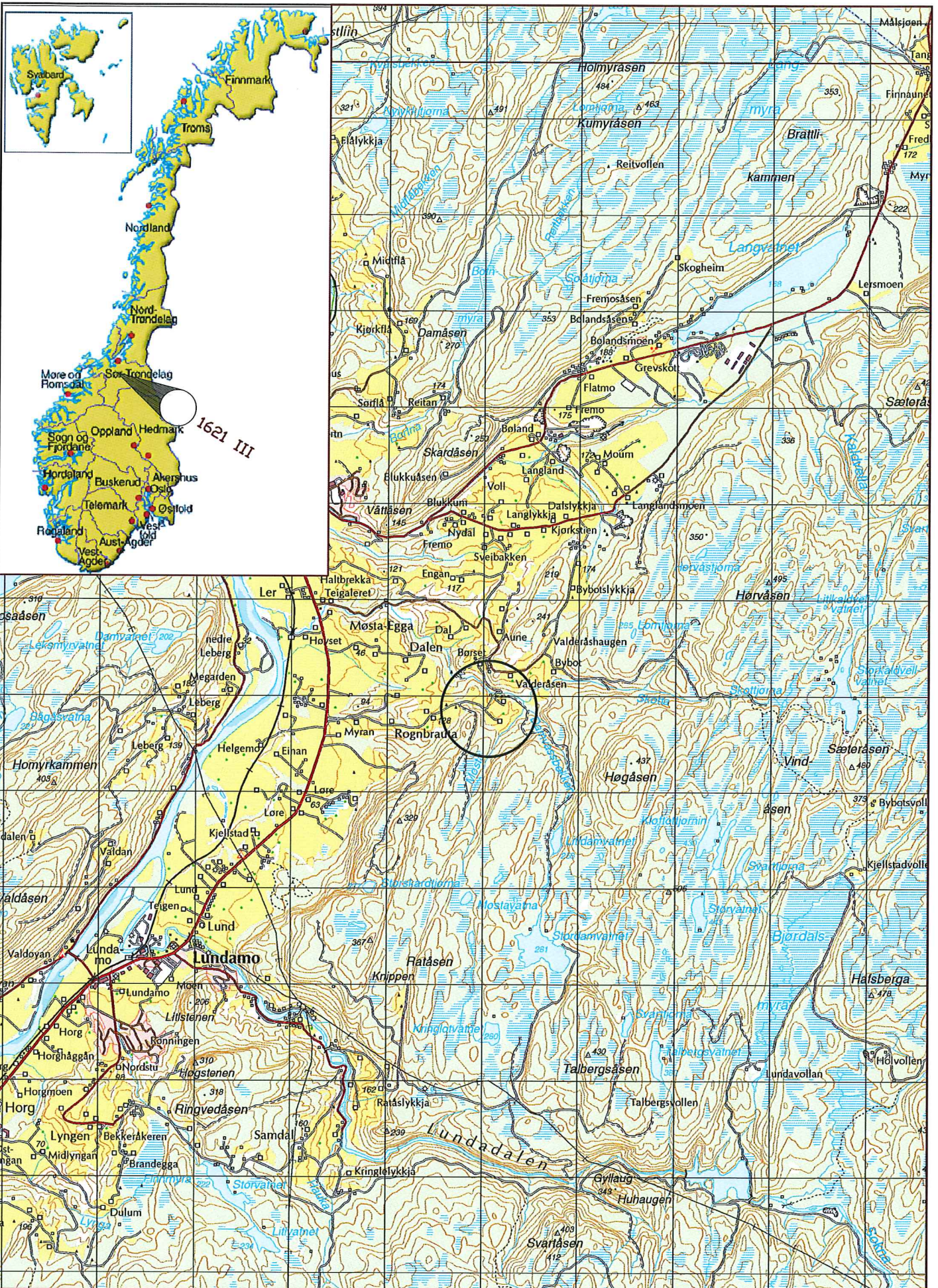
**Multiconsult**  
www.multiconsult.no

NIFS Feltstudie  
Oversiktskart  
Klett forsøksfelt

Status	Utsendt	Fag	Geoteknikk	Original format	A4	Dato	01.10.2014
Konstr./Tegnet	ALM	Kontrollert	ROLS	Godkjent	ARV	Målestokk	1:50000
Oppdragsnr.	415559	Tegningsnr.	RIG-TEG-000	Rev.			00



Z:\04\15\4.15559-03 ARBEIDSSOMRÅDE\4.15559-01 RIG\4.15559-04 TEGNINGER\Feltstudium\Fallan\4.15559-RIG-TEG-001\_ - Oversiktskart.dwg, - Layout: (A4 Stående skjema) - Plottet av: alm, Dato: 2014.11.07 kl 14:51



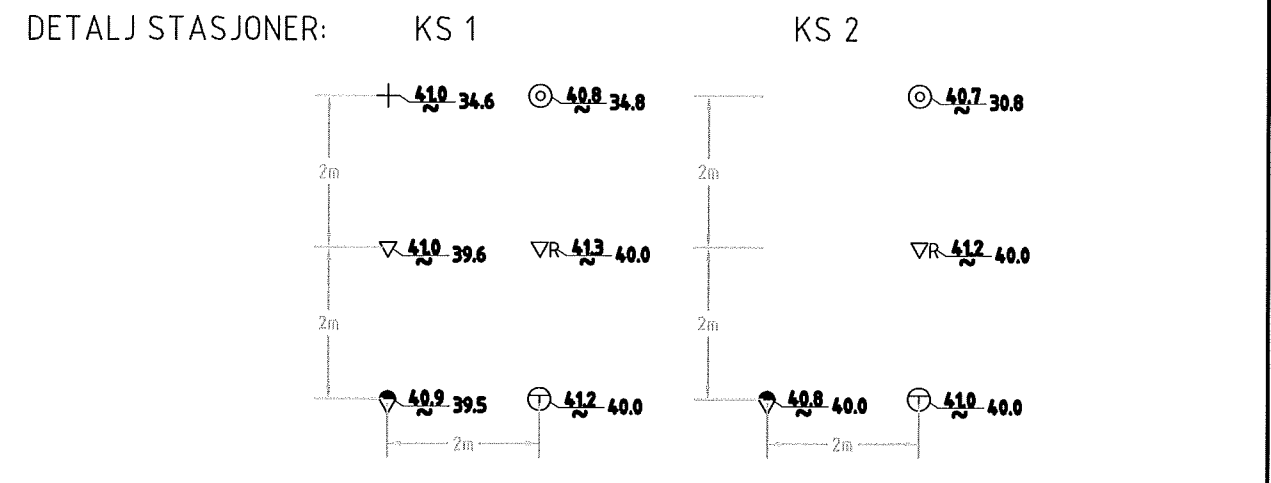
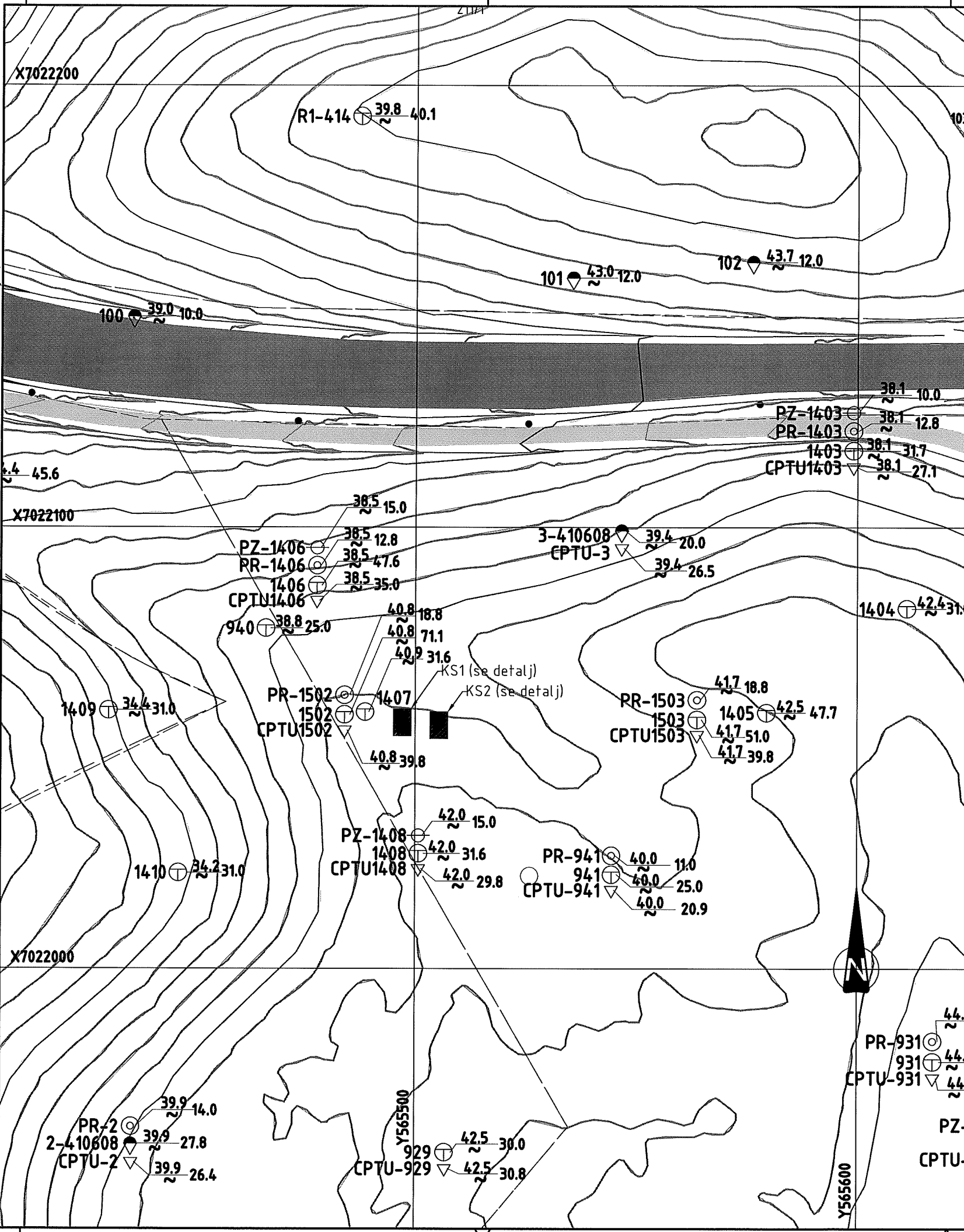
**Multiconsult**  
www.multiconsult.no

NIFS Feltstudie  
Oversiktskart  
Fallan forsøksfelt

Status	Utsendt	Fag	Geoteknikk	Original format	A4	Dato	01.10.2014
Konstr./Tegnet	ALM	Kontrollert	ROLS	Godkjent	ARV	Målestokk	1:50000
Oppdragsnr.	415559	Tegningsnr.	RIG-TEG-001	Rev.			00



Z:\04\15\4\15559-03 ARBEIDSRÅDE\4\15559-01 RIG\4\15559-04 TEGNINGER\Feltstudium\Klett\4\15559-RIG-TEG-002\_rev01\_Borplan Klett.dwg - Layout: (BORPLAN); - Plottet av: jkm, Dato: 2015.04.30 kl 12:05



**TEGNFORKLARING:**

- DREIESONDERING
- ⊙ PRØVESERIE
- ⊖ PORETRYKKMÅLING
- ENKEL SONDERING
- PRØVEGROP
- ⊕ KJERNEBORING
- ▼ RAMSONDERING
- ⚠ DREIETRYKKSONDERING
- ☆ FJELLKONTROLLBORING
- ▽ TRYKKSONDERING
- ⊠ SKRUPLATEFORSØK
- ⚡ BERG I DAGEN
- ⊕ TOTALSONDERING
- + VINGEBORING

KARTGRUNNLAG: Digitalt kart fra tidligere oppdrag  
 KOORDINATSYSTEM: UTM Sone 32V  
 HØYDEREFERANSE: NN 2000  
 UTGANGSPUNKT FOR NIVELLEMENT: GPS GLONAS CPOS  
 BORBOK NR: 2200  
 LAB.BOK NR: Digital

EKSEMPEL  
 BP 1 ⊕  $\frac{43.0}{28.2}$  14.8 + 2.4 — BORET DYBDE + BORET I BERG  
 ⚡ ANTATT BERGKOTE

**TIDLIGERE BORINGER:**  
 Tidligere boringer er angitt med indekser foran borhullsnr:

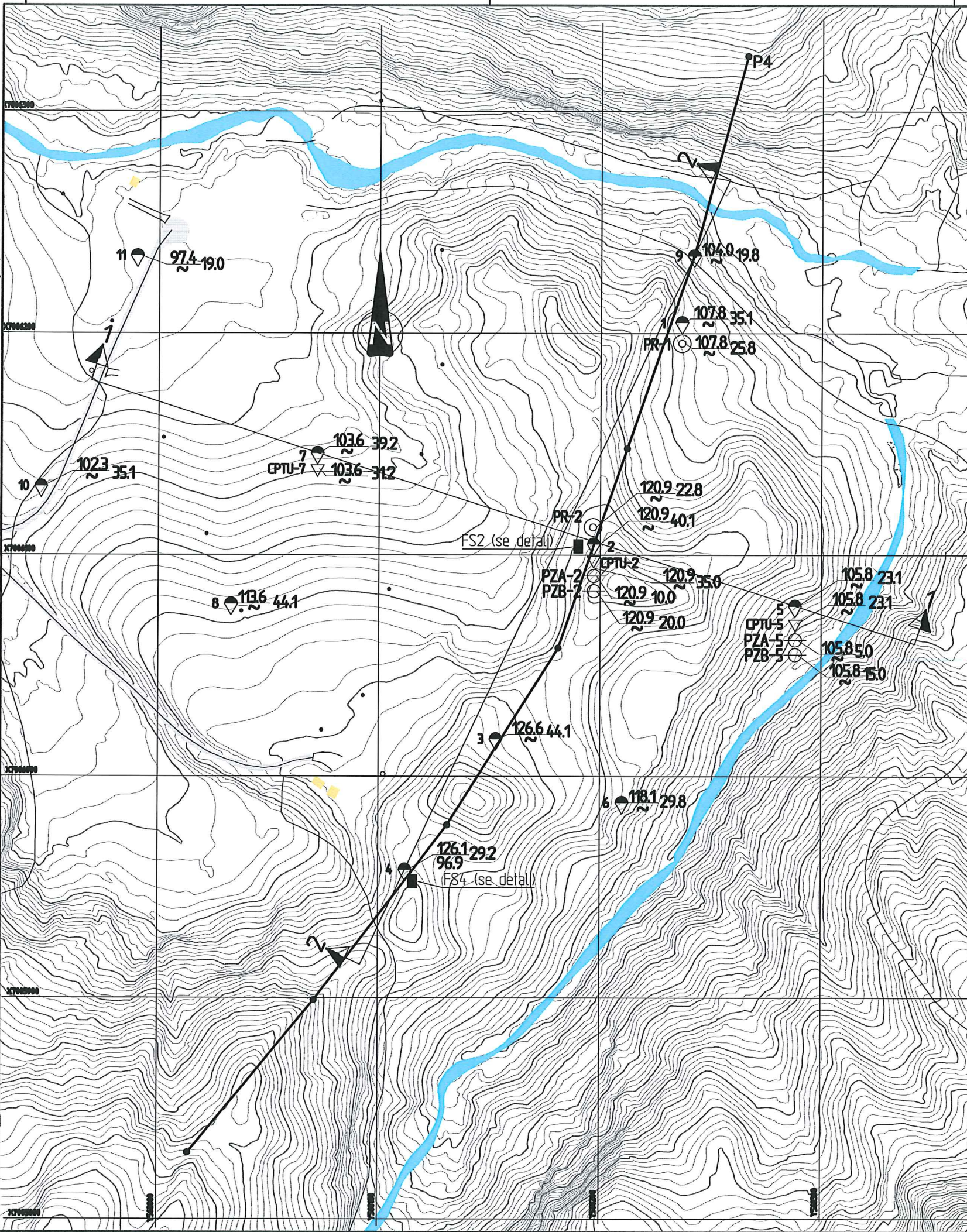
100-X: BORINGER FRA RAPPORT NR. Ud458A-01 (E6/RV 65 Klett Alt. B-1987), -02 (RV 65 Klett, Fylling ved Rokseth-1988) og Ud162A (Krabbefelt Klett- Heggstadmoen-1979) Høyder er regnet om fra Trondheim lokal- NN2000.  
 900-X: BORINGER FRA RAPPORT NR. 410608-1 (Ny E6 parsell Jaktøyen-Sandmoen-2005) Høyder er regnet om fra Trondheim lokal- NN2000.  
 1400-X: BORINGER FRA RAPPORT NR. 415531-001 (E6 Klett, Jaktøya-Dovrebanen-2013) NN2000.  
 1500-X: BORINGER FRA RAPPORT NR. 415531-003 (E6 Klett, Dagsferske prøver-2014) NN2000.  
 R1-X: BORINGER FRA RAPPORT NR. 6100269R06 (P-07 Grunnundersøkelser Benna-Heimdal-2011) Høyder er tatt fra rapport- NN2000  
 X-410608: BORINGER FRA RAPPORT NR. 410608-5 (Ny E6 parsell Jaktøyen-Sandmoen-2005) Høyder er regnet om fra Trondheim lokal- NN2000.

**NYE BORINGER:**  
 Nye boringer henvises til detaljstasjoner

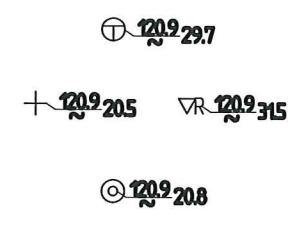
01	Større borpunkt, ny målestokk, nordpil, rev liste for tidligere boringer.	29.04.2015	JKM	ROLS	ARV	
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.	
Statens vegvesen, Jernbaneverket og NVE NIFS, Delprosjekt 6					Fag Geoteknikk	Format A3
Borplan forsøksfelt Klett R-CPTU Feltstudium					Dato 01.10.2014	Format/Målestokk: 1:1000
<b>Multiconsult</b> www.multiconsult.no		Status Utsendt	Konstr./Tegnet ALM	Kontrollert ROLS	Godkjent ARV	
Oppdragsnr. 415559		Tegningsnr. RIG-TEG-002		Rev. 01		



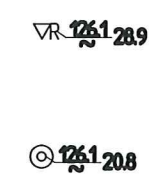
Z:\04\15\4\15559-03 ARBEIDSRÅDE\4\15559-01 RIG\4\15559-04 TEGNINGER\Feltstudium\Fallan\4\15559-RIG-TEG-003\_rev01 Borplan Fallan.dwg, - Layout: (BORPLAN); - Plottet av: jkm, Dato: 2015.04.30 kl 11:11



DETALJ STASJON 2:



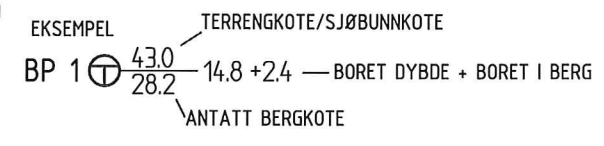
DETALJ STASJON 4:



TEGNFORKLARING:

- DREIESONDERING
- ENKEL SONDERING
- ▼ RAMSONDERING
- ▽ TRYKKSONDERING
- ⊕ TOTALSONDERING
- ⊙ PRØVESERIE
- PRØVEGROP
- ⬇️ DREIETRYKKSONDERING
- ⊗ SKRUPLATEFORSØK
- + VINGEBORING
- ⊖ PORETRYKKMÅLING
- ⊕ KJERNEBORING
- ⊗ FJELLKONTROLLBORING
- ⊗ BERG I DAGEN

KARTGRUNNLAG: Digitalt kart fra tidligere oppdrag  
 KOORDINATSYSTEM: UTM Sone 32V  
 HØYDEREFERANSE: NN 1954  
 UTGANGSPUNKT FOR NIVELLEMENT: GPS GLONAS CPOS  
 BORBOK NR: Digital  
 LAB.BOK NR: NTNU



TIDLIGERE BORINGER:

1-11: BORINGER FRA RAPPORT NR. 414622-1 (Ny E6 Haga-Skjerdingsstad-2011) NN 1954

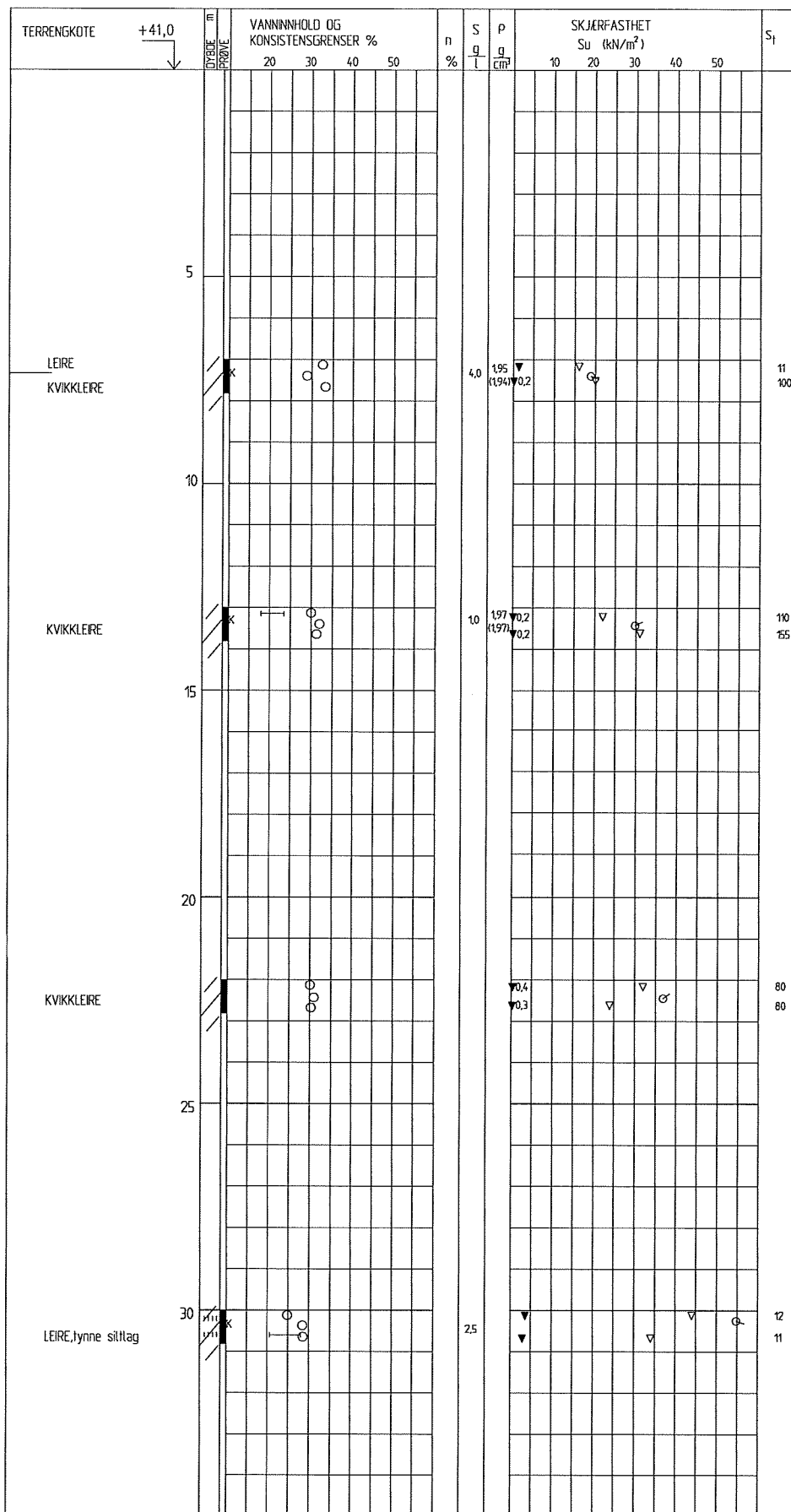
NYE BORINGER:

Nye boringer henvises til detaljstasjon 2 og 4.


01	Større borpunkt og nordpil	29.04.2015	JKM	ROLS ARV
Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn. Kontr. Godkj.	
Statens vegvesen, Jernbaneverket og NVE NIFS, Delprosjekt 6			Fag Geoteknikk	Format A3
Borplan forsøksfelt Fallan R-CPTU Feltstudium			Dato 01.10.2014	Format/Målestokk: 1:2000
<b>Multiconsult</b> www.multiconsult.no	Status Utsendt	Konstr./Tegnet ALM	Kontrollert ROLS	Godkjent ARV
	Oppdragsnr. 415559	Tegningsnr. RIG-TEG-003		Rev. 01







PR = PRØVESERIE      ○ NATURLIG VANNINHOLD      n = PORØSITET      ▼ DIMRØRT SKJÆRFESTHET  
 SK = SKOVLEBORING      -| W<sub>f</sub> FLYTEGRENSE      O<sub>Na</sub> = HUMUSINHOLD      ○ TRYKKFORSØK  
 PG = PRØVEGRØP      W<sub>p</sub> ——— KONSUMETODE      D<sub>gl</sub> = GLØDETAP      ⚡ 5% DEFORMASJON VED BRUDD  
 VB = VINGEBORING      —| W<sub>p</sub> PLASTISITETSGRENSE      p = DENSITET      + VINGEBORING  
 LAB.BOK NR: -2      2200      S<sub>t</sub> SENSITIVITET

<b>GEOTEKNISKE DATA</b>		Boring nr.	tegnings tlfnavn	
NIFS Feltstudie R-CPTU, E6 Klett Grunnundersøkelser		2	415559-RIG-TEG-011.dwg	
<b>Multiconsult</b> 7486 TRONDHEIM Tlf: 73 10 62 00 - Fax: 73 10 62 30/70		Borplan nr.		
Dato 15.08.2014 Oppdragsnr. 415559		-2		
Tegnet/kontrollert lab truk/kjt Tegningsnr. RIG-TEG-011		Boret dato:	Rev.	
30.06.2014		alm	00	





TERRENGKOTE	+126.1	DYBDE m	PRØVE	VANNINHOLD OG KONSISTENSGRENSER %				n	S	p g/cm <sup>3</sup>	UDRENERT SKJÆRFESTHET C <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )					S <sub>t</sub>
				20	30	40	50				10	20	30	40	50	
LEIRE, noe lagdelt enk. gruskorn		5	K	W <sub>p</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>p</sub>	0,6	1,93 (1,88)	▼			▼	▼	○	8 9
LEIRE, lagdelt								0,6	1,97 (2,03)	▼0,4			▼	▼	○	94 97
KVIKLEIRE, noe lagdelt enk. skjellrester		15	K	W <sub>p</sub>	W <sub>L</sub>	W <sub>f</sub>	W <sub>p</sub>	0,4	2,01 (1,92)	▼0,4			▼	▼	○	73 104 102
KVIKLEIRE, lagdelt enk. tynne silttag		20						0,6	2,03 (1,98)	▼0,4					○	61 82 74 155 190

PR = PRØVESERIE  
SK = SKOVLEBORING  
PG = PRØVEGRUPP  
VB = VINGEBORING

○ NATURLIG VANNINHOLD  
— W<sub>L</sub> FLYTEGRENSE  
W<sub>f</sub> — KONUSMETODE  
— W<sub>p</sub> PLASTISITETSGRENSE

n = PORØSITET  
O<sub>Na</sub> = HUMUSINHOLD  
O<sub>gl</sub> = GLØDETAP  
γ = TYNGDETTETHET

▼ KONUSFORSØK  
▼ OMRØRT SKJÆRFESTHET  
○ TRYKKFORSØK  
⊕ 5% TØYNING VED BRUDD  
+ VINGEBORING  
S<sub>t</sub> SENSITIVITET

LAB.BOK NR.: NTNU

Ø = ØDOMETERFORSØK P = PERMEABILITETSFORSØK K = KORNGRADERING T = TREAKSIALFORSØK

## GEOTEKNISKE DATA

NIFS  
Feltstudie R-CPTU, E6 Fallan  
Grunnundersøkelse, Multiconsults resultater

**Multiconsult**

7486 TRONDHEIM  
Tlf: 73 10 62 00 - Fax: 73 10 62 30/70

Dato 06.11.2014

Oppdragsnr. 415559

Tegnet/kontrollert lab

kjt truk  
Tegningsnr. RIG-TEG-13

Boring nr.

4

Borplan nr.

-003

Boret dato:

01.09.2014

Tegningens tittel

415559-RIG-TEG-013-h4.dwg

**Multi  
consult**

Kontrollert

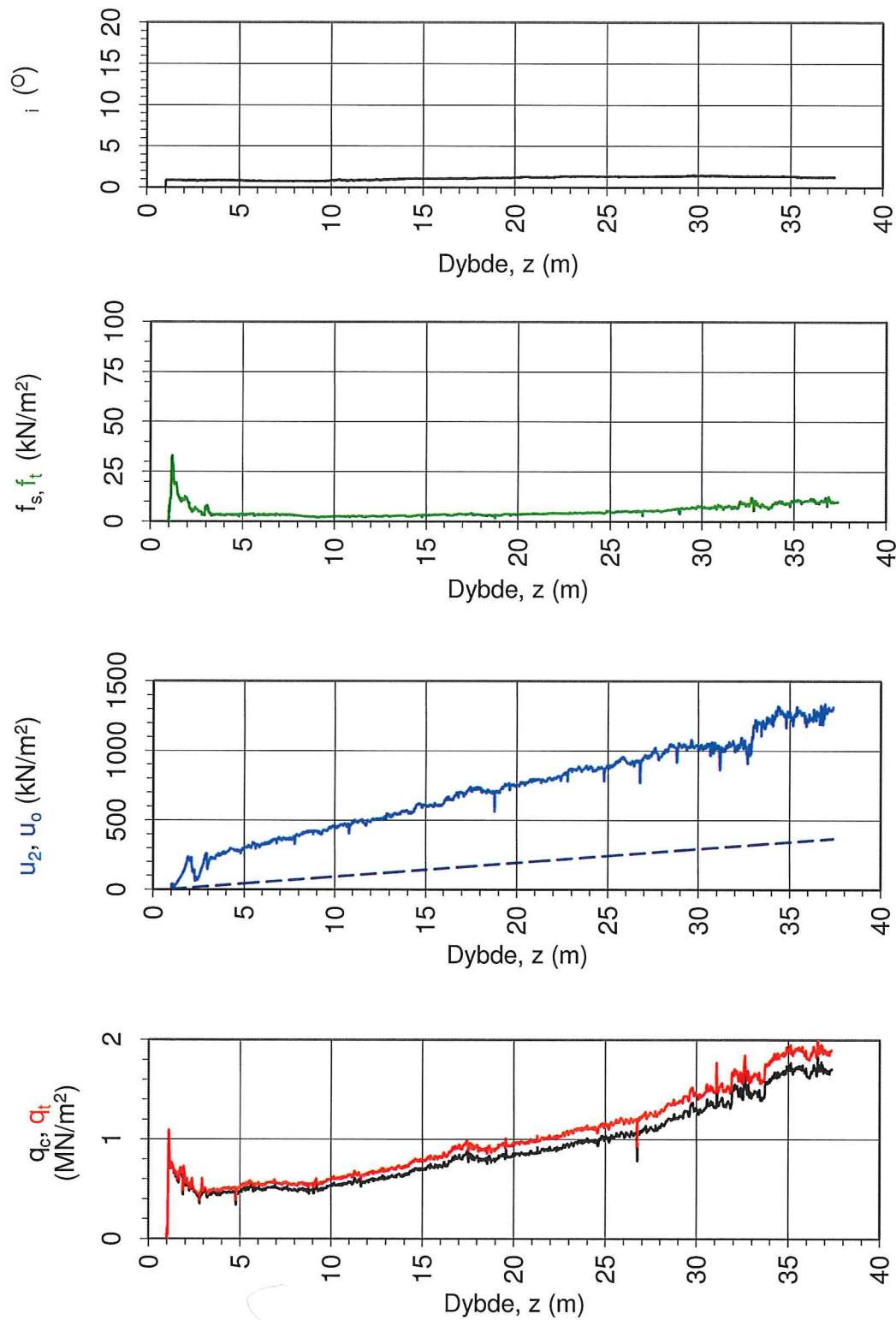
rols

Godkjent

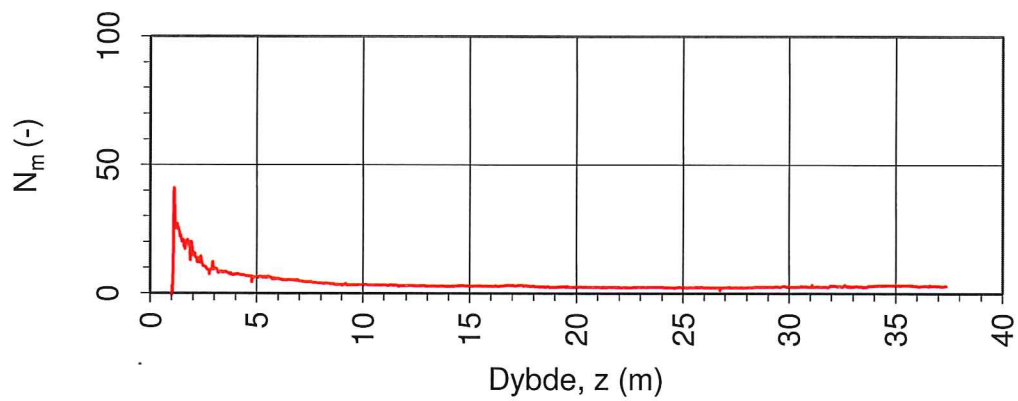
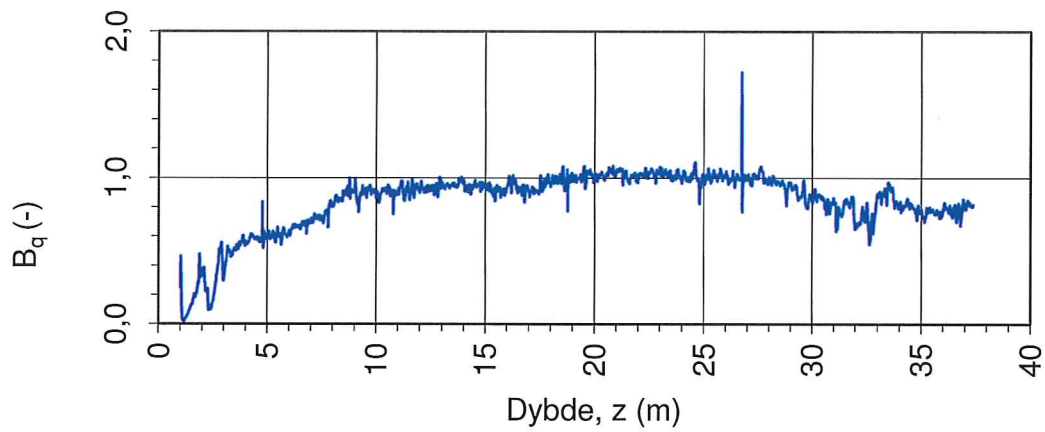
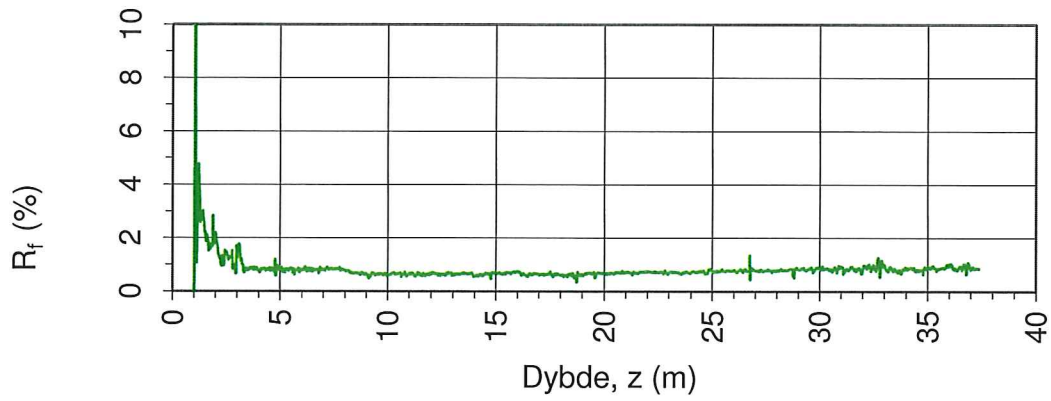
arv

Rev.

00

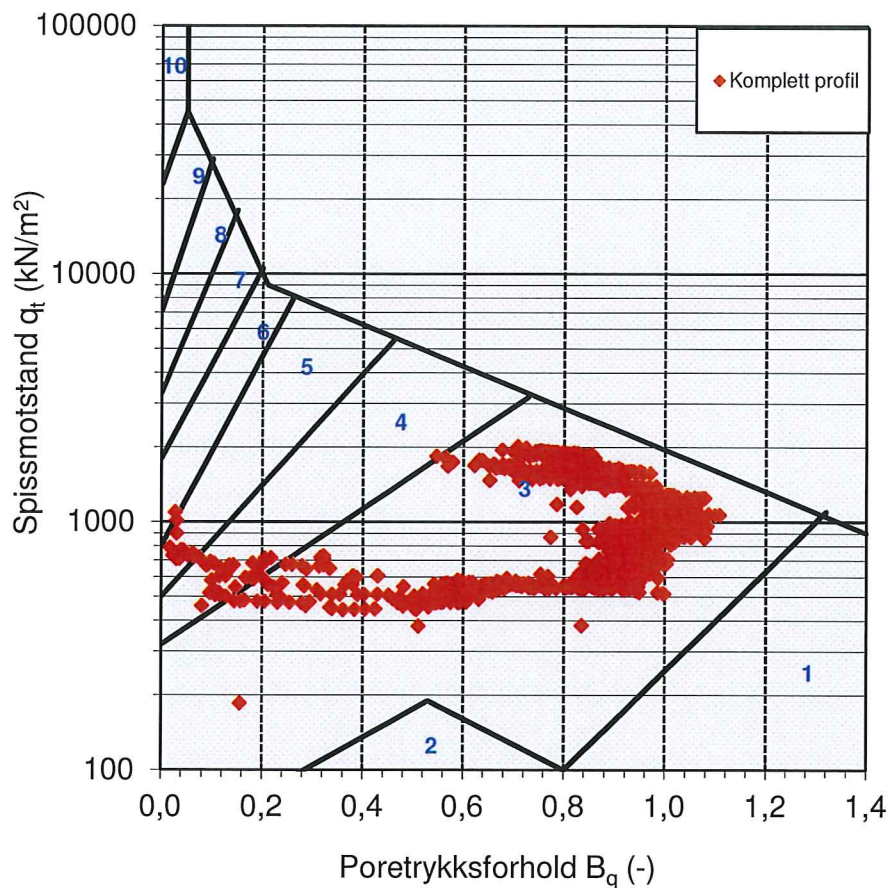


Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS - Feltstudium</b>		Tegningens filnavn: 415559_Klett_CPTU-S1	
Spissmotstand $q_{c,t}$ , poretrykk $u_2$ , sidefriksjon $f_{s,t}$ og helning $i$ .				<b>Multiconsult</b>	
CPTU id.:	CPTU-KS1	Sonde:	4293		
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 30.06.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: rols	Godkjent: arv	
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 40.1	Versjon: 28.11.2013	Revisjon: 0	



Oppdragsgiver:		Oppdrag: <b>NIFS - Feltstudium</b>		Tegningens filnavn: 415559_Klett_CPTU-S1	
Spissmotstandstall $N_m$ , poretrykks- $B_q$ og friksjonsforhold $R_f$ .					
CPTU id.:		CPTU-KS1	Sonde:	4293	
MULTICONSULT AS	Dato:	30.06.2014	Tegnet:	Kontrollert:	Godkjent:
	Oppdrag nr.:	415559	Tegning nr.:	rols	arv
			Versjon:	Revisjon:	
			28.11.2013	0	

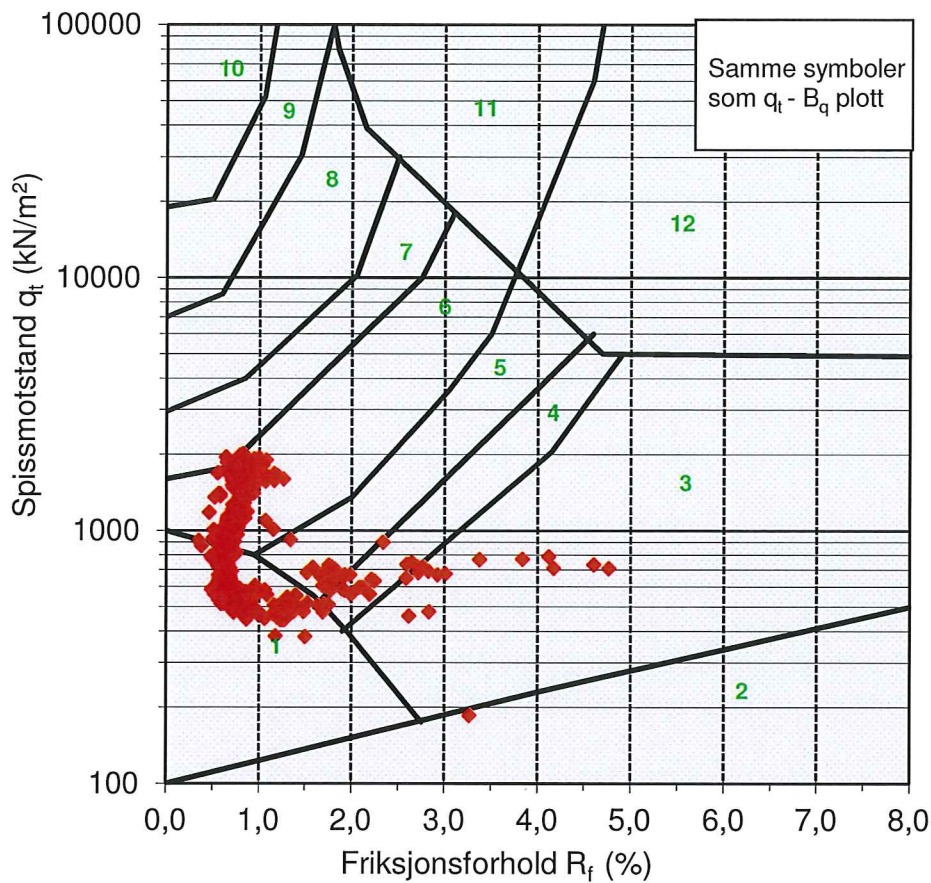
**Multiconsult**



Jordartsid.	Beskrivelse	Identifikasjon
1	Sensitivt, finkornig materiale	3
2	Organisk materiale	5
3	Leire	Ved variasjon i jordartgruppe brukes begge Id-boksene for å beskrive materialet (eks. 5-7)
4	Leire - siltig leire	
5	Leirig silt - siltig leire	
6	Sandig silt - leirig silt	
7	Siltig sand - sandig silt	
8	Sand - siltig sand	
9	Sand	
10	Grusig sand - sand	
11	Meget fast, finkornig materiale	
12	Sand - leirig sand	

Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS - Feltstudium</b>		Tegningens filnavn: 415559_Klett_CPTU-S1	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - $q_t$ og $B_q$ .				<b>Multiconsult</b>	
CPTU id.:	CPTU-KS1	Sonde:	4293		
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 30.06.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: rols	Godkjent: arv	
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 40.3	Versjon: 28.11.2013	Revisjon: 0	





Jordartsid.	Beskrivelse	Identifikasjon
1	Sensitivt, finkornig materiale	1
2	Organisk materiale	6
3	Leire	Ved variasjon i jordartgruppe brukes begge id-boksene for å beskrive materialet (eks. 5-7)
4	Leire - siltig leire	
5	Leirig silt - siltig leire	
6	Sandig silt - leirig silt	
7	Siltig sand - sandig silt	
8	Sand - siltig sand	
9	Sand	
10	Grusig sand - sand	
11	Meget fast, finkornig materiale	
12	Sand - leirig sand	

Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS - Feltstudium**

Tegningens filnavn:

415559\_Klett\_CPTU-S1

Jordartsidentifikasjon fra CPTU data -  $q_t$  og  $R_f$ .

CPTU id.:

CPTU-KS1

Sonde:

4293

**Multiconsult**

**MULTICONSULT AS**

Dato:  
30.06.2014

Tegnet:  
ALM

Kontrollert:  
rols

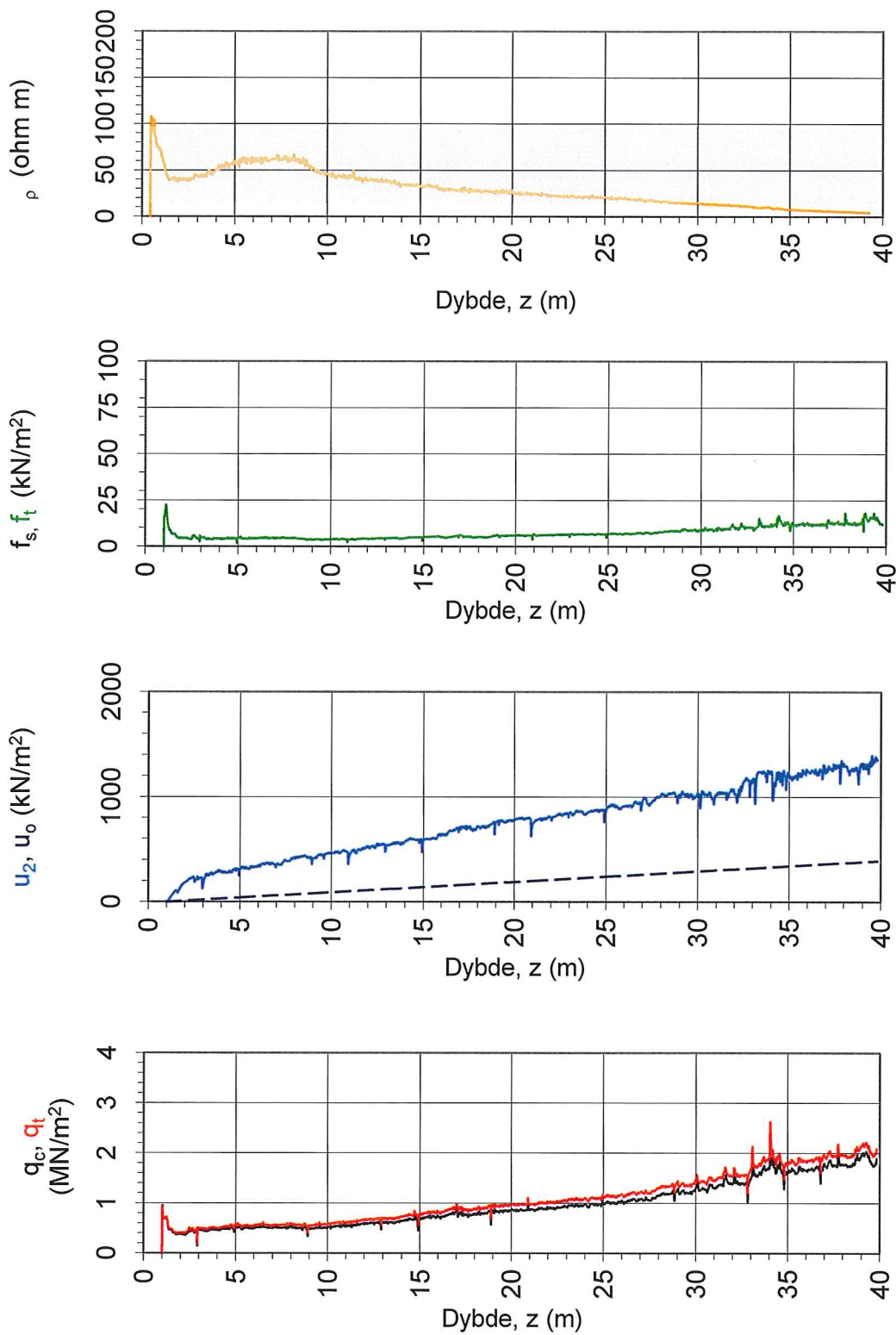
Godkjent:  
arv

Oppdrag nr.:  
415559

Tegning nr.:  
40.4

Versjon:  
28.11.2013

Revisjon:  
0



Oppdragsgiver:  
**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:  
**NIFS Feltstudie**

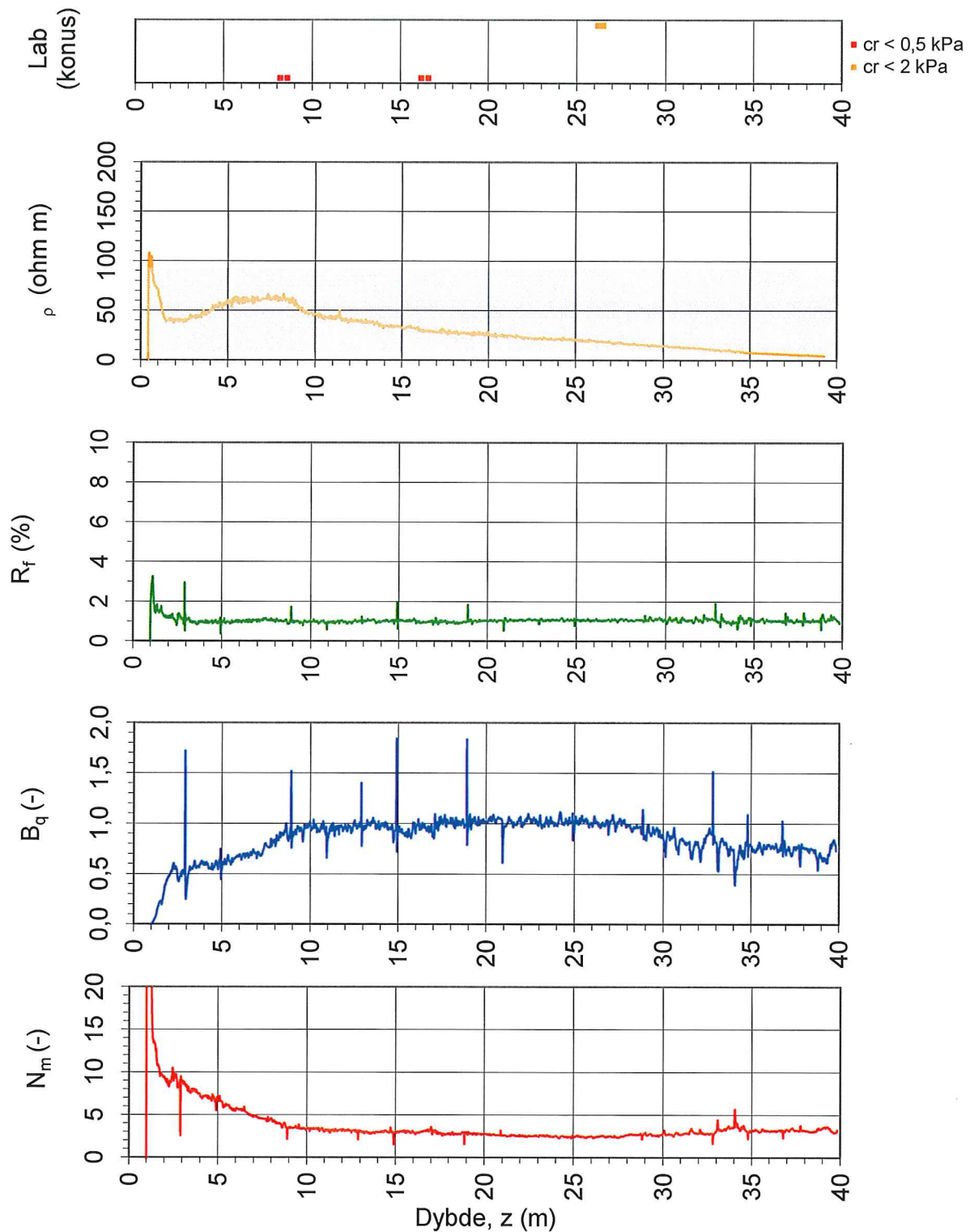
Tegningens filnavn:  
 5559 Klett\_RCPTU\_S1\_v5

Spissmotstand  $q_{c,t}$ , poretrykk  $u_2$ , sidefriksjon  $f_{s,t}$  og resistivitet  $\rho$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:	Klett RCPTU S1	Sonde:	4293
-----------	----------------	--------	------

MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 41.1	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

5559 Klett\_RCPTU\_S1\_v3

Spissmotstandstall, poretrykks-, friksjonsforhold, resistivitet og påvist kvikkleire

**Multiconsult**

CPTU id.:

Klett RCPTU S1

Sonde:

4293

**MULTICONSULT AS**

Dato:

09.10.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

41.2

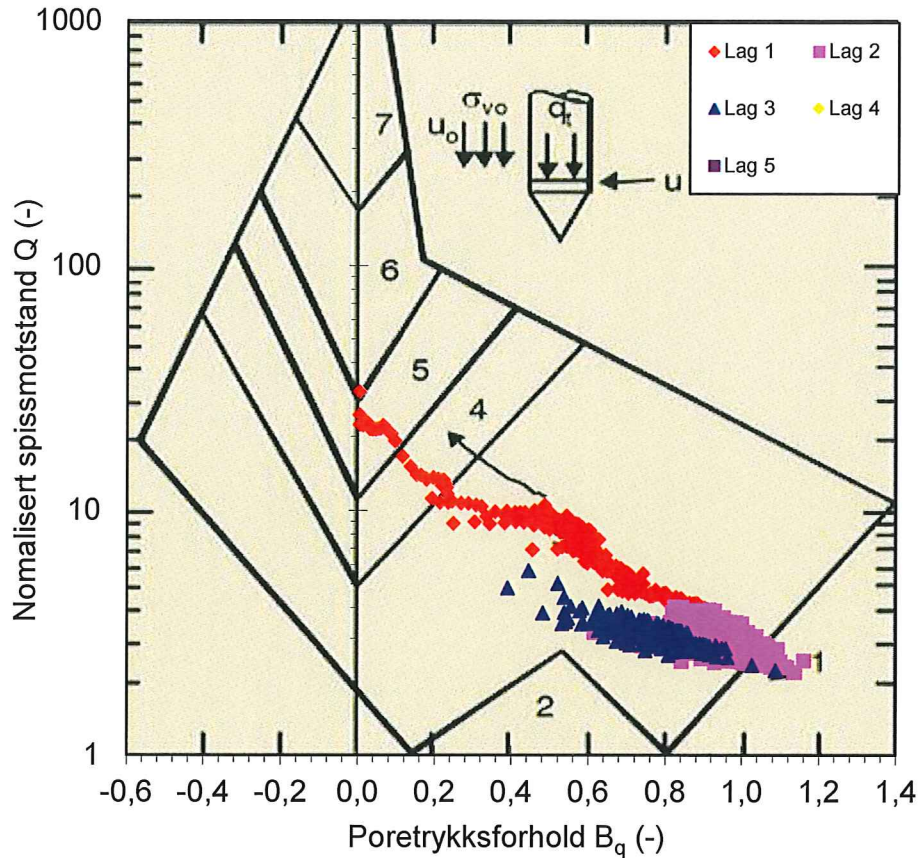
Versjon:

01.10.2014

Revisjon:

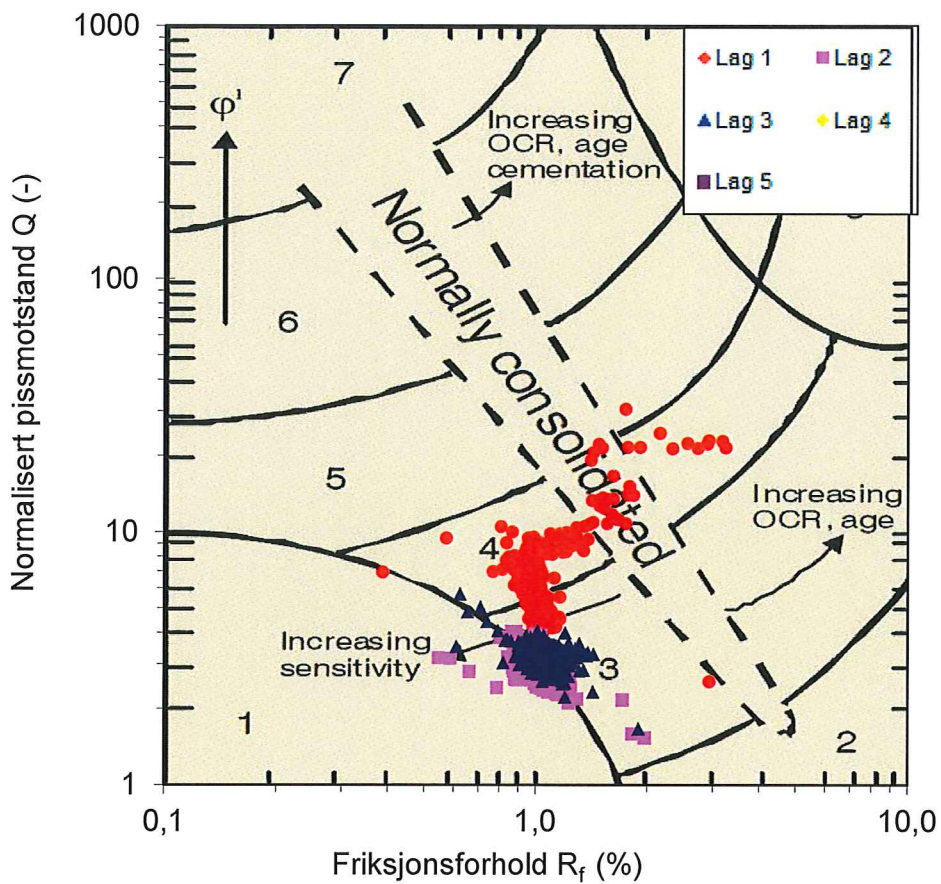
0





Jordartsid.	Beskrivelse	Laggrenser	Lag nr.	Id	Id
1	Sensitivt, finkornig materiale	Fra - til (m)			
2	Organisk materiale	0,0 - 8,5 m	1	3	
3	Leire - siltig leire	8,5 - 30,0 m	2	3	1
4	Leirig silt - siltig leire	30,0 - 40,0 m	3	3	
5	Siltig sand - sandig silt	0,0 - 0,0 m	4		
6	Sand - siltig sand	0,0 - 0,0 m	5		
7	Grusig sand - sand	Ved variasjon i jordart-gruppe brukes begge Id - boksene for å beskrive jordarten (eks. 5 - 7).			
8	Meget fast, sand - leirig sand				
9	Meget fast, finkornig materiale				

Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 15559 Klett_RCPTU_S1_v5.	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - $q_t$ og $B_q$ - lagvis.					
CPTU id.:	Klett RCPTU S1	Sonde:	4293	<b>Multiconsult</b>	
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS		
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 41.3	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0	



Jordartsid.	Beskrivelse	Laggrenser	Lag		
		Fra - til (m)	nr.	ld	ld
1	Sensitivt, finkornig materiale				
2	Organisk materiale	0,0 - 8,5 m	1	3	4
3	Leire - siltig leire	8,5 - 30,0 m	2	3	1
4	Leirig silt - siltig leire	30,0 - 40,0 m	3	3	
5	Siltig sand - sandig silt	0,0 - 0,0 m	4		
6	Sand - siltig sand	0,0 - 0,0 m	5		
7	Grusig sand - sand	Ved variasjon i jordart-gruppe brukes begge ld - boksene for å beskrive jordarten (eks. 5 - 7).			
8	Meget fast, sand - leirig sand				
9	Meget fast, finkornig materiale				

Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

5559 Klett\_RCPTU\_S1\_v3

Jordartsidentifikasjon fra CPTU data -  $q_t$  og  $R_f$ .

CPTU id.:

Klett RCPTU S1

Sonde:

4293

**Multiconsult**

**MULTICONSULT AS**

Dato:  
09.10.2014

Tegnet:  
ALM

Kontrollert:  
ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:  
415559

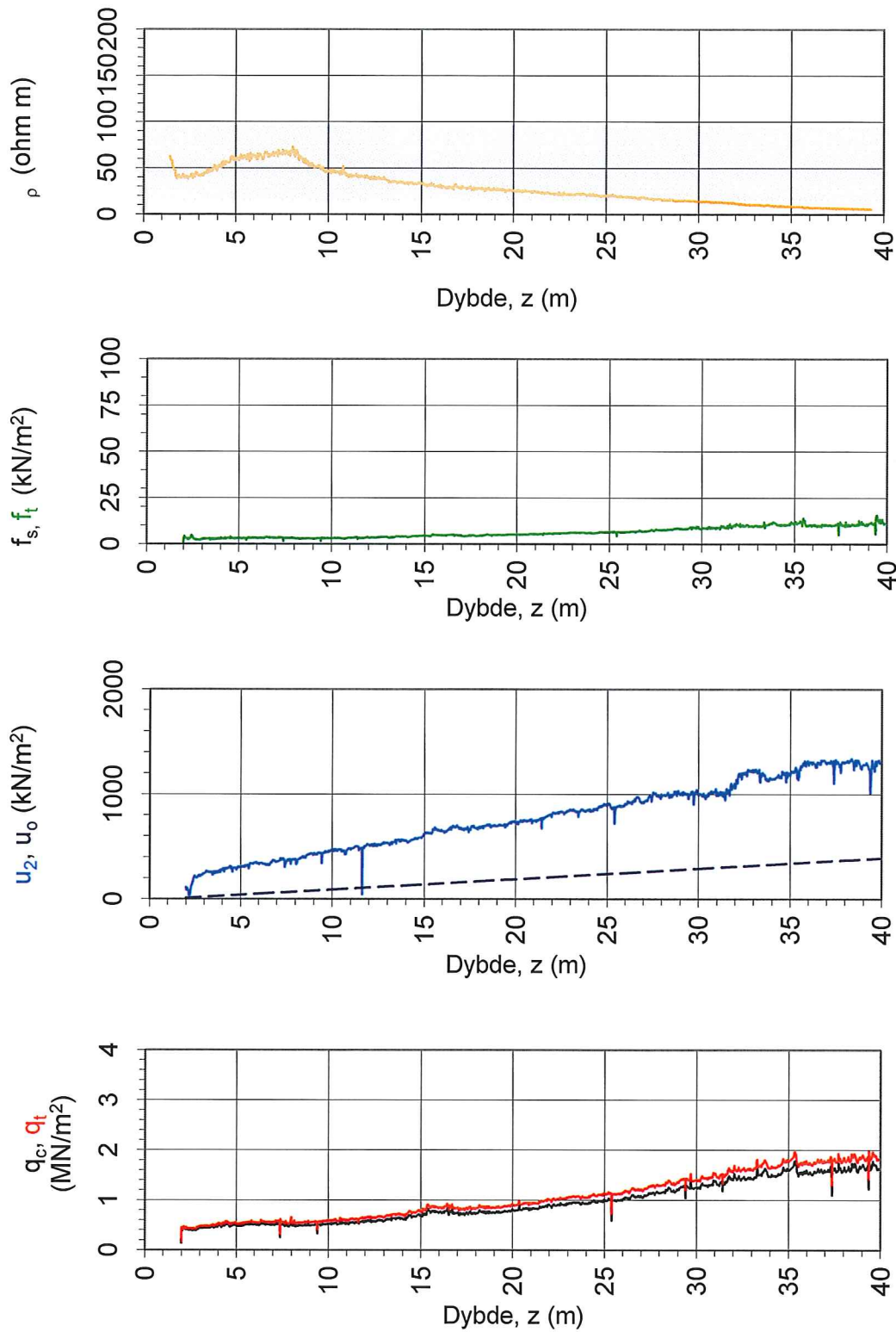
Tegning nr.:  
41.4

Versjon:  
01.10.2014

Revisjon:

0





Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

5559 Klett\_RCPTU\_S2\_v5

Spissmotstand  $q_{c,t}$ , poretrykk  $u_2$ , sidefriksjon  $f_{s,t}$  og resistivitet  $\rho$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:

Klett RCPTU S2

Sonde:

4293

**MULTICONSULT AS**

Dato:

09.10.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

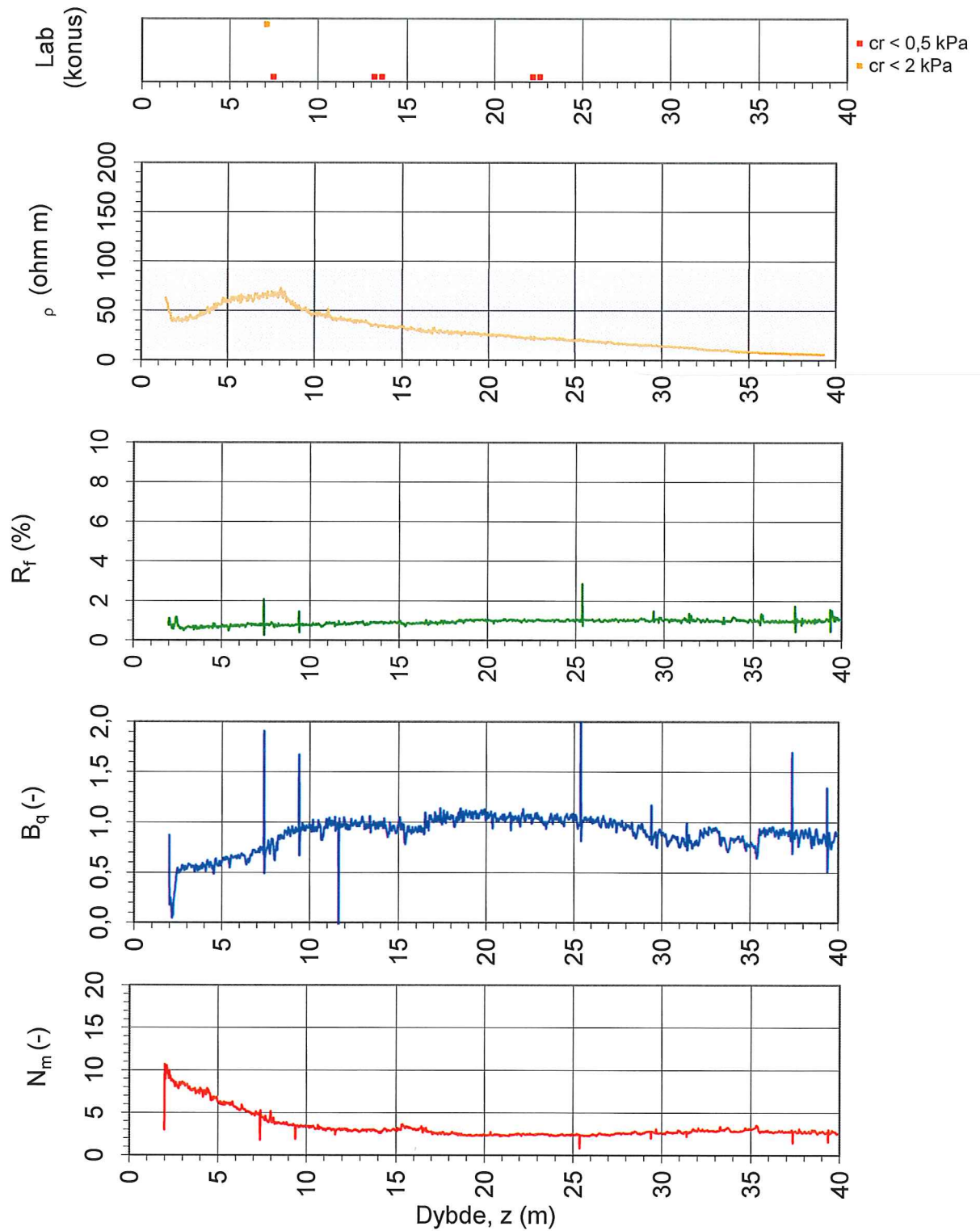
42.1

Versjon:

01.10.2014

Revisjon:

0



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

5559 Klett\_RCPTU\_S2\_v5

Spissmotstandstall, poretrykks-, friksjonsforhold, resistivitet og påvist kvikkleire

**Multiconsult**

CPTU id.:

Klett RCPTU S2

Sonde:

4293

**MULTICONSULT AS**

Dato:

09.10.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

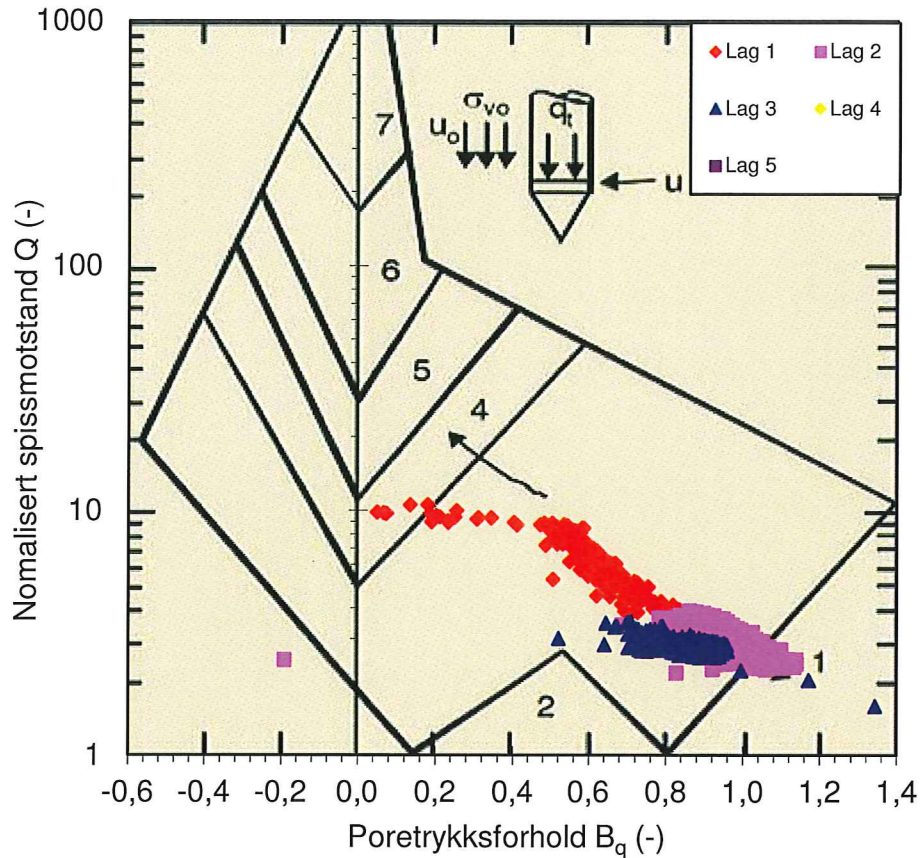
42.2

Versjon:

01.10.2014

Revisjon:

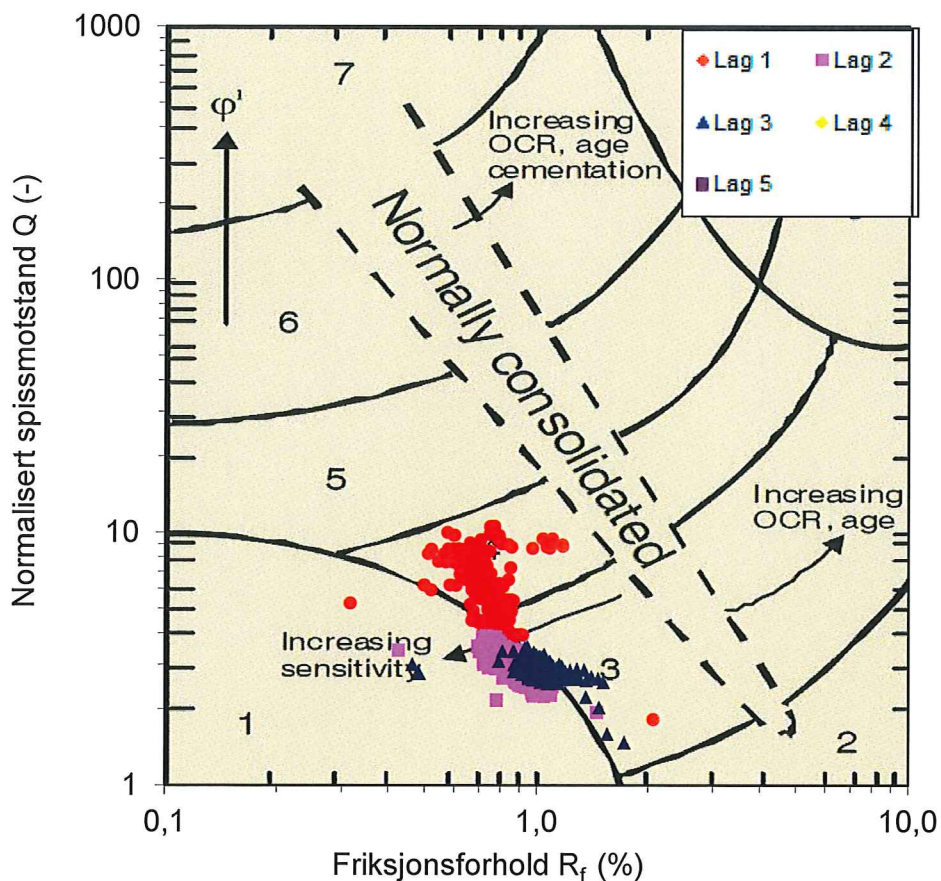
0



Jordartsid.	Beskrivelse	Laggrenser	Lag nr.	Id	Id
1	Sensitivt, finkornig materiale	Fra - til (m)			
2	Organisk materiale	0,0 - 8,5 m	1	3	
3	Leire - siltig leire	8,5 - 29,0 m	2	3	1
4	Leirig silt - siltig leire	29,0 - 40,0 m	3	3	
5	Siltig sand - sandig silt	0,0 - 0,0 m	4		
6	Sand - siltig sand	0,0 - 0,0 m	5		
7	Grusig sand - sand	Ved variasjon i jordart-gruppe brukes begge Id - boksene for å beskrive jordarten (eks. 5 - 7).			
8	Meget fast, sand - leirig sand				
9	Meget fast, finkornig materiale				

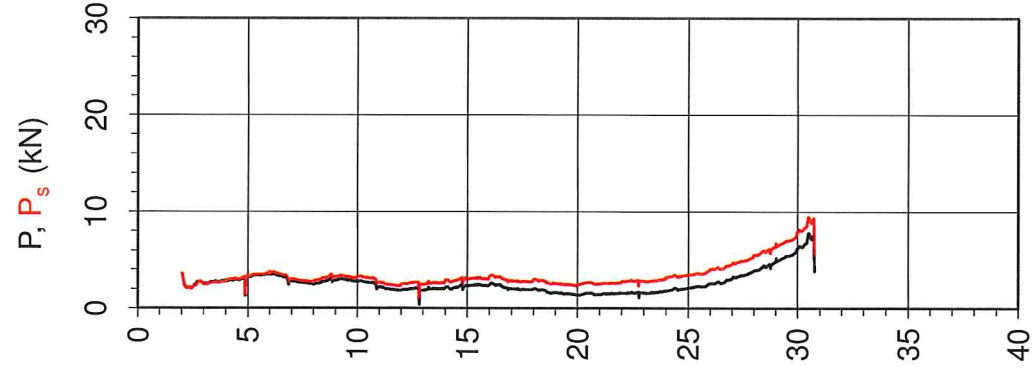
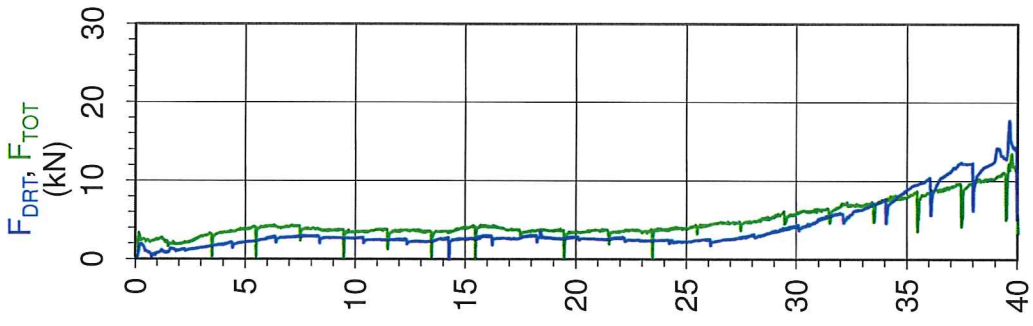
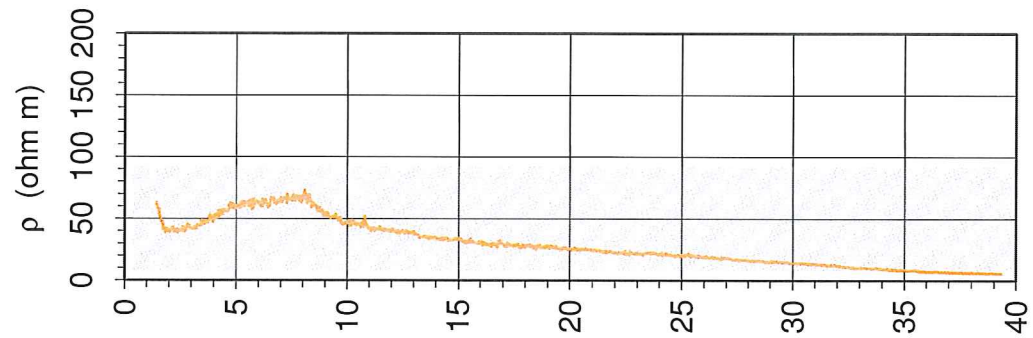
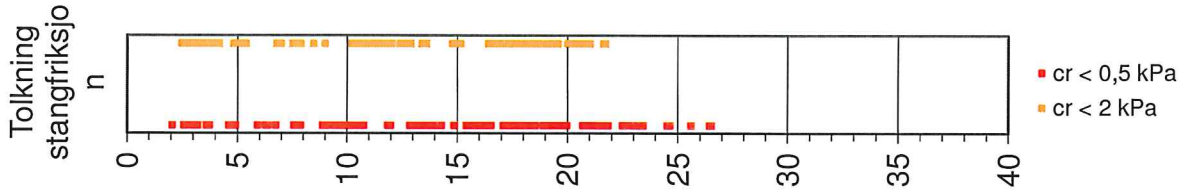
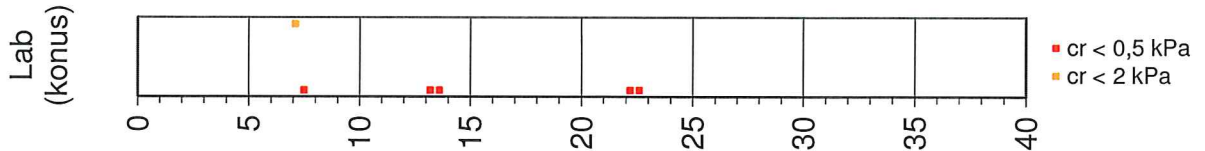
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 15559 Klett_RCPTU_S2_v5.	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - Q og B <sub>q</sub> - lagvis.					
CPTU id.:	Klett RCPTU S2	Sonde:	4293	<b>Multiconsult</b>	
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS		
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 42.3	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0	





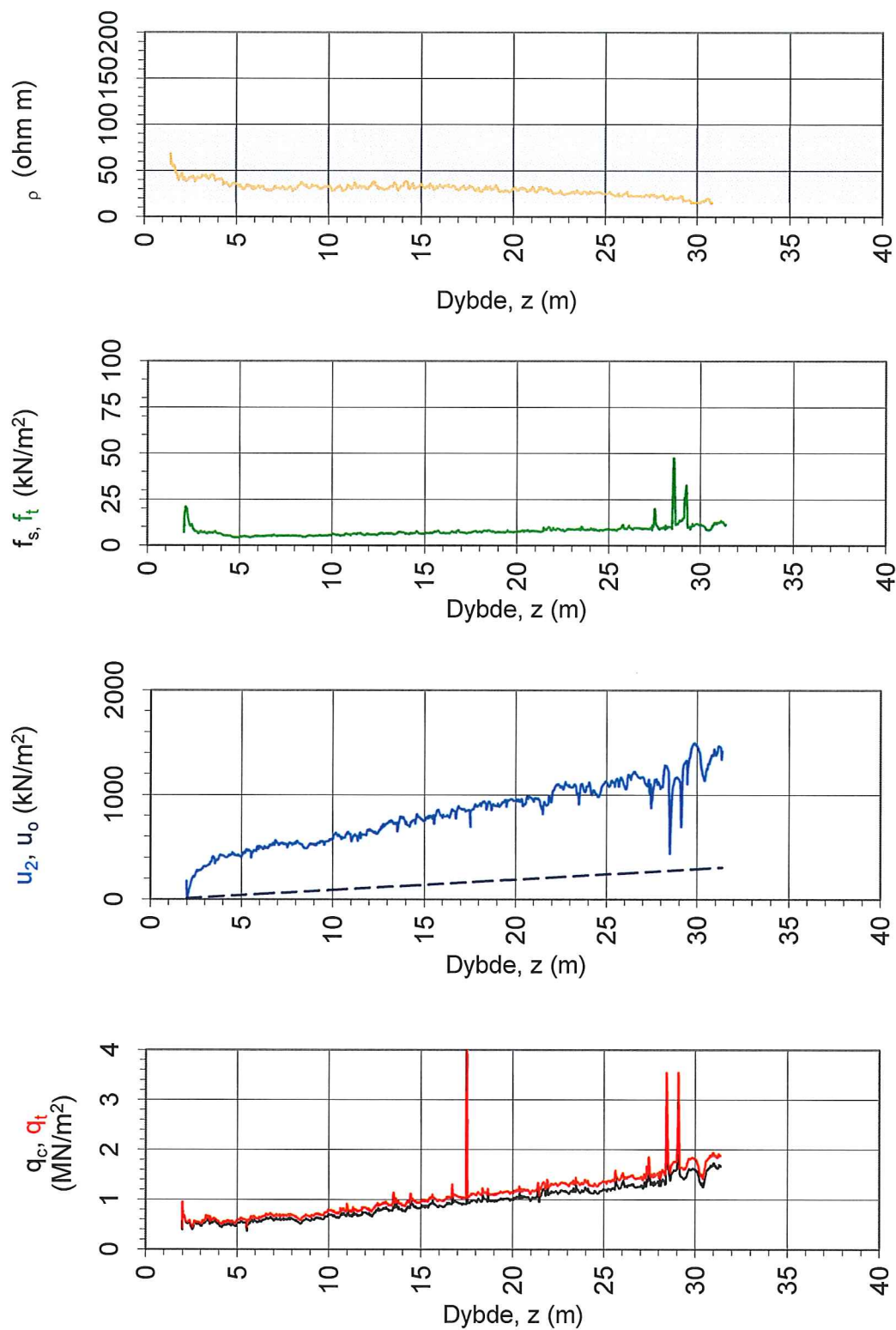
Jordartsid.	Beskrivelse	Laggrens	Lag		
		Fra - til (m)	nr.	ld	ld
1	Sensitivt, finkornig materiale				
2	Organisk materiale	0,0 - 8,5 m	1	3	4
3	Leire - siltig leire	8,5 - 29,0 m	2	1	3
4	Leirig silt - siltig leire	29,0 - 40,0 m	3	3	1
5	Siltig sand - sandig silt	0,0 - 0,0 m	4		
6	Sand - siltig sand	0,0 - 0,0 m	5		
7	Grusig sand - sand	Ved variasjon i jordart-gruppe brukes begge ld - boksene for å beskrive jordarten (eks. 5 - 7).			
8	Meget fast, sand - leirig sand				
9	Meget fast, finkornig materiale				

Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 5559 Klett_RCPTU_S2_v3	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - Q og R <sub>f</sub> .				<b>Multiconsult</b>	
CPTU id.:	Klett RCPTU S2	Sonde:	4293		
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV	
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Versjon:	Revisjon:	
	415559	42.4	01.10.2014	0	

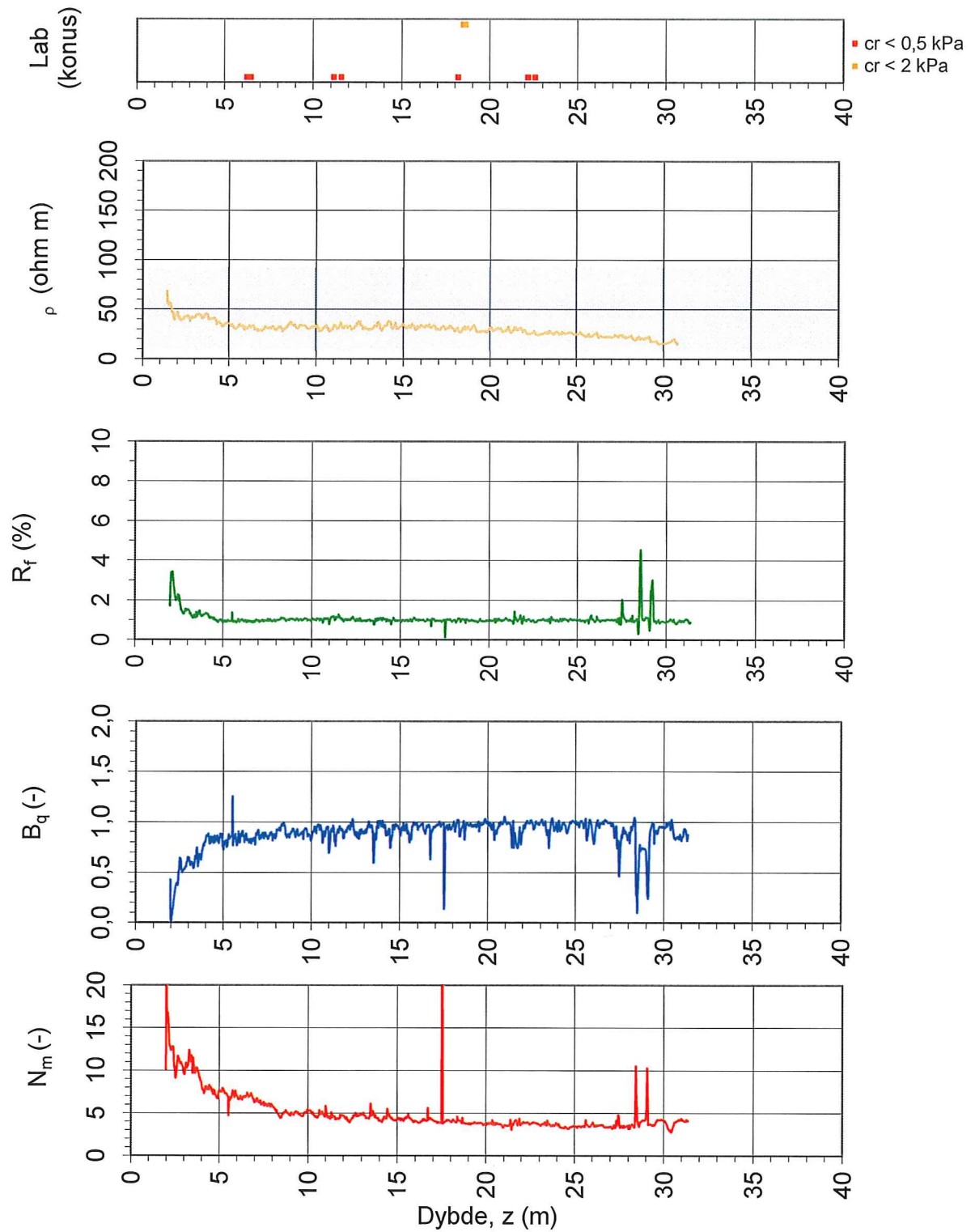


Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 5559 Klett_RCPTU_S2_v3
Total nedpressingskraft CPTU, Matekraft DRT/TOT, Stangfriksjon CPTU, resistivitet, tolkning				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	Klett RCPTU S2	Sonde:	4293	
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 42.5	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0

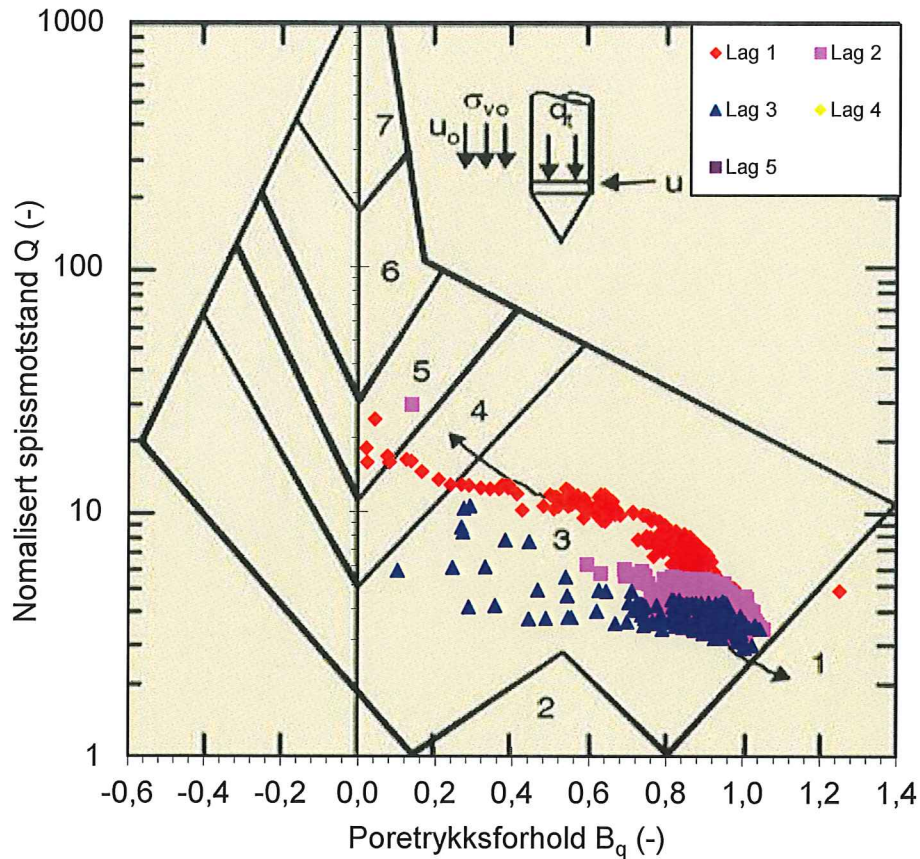




Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 5559 Fallan_RCPTU_2_v5
Spissmotstand $q_{c,t}$ , poretrykk $u_2$ , sidefriksjon $f_{s,t}$ og resistivitet $\rho$ .				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	Fallan RCPTU FS1	Sonde:	4293	
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 43.1	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0



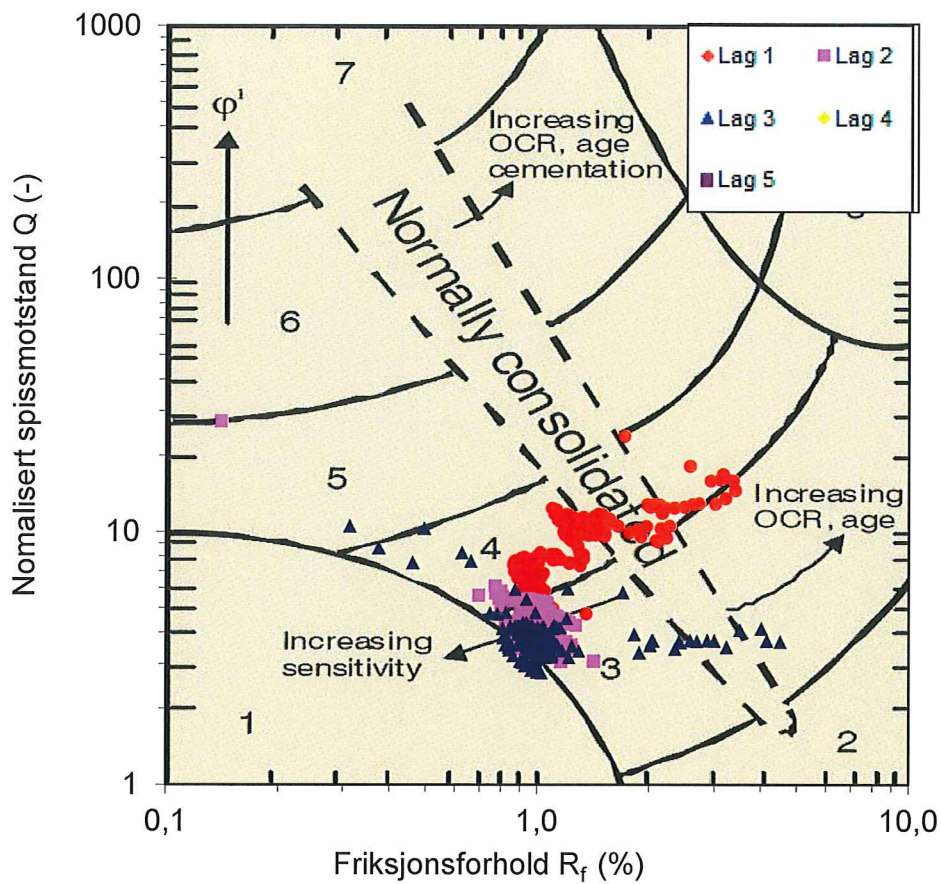
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 5559 Fallan_RCPTU_2_v5
Spissmotstandstall, poretrykks-, friksjonsforhold, resistivitet og påvist kvikkleire				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	Fallan RCPTU FS1	Sonde:	4293	
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 43.2	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0



Jordartsid.	Beskrivelse	Laggrenser	Lag nr.	Id	Id
1	Sensitivt, finkornig materiale	Fra - til (m)			
2	Organisk materiale	0,0 - 8,5 m	1	3	
3	Leire - siltig leire	8,5 - 27,0 m	2	3	
4	Leirig silt - siltig leire	27,0 - 40,0 m	3	3	
5	Siltig sand - sandig silt	0,0 - 0,0 m	4		
6	Sand - siltig sand	0,0 - 0,0 m	5		
7	Grusig sand - sand	Ved variasjon i jordartgruppe brukes begge Id - boksene for å beskrive jordarten (eks. 5 - 7).			
8	Meget fast, sand - leirig sand				
9	Meget fast, finkornig materiale				

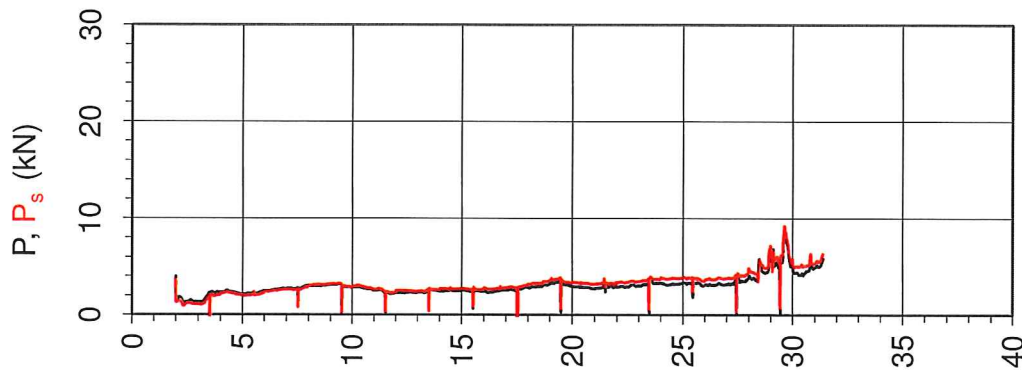
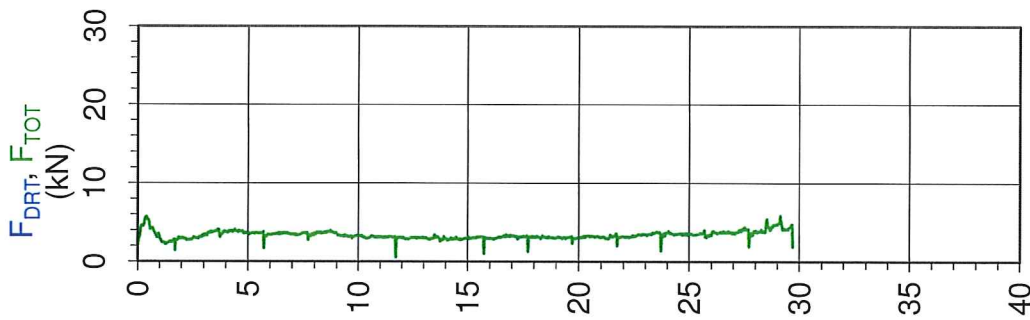
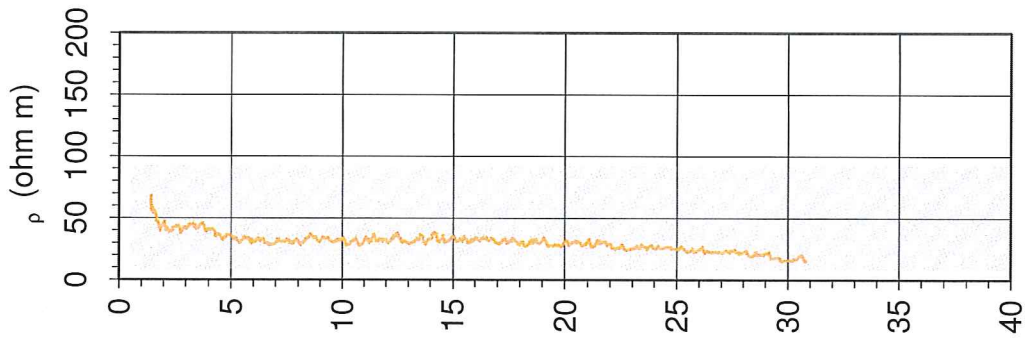
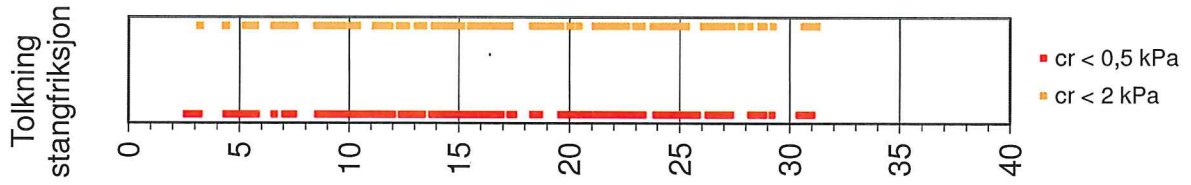
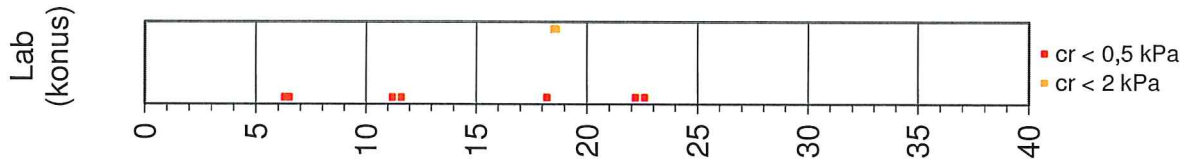
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 15559 Fallan_RCPTU_2_v5.	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - Q og B <sub>q</sub> - lagvis.					
CPTU id.:	Fallan RCPTU FS1	Sonde:	4293	<b>Multiconsult</b>	
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS		
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 43.3	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0	



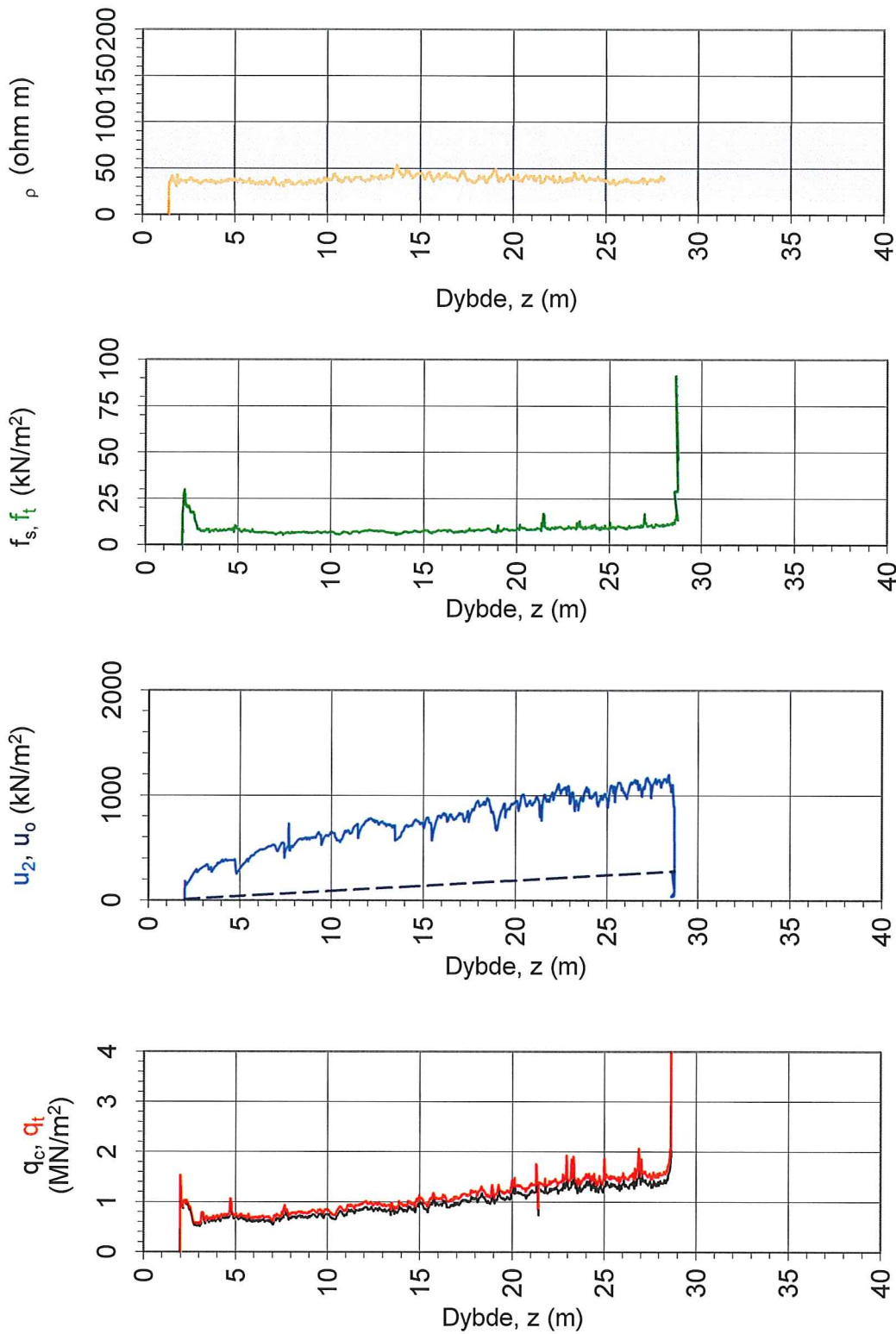


Jordartsid.	Beskrivelse	Laggrenser	Lag		
		Fra - til (m)	nr.	Id	Id
1	Sensitivt, finkornig materiale				
2	Organisk materiale	0,0 - 8,5 m	1	3	4
3	Leire - siltig leire	8,5 - 27,0 m	2	3	
4	Leirig silt - siltig leire	27,0 - 40,0 m	3	3	
5	Siltig sand - sandig silt	0,0 - 0,0 m	4		
6	Sand - siltig sand	0,0 - 0,0 m	5		
7	Grusig sand - sand	Ved variasjon i jordart-gruppe brukes begge Id - boksene for å beskrive jordarten (eks. 5 - 7).			
8	Meget fast, sand - leirig sand				
9	Meget fast, finkornig materiale				

Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 5559 Fallan_RCPTU_2_v3	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - Q og R <sub>f</sub> .					
CPTU id.:		Fallan RCPTU FS1	Sonde:	4293	
MULTICONSULT AS	Dato:	Tegnet:	Kontrollert:	Godkjent:	
	09.10.2014	ALM	ROLS	ARV	
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Versjon:	Revisjon:	
	415559	43.4	01.10.2014	0	



Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 5559 Fallan_RCPTU_2_v3
Total nedpressingskraft CPTU, Matekraft DRT/TOT, Stangfriksjon CPTU, resistivitet, tolkning				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	Fallan RCPTU FS1	Sonde:	4293	
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 43.5	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

5559 Fallan\_RCPTU\_2\_v5

Spissmotstand  $q_{c,t}$ , poretrykk  $u_2$ , sidefriksjon  $f_{s,t}$  og resistivitet  $\rho$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:

Fallan R-CPTU FS2

Sonde:

4293

**MULTICONSULT AS**

Dato:  
09.10.2014

Tegnet:  
ALM

Kontrollert:  
ROLS

Godkjent:  
ARV

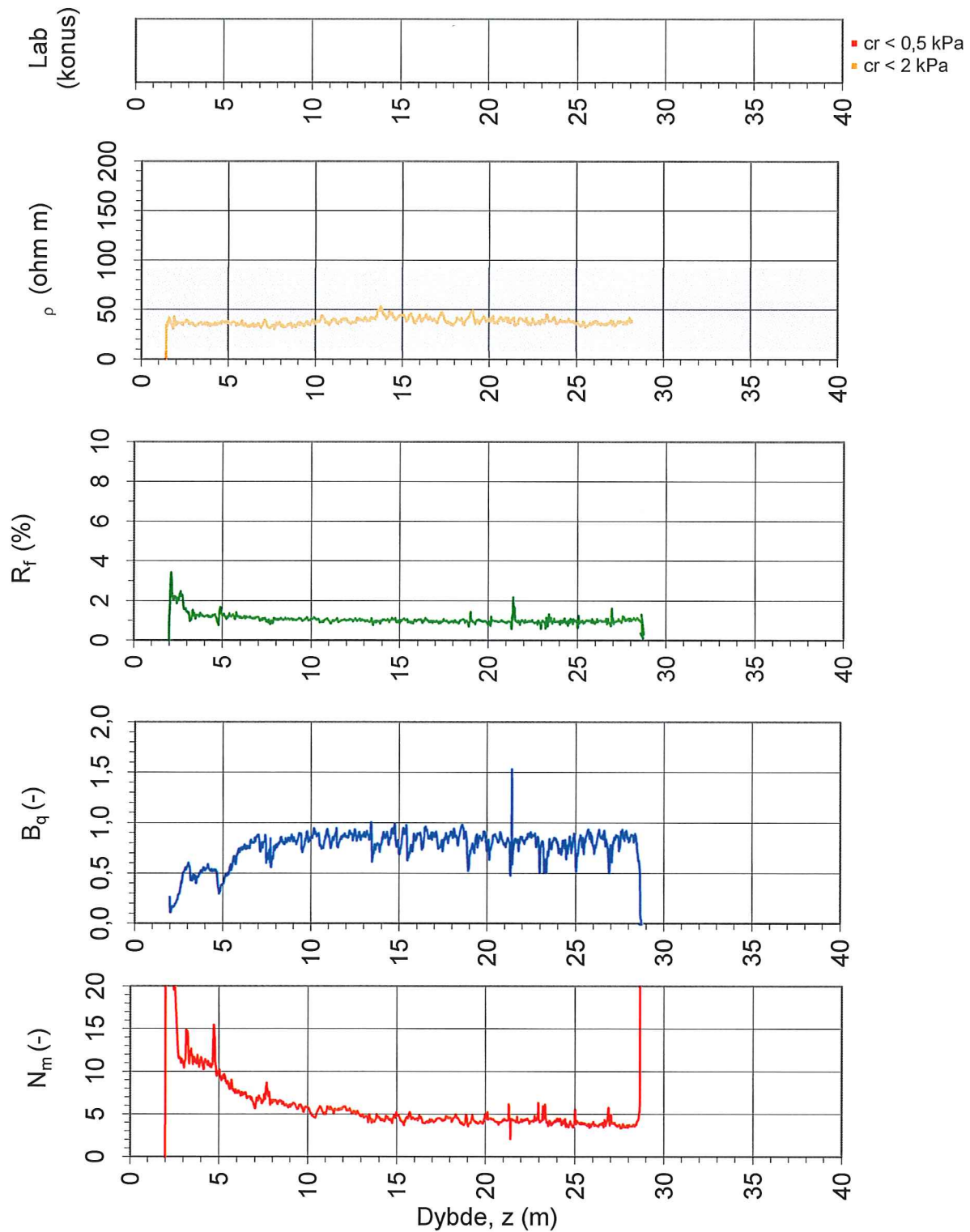
Oppdrag nr.:  
415559

Tegning nr.:  
44.1

Versjon:  
01.10.2014

Revisjon:  
0

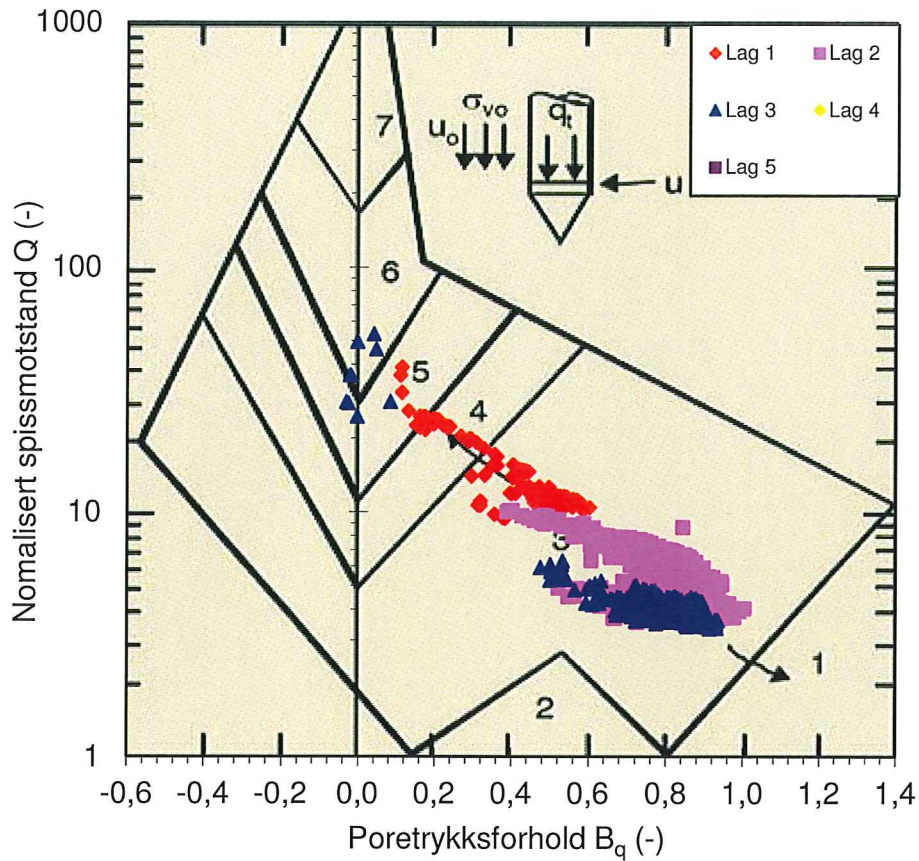




Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 5559 Fallan_RCPTU_2_v5	
Spissmotstandstall, poretrykks-, friksjonsforhold, resistivitet og påvist kvikkleire					
CPTU id.:		Fallan R-CPTU FS2	Sonde:	4293	
MULTICONSULT AS	Dato:	09.10.2014	Tegnet:	Kontrollert:	Godkjent:
	Oppdrag nr.:	415559	Tegning nr.:	44.2	01.10.2014
				ROLS	ARV
				Versjon:	Revisjon:
				01.10.2014	0

**Multiconsult**

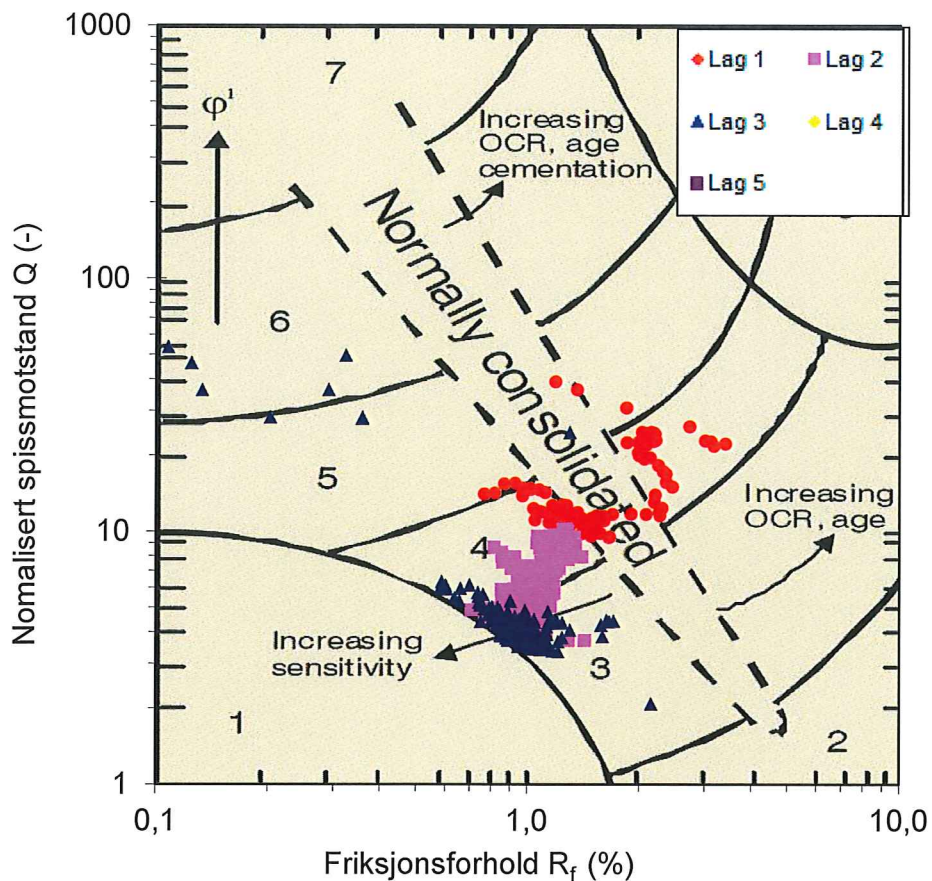




Jordartsid.	Beskrivelse	Laggrens	Lag nr.	Id	Id
1	Sensitivt, finkornig materiale	Fra - til (m)			
2	Organisk materiale	0,0 - 5,0 m	1	3	4
3	Leire - siltig leire	5,0 - 20,0 m	2	3	
4	Leirig silt - siltig leire	20,0 - 30,0 m	3	3	
5	Siltig sand - sandig silt	0,0 - 0,0 m	4		
6	Sand - siltig sand	0,0 - 0,0 m	5		
7	Grusig sand - sand	Ved variasjon i jordart-gruppe brukes begge Id - boksene for å beskrive jordarten (eks. 5 - 7).			
8	Meget fast, sand - leirig sand				
9	Meget fast, finkornig materiale				

Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 15559 Fallan_RCPTU_2_v5.	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - $q_t$ og $B_q$ - lagvis.					
CPTU id.:		Fallan R-CPTU FS2	Sonde:	4293	
MULTICONSULT AS	Dato:	09.10.2014	Tegnet:	Kontrollert:	Godkjent:
	Oppdrag nr.:	415559	Tegning nr.:	Versjon:	Revisjon:
			ALM	ROLS	ARV
			44.3	01.10.2014	0

**Multiconsult**

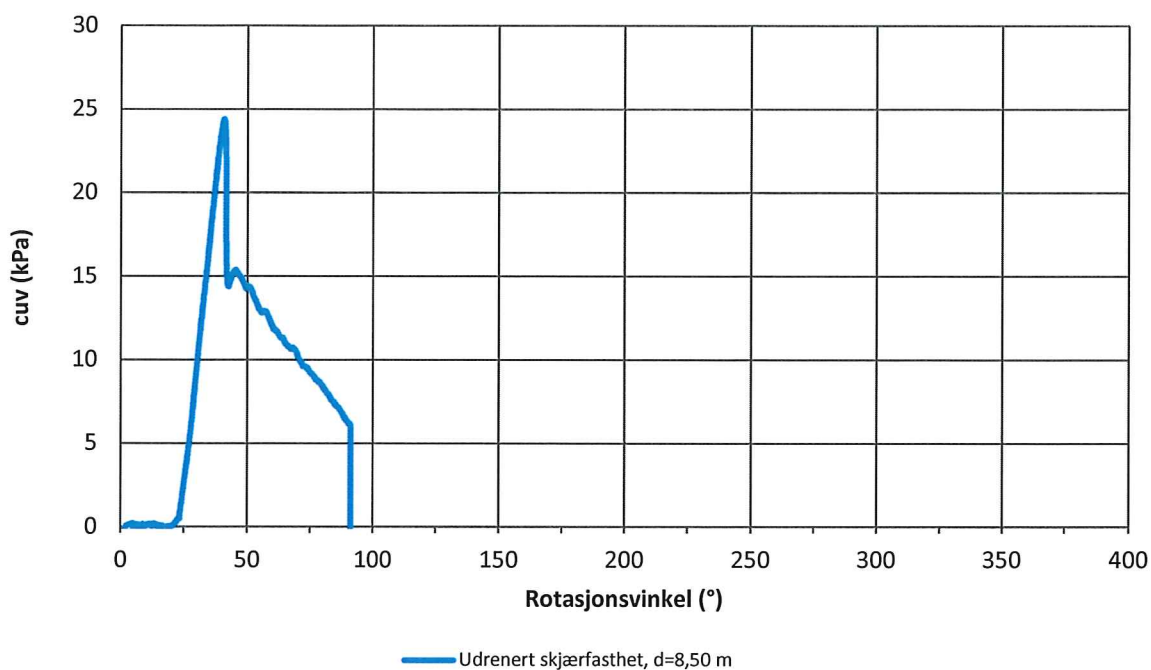


Jordartsid.	Beskrivelse	Laggrener	Lag	
		Fra - til (m)	nr.	Id
1	Sensitivt, finkornig materiale			
2	Organisk materiale	0,0 - 5,0 m	1	4
3	Leire - siltig leire	5,0 - 20,0 m	2	3
4	Leirig silt - siltig leire	20,0 - 30,0 m	3	3
5	Siltig sand - sandig silt	0,0 - 0,0 m	4	
6	Sand - siltig sand	0,0 - 0,0 m	5	
7	Grusig sand - sand	Ved variasjon i jordart-gruppe brukes begge Id - boksene for å beskrive jordarten (eks. 5 - 7).		
8	Meget fast, sand - leirig sand			
9	Meget fast, finkornig materiale			

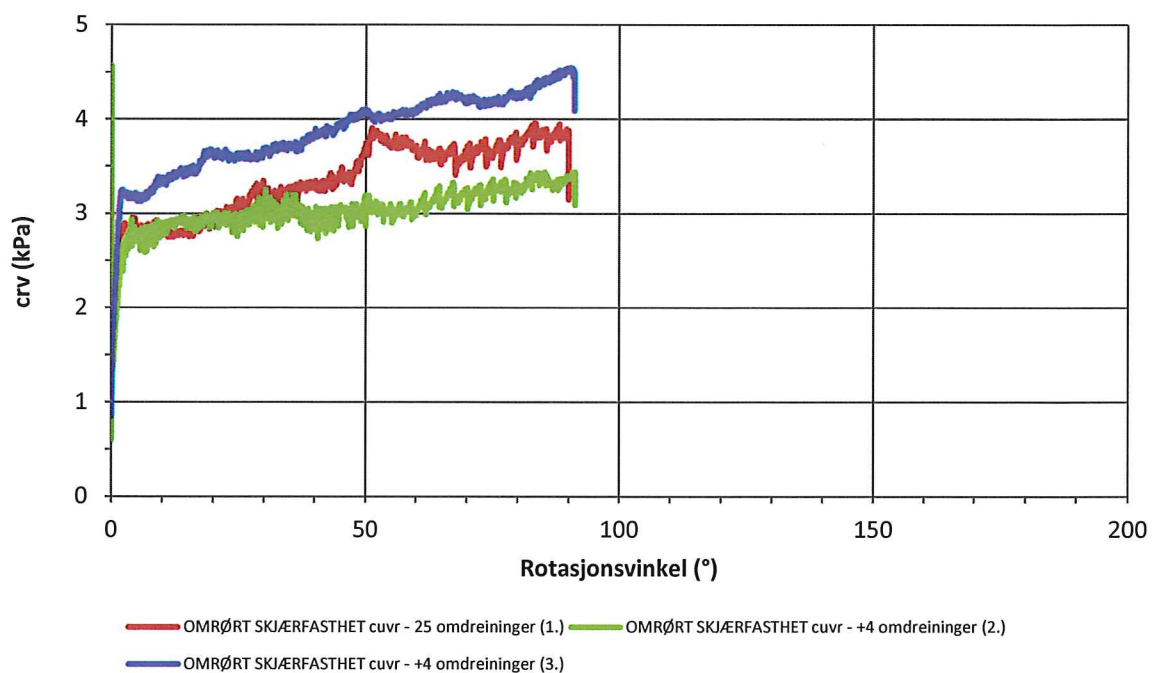
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: 5559 Fallan_RCPTU_2_v3
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - $q_t$ og $R_f$ .				<b>Multiconsult</b>
CPTU id.:	Fallan R-CPTU FS2	Sonde:	4293	
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 44.4	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0



### Korrigert udrenert skjærfasthet, $c_{uv}$



### Målt omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 8,50 m

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Fallan EFSV 2

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

50.1

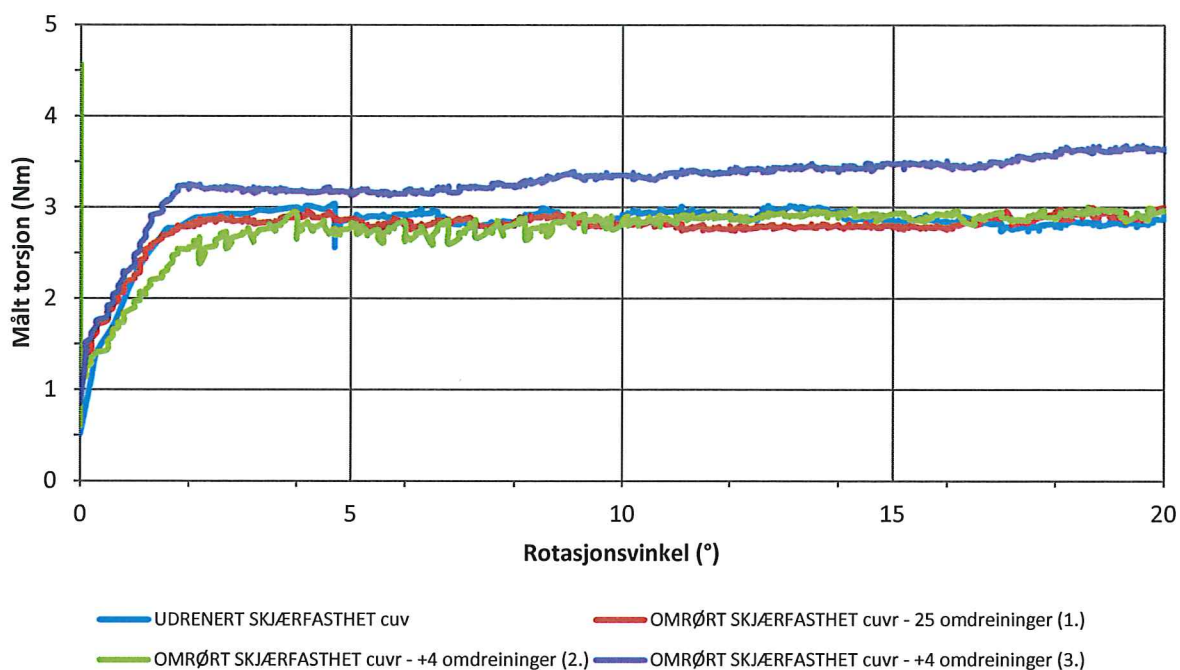
Versjon:

01.10.2014

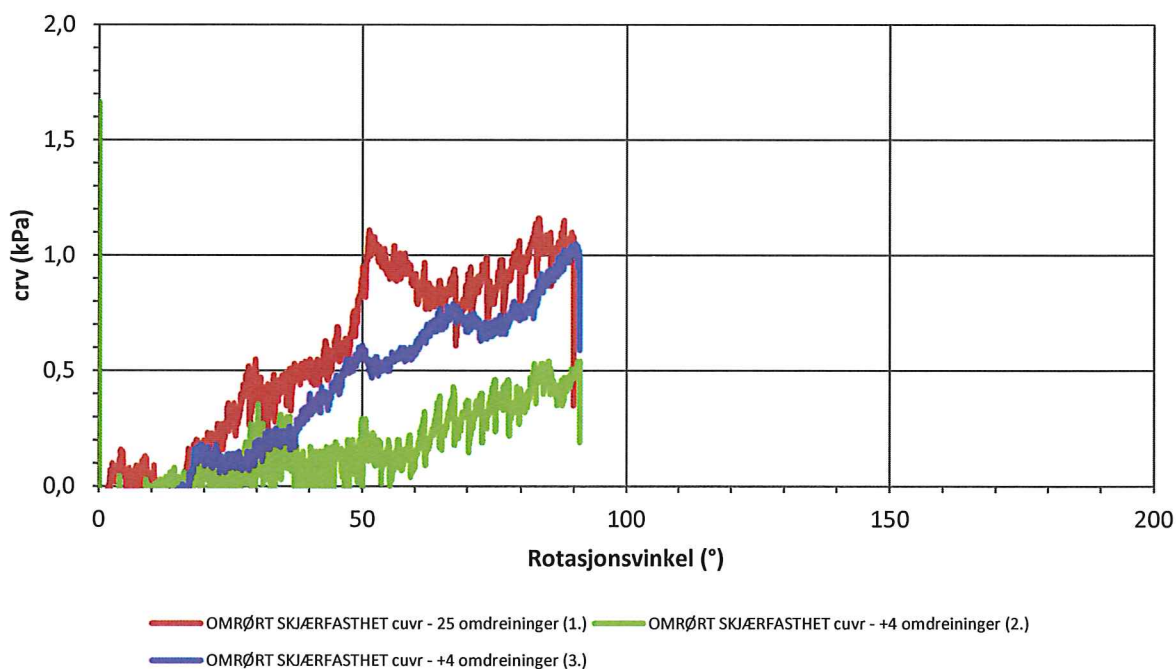
Revisjon:

0

## Friksjon i system



## Korrigert omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 8,50 m

Målt friksjon i stangsystem og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Fallan EFSV 2

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:  
18.11.2014

Tegnet:  
ALM

Kontrollert:  
ROLS

Godkjent:  
ARV

Oppdrag nr.:  
415559

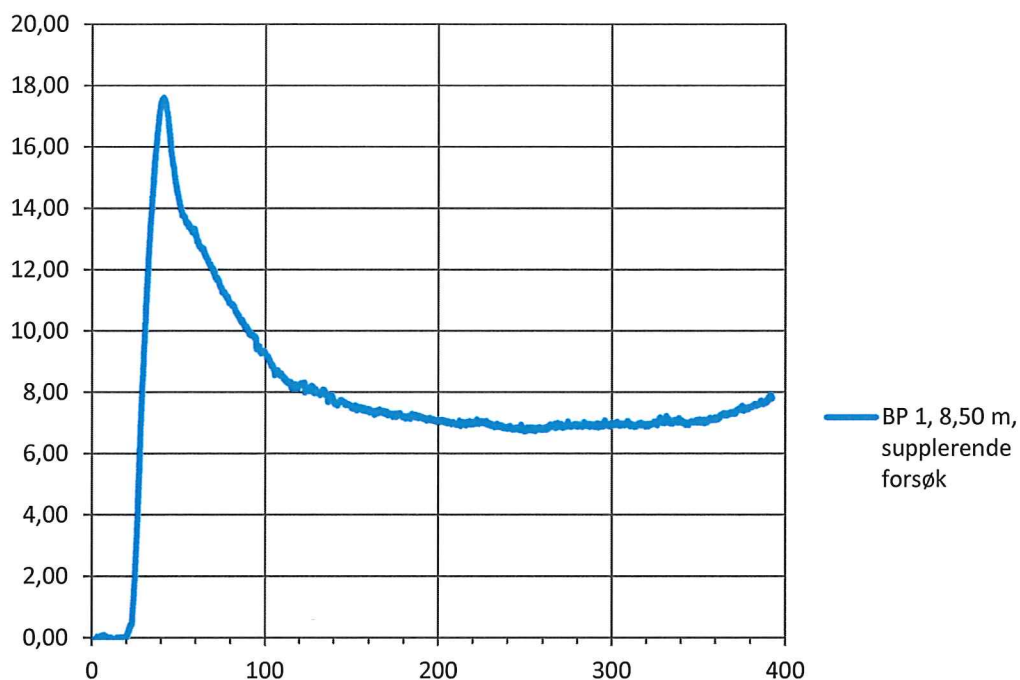
Tegning nr.:  
50.2

Versjon:  
01.10.2014

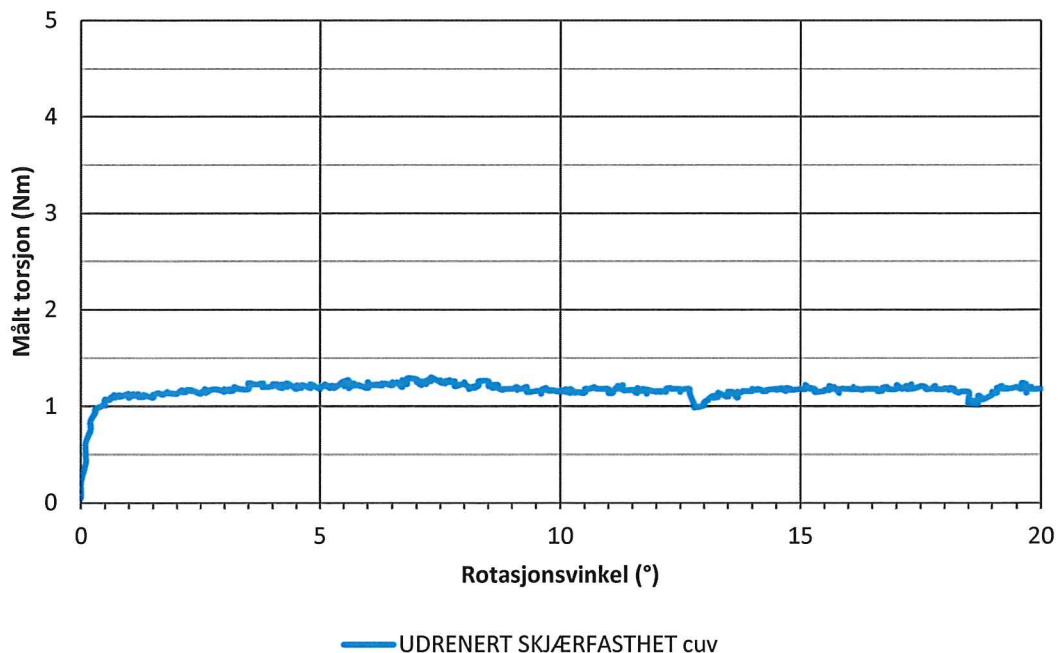
Revisjon:  
0



## Udrenert skjærfasthet, cu , supplerende



## Friksjon i system



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 8,50 m

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Fallan EFSV 2

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

50.3

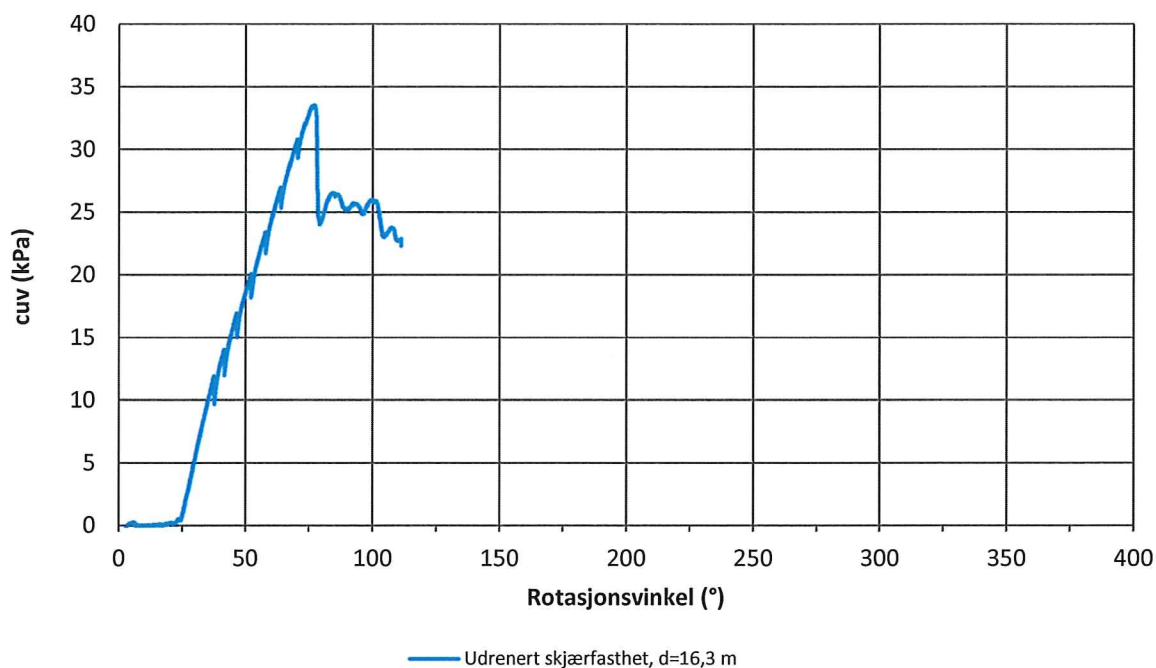
Versjon:

01.10.2014

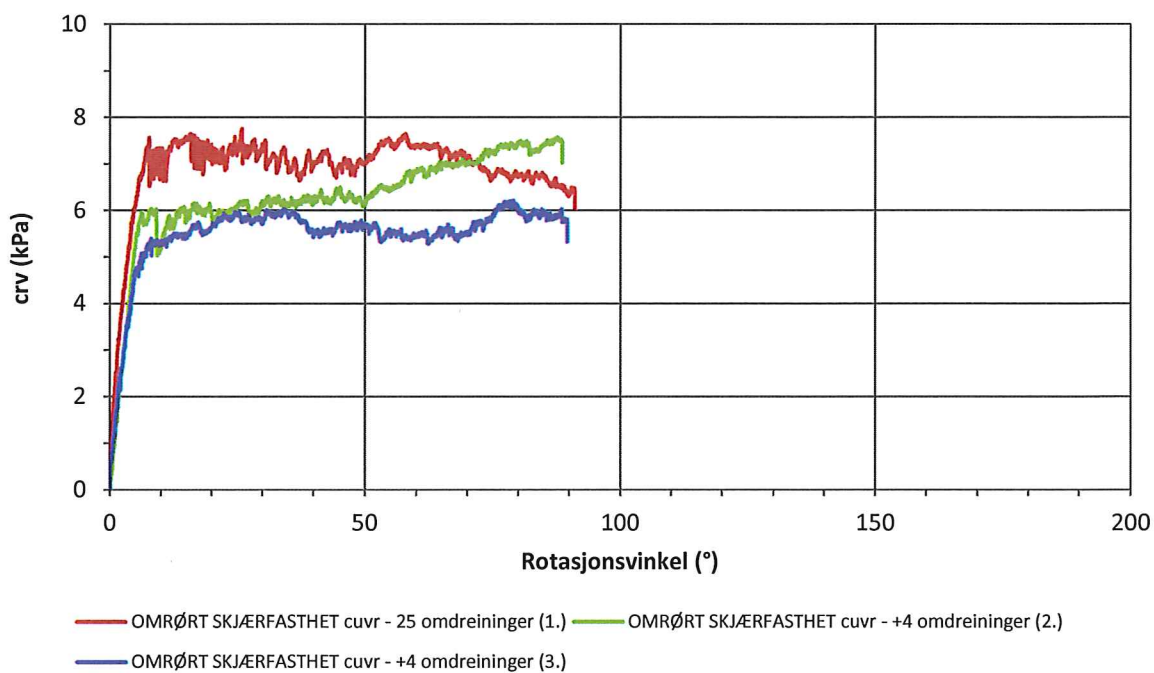
Revisjon:

0

### Korrigert udrenert skjærfasthet, $c_{uv}$



### Målt omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 16,30

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Klett EFSV 1

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

51.1

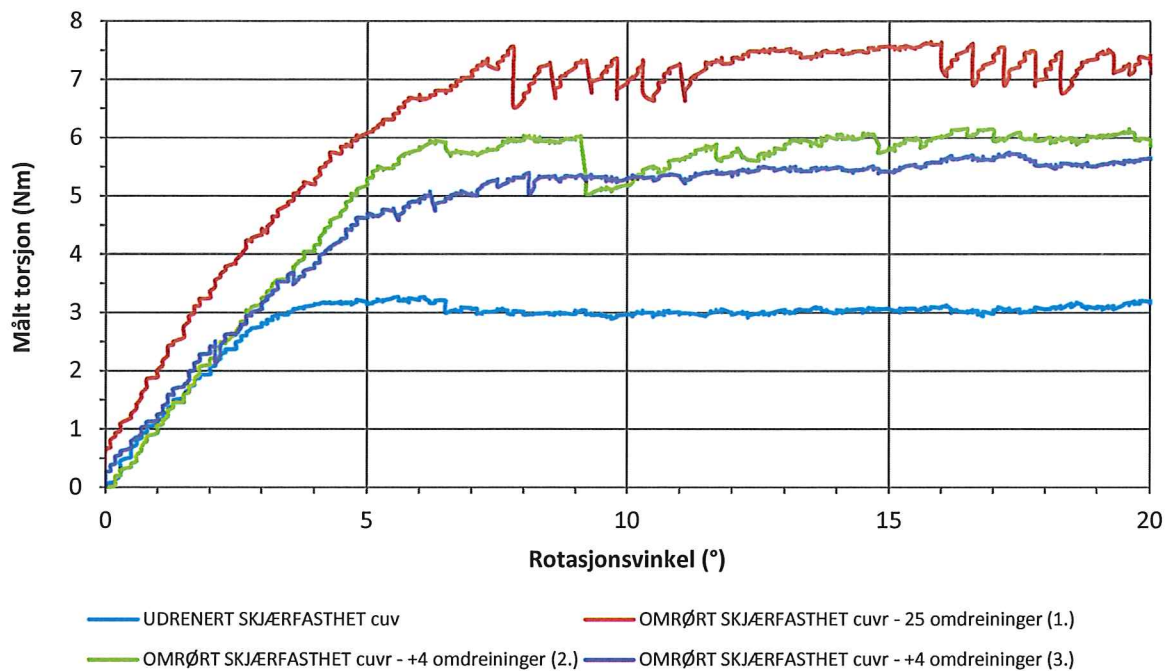
Versjon:

01.10.2014

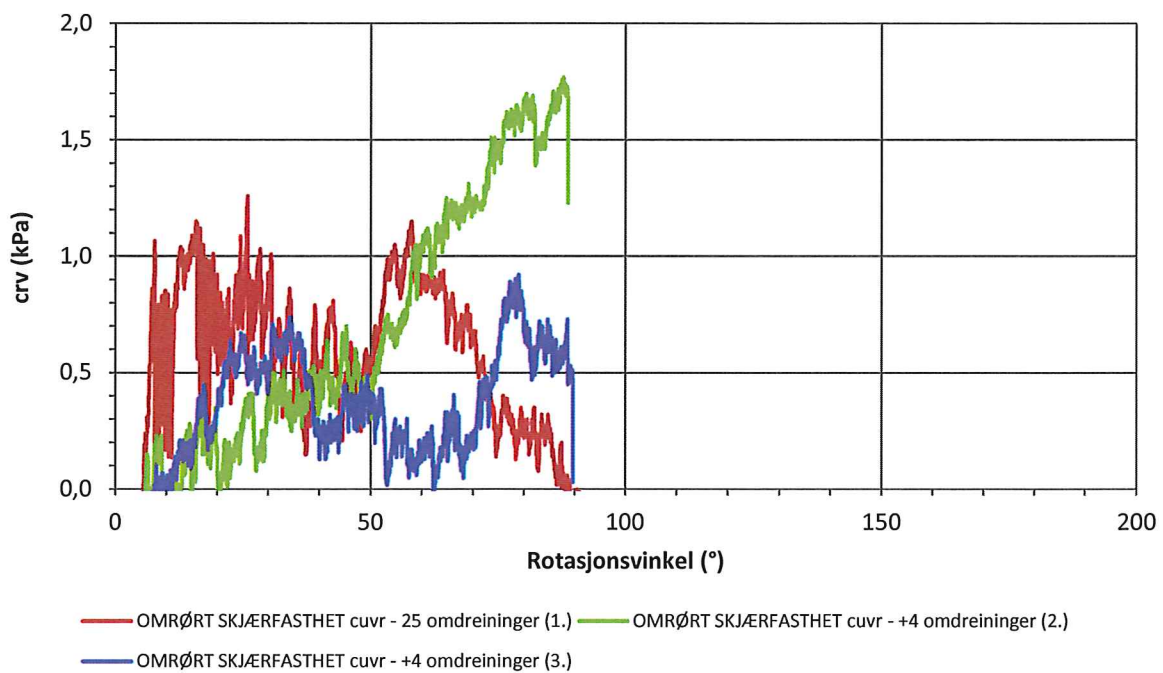
Revisjon:

0

## Friksjon i system



## Korrigert omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 16,30

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Klett EFSV 1

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

51.2

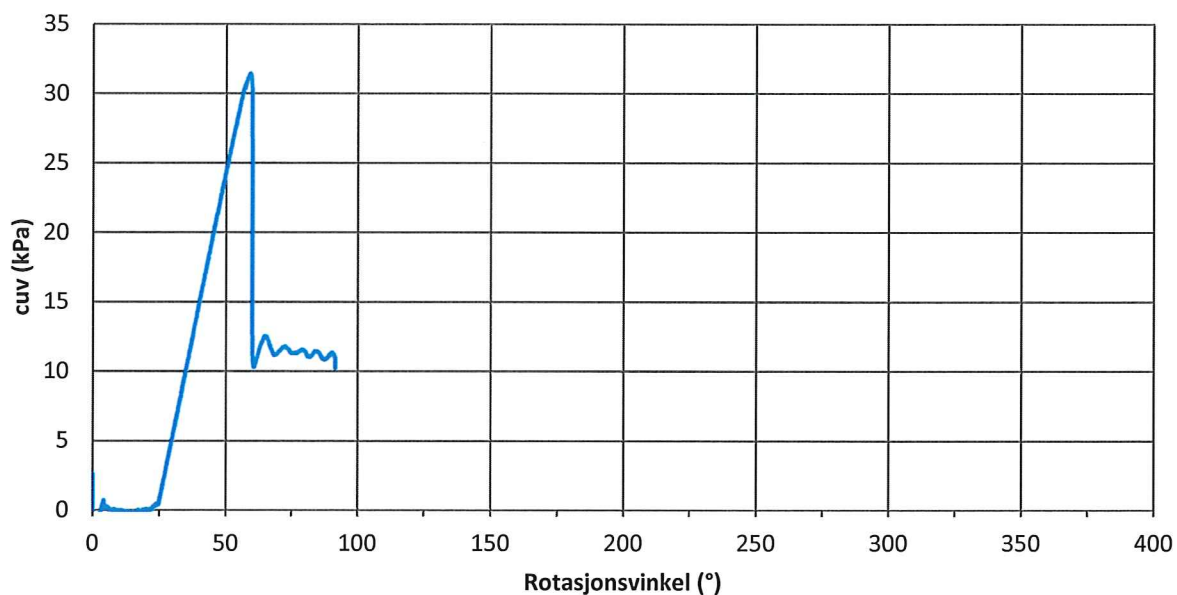
Versjon:

01.10.2014

Revisjon:

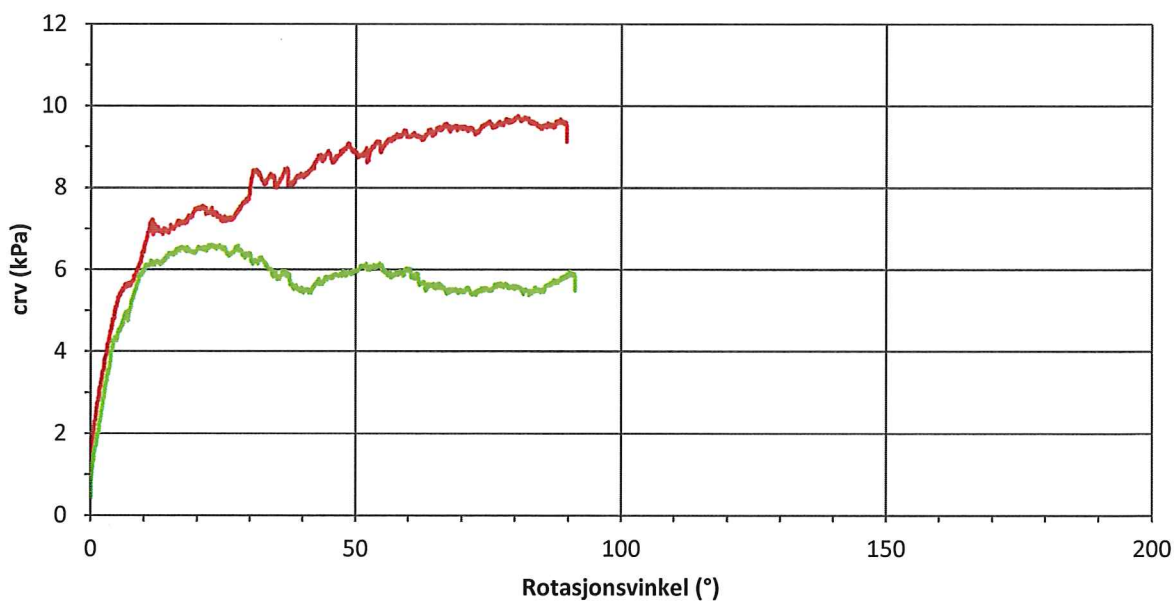
0

### Udrenert skjærfasthet, $c_{uv}$



— Udrenert skjærfasthet, d=16,7 m

### Målt omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



— OMRØRT SKJÆRFASTHET  $c_{uvr}$  - 25 omdreininger (1.)    — OMRØRT SKJÆRFASTHET  $c_{uvr}$  - 4 omdreininger (2.)

Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 16,70

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Klett EFSV 1

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

52.1

Versjon:

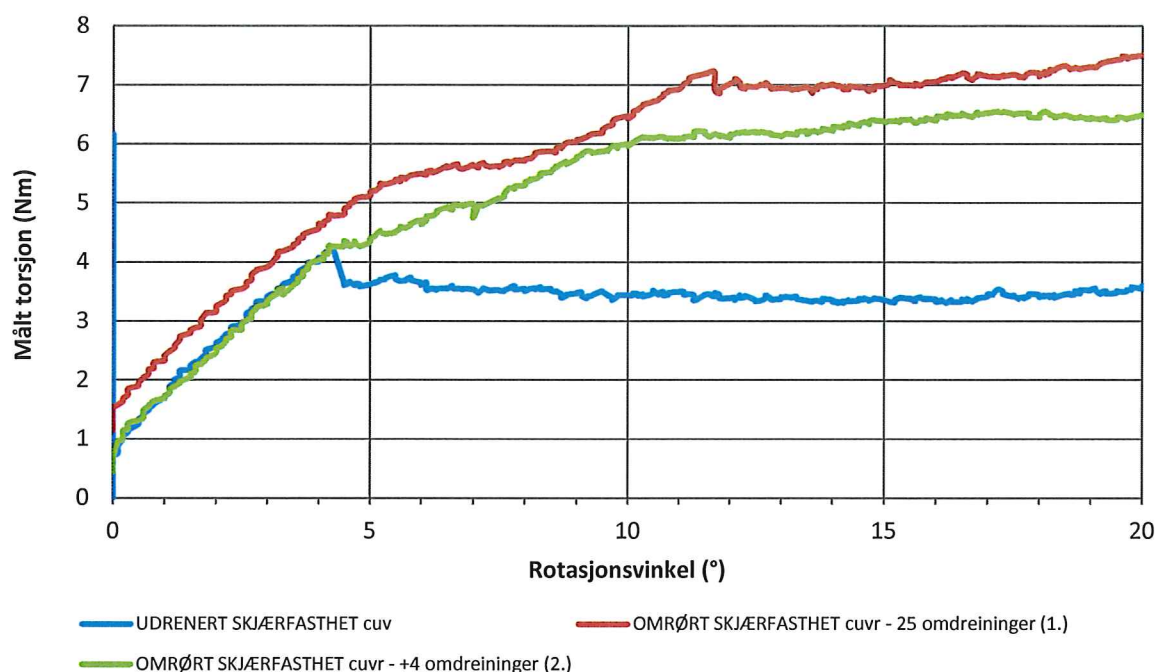
01.10.2014

Revisjon:

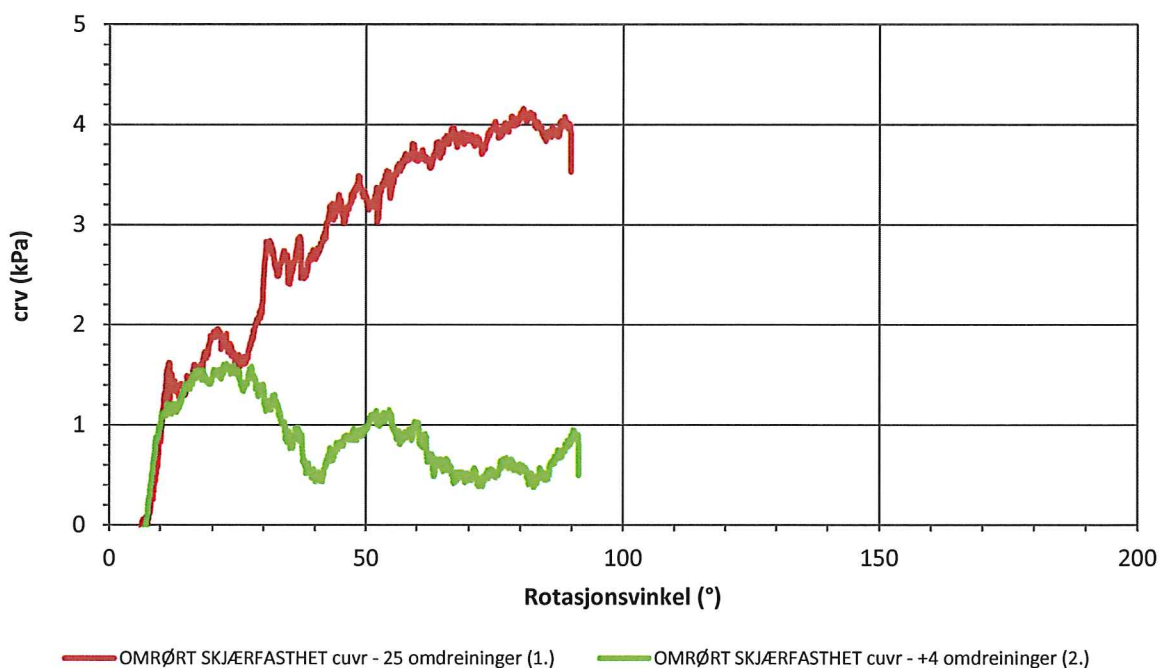
0



### Friksjon i system



### Korrigert omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 16,70

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Klett EFSV 1

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

52.2

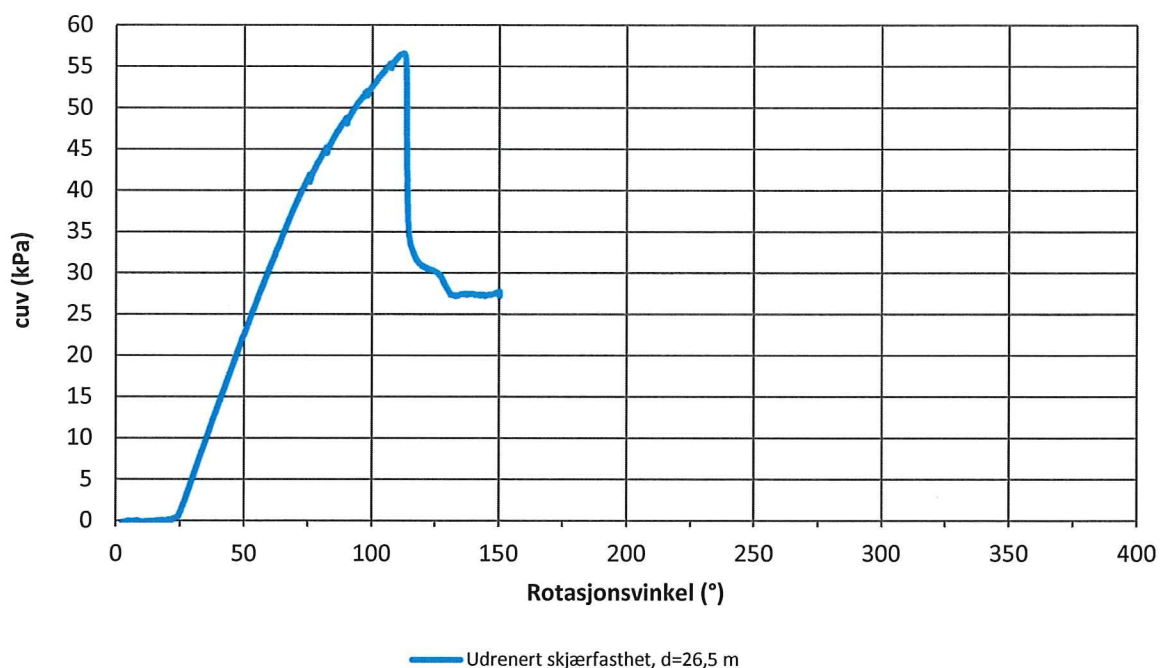
Versjon:

01.10.2014

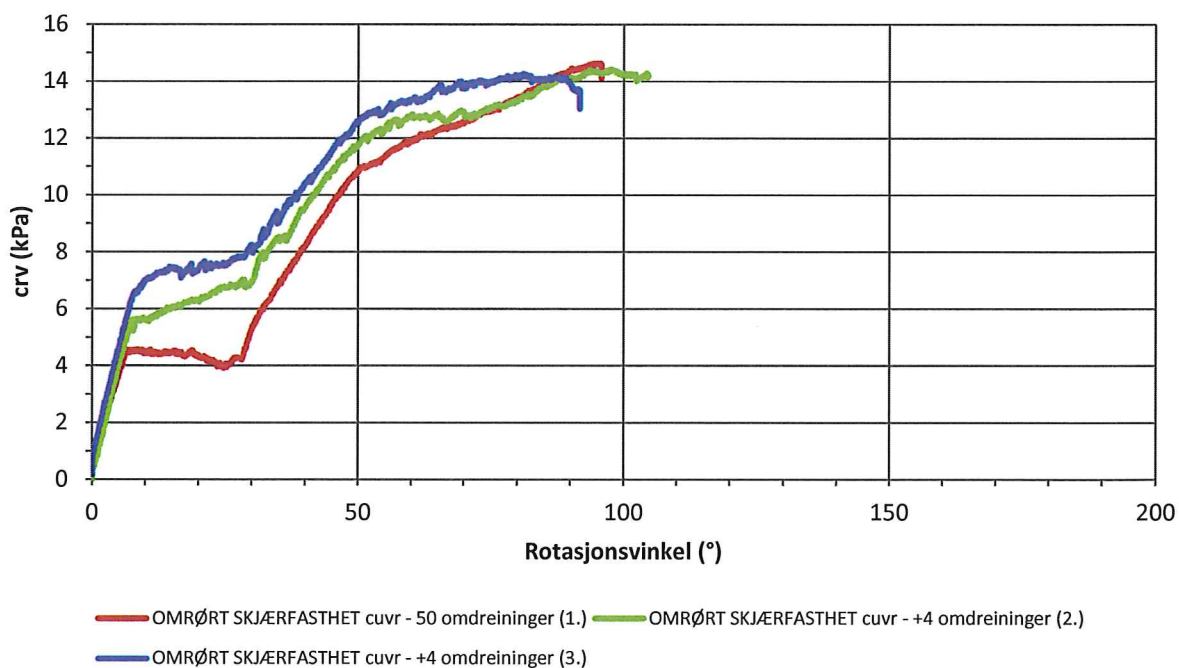
Revisjon:

0

### Korrigert udrenert skjærfasthet, $c_{uv}$



### Målt omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 26,50

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Klett EFSV 1

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

53.1

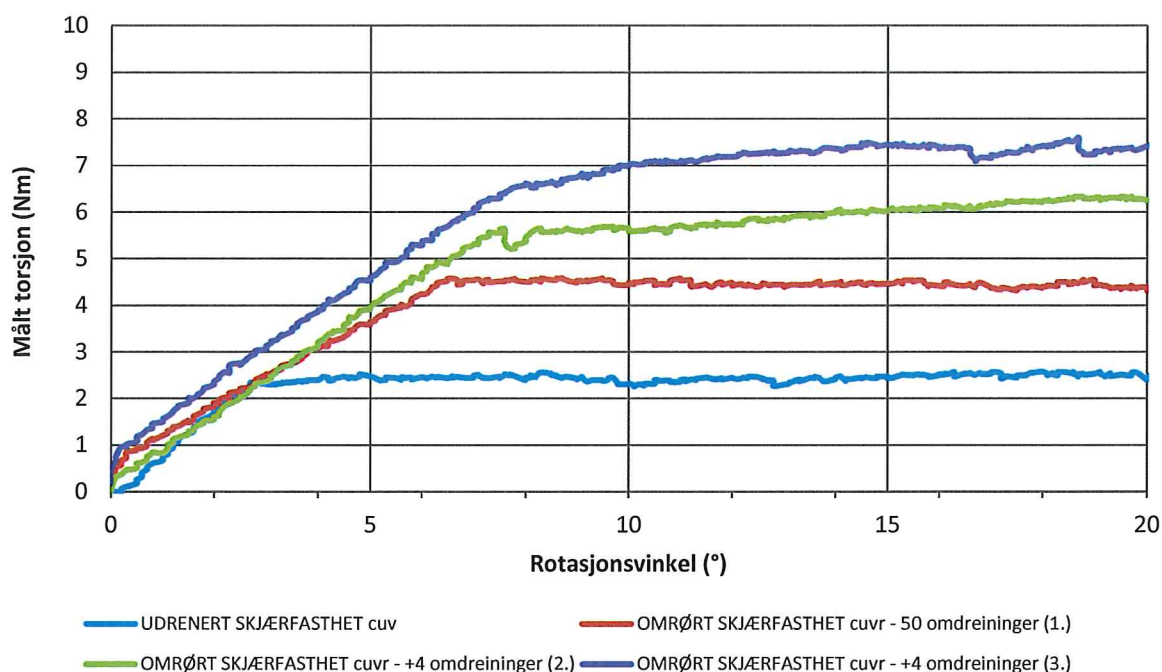
Versjon:

01.10.2014

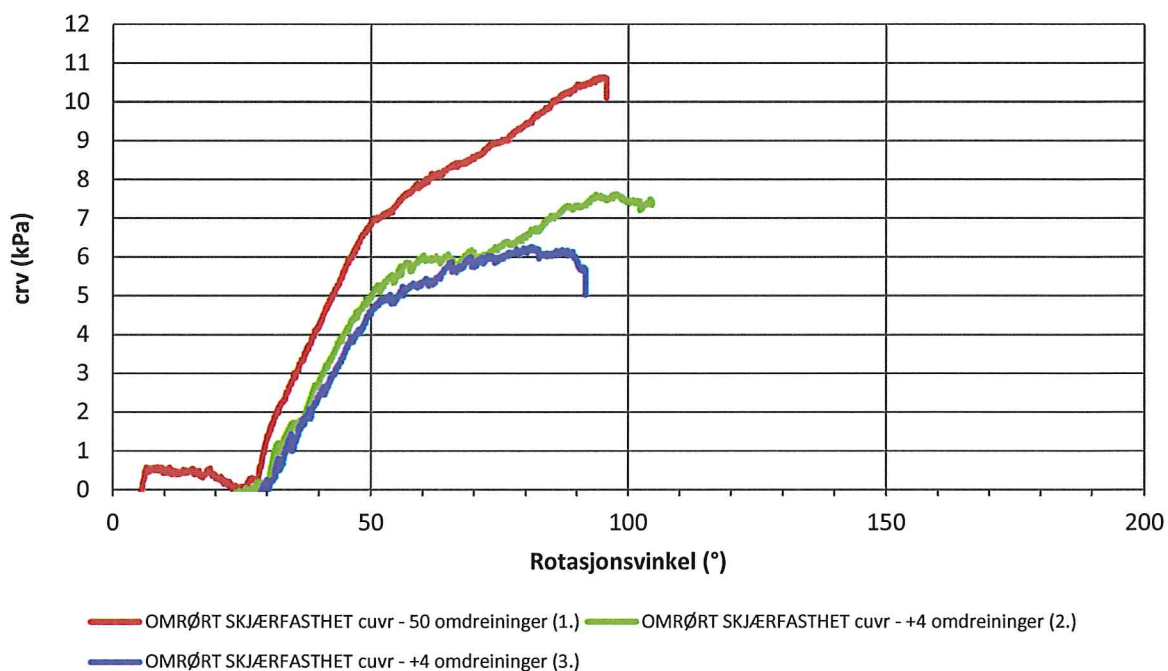
Revisjon:

0

## Friksjon i system



## Korrigert omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 26,50

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Klett EFSV 1

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:  
18.11.2014

Tegnet:  
ALM

Kontrollert:  
ROLS

Godkjent:  
ARV

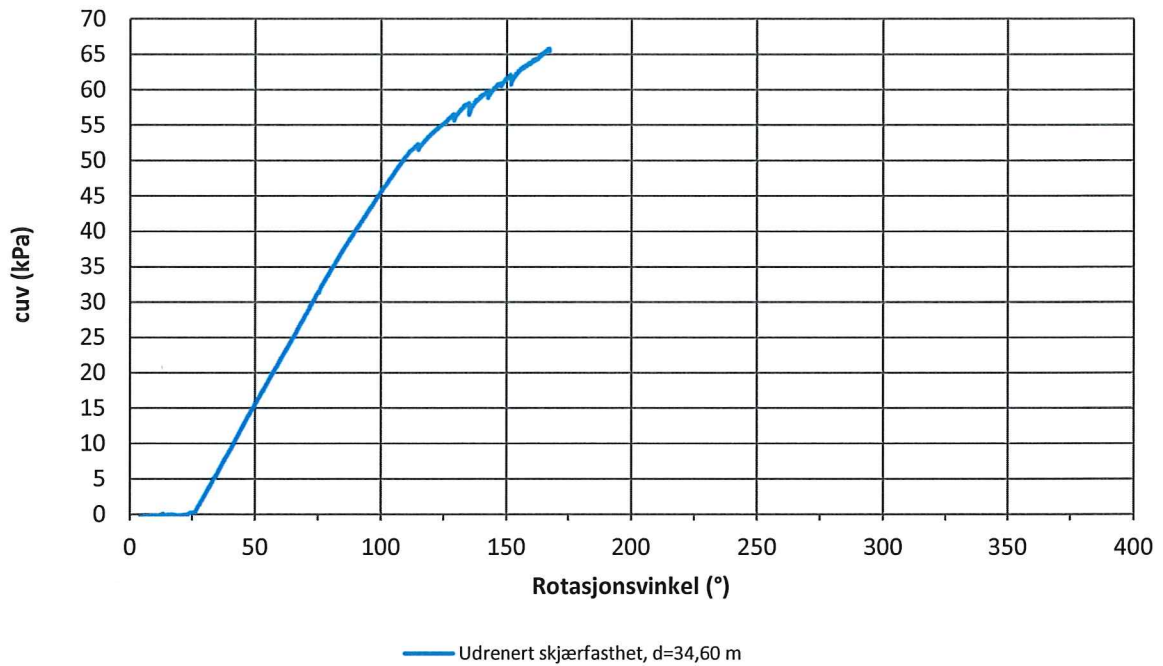
Oppdrag nr.:  
415559

Tegning nr.:  
53.2

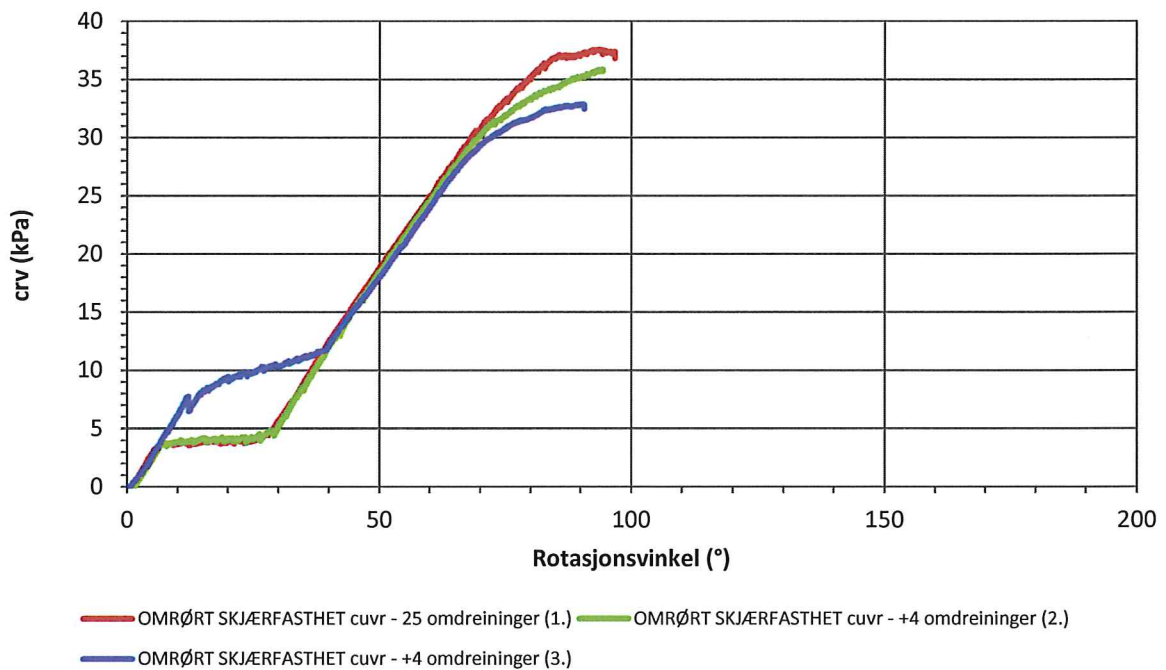
Versjon:  
01.10.2014

Revisjon:  
0

### Korrigert udrenert skjærfasthet, $c_{uv}$



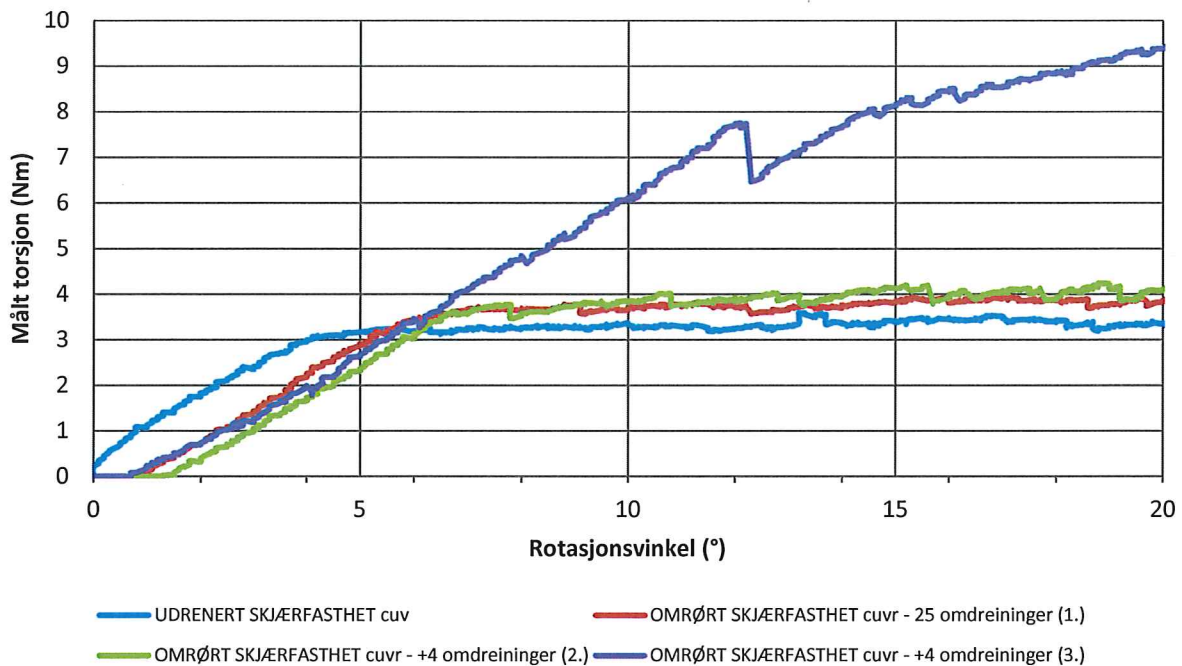
### Målt omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



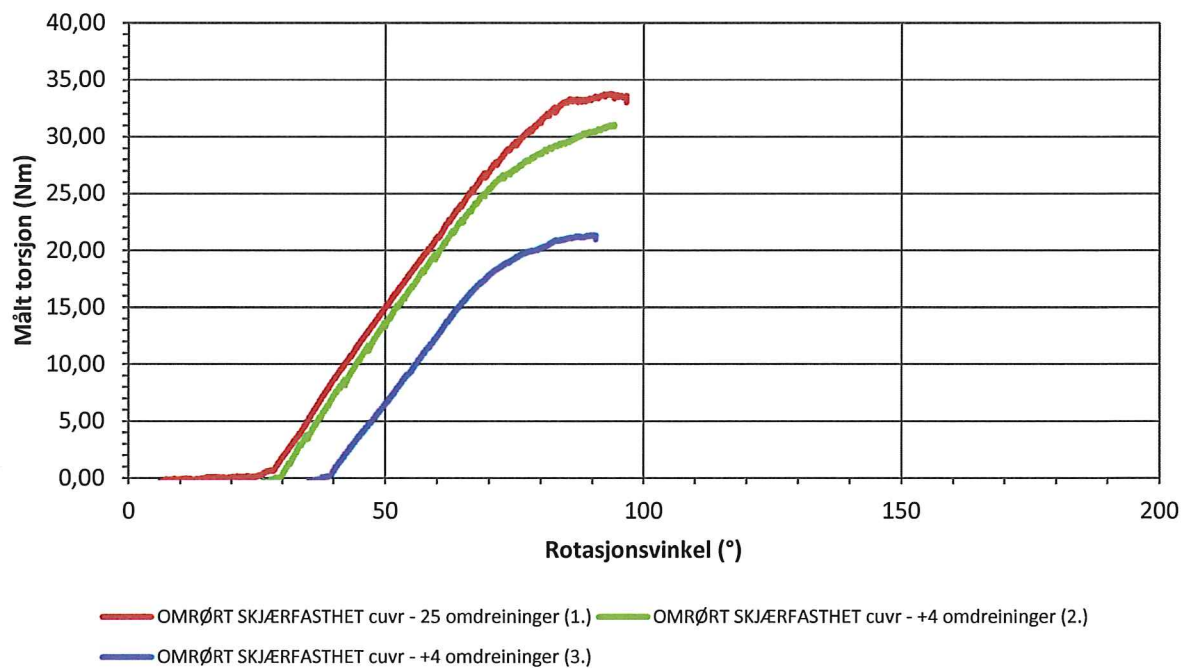
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: Tolkningsark Klett 34,60	
Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet					
EFSV id.:	Klett EFSV 1	Ving:	65x130		
MULTICONSULT AS	Dato: 18.11.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV	
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 54.1	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0	



## Friksjon i system



## Korrigert omrørt skjærfasthet, crv



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Klett 34,60

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Klett EFSV 1

**Ving:**

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

54.2

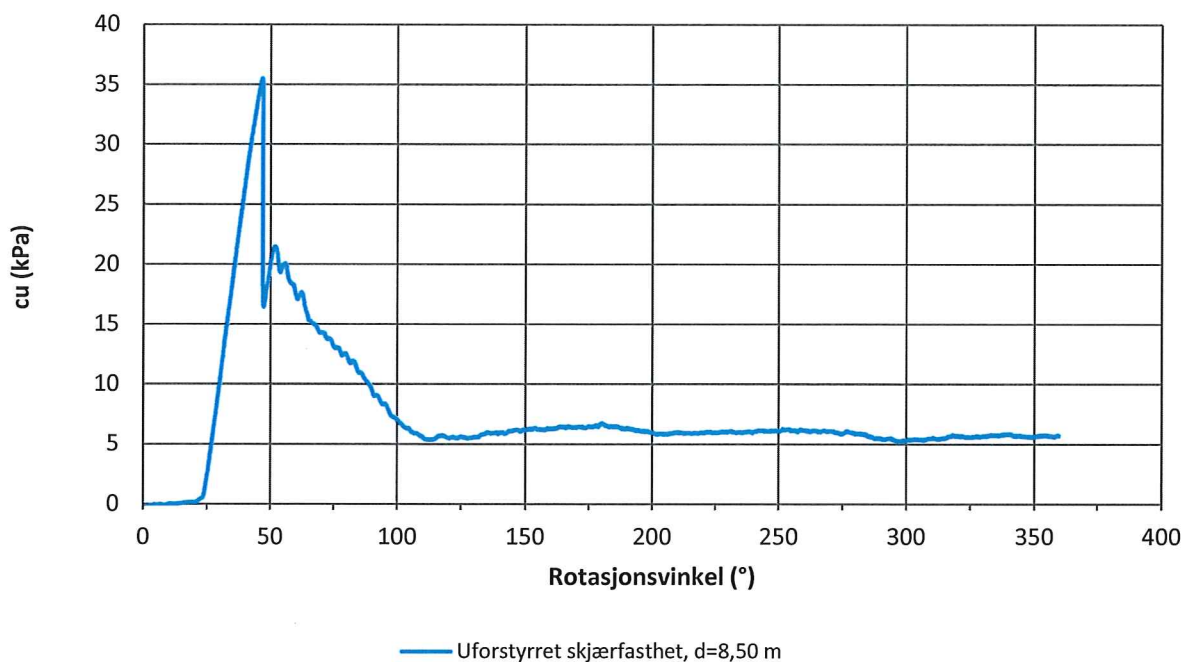
Versjon:

01.10.2014

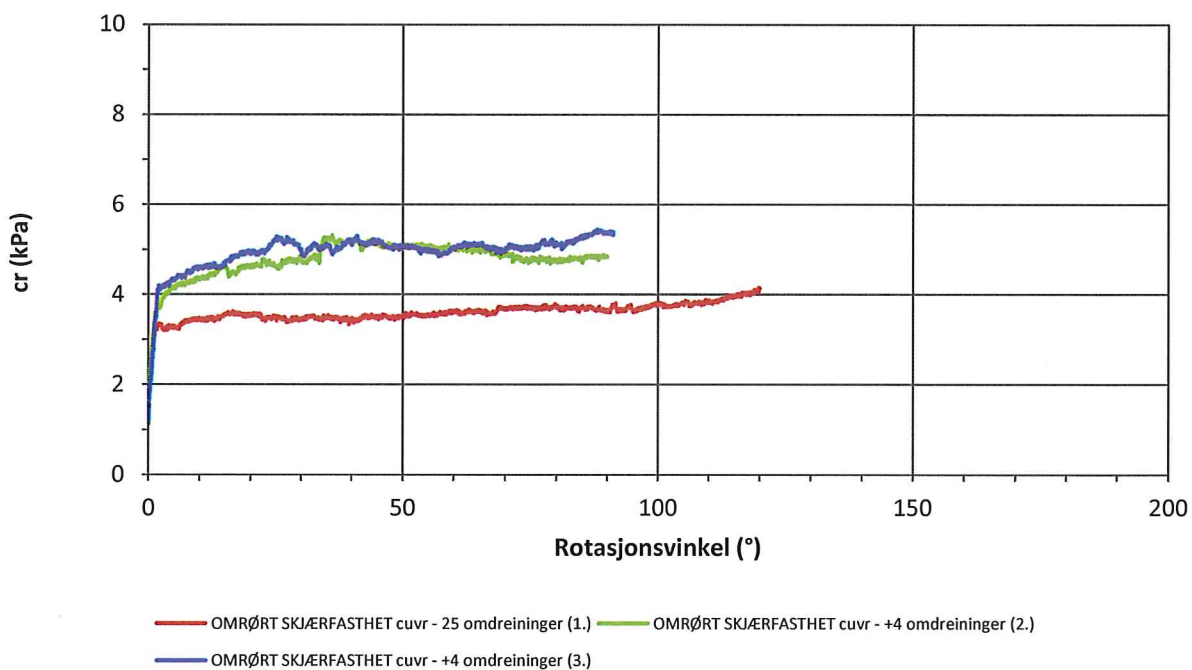
Revisjon:

0

### Korrigert udrenert skjærfasthet, $c_{uv}$

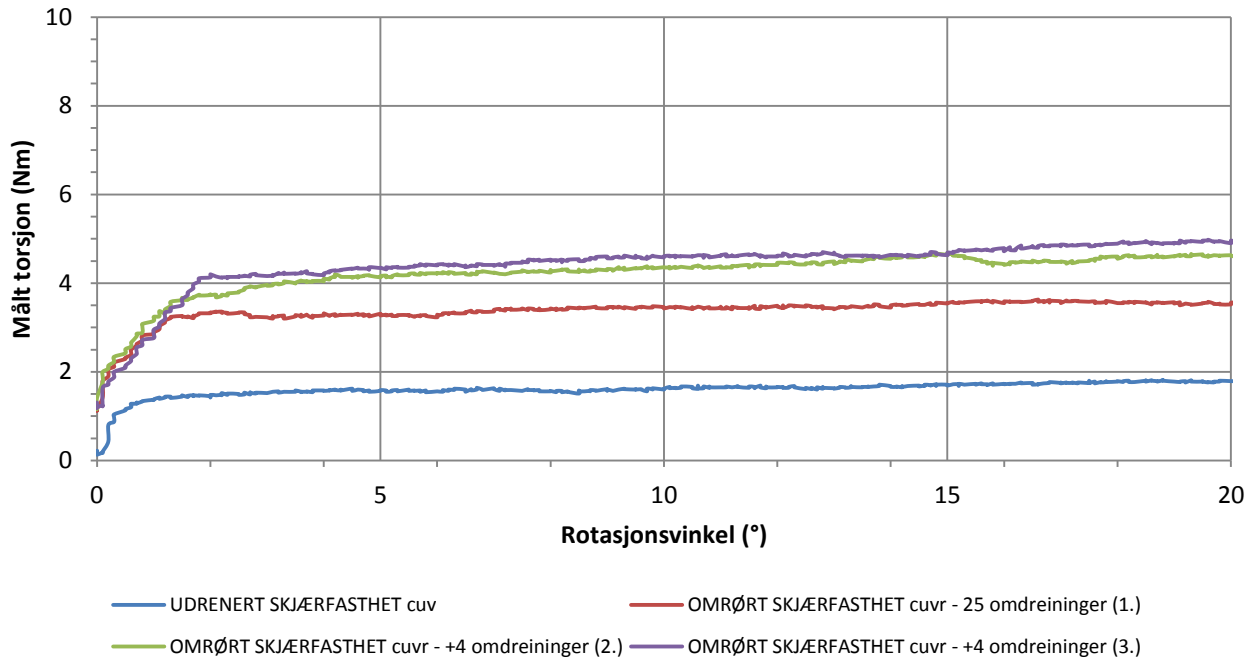


### Målt omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$

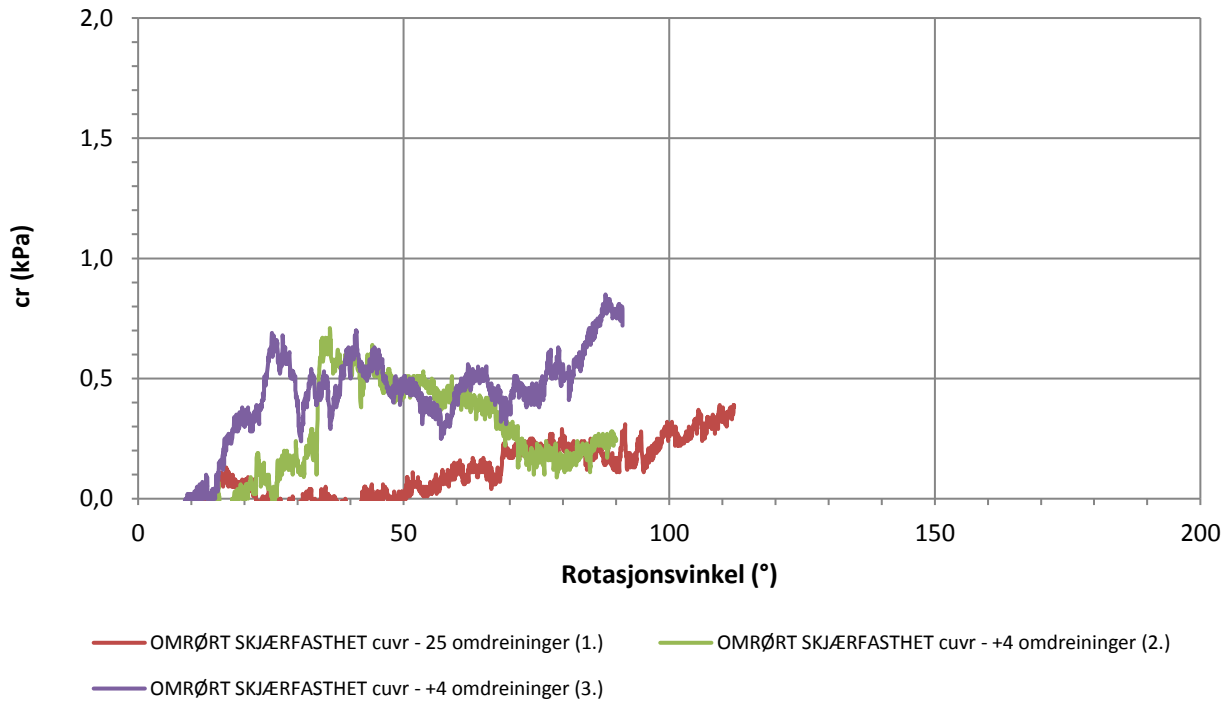


Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b>		Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		Tegningens filnavn: Tolkningsark Fallan 8,50 m $c_u$ , $c_1$ , $c_2$ , $c_3$	
Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet				<b>Multiconsult</b>	
EFSV id.:	Fallan EFSV 2	Ving:	65x130		
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 18.11.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS	Godkjent: ARV	
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.: 55.1	Versjon: 01.10.2014	Revisjon: 0	

## Friksjon i system



## Korrigert omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Fallan 8,50 m

Målt friksjon i stangsystem og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Fallan EFSV 2

Ving:

65x130

**Multiconsult**

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

55.2

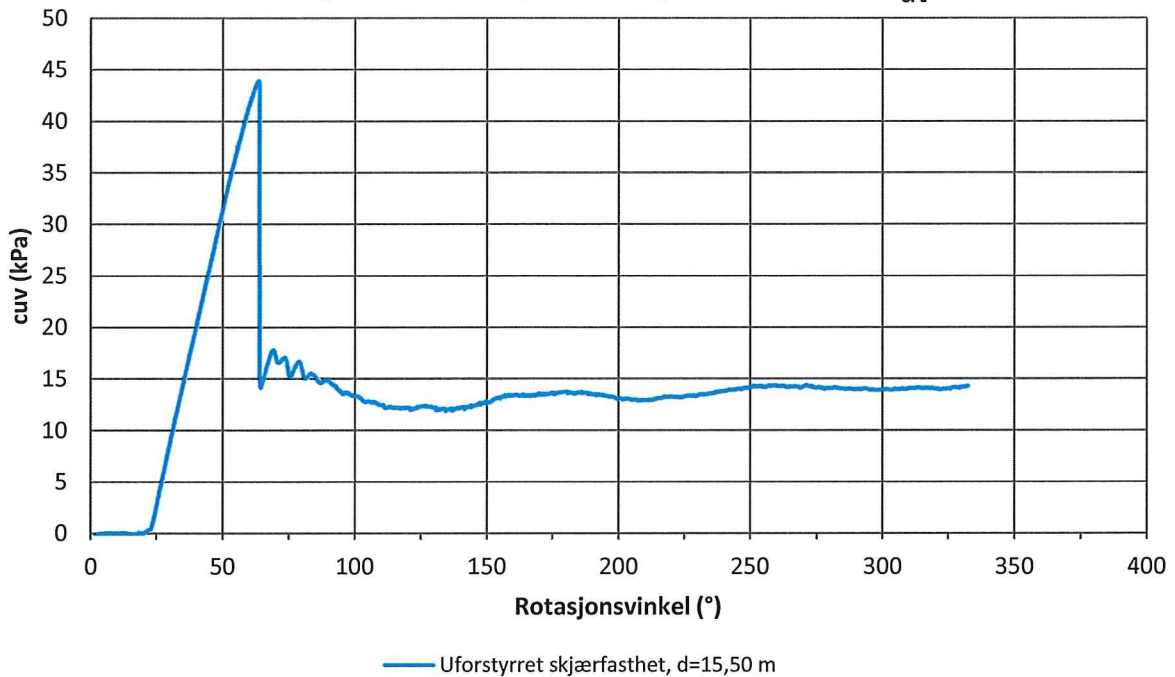
Versjon:

01.10.2014

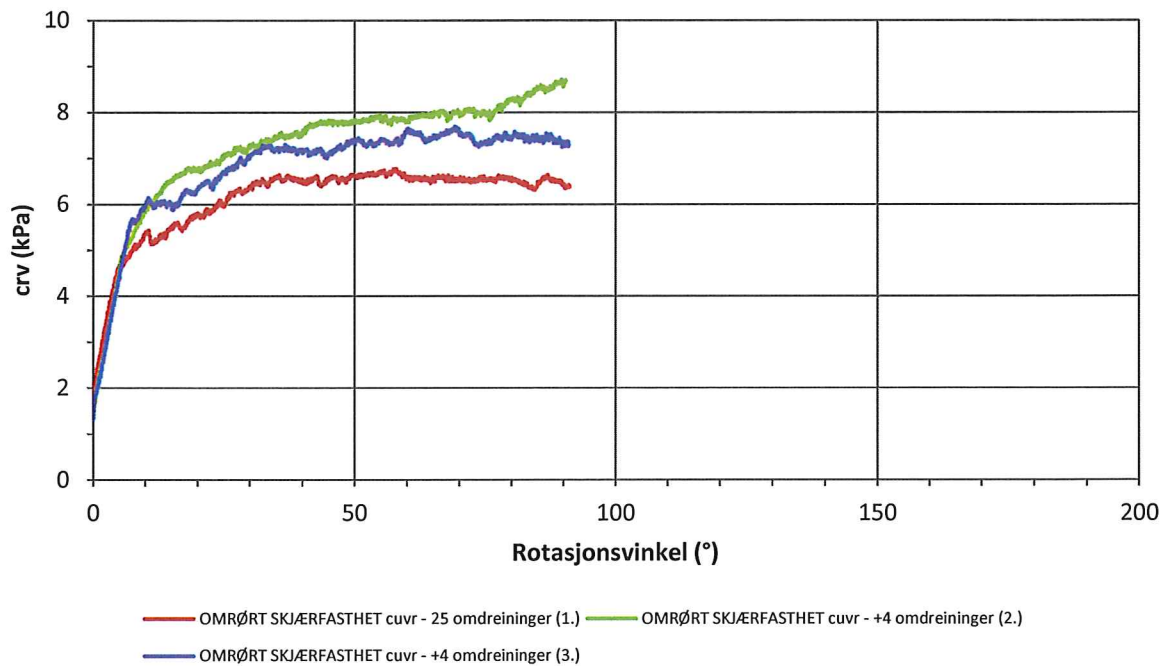
Revisjon:

0

### Korrigert uforstyrret skjærfasthet, $c_{uv}$



### Målt omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Fallan 15,50

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

**Multiconsult**

EFSV id.:

Fallan EFSV 2

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

56.1

Versjon:

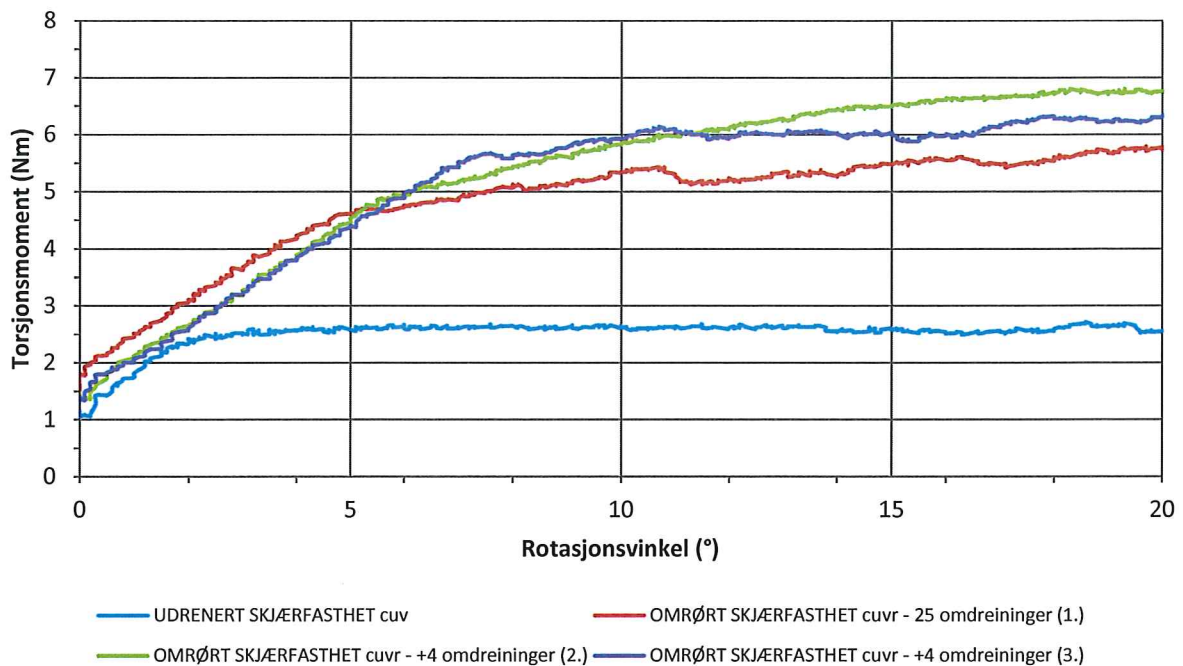
01.10.2014

Revisjon:

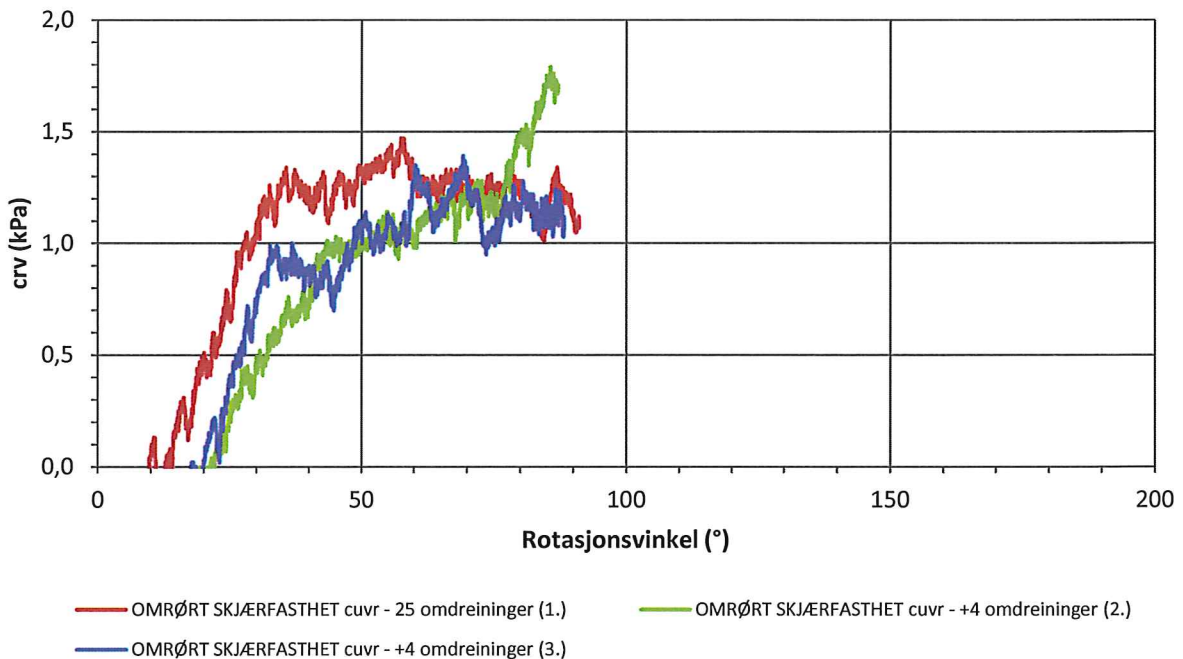
0



## Friksjon i system



## Korrigert omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Fallan 15,50

Friksjon i stangsystem og korrigert omrørt skjærfasthet

**Multiconsult**

EFSV id.:

Fallan EFSV 2

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

56.2

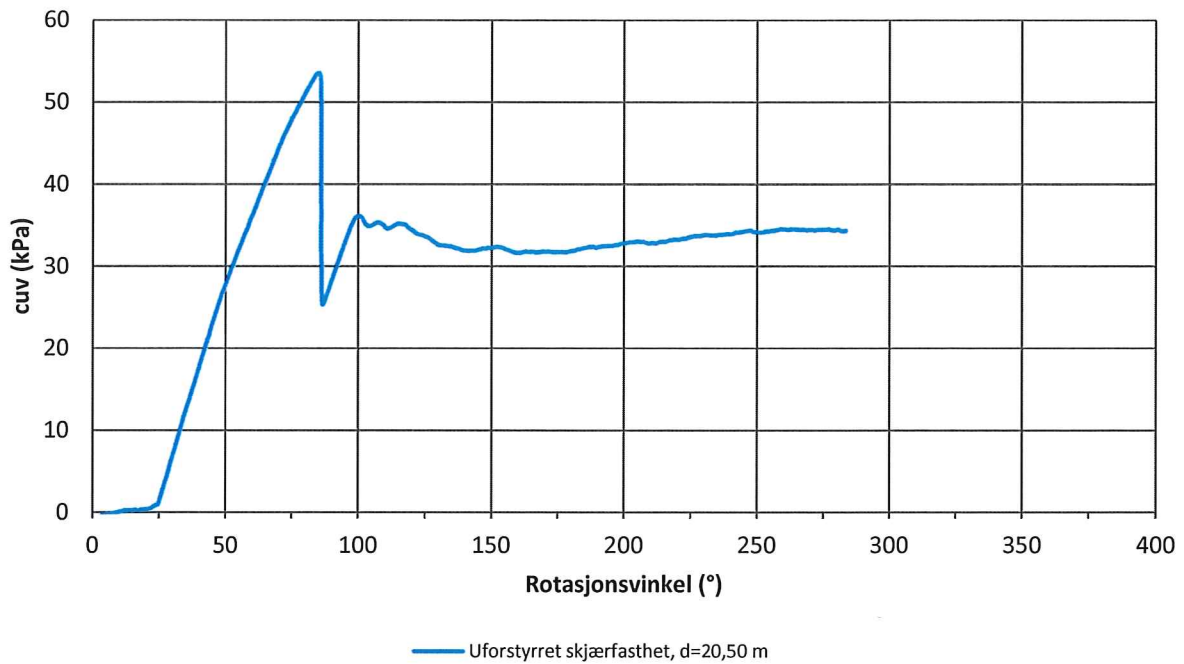
Versjon:

01.10.2014

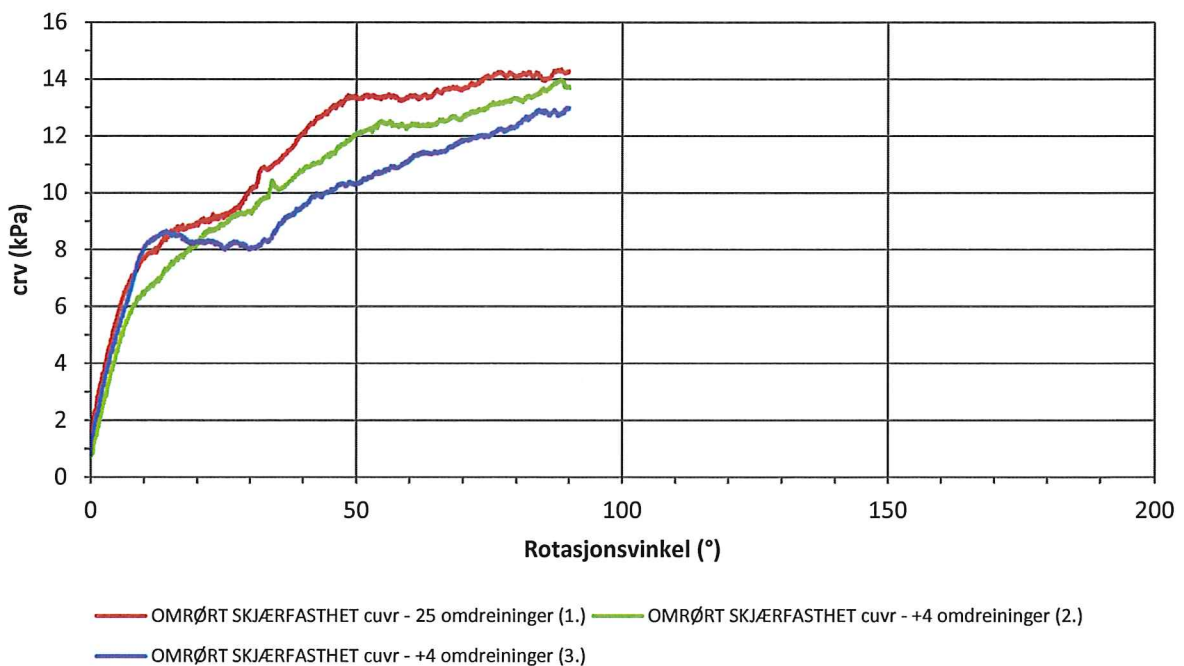
Revisjon:

0

### Korrigert uforstyrret skjærfasthet, $c_{uv}$



### Målt omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Fallan 20,50

Målt uforstyrret og omrørt skjærfasthet

EFSV id.:

Fallan EFSV 2

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

57.1

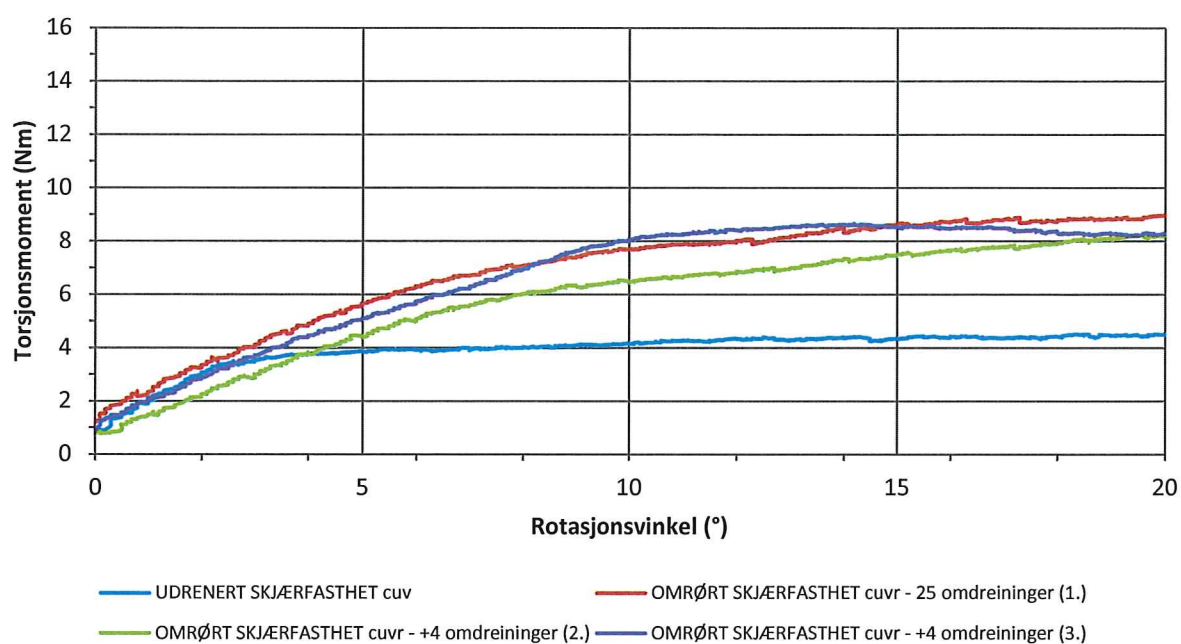
Versjon:

01.10.2014

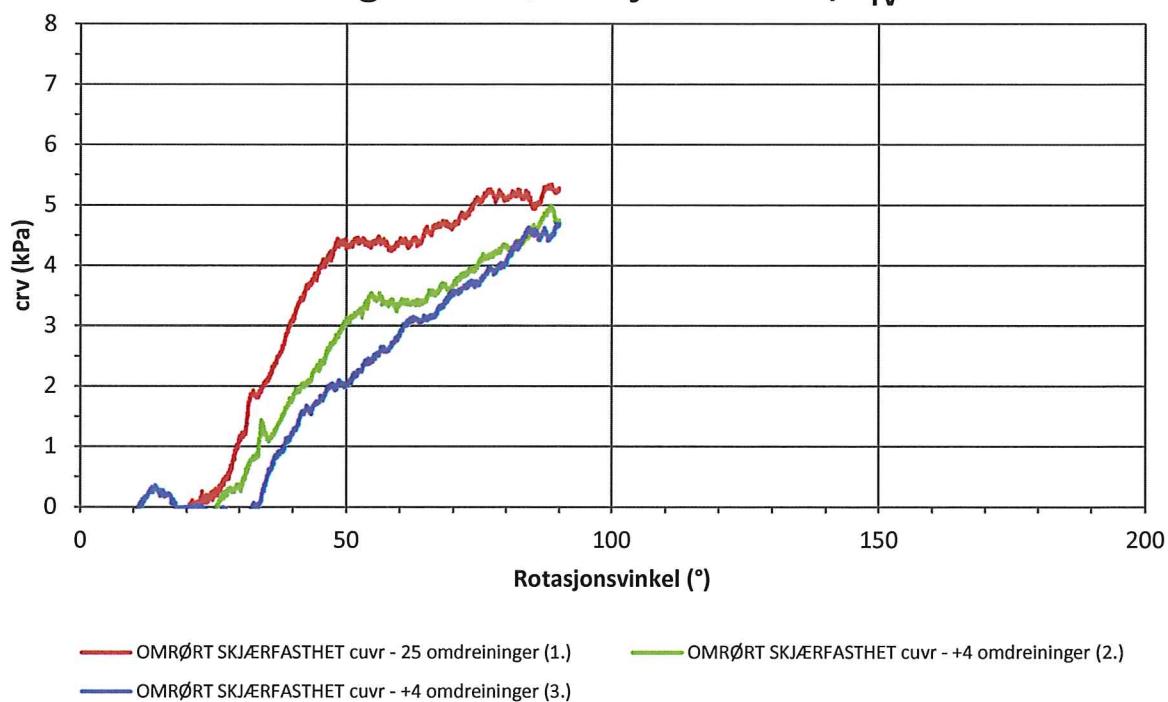
Revisjon:

0

## Friksjon i system



## Korrigert omrørt skjærfasthet, $c_{rv}$



Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

Tolkningsark Fallan 20,50

Rotasjon i stangsystem og korrigert omrørt skjærfasthet  $c_r$

EFSV id.:

Fallan EFSV 2

Ving:

65x130

**MULTICONSULT AS**

Dato:

18.11.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

57.2

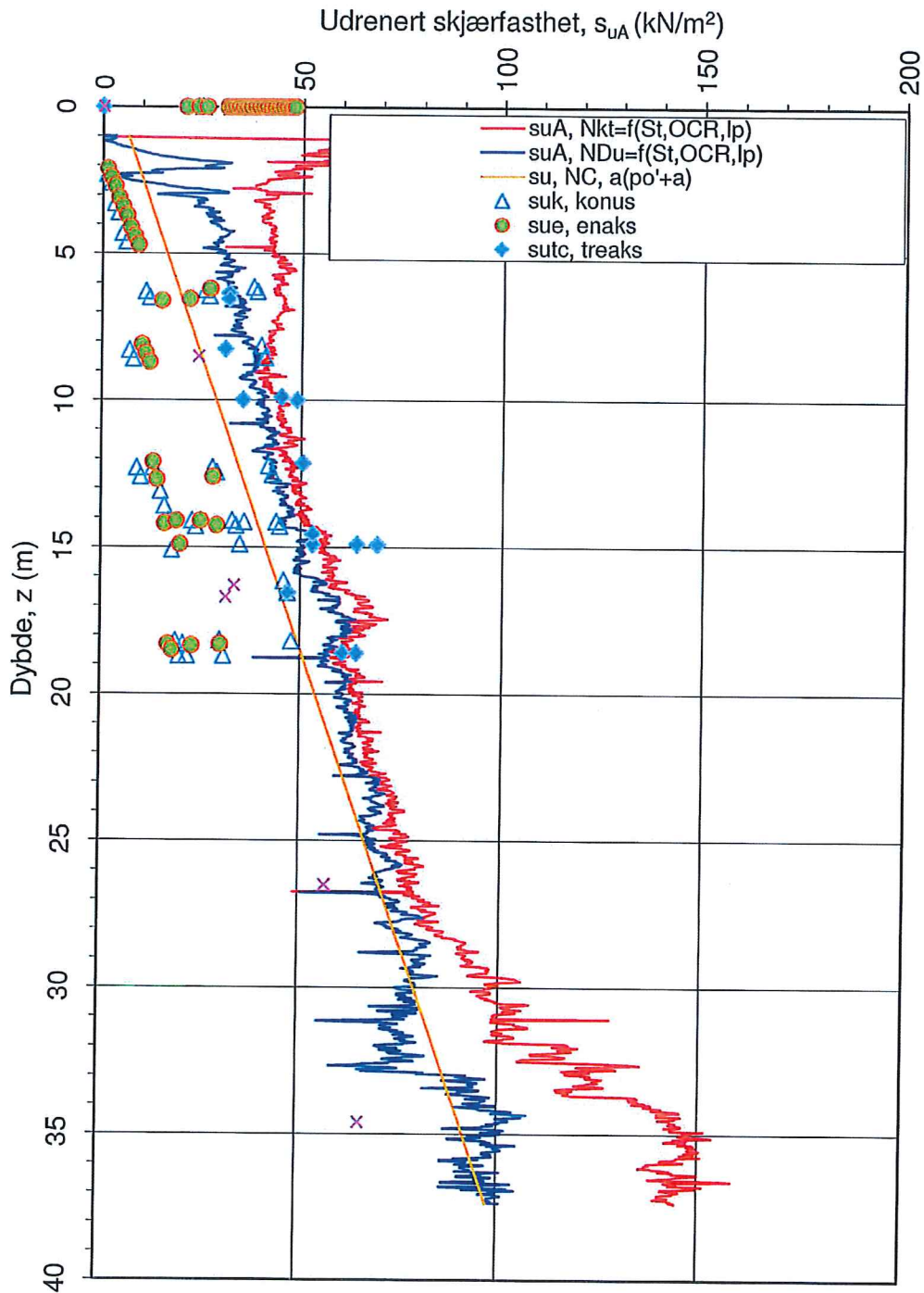
Versjon:

01.10.2014

Revisjon:

0





Sensitivitetsvalg:

$St > 15$

$\alpha_c$  valgt: 0,25

$$N_{kt} = (8,5 + 2,5 \log OCR + 0 I_p)$$

$$N_{Du} = (9,8 - 4,5 \log OCR + 0 I_p)$$

$$s_{uA} = q_t / (12,5 - 11 B_q)$$

Referansemetode: Karlsrud et al (2005)

Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS - Feltstudium**

Tegningens filnavn:

415559\_Klett\_CPTU-S1

Aktiv udrenert skjærfasthet  $s_{uA}$ , korrelert mot  $S_t$ , OCR og  $I_p$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:

CPTU-KS1

Sonde:

4293

MULTICONSULT AS

Dato:

30.06.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

rols

Godkjent:

arv

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

58

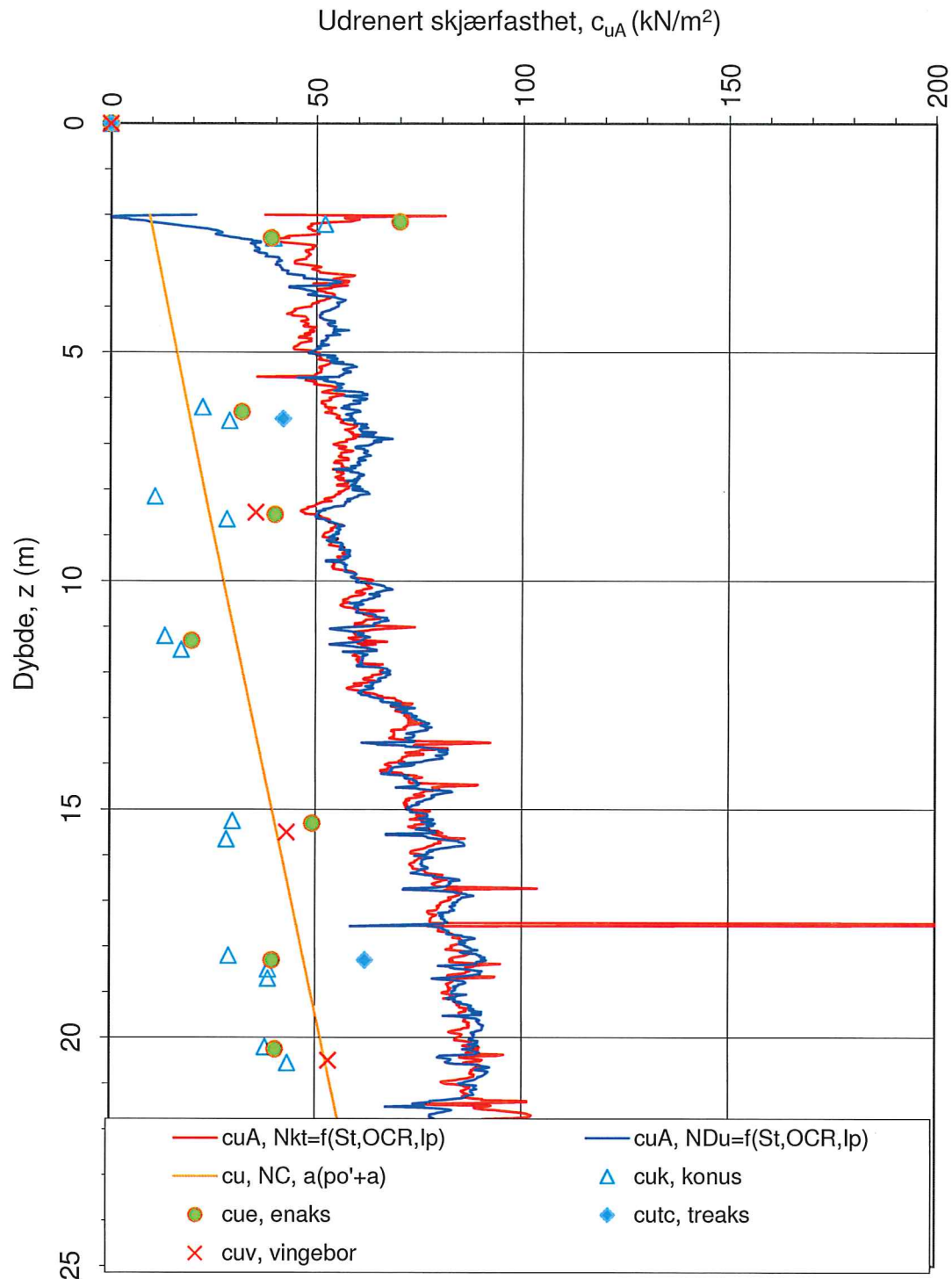
Versjon:

28.11.2013

Revisjon:

0





Sensitivitetsvalg:

**St > 15**

$\alpha_c$  valgt:

**0,25**

$$Nkt = (8,5 + 2,5 \log OCR + 0,1p)$$

$$NDu = (9,8 - 4,5 \log OCR + 0,1p)$$

$$Nke = (12,5 - 11Bq)$$

Referansemetode: Karlsrud et al (2005)

Oppdragsgiver:

**SVV, JBV, NVE**

Oppdrag:

**NIFS Feltstudie**

Tegningens filnavn:

15559 Fallan\_RCPTU\_2\_v5

Aktiv udrenert skjærfasthet  $c_{uA}$ , korrelert mot  $S_t$ , OCR og  $I_p$ .

**Multiconsult**

CPTU id.:

Fallan RCPTU FS1

Sonde:

4293

**MULTICONSULT AS**

Dato:

09.10.2014

Tegnet:

ALM

Kontrollert:

ROLS

Godkjent:

ARV

Oppdrag nr.:

415559

Tegning nr.:

59

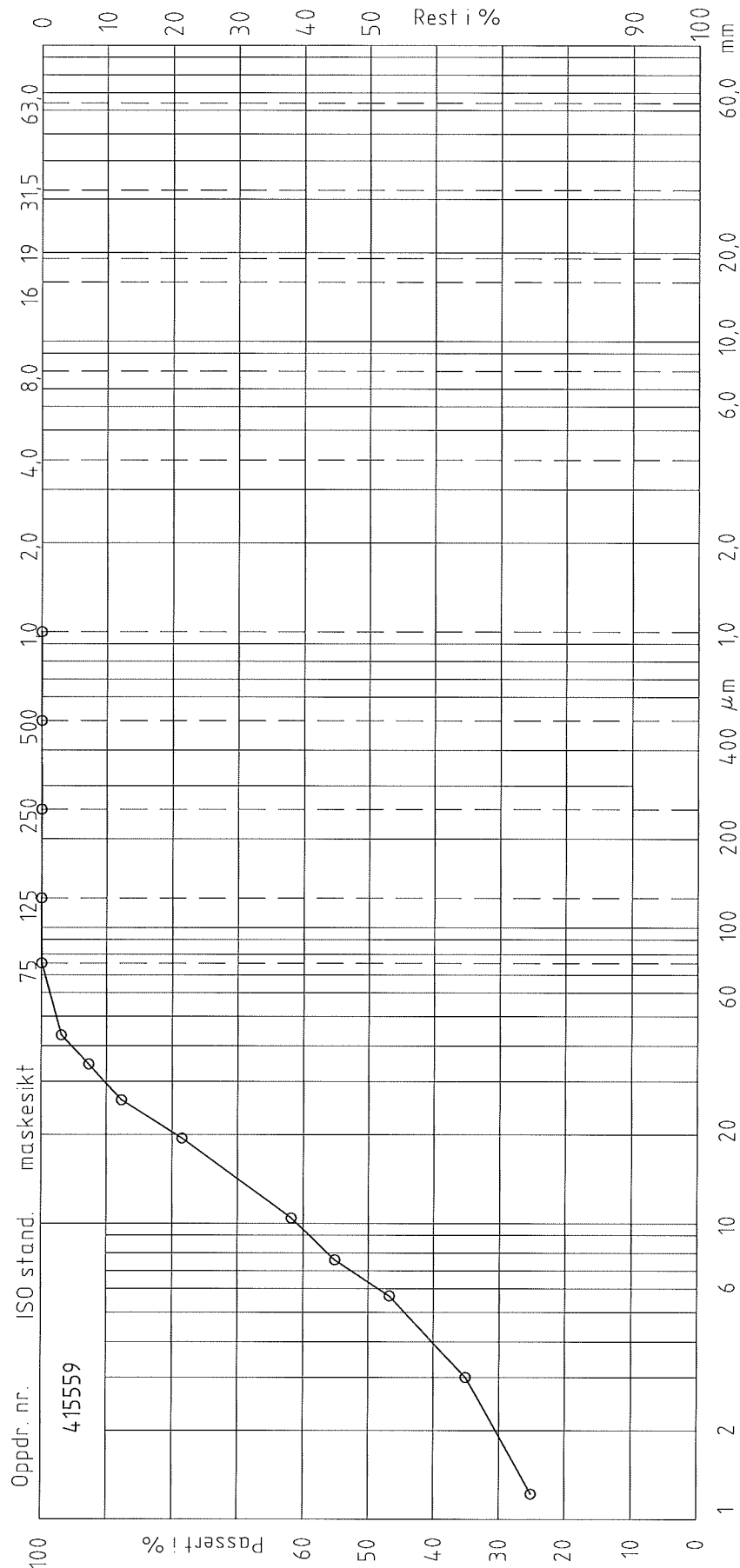
Versjon:

01.10.2014

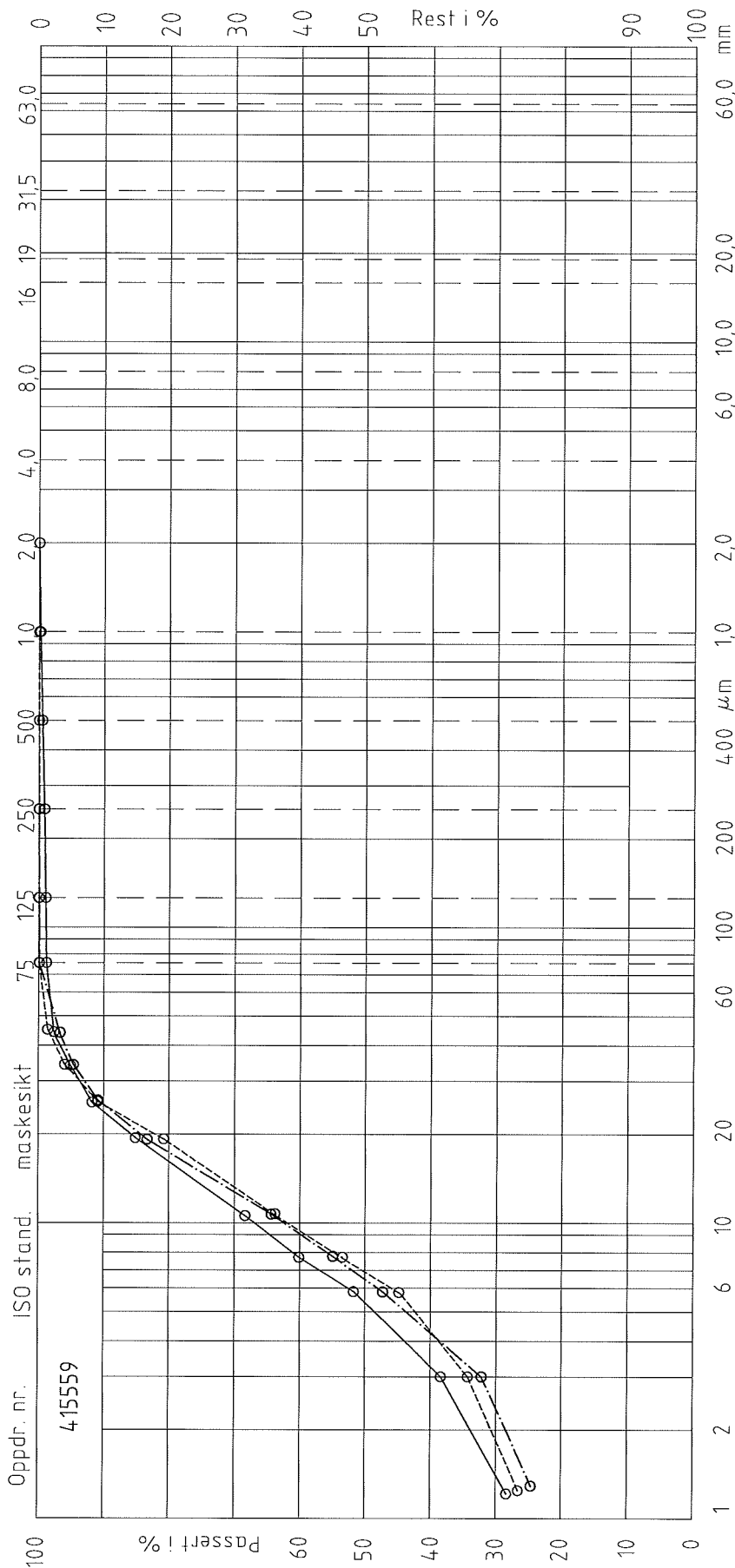
Revisjon:

0

LEIR	SILT			SAND			GRUS			STEIN
	FIN	MIDDELS	GROV	FIN	MIDDELS	GROV	FIN	MIDDELS	GROV	



LEIR			SILT			SAND			GRUS			STEIN		
FIN		MIDDELS	GROV		FIN		MIDDELS	GROV		FIN		MIDDELS	GROV	



Symb.	PR.seriernr	Dybde	Jordartsbetegnelse	Anmerking		Metode	
				Tærresikt	Våt + Tærresikt	Hydr. F.Drop	Våt + Tærresikt
○	2	7,18	LEIRE			X	
○	2	13,36	LEIRE		KVIKKLEIRE	X	
○	2	30,4	LEIRE, siltig			X	

# KORNGRADERING

NIFS

Feltstudie R-CPTU, E6 Klett

Boring nr.  
2

Borplan nr.  
-002

Boret dato:  
30.06.2014

**Multi  
consult**

**Multiconsult**

7486 TRONDHEIM  
Tlf.: 73 10 62 00 – Fax: 73 10 62 30/70

Dato 20.08.2014

Konstr./Tegnet  
truk

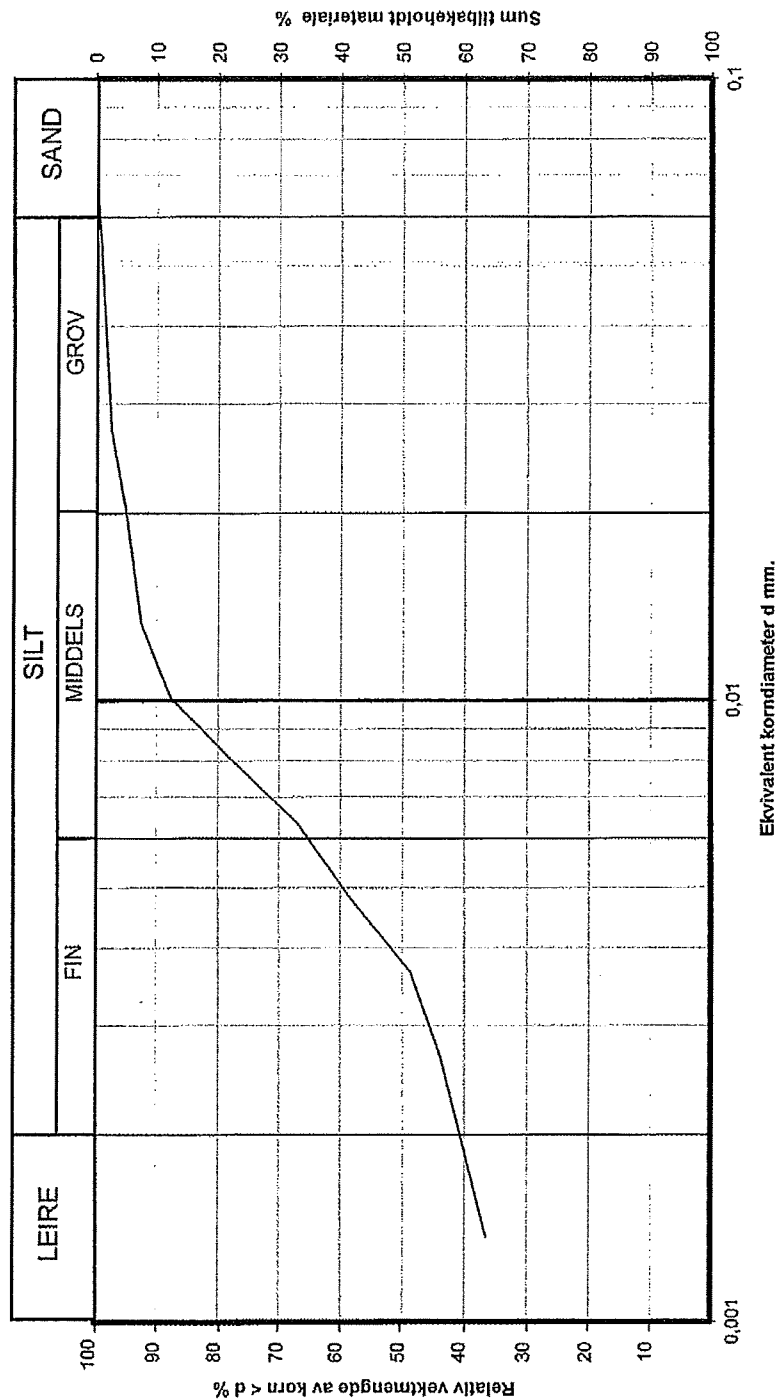
Kontrollert  
rols

Godkjent  
arv

Oppdragsnr.  
415559

Tegningsnr.  
RIG-TEG-061

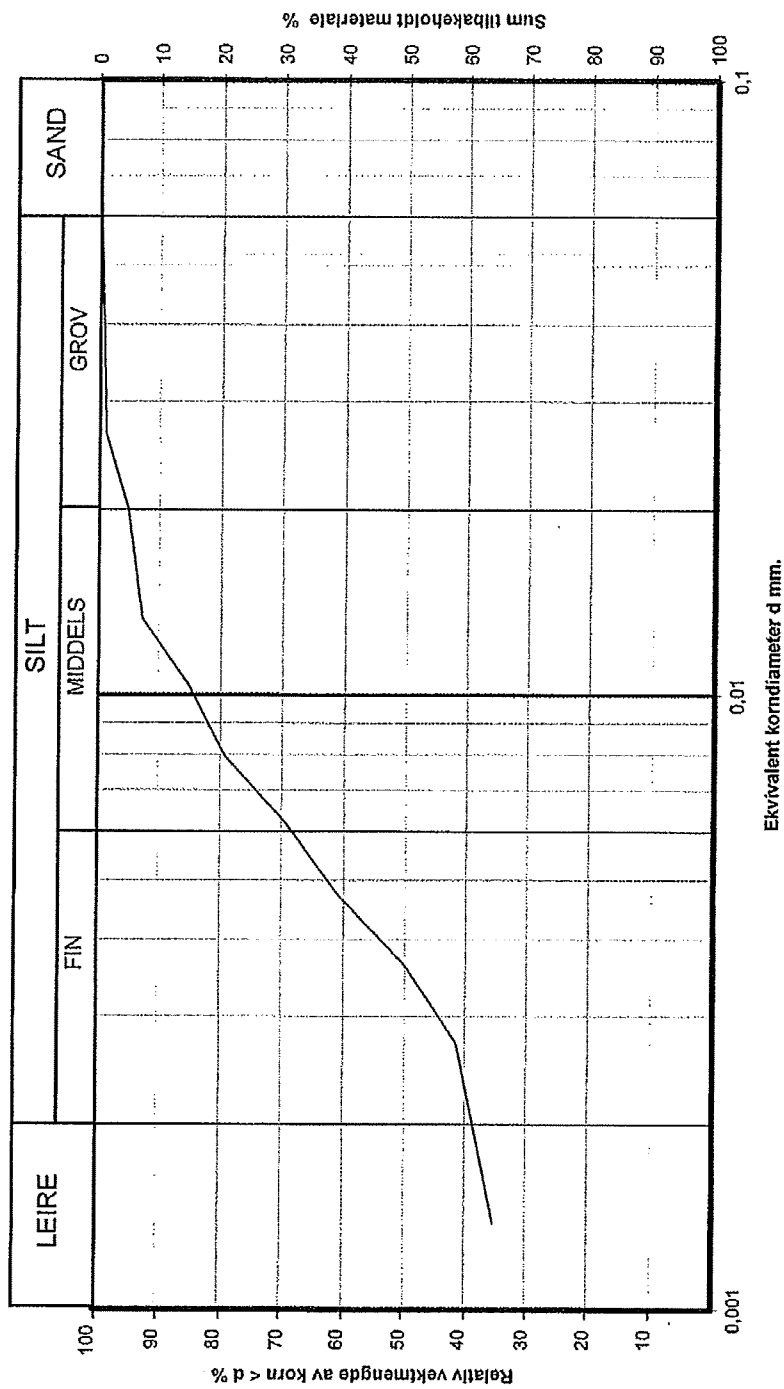
Rev.  
00



Fallan NIFS  
Kornfordeling

Hull nr. 4	Tegnet ALY	Godkjent JJO	Revidert
Dybde 4.40m	Dato 24.10.2014	Oppdrags nr. 2014-11	Tegning nr. 62

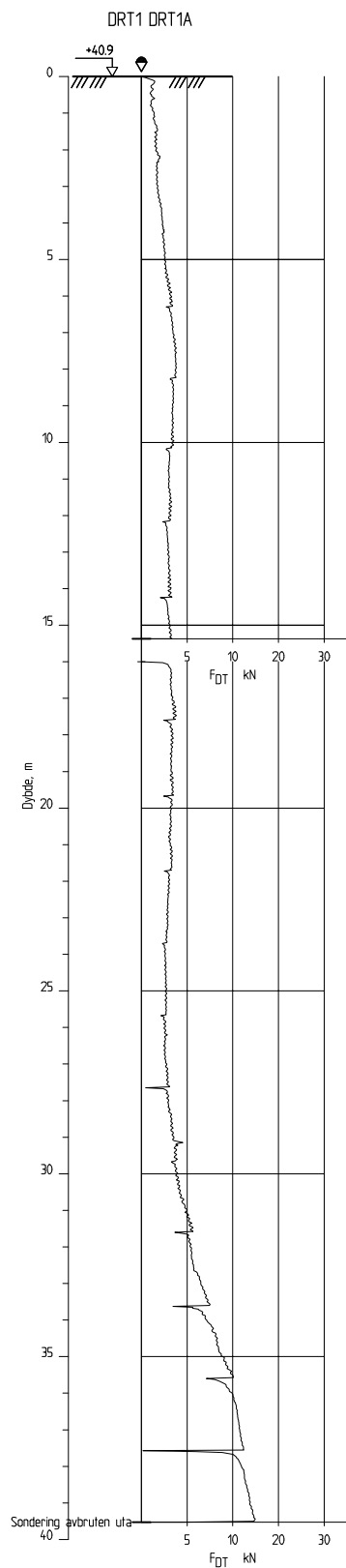
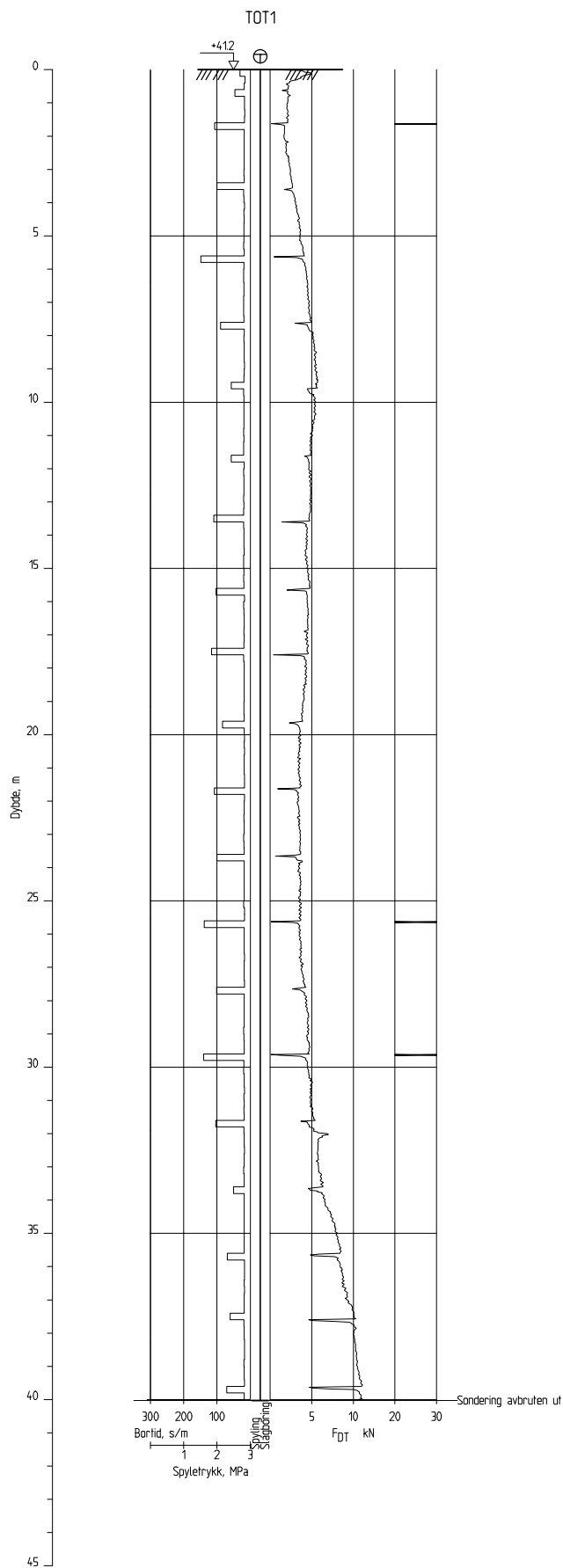


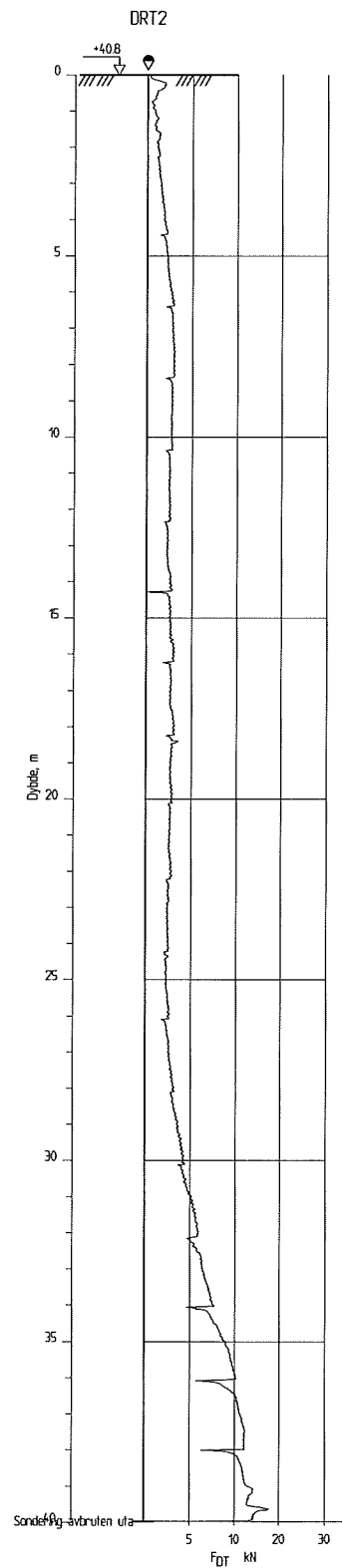
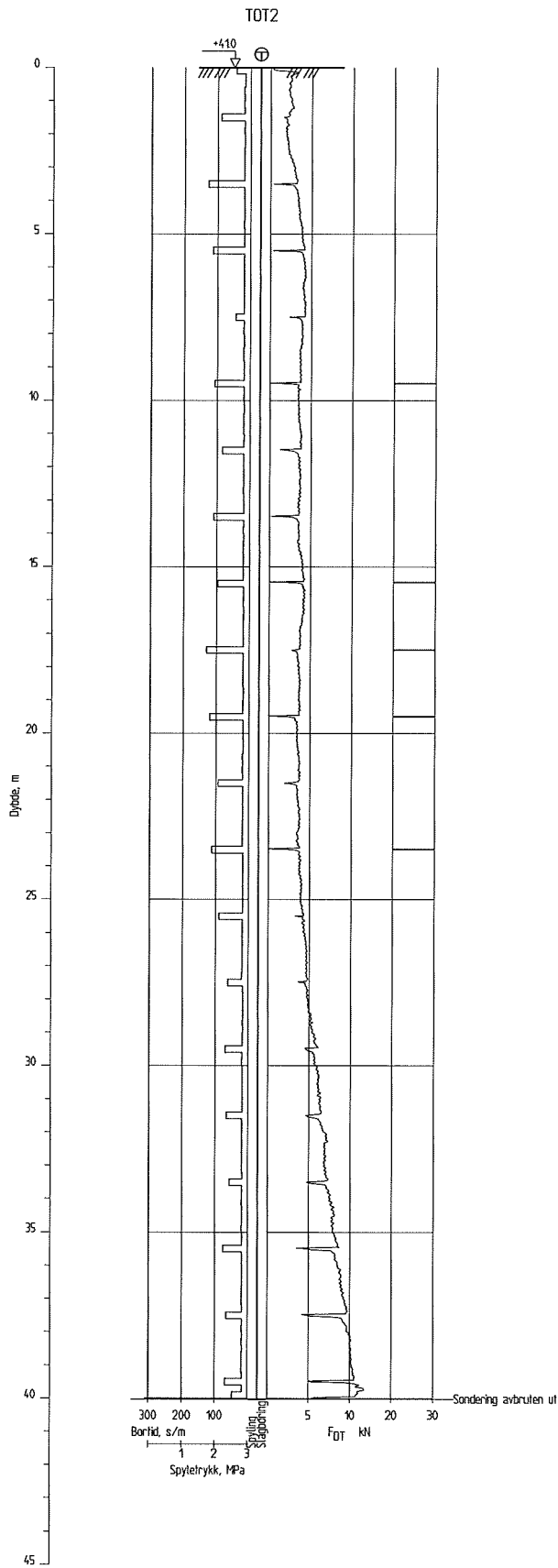


Fallan NIFS  
Kornfordeling

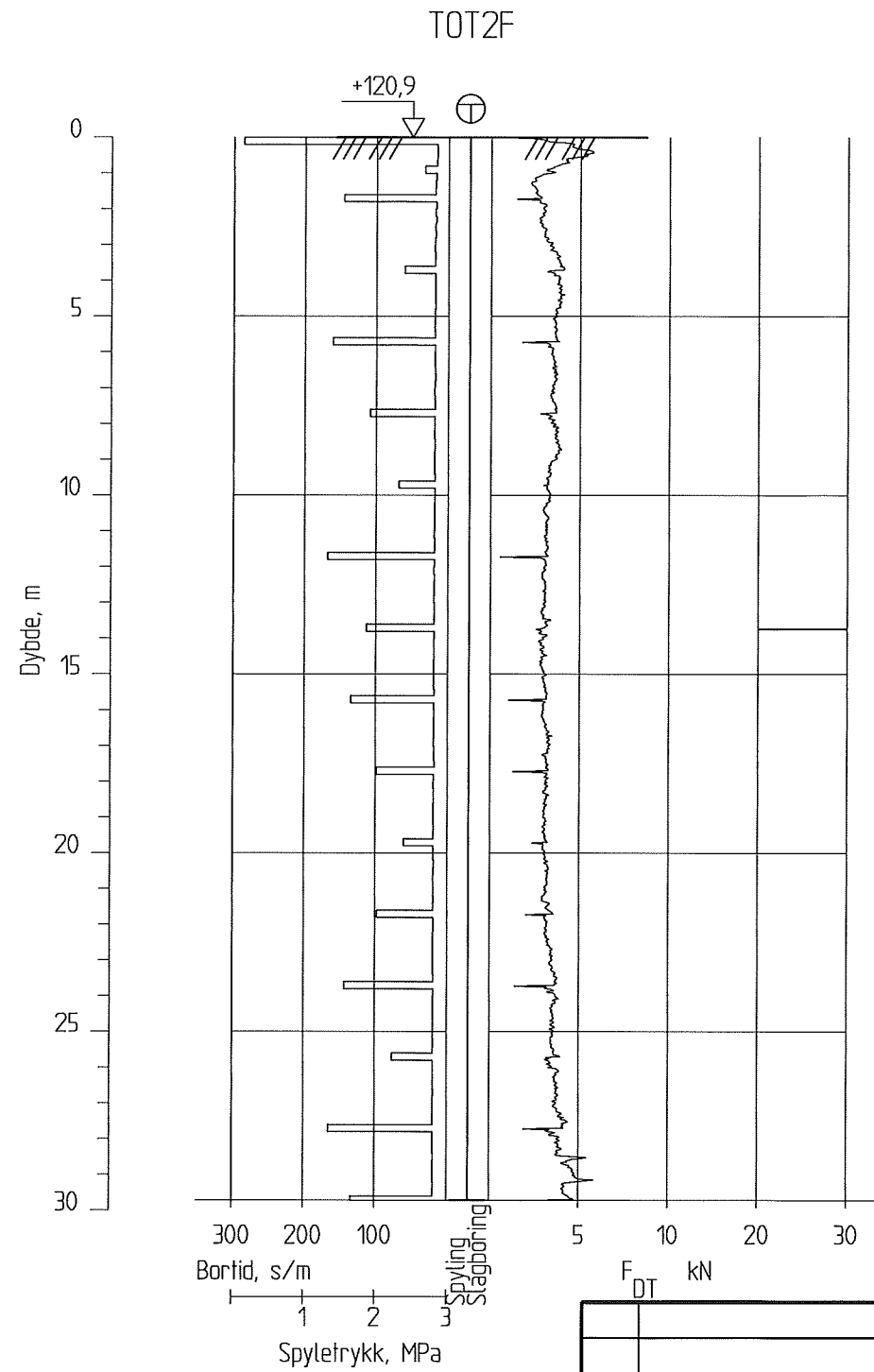
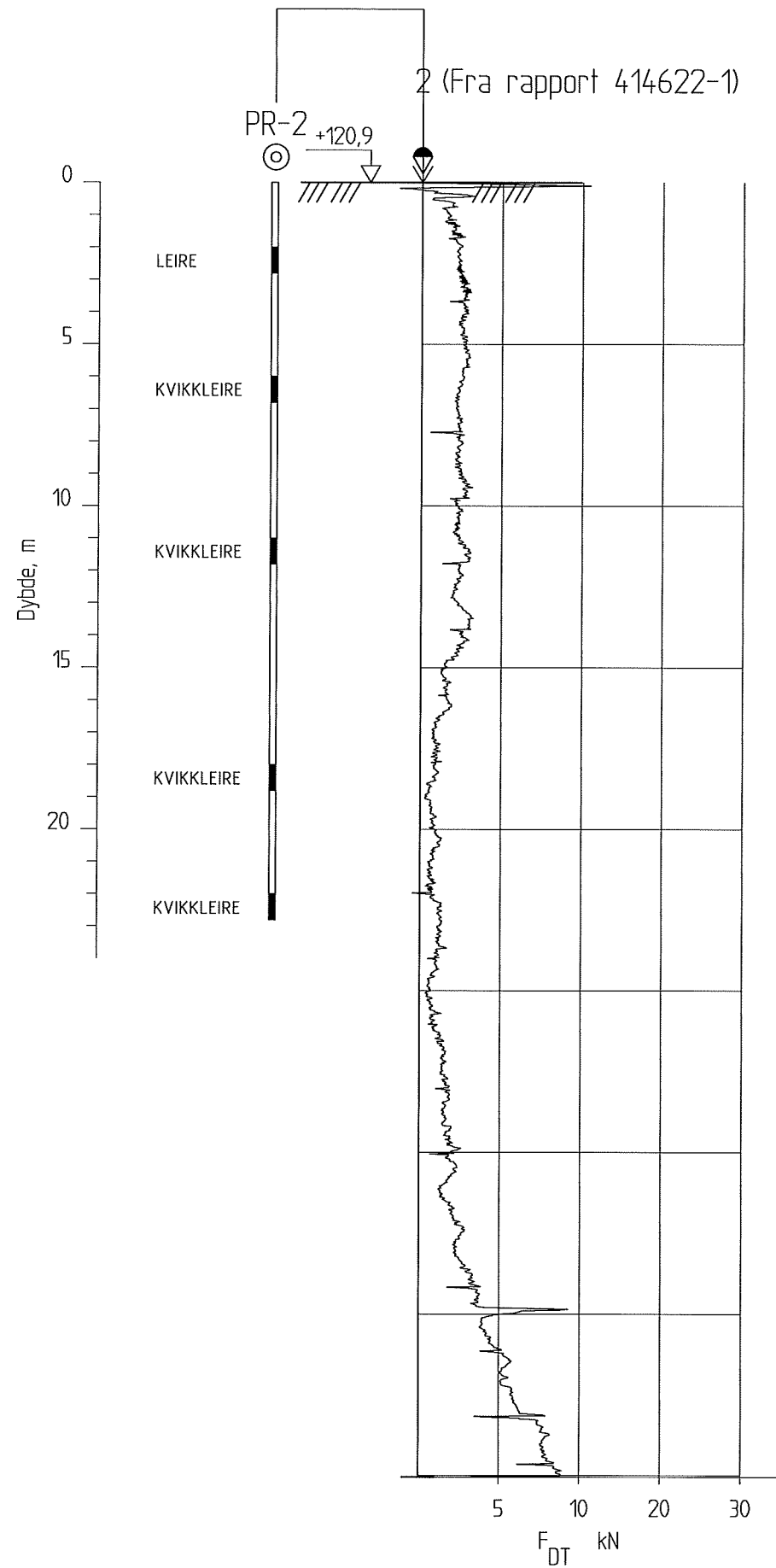
Hull nr. 4	Tegnet ALY	Godkjent JJO	Revidert
Dybde 12.65m	Dato 24.10.2014	Oppdrags nr. 2014-11	Tegning nr. 63

Z:\04\15\4\15559\4\15559-01 RIG\4\15559-04. TEGNINGER\Feltstudium\Klett\4\15559-RIG-TEG-100\_ -\_ Borutskrift KS1.dwg, - Layout: (-100); - Plottet av: alm, Dato: 2014.11.06 kl 15:26





Z:\04\15\4.15559\4.15559-03 ARBEIDSRÅDE\4.15559-01 RIG\4.15559-04 TEGNINGER\Feltstudium\Fallan\4.15559-RIG-TEG-102\_borutskrift Totalsondering.dwg, - Layout: (A3); - Plottet av: jkm, Dato: 2015.04.30 kl 10:46



Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
	Statens vegvesen, Jernbaneverket og NVE NIFS, Delprosjekt 6		Fag Geoteknikk	Format A3	Dato 20.11.2014
	NIFS Feltstudie Borutskrift FS.2 Fallan		Format/Målestokk: 1:200		
<b>Multiconsult</b> www.multiconsult.no		Status	Konstr./Tegnet ALM	Kontrollert ROLS	Godkjent ARV
Oppdragsnr. 415559		Tegningsnr. RIG-TEG-102		Rev. 00	



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg A**

### **Kort beskrivelse av anvendte undersøkelsesmetoder**

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## Vedlegg A - Kort beskrivelse av anvendte grunnundersøkelsesmetoder

### Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Geotekniske feltundersøkelser .....</b>	<b>5</b>
1.1	Sonderinger .....	5
1.1.1	Dreietrykksondering (DRT).....	5
1.1.2	Totalsondering (TOT) .....	6
1.2	Trykksonderinger .....	6
1.2.1	Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU).....	6
1.2.2	Bestemmelse av stangfriksjon fra total nedpressingskraft .....	8
1.3	Elektrisk vingebor (EFVT) .....	9
1.4	Prøvetaking .....	10
<b>2</b>	<b>Geofysiske undersøkelser .....</b>	<b>10</b>
2.1	Resistivitetsmåling på overflaten (ERT) .....	10
2.2	Trykksondering med resistivitetsmålinger (R-CPTU).....	13
<b>3</b>	<b>Geotekniske laboratorieundersøkelser .....</b>	<b>13</b>
3.1	Rutineundersøkelser .....	13
3.2	Saltinnhold og ledningsevne .....	14

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

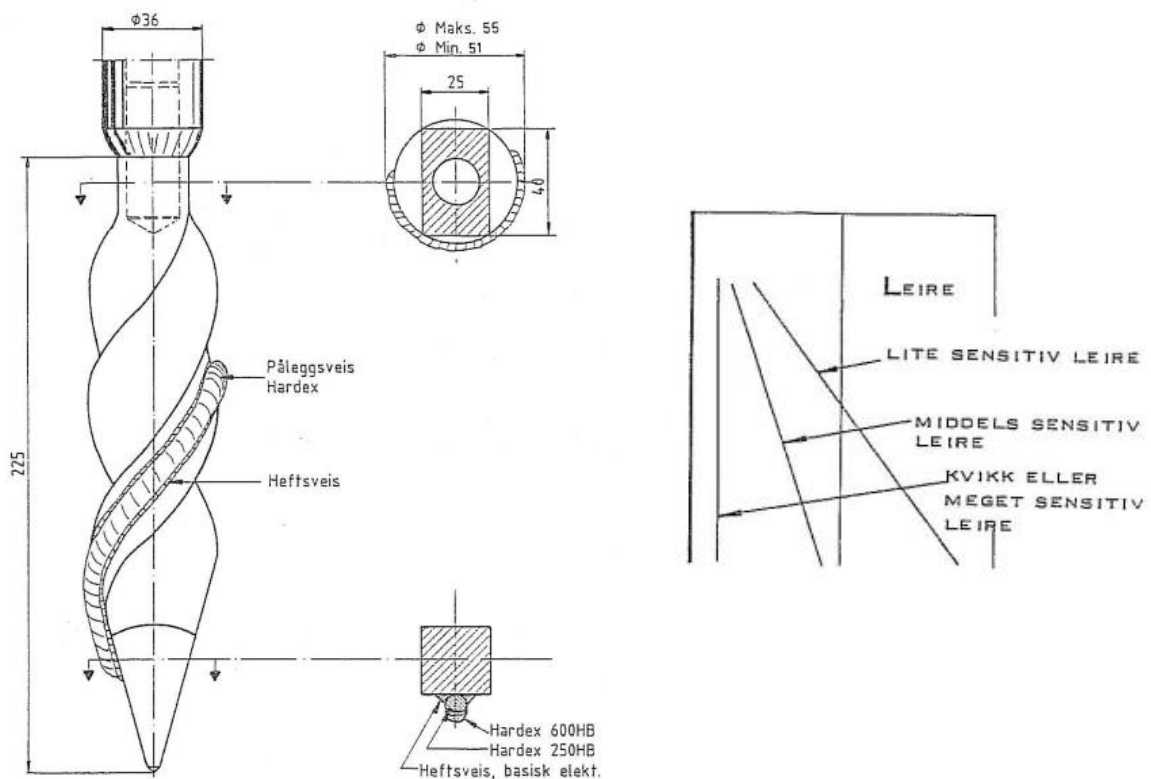
## 1 Geotekniske feltundersøkelser

### 1.1 Sonderinger

#### 1.1.1 Dreietrykksondering (DRT)

Dreietrykksondering er en metode som kan anvendes i ulike jordarter, fra leire til grus. Sonderingen utføres ved å penetrere borstenger med en bestemt penetrasjonshastighet (3 +/- 0,5 m/min) og en konstant dreiehastighet (25 +/- 5 dreininger/min) ned i grunnen. Matekraften som behøves for å oppnå de ønskede penetrasjons- og rotasjonshastighetene registreres og uttrykker stangsystemets nedpressingsmotstand.

Det benyttes glatte stålstenger med diameter  $\phi 36$  mm. Borutstyret inkluderer også en spesielt 9utformet spiss vist i Figur A1.1. Metoden er normert etter NGF melding 7.



Figur A1.1: Venstre, Spiss for dreietrykksondering; Høyre, prinsipp for identifisering av ulike typer leire (NGF melding 4).

I leire pleier de plottede sonderingsresultatene å vise forholdsvis glatte kurver, uten plutselige variasjoner i målt matekraft. Kurvenes helning gir i prinsippet indikasjoner om leiras sensitivitet. Leirens sensitivitet har direkte påvirkning på friksjonen langs stangsystemet, og dermed også på sonderingsmotstanden. Når dreietrykksonderinger er utført i kvikkeleire eller sprøbruddmateriale forventes det derfor lite eller ingen økning i nedpressingskraft med dybde.

Plottede sonderingsresultater gir ikke informasjon om leirens uforstyrrede skjærfasthet.

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

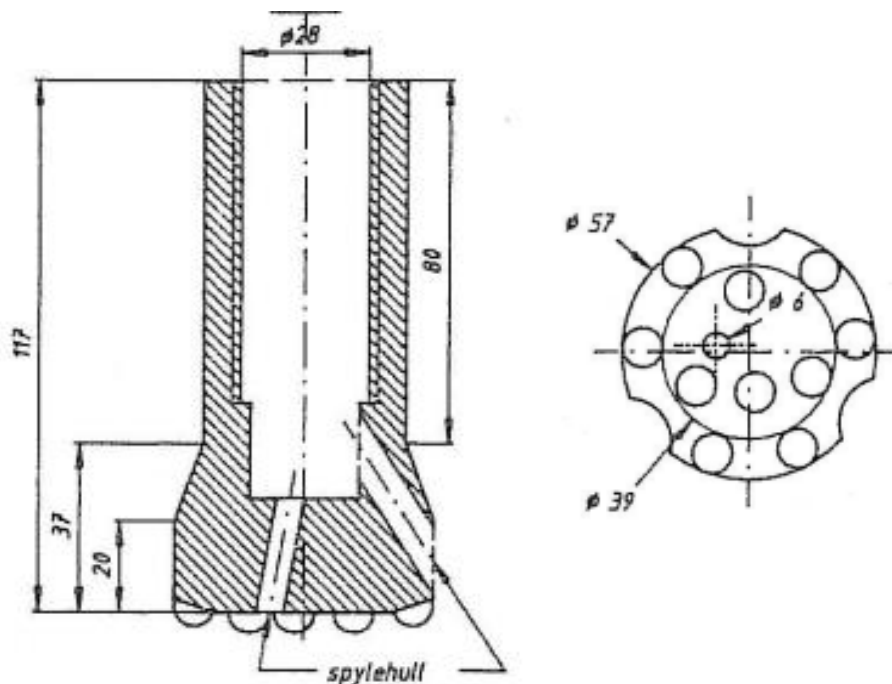
### 1.1.2 Totalsondering (TOT)

Totalsondering er en sonderingsmetode som kombinerer dreietrykksonderingens prinsipper ved boring i løsmasse og bergkontrollboringens prinsipper ved boring i berg/fast grunn. Metoden er normert etter NGF melding 9, men er for tiden under revisjon (2014).

I likhet med dreietrykksonderingen (DRT), presses borstengene ned i grunnen med konstant penetrasjons- og rotasjonshastighet, henholdsvis 3 m/min og 25 omdreininger/min. Ved boring i berg/fast grunn benyttes først øket rotasjon, deretter spyling og så hammerslag på borestrengen ved behov for å penetrere de faste lagene. For påvisning av berg er det påkrevet å bore 3 m inn i bergoverflaten hvis ikke annet er avtalt.

Boreutstyret har betydelig større dimensjoner enn tilsvarende utstyr for dreietrykksondering: Borstengene er  $\phi 48$  mm i diameter, og spissen er erstattet av en  $\phi 57$  mm borkrone med tilbakeslagsventil som muliggjør boring i berg. Boreriggen som utfører sonderingen er utstyrt med vann for å kunne benytte vannspyling (foretrukket fremfor luftspyling).

Utstyrets varierte muligheter betyr at totalsonderinger har et større anvendelsesområde enn dreietrykksonderinger, siden det også kan benyttes for sonderinger i faste morenemasser, gruslag og berg. Tolkning av totalsonderinger er basert på samme prinsipper som gjelder for DRT, men muliggjør også tolkning av boresynk og spyletrykk ved boring i faste masser. Resultatene fra en totalsondering kan imidlertid være noe vanskeligere å tolke ved bløte grunnforhold.



Figur A1.2: Borkrone for totalsondering, snitt og plantegning (NGF melding 9).

## 1.2 Trykksonderinger

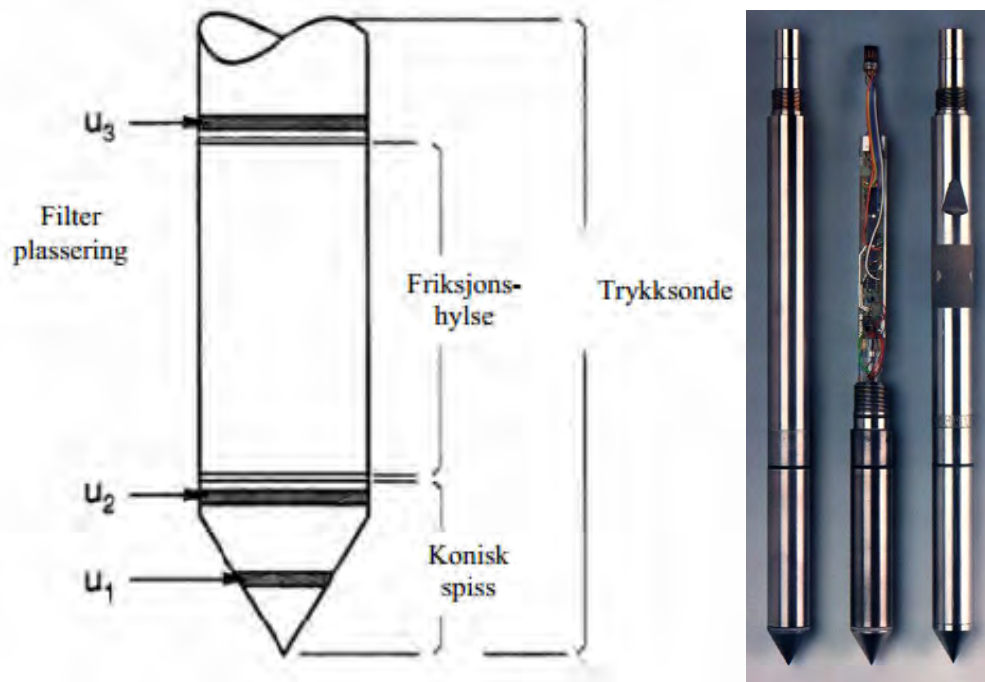
### 1.2.1 Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU)

Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) utføres ved å penetrere en instrumentert trykksonde ned i jorden med konstant penetrasjonshastighet 20 +/- 5 mm/s. Metoden er standardisert etter NS-EN ISO 22476-1 og NGF melding 5 rev. 2010.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Trykksonden er vanligvis instrumentert slik at den kan måle spissmotstand  $q_c$ , poretrykksoppbygging  $u_2$  og friksjon langs friksjonshylsen  $f_s$ . Gjennom hyppige målinger, minst hver 20 mm eller oftere, kartlegges grunnens oppførsel ved penetrering av sonden, og det oppnås kontinuerlige profiler av de nevnte størrelser med dybden. Målte data gir et pålitelig grunnlag for tolkning av grunnens lagdeling og type jordart. Resultatene kan også brukes til å tolke mekaniske jordparametere for bruk i geoteknisk prosjektering.



Figur A1.3: Trykksonde utrustet for måling av spissmotstand, poretrykk og sidefriksjon (NGF melding 5, rev.2010)

Den målte spissmotstanden  $q_c$  korrigeres for opptredende poretrykk  $u_2$  og den korrigerede spissmotstanden  $q_t$  kan da beregnes som:

$$q_t = q_c + (1 - a) * u_2 \quad (\text{A1.1})$$

Netto arealforhold  $a$  er forholdet mellom arealet av stammen til trykksonden og det nominelle tverrsnittarealet av den koniske delen.

Netto spissmotstand er da definert som:

$$q_n = q_t - \sigma_{v0} \quad (\text{A1.2})$$

der:

$\sigma_{v0}$  er in situ total overlagingsspenning

Fra ligning A1.2 kan de dimensjonsløse parametrene  $N_m$ ,  $B_q$  og  $R_f$  avledes. Disse benyttes blant annet for å klassifisere jordens oppførsel og ved tolkning av mekaniske parametre.

De mest brukte parameterne er:

$$N_m = \frac{q_n}{\sigma'_{v0} + a} \quad \text{Spissmotstandstall (} Q = q_n/\sigma_{v0}' \text{)}$$

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

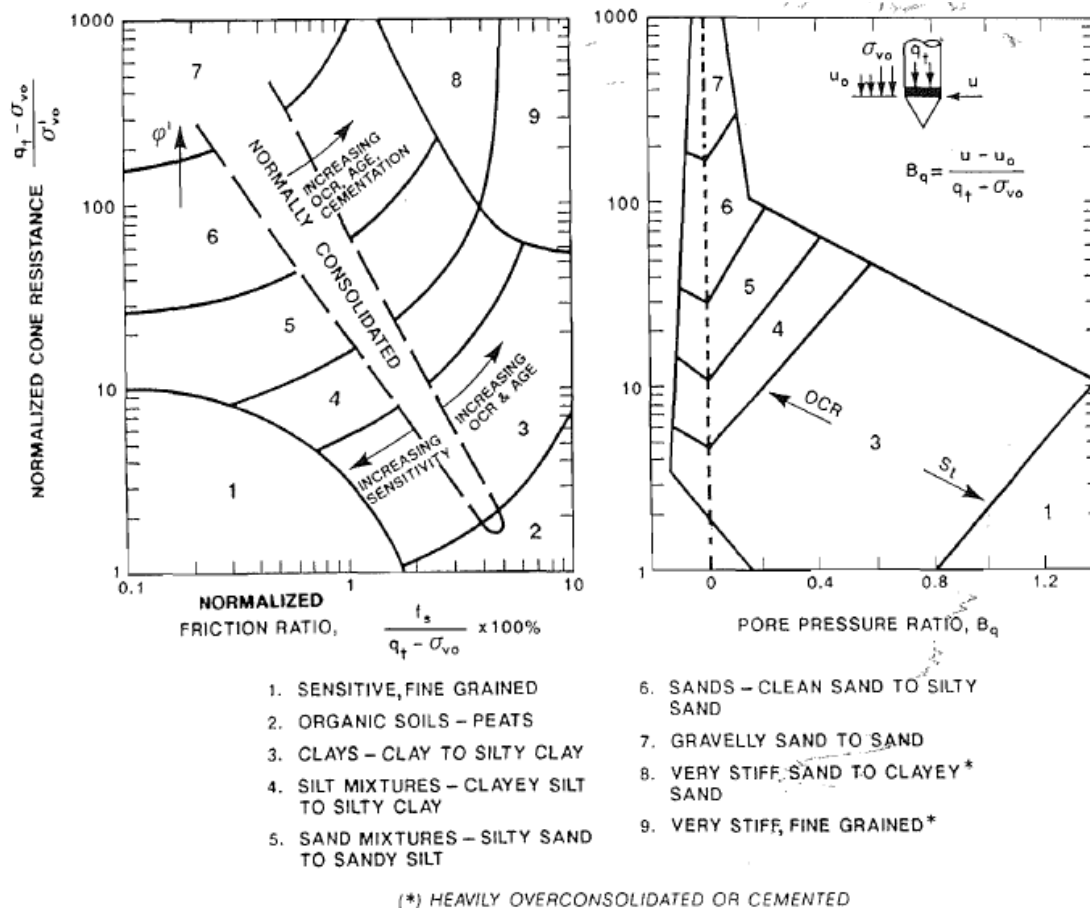
$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_n}$$

Poretrykksforhold

$$R_f = \frac{f_s}{q_n}$$

Friksjonsforhold

Det finnes flere klassifiseringsmetoder basert på disse dimensjonsløse parametere. En av de mest benyttede er metoden utviklet av Robertson (1990), vist i figuren under:



Figur A1.4: Jordartsklassifisering fra CPTU data (Robertson m.fl. (1990))

Trykksondering med poretrykksmåling er blitt en populær metode, blant annet på grunn av mulighetene for tolkning av udrenert skjærfasthet og andre mekaniske egenskaper ved jorden.

### 1.2.2 Bestemmelse av stangfriksjon fra total nedpressingskraft

En forholdsvis ny metode for tolkning av kvikkleirelag i grunnen er basert på måling av total nedpressingskraft ved utførelse av trykksonderinger. Fra total nedpressingskraft  $P_T$  kan friksjonen langs stangsystemet  $P_s$  utledes ved å legge til stengenes vekt  $W_s$  og trekke fra spisskraften, omregnet ved å multiplisere korrigert spissmotstand med sondens nominelle tverrsnittareal  $A_s$ .

$$P_s = P_T + W_s - q_t * A_s \quad (\text{A1.3})$$

Friksjonen mot friksjonshylsen like bak spissen antas i mange tilfeller å representere delvis omrørt materiale, det vil si at første gangs penetrasjon av sonden ikke fører til fullstendig omrørt materiale

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

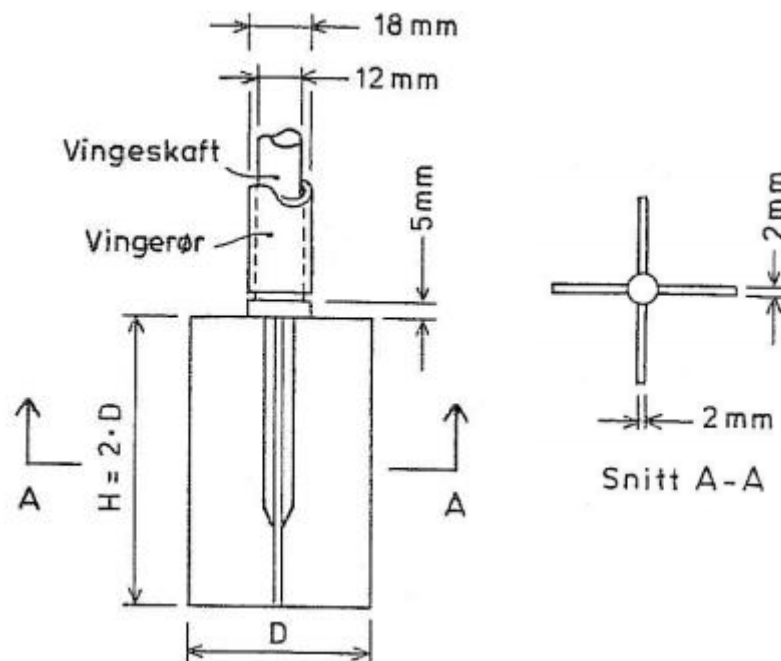
langs hylsen. Samtidig antas det at borstengenes penetrasjon i grunnen omrører leirmassene i en mye større grad, slik at massen langs stengene etter hvert blir fullstendig omrørt. Den avledede friksjonen langs stangsystemet er da ansett som en verdi tilnærmet den som kan måles i laboratoriet med konusforsøk på omrørt materiale.

Helningen til kurven som representerer friksjonskraften langs stangsystemet ( $P_s - z$ ) kan da sammenlignes med en referansekurve med en helning som kan velges hensiktsmessig. For eksempel vil en kurve som beregnes fra en konstant udrenert skjærfasthet på 0,5 kPa representere kvikkleire. Dersom målekurvens helning er brattere enn helningen for referansekurven for kvikkleire innenfor et visst intervall, kan dette tolkes som et tegn på at leirens omrørte skjærfasthet er lavere enn 0,5 kPa i dette intervallet. Leiren kan da tolkes som kvikk.

Trykksondering med måling av total nedpressingskraft utføres som vanlige CPTU, men et felt på loggeprogrammet må avkrysses for å initiere logging av disse målingene i tillegg til de vanlige for CPTU. Total nedpressingskraft kan også måles hvis det utføres R-CPTU, men det kan da være en viss innvirkning fra resistivitetsmodulen på målekurven ettersom denne har større diameter enn det øvrige stangsystemet.

### 1.3 Elektrisk vingebor (EFVT)

Elektrisk vingebor (EFVT) brukes spesielt til å måle in situ uforstyrret og omrørt udrenert skjærfasthet i kohesive jordarter som leire og silt ved hjelp av et torsjonspåkjent vingekor som roteres til brudd. Vingen består av fire tynne perpendikulære metallplater i varierende størrelse og utforming, se figur A1.5. Typisk design er at alle fire platene rektangulære, men det finnes også andre geometrier (tapered vane). Metoden er normert etter NGF melding 4 (manuell utførelse), men en ny internasjonal standard er under utarbeidelse (2014).



Figur A1.5: Vingedimensjoner (NGF melding nr. 4)

Utstyret presses ned i leiren til den bestemte dybden, der vingen ligger inne i en vingesko festet til spissen av ytterrøret. Når måledybden er nådd, presses vingen ut av vingeskoen ca. 500 mm slik at

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

målingen finner sted i tilnærmet uforstyrret materiale. Skjærfastheten beregnes ut fra det torsjonsmoment som påkjenner vingen når denne roteres ved en bestemt og konstant hastighet ( $0,2^\circ/\text{sekund}$ ). Leiren som omslutter vingekorset skal da gå til brudd i løpet av 1 til 3 minutter.

Tidligere var dette forsøket utført ved hjelp av manuelt påført torsjonsmoment med bruk av mekanisk utstyr. Den moderne varianten er basert på elektromekanisk påføring av torsjonsmomentet, og registrering av måleresultater finner sted ved hjelp av en egen måleenhet (felt-PC eller tilsvarende). Målingene kan også utføres nær selve vingen, som er en fordel på grunn av mindre innflytelse av utstysrelaterte faktorer. Dette muliggjør registrering av torsjonsmoment mot rotasjonsvinkel frem mot brudd for bestemmelse av udrenert skjærfasthet i uforstyrret tilstand.

Etter omrøring av massene repeteres prosedyren for bestemmelse av omrørt skjærfasthet, etter at vingekorset først er rotert minst 25 omdreininger. Basert på arbeidskurven for uforstyrret tilstand kan man også vurdere leirens omrøringsenergi arealet under målt torsjons-rotasjonskurve.

De største og viktigste usikkerhets- eller feilkilder ved måling av leirens skjærfasthet med elektrisk vingebor er hovedsakelig knyttet til utstyret, spesielt i omrørt tilstand. Friksjon i stangsystemet kan utgjøre en vesentlig andel av målt torsjonsmoment hvis leiren har lav udrenert skjærfasthet eller ved måling av den omrørte skjærfastheten. Denne feilkilden kan imidlertid korrigeres ettersom friksjonsbidraget kan måles og subtraheres fra det målte momentet. Det finnes også vingeborutstyr der måling av torsjonsmoment og vingerotasjon finner sted nede ved vingen, slik at friksjon og elastisk deformasjon i stangsystemet ikke påvirker målingene.

## 1.4 Prøvetaking

For bestemmelse av massenes mekaniske egenskaper må det forutsettes uforstyrrede prøver som representerer materialets skjærfasthet og stivhet in situ. Tradisjonelt har  $\phi 54$  mm stempelprøvetaker vært benyttet ved fortrenningsboring for opptak av uforstyrrede prøver her i landet. Det benyttes nå også stempelprøvetakere med større diametre ( $\phi 72-76$  mm,  $\phi 90$  mm) og blokkprøvetakere ( $\phi 160$  mm,  $\phi 250$  mm), noe som kan gi betydelig bedre prøve kvalitet, spesielt i bløte og sensitive leirer.

Selv ved såkalt uforstyrret prøvetaking er det vanskelig å bevare materialets opprinnelige egenskaper fullt ut, men det forutsettes at prøvene som tas opp er av god nok kvalitet for en rimelig representativ bestemmelse av materialets mekaniske egenskaper. Stempelprøvetaking blir således betraktet som et godt egnet utstyr i de fleste leirer og i fin silt. Dette forutsetter imidlertid at prøvetakeren tilfredsstiller de tekniske krav som stilles, og at prøveutskjæring, forsegling og annen prøvebehandling blir forskriftsmessig utført etter normerte prosedyrer.

Det henvises her til NGF melding 11 og metodestandard NS-EN ISO 22475-1 for ytterligere detaljer om utstyr og forsøksprosedyrer.

## 2 Geofysiske undersøkelser

### 2.1 Resistivitetsmåling på overflaten (ERT)

I felt er resistivitetsmålinger på terrengoverflaten (ERT, Electric Resistivity Tomography) blitt benyttet i flere år til forskjellige anvendelser innen bergteknikk og geoteknikk. Metoden blir nå innen geoteknikken vurdert som svært nyttig og aktuell i forbindelse med kartlegging av kvikkleireområder. Innen bergteknikk benyttes ERT blant annet for å finne oppsprukne, ofte vannbærende svakhetssoner i bergmasser.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Det generelle prinsippet for måling av overflateresistivitet er å benytte et linjeutlegg med lik avstand mellom elektroder som stikkes ned i grunnen. I målingen påføres elektrisk strøm mellom to av disse elektrodene, mens det elektriske potensialet måles mellom ett eller flere par naboelektroder. De målte potensialene påvirkes av påført strømstyrke og ledningsevnen i jordlagene. Influenssone med tanke på dybde og volum avgjøres av innbyrdes avstand mellom elektrodene og deres posisjon.

Ved å utføre målinger for et stort antall elektrodeavstander oppnås et sett med data som gjør det mulig å tolke og presentere et bilde av den elektriske motstand i grunnen langs målelinjen. Et FEM-program benyttes i tolkning av målte data. Dette sammenligner måleverdiene med en teoretisk modell-løsning (pseudo-seksjon) som representerer den underliggende grunnen. Avviket mellom målt og teoretisk verdi minimaliseres ved beregningen slik at man oppnår god overensstemmelse med målte data. Resultatene fra 2D overflatemålinger (ERT) viser tolket på denne måten viser fordelingen av resistivitet i jordvolumet langs et profil på overflaten. Fremstillingen er et resultat av invertering av et syntetisk profil med lagdeling og resistivitetsverdier tilegnet knutepunkter (noder) i jorden. Hver fargekode i profilet representerer et erfaringsbasert resistivitetsintervall som tilsvarer en bestemt jordartsgruppe, se figur A2.2.

Kvaliteten på målte data avhenger av grunnens homogenitet og oppnådd kontakt mellom elektrodene og grunnen. Best resultat oppnås i naturlig mettett grunn, spesielt i leirprofiler med tynt tørrskorpelag. Leirsedimenter med tykke tørrskorpelag gir også dårligere tolkning. Begrensningen i tolkningen er forutsetningen om at grunnen under målelinjen på overflaten har de samme egenskapene i horisontal retning. Dette er ikke et stort problem ved homogene grunnforhold, men usikkerheten øker rimeligvis ved variabel geologi i området. Tolkningen av måledata er også noe mer unøyaktig mot endene av det tolkede profilet.

ERT gir i prinsippet et kontinuerlig resistivitetsprofil som kan være flere hundre meter langt, og som også kan nå de dypeste lagene av interesse for geoteknisk prosjektering. Oppløselighet av målingene er i noen grad avhengig av den penetrasjonsevnen og rekkevidden som er ønskelig, og dette må vurderes ved bestemmelse av geometri for og avstander i elektrodeutlegget. Det er imidlertid ingen begrensning i forhold til lengden av det resistivitetsprofilet som gjennomføres. Ofte vil noen deler av profilet identifiseres som mer interessante eller verdt å undersøke dypere.

Elektrodene settes i bakken med diverse konfigurasjoner som er godt egnet til det spesifikke formål med undersøkelsen og de foreliggende grunnforhold. Et valgt antall elektroder, med en bestemt innbyrdes avstand mellom elektrodene, blir innrettet på profillinjen. Målingene med den første elektrodeavstanden når bare til en viss dybde, og elektrodeavstanden må økes for å kunne sondere dypere i grunnen.

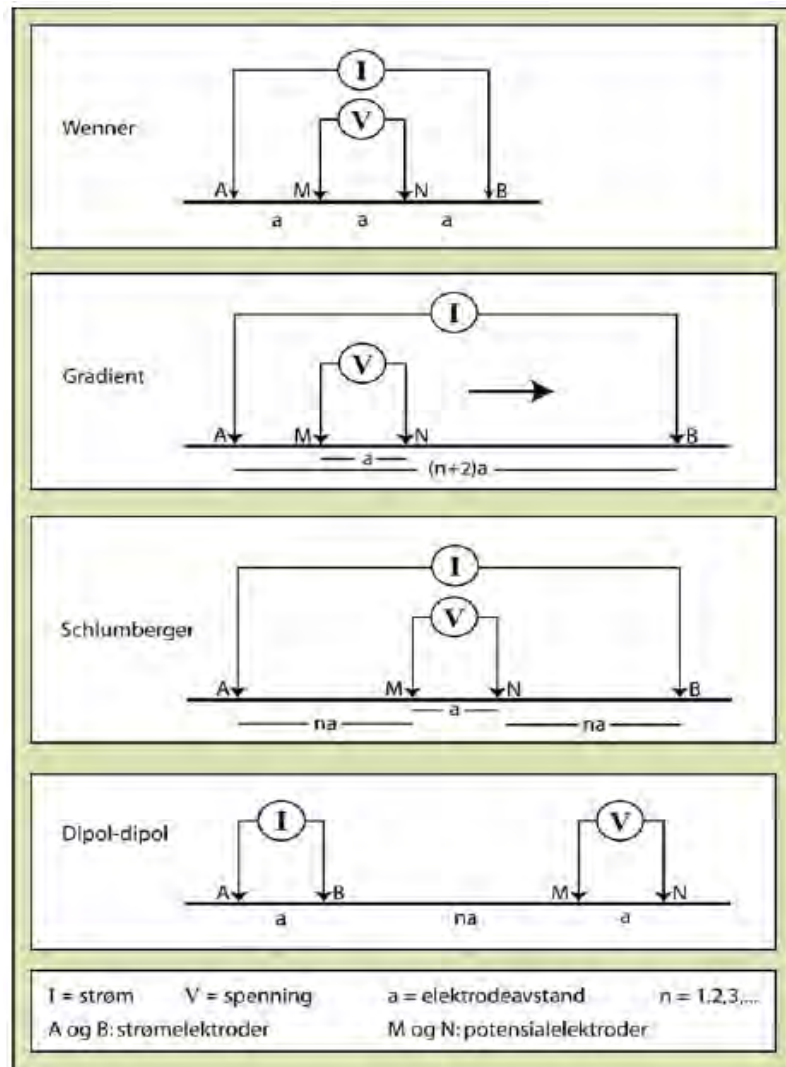
De vanligste elektrodekonfigurasjonene er Wenner- $\alpha$ , Schlumberger, gradient og dipol-dipol, se Figur A2.1.

*Tabell A2.1: Typiske resistivitetsverdier i forskjellige jordarter (basert på Berger, 1983 og Solberg, 2007, Solberg m.fl. 2008, 2012).*

Intervall	Jordart
1-10 $\Omega\text{m}$	Saltholdig leire
10-100 $\Omega\text{m}$	Utvasket leire
70-300 $\Omega\text{m}$	Tørrskorpeleire
50-200 $\Omega\text{m}$	Mettet silt
200-1000 $\Omega\text{m}$	Mettet sand

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Det finnes imidlertid flere eksempler der det er målt verdier som ikke er i samsvar med klassifiseringen i denne tabellen, og de foreslåtte resistivitetsintervallene må derfor sies å være foreløpige og orienterende.

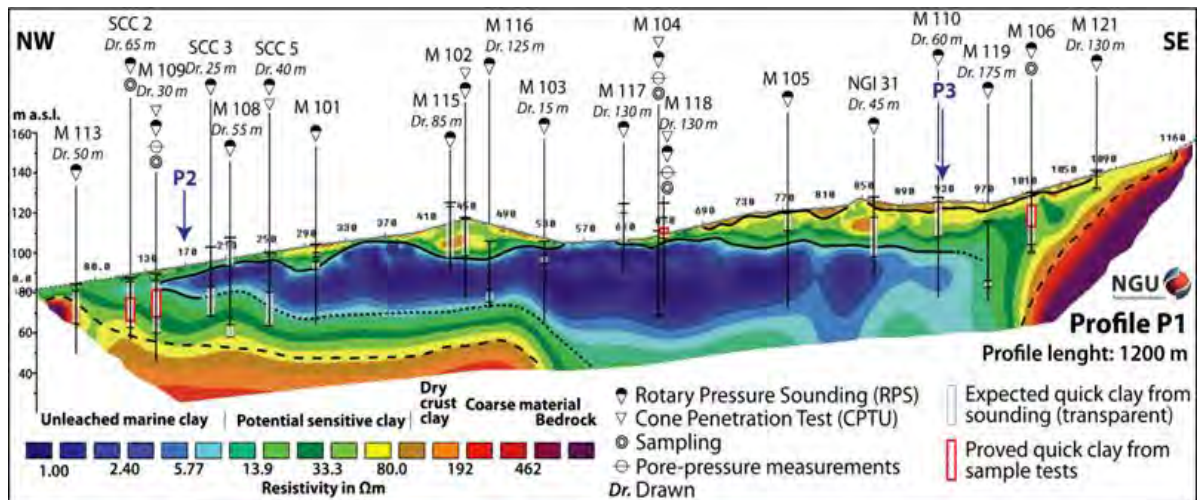


Figur A2.1: Prinsippskisse over Wenner- $\alpha$ , gradient, Schlumberger og dipol-dipol konfigurasjoner (NGU, Veiledning for utførelse av resistivitetsmålinger)

Ved prosessering av måledata trenger man å invertere en kunstig jordmodell for å beregne resistiviteten ut i fra en antatt lagdelings- og jordartsmodell. Hvis inversjonen er vellykket, vil det være godt samsvar mellom reelle målte og kunstige verdier. Hvis ikke gjennomføres en iterasjonsprosedyre i inverteringen helt til avviket mellom syntetisk modell og målt profil er tilfredsstillende. Tolkede resultater presenteres så i et profilplott som viser fordelingen av resistivitet i jorden langs måleprofilen, se Figur A2.2.

Ved utlegging av profilene er det viktig å ha enkeltprofiler som krysser hverandre. Dette gir mulighet for å sammenligne tolkningen i krysningspunktene, som bør samsvare ved gode inverteringsmodeller. Hvis det måles i et tilstrekkelig antall kryssende profiler, blir det mulig å ekstrapolere resultatene til en kvasi-3D grunnmodell.

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Figur A2.2: Resultater fra 2D resistivitetsmålinger sammenlignet med geotekniske data. Resultater fra E6 Haga-Skjerdingstad, Kaldvelladalen (Sandven og Solberg (2013)).

## 2.2 Trykksondering med resistivitetsmålinger (R-CPTU)

Sonderingsutstyret som benyttes til R-CPTU består som regel av en vanlig CPTU sonde, der en resistivetsmodul kan monteres bak spissen, som vist i Figur A2.6. Modulen er drevet av batterier, og den kan som regel lese, lagre og sende måledata til en mottakerenhet på overflaten eller et minnekort montert i sonden. For en mer detaljert beskrivelse av metoden henvises til NIFS rapport 47/2014 «Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU».



Figur A2.3: Resistivetsmodul av samme type brukt i NIFS feltstudie ([www.geotech.se](http://www.geotech.se)).

Tilleggstiden det tar for å utføre en R-CPTU sondering i forhold til en vanlig CPTU-sondering dreier seg bare om noen få minutter. Dette vil være tiden man trenger for å montere resistivetsmodulen på batteripakken og tilknytte modulen til trykksonden. Ellers er sonderingsprosedyren i felt helt lik en vanlig CPTU-prosedyre. Den eneste forskjellen er at loggeprogrammet må være tilpasset registrering av de nye målingene.

Ulike jordarter har forskjeller i typiske resistivetsintervaller, noe som i teorien kan benyttes til å skille dem fra hverandre ved resistivetsmåling. Bestemmelsen vil være nyttig blant annet ved kartlegging av kvikkleire. Jordartenes vanlige resistivetsintervaller viser noe overlapping. I utgangspunktet er følgende resistivetsintervaller benyttet for å karakterisere jordartene, se tabell A2.1.

## 3 Geotekniske laboratorieundersøkelser

### 3.1 Rutineundersøkelser

Rutineundersøkelser utføres i laboratoriet på leirmateriale etter utskyvning av materiale fra  $\phi 54$  mm stålsylindere. Rutineundersøkelsene i dette prosjektet omfattet måling av følgende størrelser:

- Densitet liten prøve og midlere densitet (utført etter NS 8011)

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

- 3 vanninnholdsbestemmelser for naturlig materiale (utført etter NS 8013)
- Konsistensgrenser, bestemmelse av flytegrense etter konusmetoden (finhetstall  $w_F$ ) (utført etter NS 8002)
- Udrenert skjærfasthet fra enaksielt trykkforsøk (utført etter NS 8016)
- Udrenert skjærfasthet, uforstyrret og omrørt tilstand (utført etter NS 8015)
- Kornfordeling, slemmeanalyse (utført etter NS 8005)
- Korndensitet ved pyknometermåling (utført etter NS 8012)
- Klassifisering og identifisering av materialet (utført etter NS 14688-1 og -2)

Når disse målingene er utført, kan det beregnes andre viktige parametere som porøsitet og poretall, plastisitet- og flyteindeks, og sensitivitet.

### 3.2 Saltinnhold og ledningsevne

Måling av porevannets saltinnhold er hensiktsmessig og nødvendig informasjon ved vurdering av kvikkleireforekomster. Saltinnholdet måles vanligvis ikke direkte, men kan leses fra kalibrerings-skjemaer som korrelerer porevannets ledningsevne mot resistiviteten i en bestemt type saltløsning (NaCl, KCl) ved ulikt saltinnhold. Metoden er derfor utsatt for noen feilkilder, ettersom vannets ledningsevne blant annet er avhengig av forsøkstemperaturen og type salt i løsningen.

Utførelsen av ledningsevнемålingen gjennomføres ved at leirprøven først sentrifugeres. Ved sentrifugeringen skilles det ut porevann som samles i et lite kar eller en liten beholder. Det utføres så ledningsevнемåling i dette vannvolumet ved hjelp av en elektrisk ledningsevнемåler. Målt ledningsevne korreleres så mot ledningsevnen for kjente saltløsninger, i dette tilfelle NaCl-løsning (vanlig koksalt).

Metoden er ikke normert i henhold til nasjonalt standardverk.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg B**

### **Beskrivelse av forsøksfelt fra tidligere undersøkelser**

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## Vedlegg B - Beskrivelse av forsøksfelt fra tidligere undersøkelser

### Innholdsfortegnelse

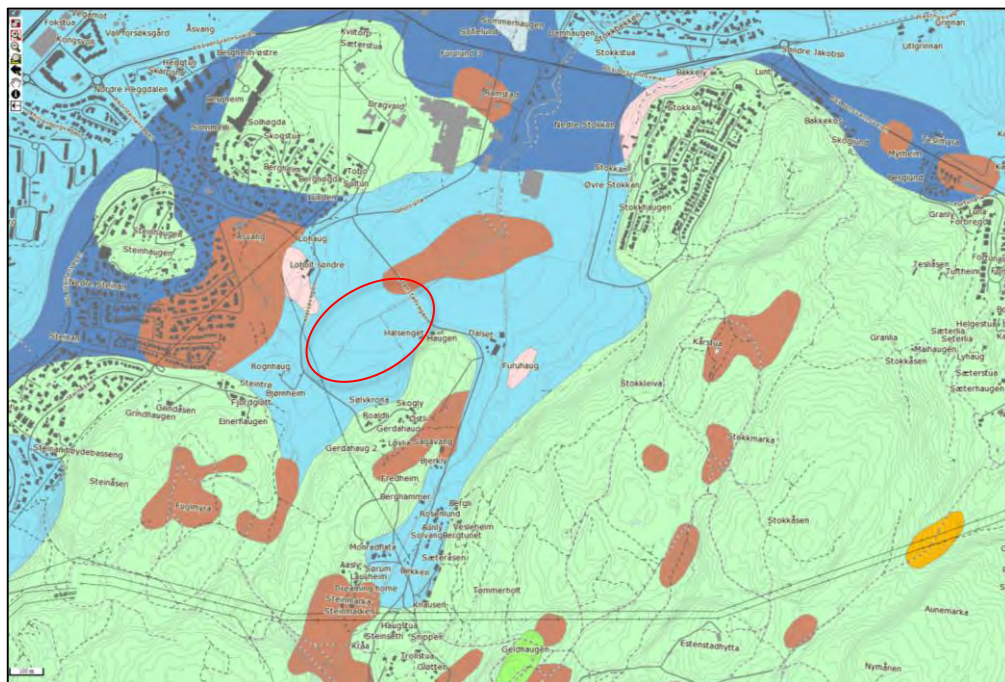
<b>1</b>	<b>NTNUs forsøksfelt</b> .....	<b>17</b>
1.1	Dragvoll, Trondheim .....	17
1.2	Esp, Byneset Trondheim .....	17
1.3	Sund, Rissa .....	18
1.4	Tiller, Trondheim.....	18
<b>2</b>	<b>NGIs forsøksfelt</b> .....	<b>20</b>
2.1	Smørgrav, Vestfossen .....	21
2.2	E16 Kløfta – Kongsvinger .....	22
2.3	Follobanen Oslo – Ski .....	23
2.4	Hommelvik sjøside, Malvik .....	24
<b>3</b>	<b>Rambølls forsøksfelt</b> .....	<b>24</b>
3.1	Nidarvoll.....	24
<b>4</b>	<b>Statens vegvesens forsøksfelt</b> .....	<b>26</b>
4.1	FV32 Gimlevegen – Augestadvegen, Porsgrunn .....	26
<b>5</b>	<b>Multiconsults forsøksfelt</b> .....	<b>26</b>
5.1	Ranheim Vestre, Trondheim .....	26
5.2	Leira, Trondheim.....	28

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## 1 NTNUs forsøksfelt

### 1.1 Dragvoll, Trondheim (ref. Masteroppgave Montafia, NTNU (2013))

Forsøksfeltet på Dragvoll i Trondheim ligger på kulturmark med slakt fall mot nordvest. Feltet avgrenses av to bekker, mot sørvest og mot nordvest. Mot nordøst grenser feltet mot en asfaltert veg, mens det sørøst for forsøksfeltet er påvist berg i dagen. Forsøksfeltet på Dragvoll er blant annet benyttet av PhD stipendiat Tonje Eide Helle på NTNU i forbindelse med forskning på stabilisering av kvikkleire med saltdiffusjon.



Figur B1.1: Kvartærgeologisk kart for Dragvoll-området, Trondheim ([www.nqu.no](http://www.nqu.no))

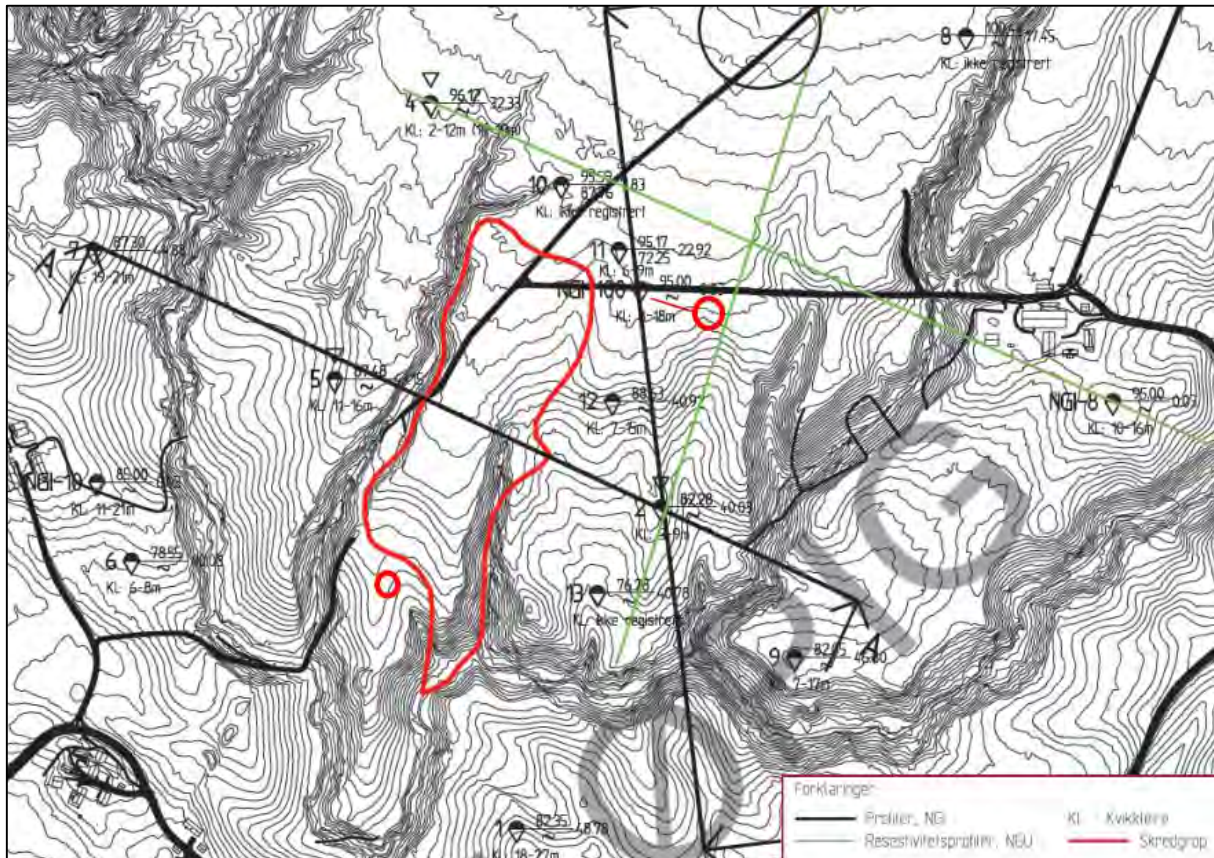
Leiravsetningene på Dragvoll er typisk homogene og består av bløt normalkonsolidert leire. Homogeniteten fremkommer også av ERT målingene, som viser hovedsakelig konstante resistivitetsverdier mellom 40 og 50  $\Omega\text{m}$ . Seismiske undersøkelser indikerer bergoverflaten på ca. 40 m dybde. For øvrig ligger leirforekomstene i et avgrenset basseng omgitt av oppstikkende berg med morenedekke, se utsnitt fra kvartærgeologisk kart i figur B1.1.

Kvikkleire er påvist fra ca. 4,5 m under terreng. Vanninnholdet i prøvene tatt opp fra opp til 11 m dybde varierer mellom 30 % og 44 %, avtagende med dybden. Prøvenes tyngdetetthet har imidlertid en økende tendens med dybden, fra 18,4  $\text{kN/m}^3$  til 19,6  $\text{kN/m}^3$ . Leirens plastisitet varierer mellom 12 % i ikke-kvikk leire og 2,8 % i kvikkleire. Det er målt et leirinnhold mellom 28 % og 48 %  $< 2 \mu\text{m}$ . Saltinnholdet i porevannet er veldig lavt og varierer mellom 0,35 og 0,92 g/l.

### 1.2 Esp, Byneset Trondheim (ref. Masteroppgave Hundal, NTNU (2014))

Natt til 1. januar 2012 gikk et kvikkleireskred på Esp på Byneset i Trondheim. Skredgropen er ca. 150 bred og 450 m lang, og raset hadde en utløpsdistanse på ca. 870 m. Byneset er kjent for store kvikkleireforekomster og det er gått flere skred i tidligere år. Terrenget på aktuelt område heller svakt sørover, og hele området er preget av små bekker der jorden i varierende grad er utsatt for erosjon, spesielt ved stor vannføring.

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Figur B1.2 Utførte grunnundersøkelser i skredområdet ved Esp på Byneset, Trondheim kommune.

Kvartærgeologisk kart fra NGU viser at det stort sett finnes marine avsetninger i og ved skredgroppen.

I forbindelse med skredhendelsen utførte Trondheim kommune, NGI og NGU grunnundersøkelser som påviste kvikkleire på aktuelt område. Supplerende grunnundersøkelser ble utført i forbindelse med utarbeidelse av NIFS rapport 34/2012, samt av NTNU i forbindelse med master- og PhD-oppgaver. NTNUs borehull 1101 og NTNU2 er vist i Figur B1.2 som røde sirkler. Rambøll har i tillegg utført grunnundersøkelser for masteroppgave Erlend Hundal (2014), like ved siden av borehull NTNU2 sørvest for skredgroppen.

Kvikkleire er påvist sørvest for skredgroppen fra ca. 5,5 m under terreng. Vanninnholdet i prøver ned til 11 m dyp varierer mellom 33 % og 49 %, økende med dybden ned til ca. 15 m dyp. Prøvenes tyngdetetthet er forholdsvis lav og varierer fra 17,5 kN/m<sup>3</sup> til 18,7 kN/m<sup>3</sup>. Leirens plastisitet er bestemt til ca. 12-15 % i ikke-kvikk leire og 5-6 % i kvikkleire. Saltinnhold i porevannet er som ventet lavt og ligger mellom 0,7 og 3,7 g/l.

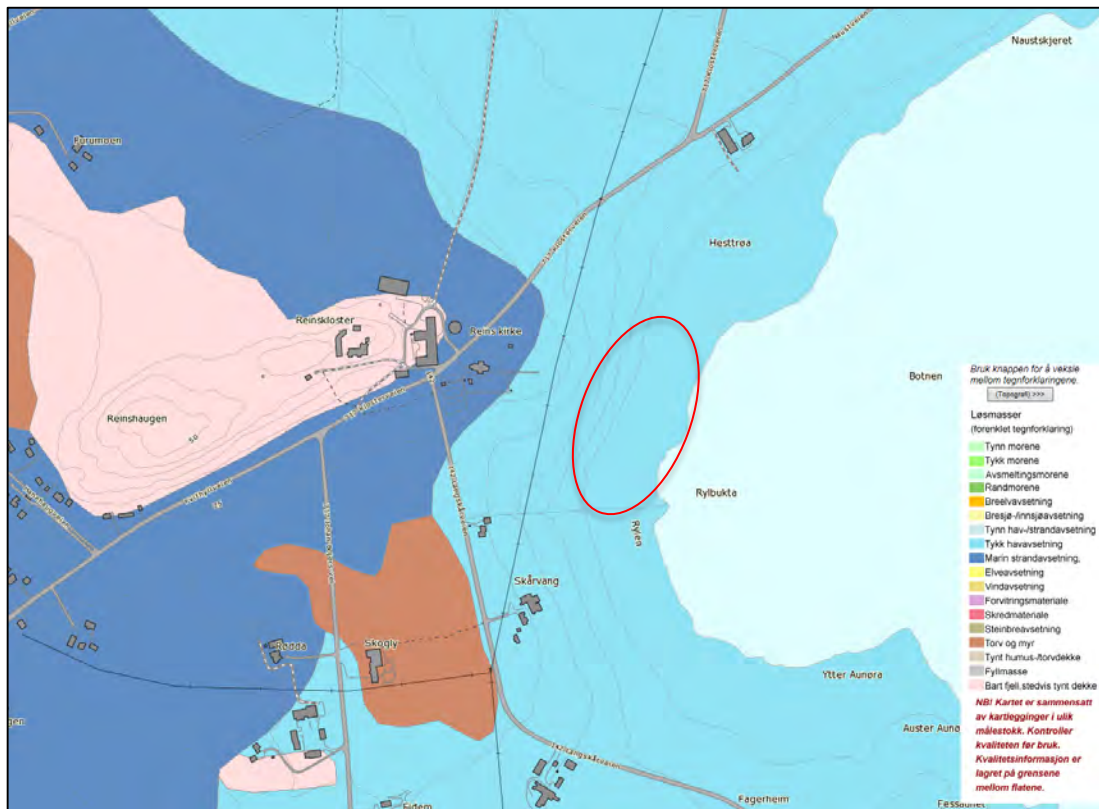
### 1.3 Sund, Rissa (ref. NTNU/Multiconsult r414792-2 (2012))

Statens vegvesen har tidligere utarbeidet reguleringsplan for ny RV 717, parsell Sund - Bradden i Rissa kommune. I den forbindelse har det vært utført en rekke grunnundersøkelser langs planlagt parsell, der både Statens vegvesen, NGI, NTNU, Norconsult (Geovest-Haugland) og Multiconsult har vært involvert.

Grunnundersøkelser for RV 717 har blitt utført for alternative linjeføringer i flere omganger. I tillegg finnes grunnundersøkelsesdata fra andre prosjekter. I denne sammenheng er det spesielt utførte grunnundersøkelser på Sund ved Rylbukta nordøst for Rein kirke som er omfattet med den største interessen.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Figur B1.3 Kvartærgeologisk kart ved Sund, Rissa ( [www.ngu.no](http://www.ngu.no) ).

Det undersøkte området heller oppover fra strandlinjen ved Botn på kote +2 - +3 m.o.h. i retning mellom sørøst og sørvest. Høydeforskjellen er størst i den sentrale delen, der kotehøyden i det undersøkte området ligger på ca. +23-25 m.o.h. I de øvrige deler av området varierer høydeforskjellen mellom 15 og 20 m. Helningen synes å være overveiende jevn, men i sentrale deler av området er terrenget noe mer uryddig og småkupert med noe ravedannelse. Det undersøkte området er kun spredt bebygget og består for det meste av dyrket mark/kulturlandskap.

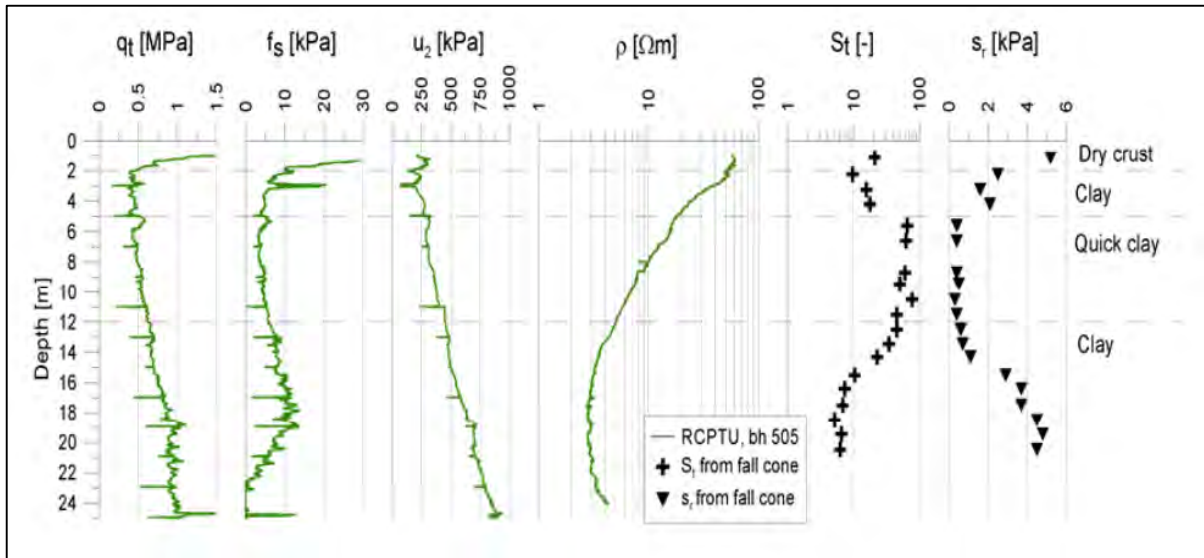
Grunnundersøkelsene viser generelt at grunnforholdene i området består av et topplag av fyllmasse, sand og grus med varierende mektighet over marine, finkornige sedimenter. Mektigheten av topplaget varierer mellom 0,5 og 4,0 m, og antas å bestå av tørrskorpe og delvis sand- og siltmasser.

De marine sedimentene består av normalkonsolidert silt og leire, med kvikk eller sensitiv leire påvist over store deler av området. Kvikkleirelagene i det undersøkte området synes generelt å være mektigst opp i skråningen mot RV 717, og tykkelsen av antatt kvikk/sensitiv leire kan her anta tykkelser på 15-20 m på det mektigste. Kvikkleiren synes å være tynneste (0-5 m) i boringene ned mot innsjøen Botn, men også her kan det forekomme lommer av kvikk/sensitiv leire med større mektighet.

Resultatene fra prøveåpning i laboratoriet indikerer for øvrig at omfanget av kvikk eller sensitiv leire er noe mindre enn det tolkning av sonderingene skulle tilsi.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

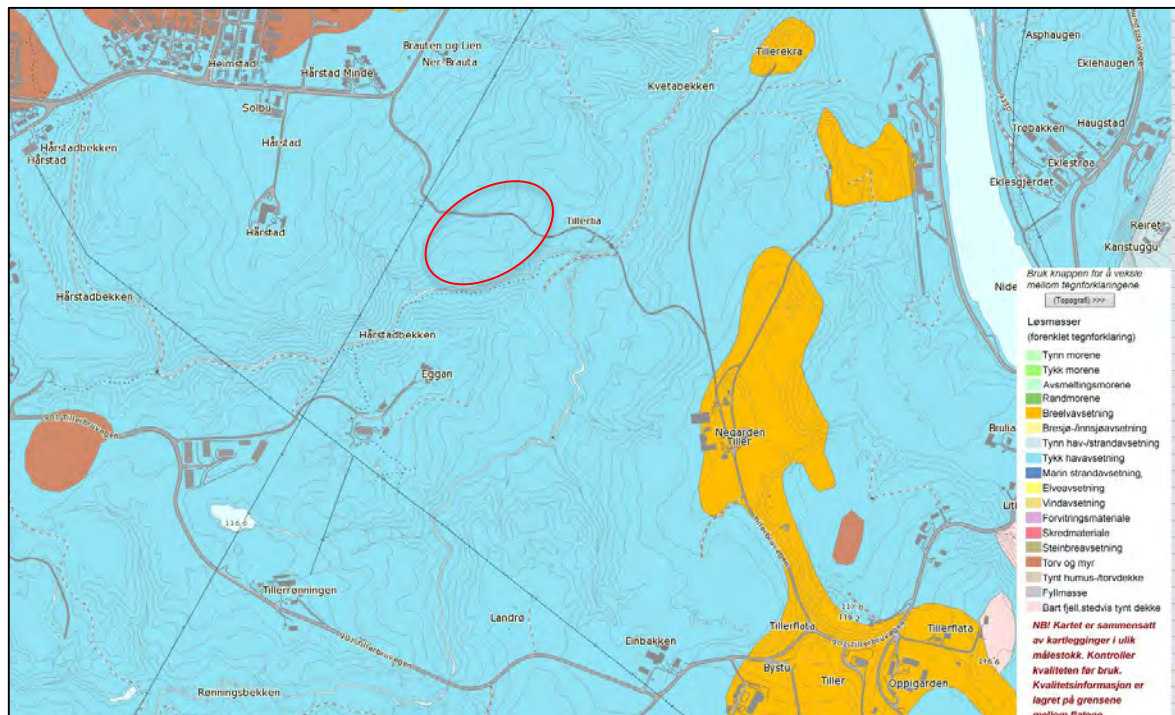


Figur B1.4 Resultater fra R-CPTU ved Smørgrav, Vestfossen, Øvre Eiker kommune ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

#### 1.4 Tiller Trondheim (ref. eks. PhD Sandven (1990), masteroppgaver Ørbech (1999), Seierstad (2000), Gylland (2011/2012))

Forsøksfeltet på Tiller ligger i et skogholt sør for Kvenild på Tiller i Trondheim. Feltet avgrenses av et rideanlegg i sør, mens det er vekslende partier med skog og kulturmark i nord og øst. Mot vest er området i ferd med å industrialiseres. Utsnitt fra kvartærgeologisk kart er vist i figur B1.5 og viser marine sedimenter i stor utstrekning.

Hårstadbekken renner gjennom området og er sterkt eroderende. Forsøksfeltet på Tiller har vært benyttet av NTNU i en årrekke og er dokumentert gjennom en rekke master- og PhD-oppgaver.



Figur B1.5: Kvartærgeologisk kart for Tiller-området, Trondheim ([www.ngu.no](http://www.ngu.no))

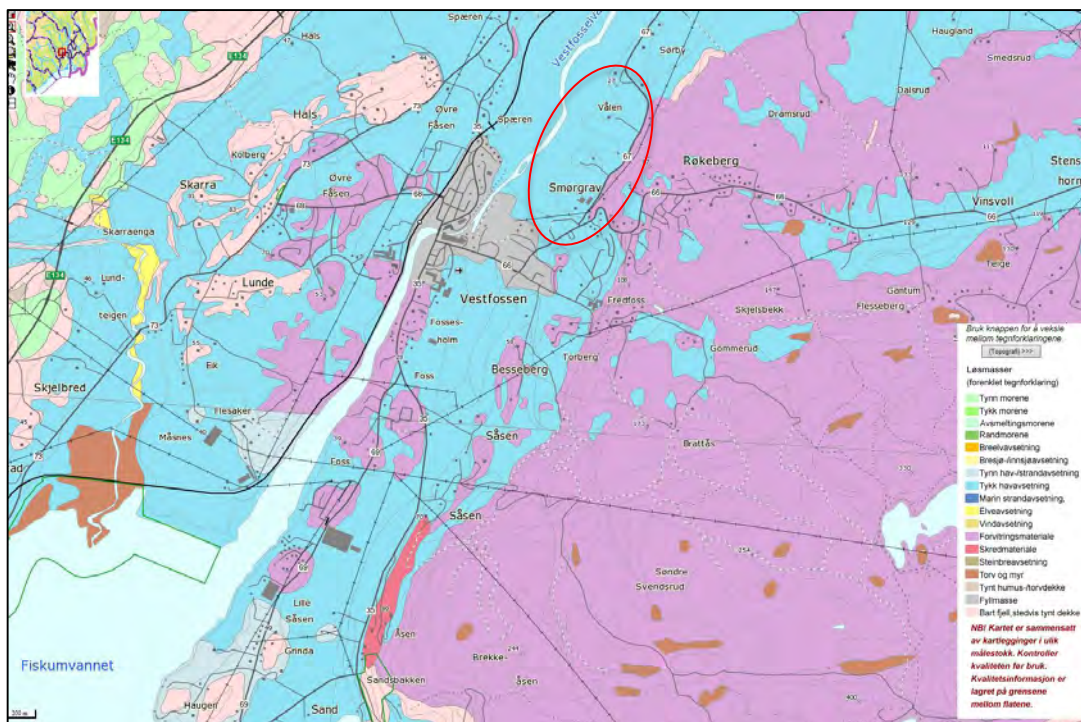
Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Leiravsetningene på Tiller består av et tynt tørrskorpelag over plastisk, ikke-sensitiv svakt overkonsolidert leire. Kvikkleire er påvist fra ca. 8,0 m under terreng. Vanninnholdet i prøvene tatt opp fra opp til 11 m dybde varierer mellom 30 % og 45 %, avtagende med dybden. Prøvenes tyngdetetthet har imidlertid en økende tendens med dybden, fra 18,4 kN/m<sup>3</sup> til 19,6 kN/m<sup>3</sup>. Leirens plastisitet er middels i det øvre ikke-kvikke leirlaget, mens den er lav i kvikkleirelagene.

## 2 NGIs forsøksfelt

### 2.1 Smørgrav, Vestfossen (ref. NGI-rapporter 20081135 (2008) & 20081246-1 (2009))

Et av NGIs forsøksfelt for kvikkleire ligger på Smørgrav ved Vestfossen, Øvre Eiker kommune i Buskerud. Det aktuelle området, som ligger like ved et eksisterende gårdsbruk, har blitt grundig undersøkt siden 2008, både med geotekniske og geofysiske undersøkelsesmetoder. De geotekniske grunnundersøkelsene inkluderer konvensjonelle sonderinger, trykksøndering med poretrykksmåling, CPTU og R-CPTU, samt prøvetaking og poretrykksmåling, mens de geofysiske målingene inkluderer MASW og ERT.



Figur B2.1 Kvartærgeologisk kart ved Smørgrav, Vestfossen, Øvre Eiker kommune ( [www.ngu.no](http://www.ngu.no) ).

Grunnforholdene i området består av marine sedimenter, grensende opp mot bart berg i øst. Det er påvist store forekomster av sensitiv/kvikk leire over store deler av forsøksfeltet. Laget med sprøbruddmateriale/kvikkleire ligger under et topplag med tørrskorpe og ikke-sensitiv leire, og er ca. 7-8 m tykt. Resistiviteten i kvikkleirelaget er oppsiktsvekkende lav i forhold til vanlig variasjonsområde, ca. 5-10 Ωm, og dette forsøksstedet er derfor svært interessant med hensyn på eventuelle forklaringer av de lave måleverdiene.

På dette feltet er også porevannets kjemi og leirens mineralogi kjent. NGI har utarbeidet en egen rapport som fremstiller resultatene av de geotekniske og geokjemiske undersøkelser. De geofysiske undersøkelsene er omhandlet i en egen artikkel forfatter av Kalscheuer m.fl. i 2013. Resistivetsverdier i denne artikkelen samsvarer godt med dem som fremkommer av NGIs rapport. Ved dette feltet er det påvist kvikkleire med resistivitet lavere enn vanlige verdier.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## 2.2 E16 Kløfta – Kongsvinger (ref. NGI-prosjekt 2012-0941-01-R)

Statens vegvesen, E16-prosjektet, planlegger og bygger ny E16 mellom Kløfta og Kongsvinger, se figur B2.2. Strekningen fra Kløfta til Nybakk er ferdig utbygd, mens parsellen Nybakk – Slomarka - Kongsvinger i Ullensaker, Nes og Sør-Odal kommuner er under planlegging/bygging.



Figur B2.2 Oversikt over ny veglinje for E16 mellom Kløfta og Kongsvinger ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

Det er gjennomført en rekke omfattende grunnundersøkelser langs vegparsellen, fra tradisjonelle sonderinger, CPTU, R-CPTU, ERT (2D-resistivitetsmåling), AEM luftbåren elektromagnetisk sondering), blokkprøvetaking og vanlig  $\phi 72$  mm prøvetaking, samt poretrykksmåling.

Det er lite fjell i planområdet, kun ved Tesiåsen, Herbergåsen, Spiksetberget og enkelte områder ved Ullern, se kvartærgeologisk kart i figur B2.3. For øvrig preges grunnen i området av mektige marine leiravsetninger som er gjennomskåret av ravedaler. Leiren i området er bløt og stedvis kvikk. Grunnforholdene vil være en viktig premissegiver for linjeføring og anleggsgjennomføring. Dette gjelder spesielt på strekningen Vestsidavegen – Oppakermoen. Mektigheten er størst i vestre deler av planområdet fra Nybakk og til like forbi Uåa. Videre østover mot Skarnes, avtar løsmassemektheten, og det finnes et par store myrområder.

## 2.3 Follobanen Oslo – Ski (ref. NGI-prosjekt 2011-0540-27-R (2012))

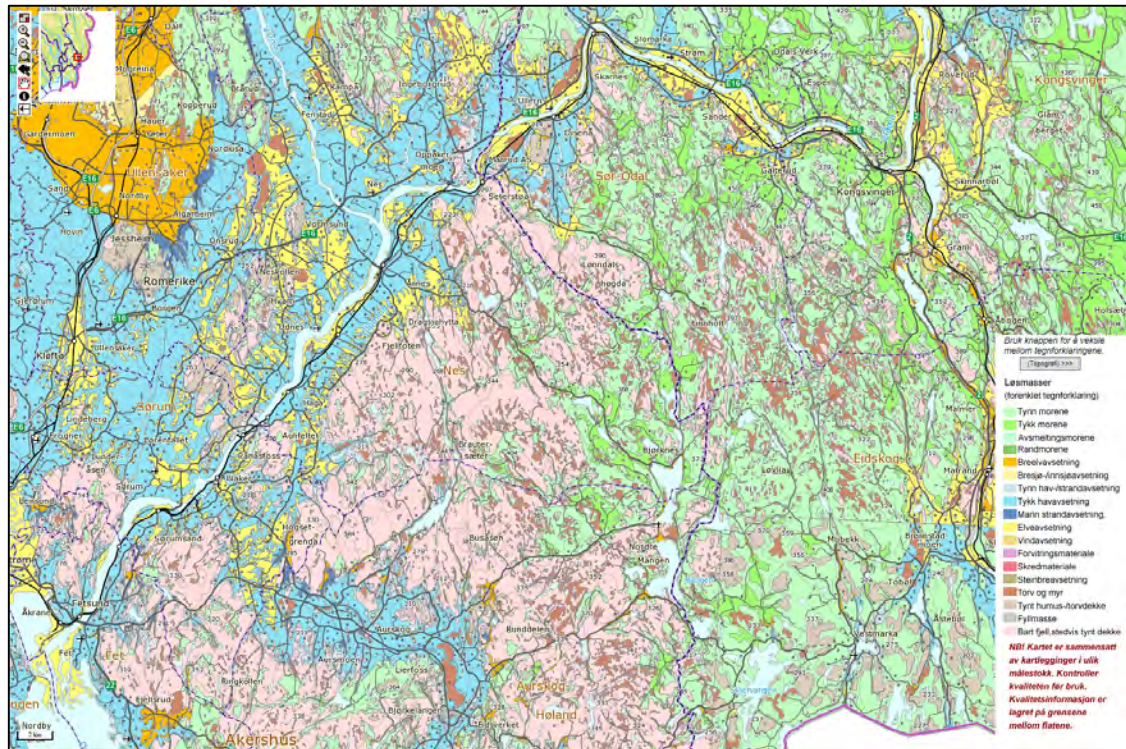
Det skal bygges nytt dobbeltspor mellom Oslo S og Ski stasjon, den såkalte Follobanen. I den forbindelse er det gjennomført en rekke utredninger med utførelse av grunnundersøkelser langs traséen. Nytt spor vil delvis gå i bergtunnel, delvis på løsmasser med til dels vanskelige grunnforhold.

Det er utført fjellkontrollboringer, totalsonderinger, poretrykksmålinger, CPTU med resistivitetsmålinger (R-CPTU) og optak av prøveserier med laboratorieanalyser.

Det høyeste terrengpunktet over traséene er 227 moh. Den marine grense i Osloområdet er på ca. 220 moh, noe som betyr at praktisk talt hele prosjektområdet ligger under den marine grense.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Figur B2.3 Kvartærgeologisk kart for strekningen Kløfta – Kongsvinger ( [www.ngu.no](http://www.ngu.no) ).

Ved Oslo S og i Gamlebyen viser kvartærgeologisk kart over området at løsmassene består av fyllmasser øverst, samt elve- og bekkeavsetninger (fluvial avsetning). Resultater fra grunnundersøkelsene indikerer at løsmassene i området består av mellom 1-5 m fyllmasse/tørrskorpe i toppen. Under tørrskorpen påtreffes siltig leire i varierende mektighet mellom ca 15 m til over 40 m på det meste. Det er påvist sensitiv leire (kvikkleire) i enkelte borepunkt på det sydlige området.

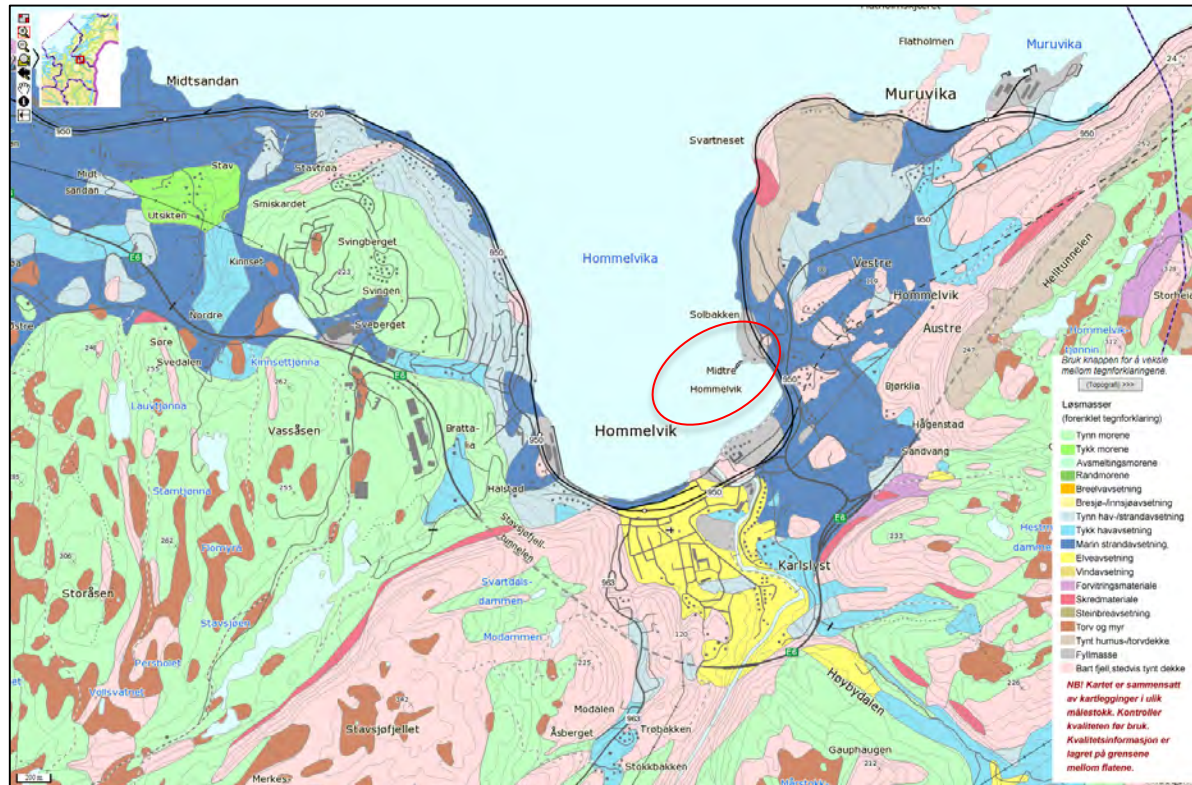


Figur B2.4 Detalj av Follobanen mellom Oslo S og Ski ( [www.jernbaneverket.no](http://www.jernbaneverket.no) ).



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Løsmassetypene for øvrig i prosjektområdet er i stor grad marine avsetninger av leire og silt. Kvikk eller sensitiv leire påtreffes på deler av profilet. Normalt er det også morenemasser helt ned mot bergoverflaten. I tillegg finnes enkelte begrensede områder med organiske masser (torv/myr). Det antas et generelt grunnvannsnivå i underkant av tørrskorpelaget.



Figur B2.5 Kvartærgeologisk kart for Hommelvik-området, Malvik kommune ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

## 2.4 Hommelvik sjøside, Malvik (ref. NGI-prosjekt 2014-0383 (2014))

I forbindelse med pågående utbygging på Hommelvik sjøside skal det etableres ny infrastruktur i området. I den forbindelse er det utført grunnundersøkelser, blant annet med trykksonderinger med resistivitetmåling (R-CPTU) foruten mer konvensjonelle sonderinger, prøvetaking og poretrykkmåling. Figur B2.5 viser kvartærgeologisk kart over området.

Området er i større eller mindre grad oppfylt med sand, men det er også fyllmasser av blandet opprinnelse. Original grunn består øverst av elveavsatte sandmasser, derunder leire med varierende tykkelse og morenelag over berg. Det kan være innslag av sensitiv eller kvikk leire i de marine sedimentene. Sandmassene kan ha en mektighet opptil 15-20 m under dagens terreng. Løsmassetykkelsen i området varierer fra ca. 1 m til ca. 60 m under terreng.

Grunnvannstanden i området påvirkes av sjøen og vil variere med tidevann over tid.

## 3 Rambølls forsøksfelt

### 3.1 Nidarvoll (ref. Masteroppgave Erlend Hundal, NTNU (2014))

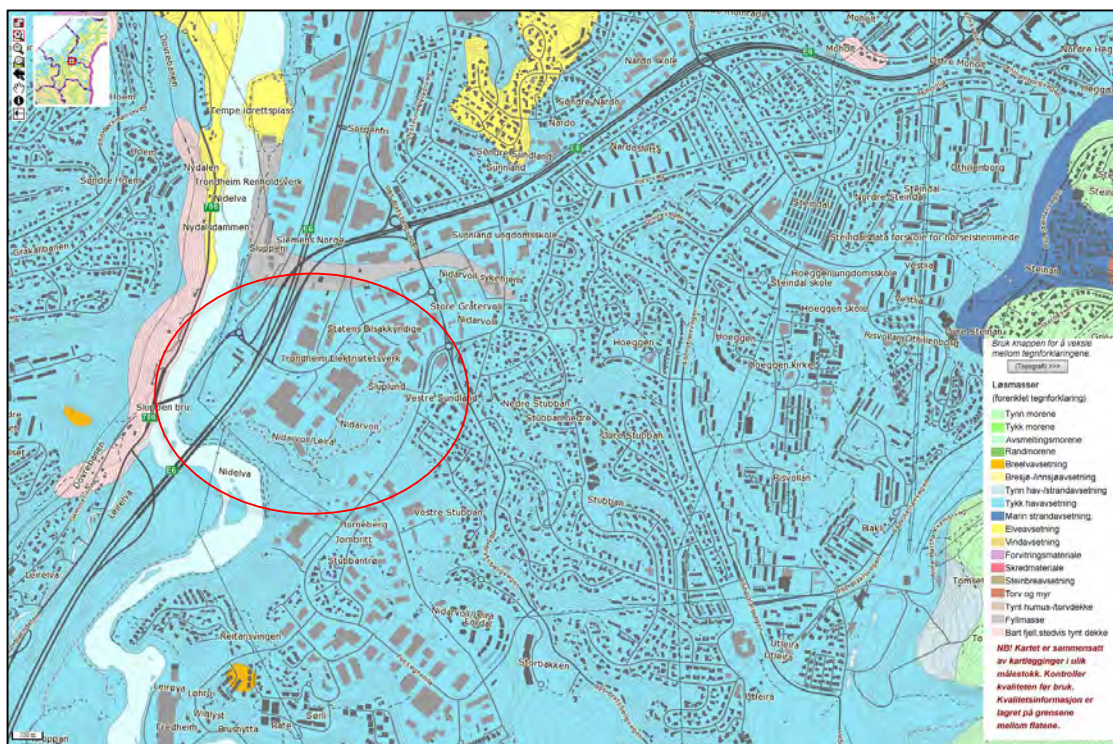
Rambøll har i 2014 utført grunnundersøkelser på Nidarvoll i Trondheim i forbindelse med et byggeprosjekt. Aktuelt område ligger innenfor kvikkleiresone 228 Nidarvoll, se figur B3.1. Terrenget i området er sterkt kupert og preget av ravinedaler og gamle gjenstående skredkanter. Det er store



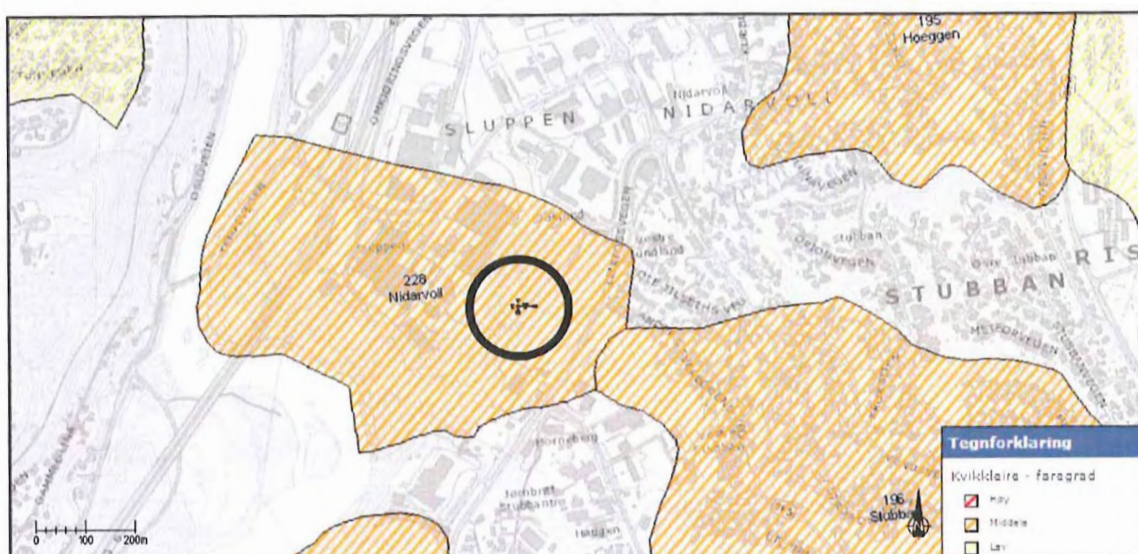
Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

høydeforskjeller i området, og terrenget heller sterkt ned mot Nidelven. Forsøksfeltet er plassert på toppen av en åskam mellom Postterminalen og Leirfossvegen.

Kvartærgeologiske kart viser at området rundt forsøksfeltet består av tykk havavsetning, og det er generelt liten variasjon i de geologiske forholdene i området, se figur 1.10. Sondringer og prøvetaking viser et lag av tørrskorpeleire over marin leire med enkelte gruskorn. Prøvetaking og sonderingsresultater viser et lag med fast leire i de øverste ca. 12 m. Bløt leire som er påvist meget sensitiv eller kvikk kan påtreffes fra ca. 12 m, med en antatt mektighet på ca. 10-15 m. Området er ellers godt dekket med grunnundersøkelser som gir et godt grunnlag for tolkning av materialenes egenskaper.



Figur B3.1 Kvartærgeologisk kart for Nidarvoll-området, Trondheim kommune ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).



Figur B3.2 Kvikkleiresoner i Nidarvoll-området ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

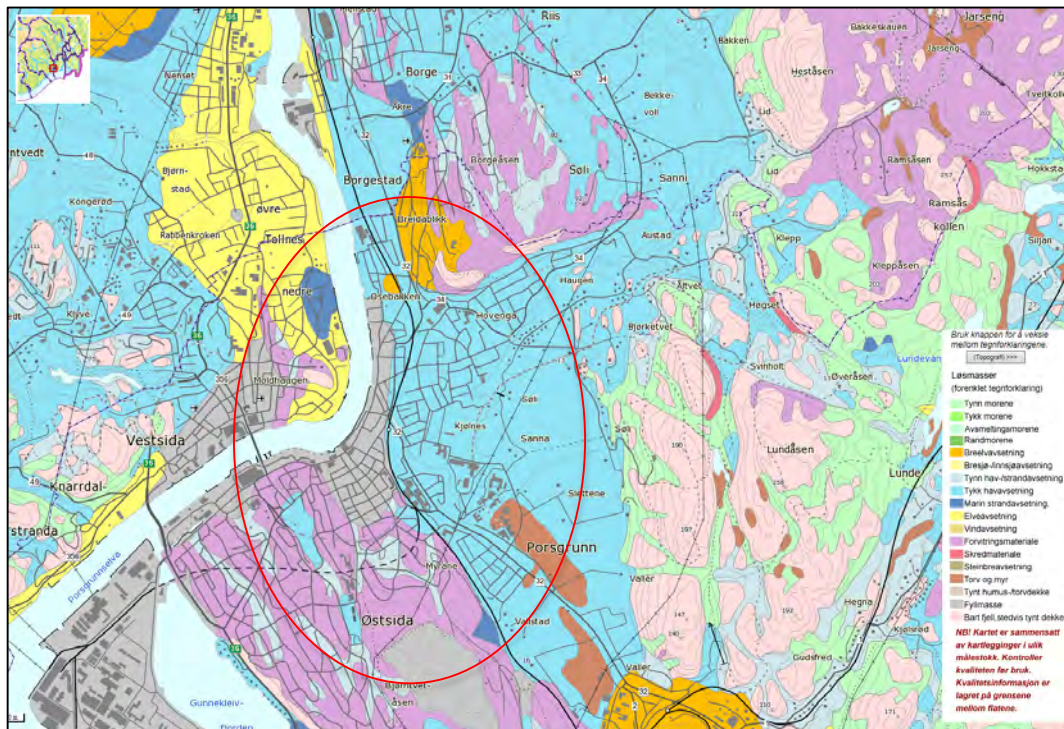


Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## 4 Statens vegvesens forsøksfelt

### 4.1 FV32 Gimlevegen – Augestadvegen, Porsgrunn (ref. Statens vegvesen rapport FV 32 Gimlevegen – Augestad 2010 247270-145 (2010))

FV32 Gimlevegen – Augestadvegen skal løse opp en flaskehals for gjennomgangstrafikken i Porsgrunn. Prosjektet er delt i to parseller. Parsell 1 består av veg i dagen med to bruer, mens parsell 2 inkluderer bygging av en om lag 400 meter lang løsmassetunnel. Totalt består prosjektet av ca 1300 meter ny veg fra Gimlevegen til Augestadvegen i Porsgrunn by, blant annet med bro over Lilleelva.



Figur B4.1 Kvartærgeologisk kart for byområde Porsgrunn og forsøksfelt Gimlevegen-Augestadvegen ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

Grunnundersøkelser for prosjektet inkluderer totalsonderinger, trykksonderinger med poretrykks- og resistivetsmåling (CPTU, R-CPTU) og poretrykksmåling. En del av R-CPTU-ene var mislykkede på grunn av tekniske problemer med trykksonden, men et tilstrekkelig antall av R-CPTU sonderingene viser tilfredsstillende kvalitet.

Kvartærgeologisk kart for området viser store forekomster av marine sedimenter, men også områder med berg i dagen, se figur B4.1.

Grunnforholdene i området består i stor grad av marin silt og leire, og det er påvist kvikk eller sensitiv leire flere steder i området, blant annet ved Lilleelva, en sideelv til Skienselva som renner gjennom Porsgrunn sentrum.

## 5 Multiconsults forsøksfelt

### 5.1 Ranheim Vestre, Trondheim (ref. Multiconsult rapport 416235-RIG-RAP-002 (2014))

Multiconsult utførte i november 2013 grunnundersøkelser på Ranheim Vestre i forbindelse med et utbyggingsprosjekt. Grunnundersøkelsene inkluderte vanlige dreietrykkssonderinger, CPTU og R-

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

CPTU, 2D resistivitetsmåling på overflaten (ERT), konvensjonell prøvetaking og laboratorieundersøkelser, samt poretrykksmåling.

Beliggenhet av undersøkelsesstedet er vist i kvartærgeologisk kart i figur 1.13. Terrenget i området rundt Ranheim Vestre kan betegnes som relativt flatt, med en slak helning ned mot fjorden ca. 800 m nord for det undersøkte området. Kvartærgeologisk kart over området viser at deler av området ligger innenfor klassifiseringen Tykk havavsetning, mens de øvrige deler betraktes som Marin strandavsetning.



Figur B5.1 Kvartærgeologisk kart for området ved Ranheim Vestre ( [www.nqu.no](http://www.nqu.no) ).

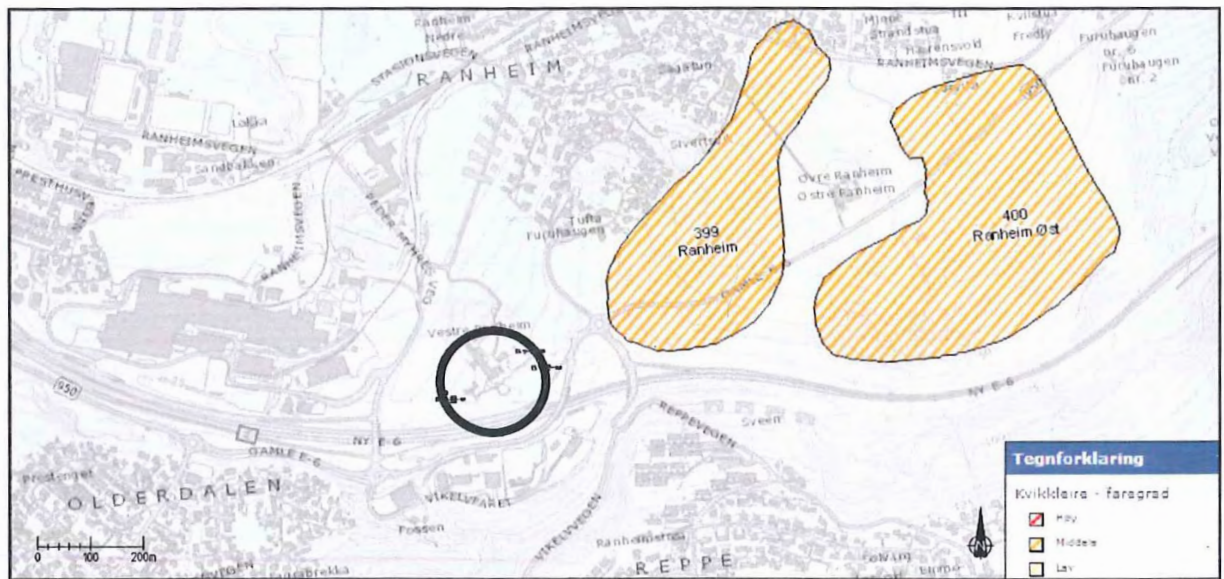
Figur B5.2 viser de kartlagte kvikkleiresonene 399 Ranheim og 400 Ranheim Øst nær prosjektområdet. Borpunkt B2 ligger innenfor havavsetningene, mens borpunktene E4 og E5 ligger i strandavsetningssonen. I tillegg til dette er det nord for prosjektområdet påvist en forvittringssone, mens en randmorene antydes sør for området.

Grunnforholdene i området varierer noe. I vestre del viser boringene et fast lag i toppen ned til ca. 6 m under terreng, deretter fast leire med sand- og gruskorn. I østre del viser boringene mye av de samme grunnforholdene, med et fast tørrskorpelag i de øverste 4-5 metrene under terreng. Under topplaget påvises middels fast lagdelt leire med tynne sand- og siltlag. Sprøbruddmateriale er kun påvist i ett av borpunktene (E5). I dette borpunktet er det påvist sprøbruddmateriale fra 6,5 m – 10,5 m under terreng, mens leiren er kvikk mellom 7,5 og 9,5 m og dypere ned mellom 12 og 13 m.

Dette området kan være et godt eksempel på hvor godt resistivitetsmålinger (ERT, R-CPTU) samsvarer i en svært lagdelt avsetning, og hvor godt kvikkleire/sprøbruddmateriale kan påvises under slike omstendigheter.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Figur B5.2 Beliggenhet av kvikkleiresoner i prosjektområdet ved Ranheim Vestre ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

## 5.2 Leira, Trondheim (ref. Multiconsult notater 416746-RIG-NOT-001-005 (2014))

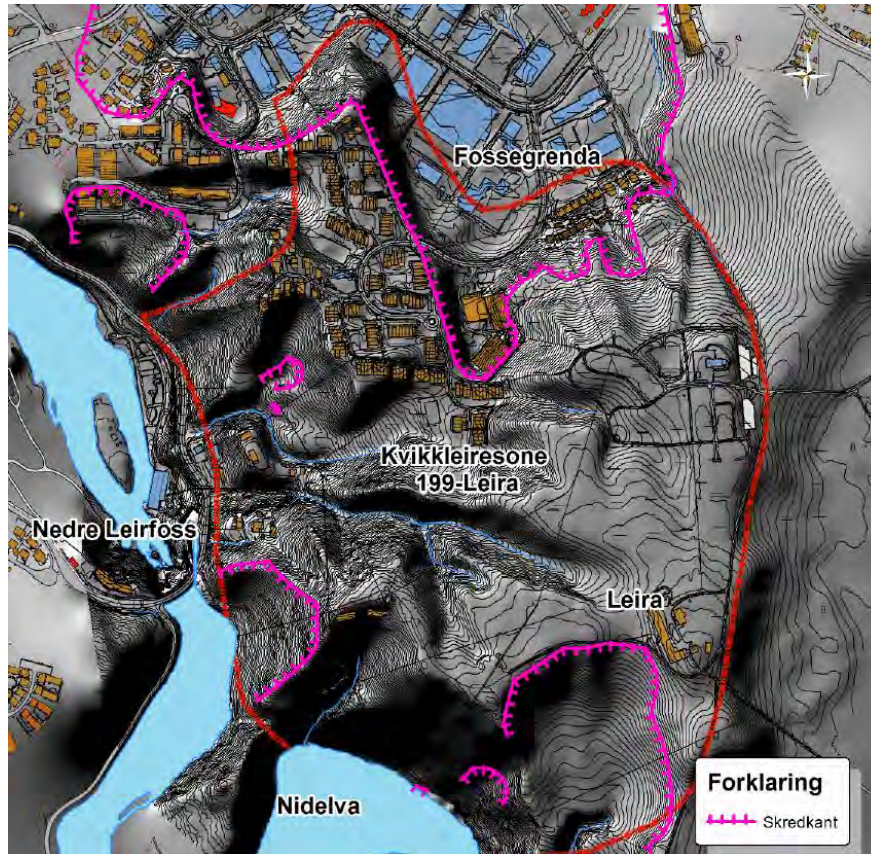
Kvikkleiresone 199 Leira, som ligger sør-øst er nylig blitt utredet med supplerende grunnundersøkelser og utredning med stabilitetsvurderinger. Beliggenheten av kvikkleiresonen er vist i figur B5.3.

De supplerende grunnundersøkelsene inkluderte dreietrykk- og totalsonderinger, trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) og resistivitetsmåling (R-CPTU), prøvetaking og poretrykksmålinger og ble utført av Multiconsult etter oppsatt borplan av NGI.

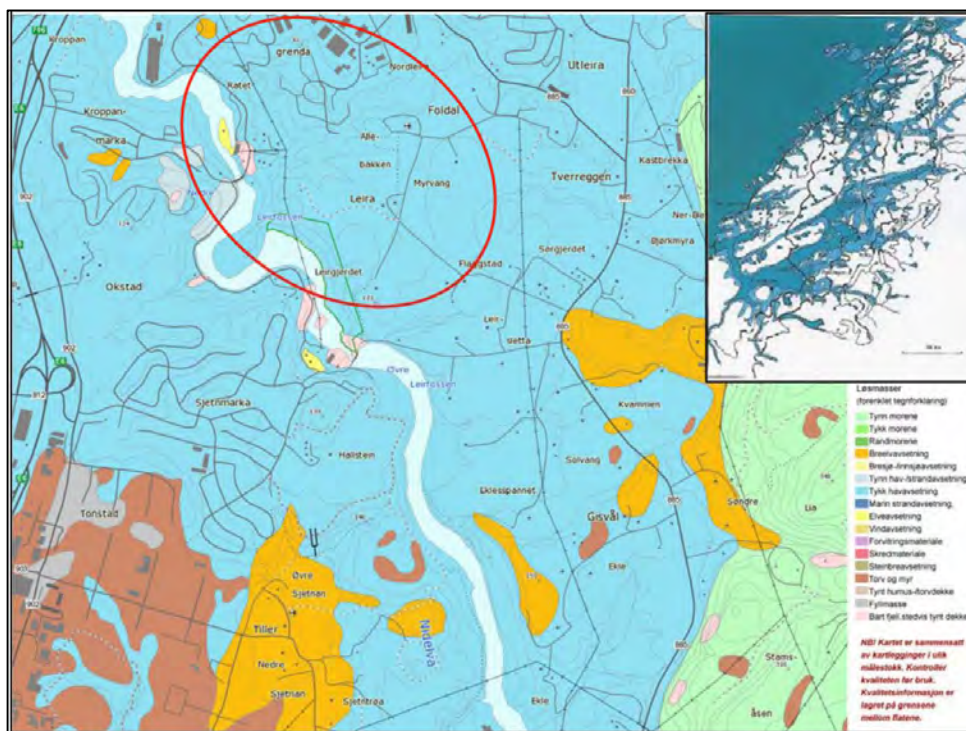
Terrenget i området domineres av et lett skrånende platå på ca. kote +110-120 som er gjennomskåret av flere dype raviner. Mot vest grenser sonen mot Nidelen mellom Øvre og Nedre Leirfoss, mens den mot øst følger kvikkleiresone Leirvegen helt til Leira kapell. I nord går sonegrensen nær en tidligere skredkant inn mot Fossegrenda.

Kvartærgeologisk kart over området indikerer marine løsmasseavsetninger i tykt dekke. Grunnforholdene i området er imidlertid generelt uryddige og kan mest hensiktsmessig inndeles i 3 lag. Grunnundersøkelsene oppe på platået viser ett tilnærmet normalkonsolidert leirlag ned til kote ca. +95, over et ca. 15 m tykt lag av meget fast lag siltig leire/leirig silt. Under det faste laget påtreffes igjen leire som stedvis er sensitiv eller kvikk. Dette laget påtreffes kontinuerlig over det meste av kvikkleiresonen. Ved foten av skråningen langs Nidelven påtreffes de sensitive/kvikke lagene fra terrengoverflaten.

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Figur B5.3 Beliggenhet og situasjonsplan for kvikkleiresone 199 Leira, Trondheim. (NGI rapport nr. 20120099-03-R.).



Figur B5.4 Kvartærgeologisk kart for 199 Leira kvikkleiresone ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Berg er påtruffet i dagen langs Nidelven ved Øvre og nedre Leirfoss, og det er generelt svært begrenset løsmasseoverdekning langs elven. Lenger øst under platået er det tykke lag med løsmasser, og dybde til berg kan være opp mot 90-100 m.

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg C**

### **Supplerende data fra tidligere forsøk på nye forsøksfelt**



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg C1**

### **Fallan forsøksfelt**

Fallan, borutskrifter hull 2 (FS2) og hull 4 (FS4)

Fallan, CPTU, hull 2

Fallan, rutinedata hull FS1 og FS2 (Statens vegvesen)

Fallan, rutinedata hull FS2 (Multiconsult)

Fallan, kornfordeling hull FS2 og FS4

Fallan, saltinnholdsmålinger

Fallan, laboratorierapport NTNU, prøver fra hull FS2 og FS4



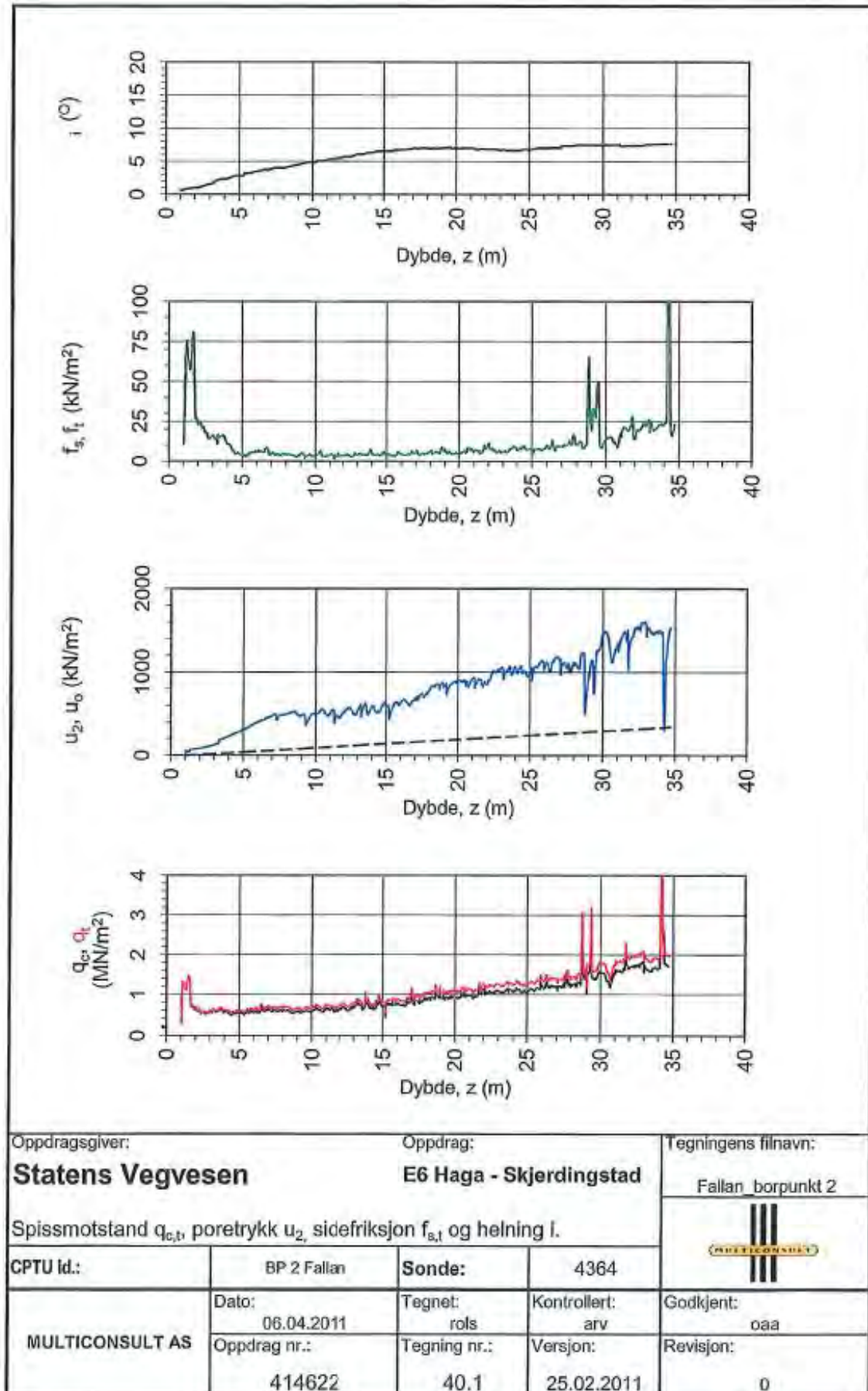




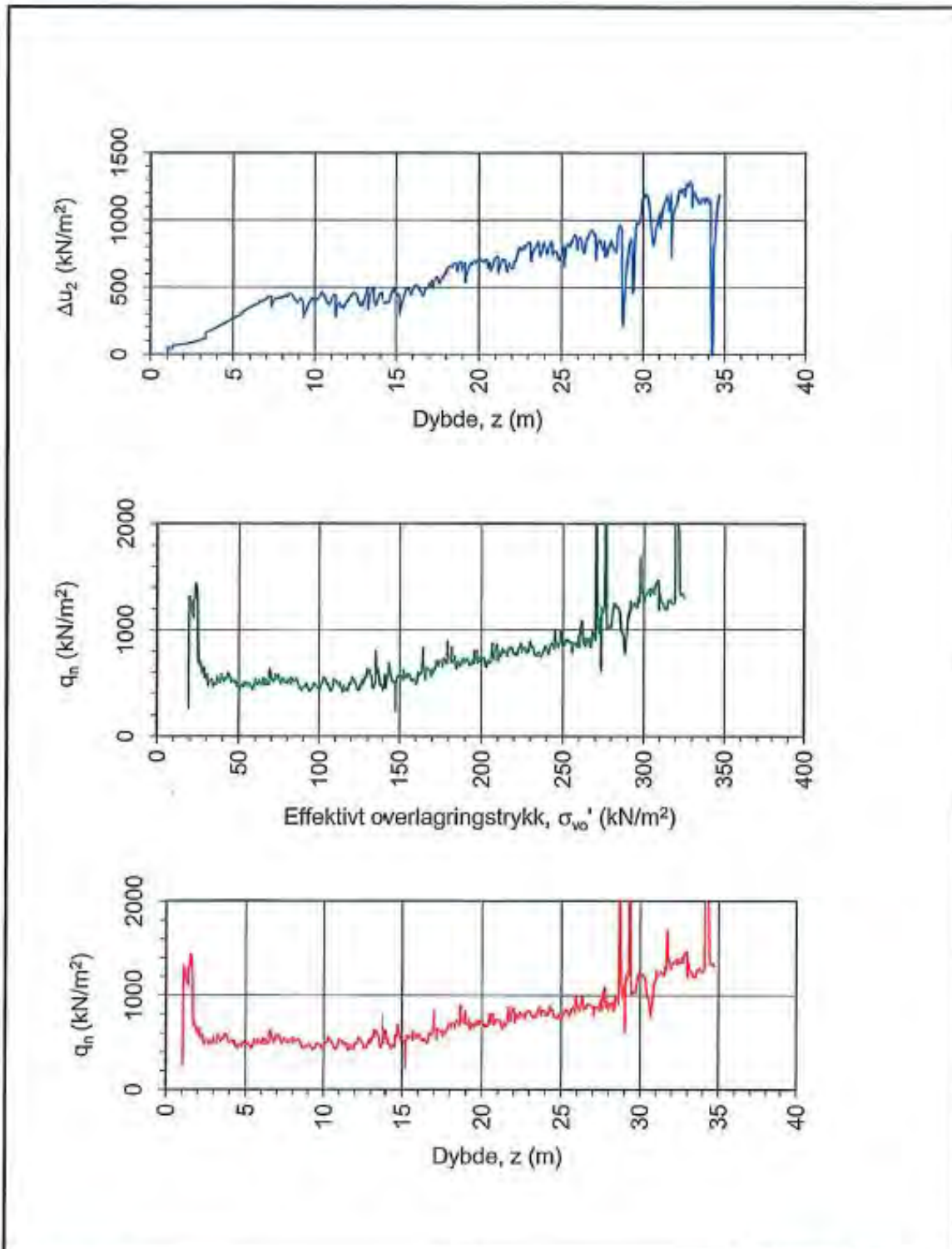




Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

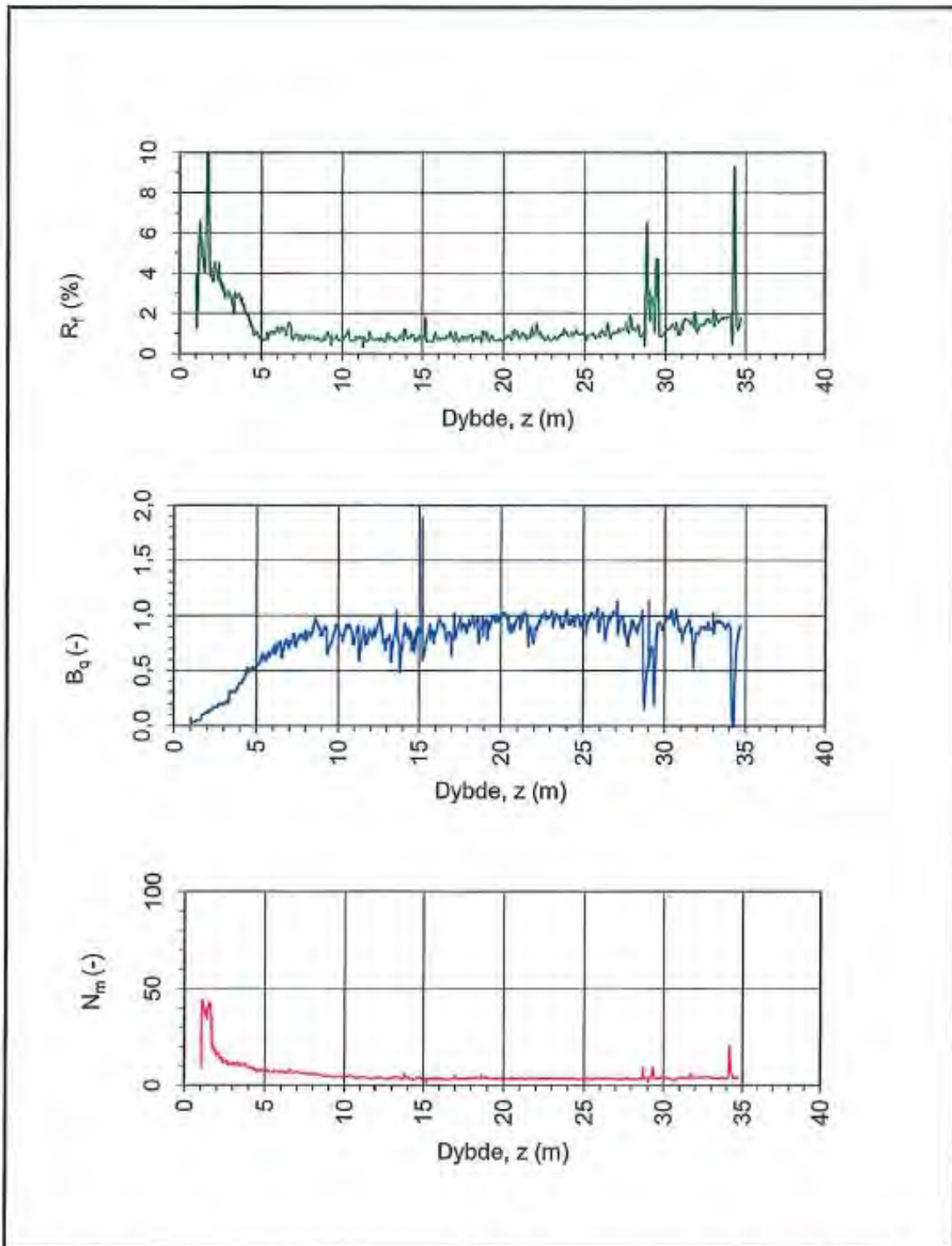


Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Oppdragsgiver: <b>Statens Vegvesen</b>		Oppdrag: <b>E6 Haga - Skjerdingsstad</b>		Tegningens filnavn: Fallan borpunkt 2	
Netto spissmotstand $q_n$ og poreovertrykk $\Delta u_2$ .					
CPTU id.:	BP 2 Fallan	Sonde:	4364		
MULTICONSULT AS	Dato: 06.04.2011	Tegnet: rols	Kontrollert: arv		
	Oppdrag nr.: 414622	Tegning nr.: 40.2	Versjon: 25.02.2011	Revisjon: 0	

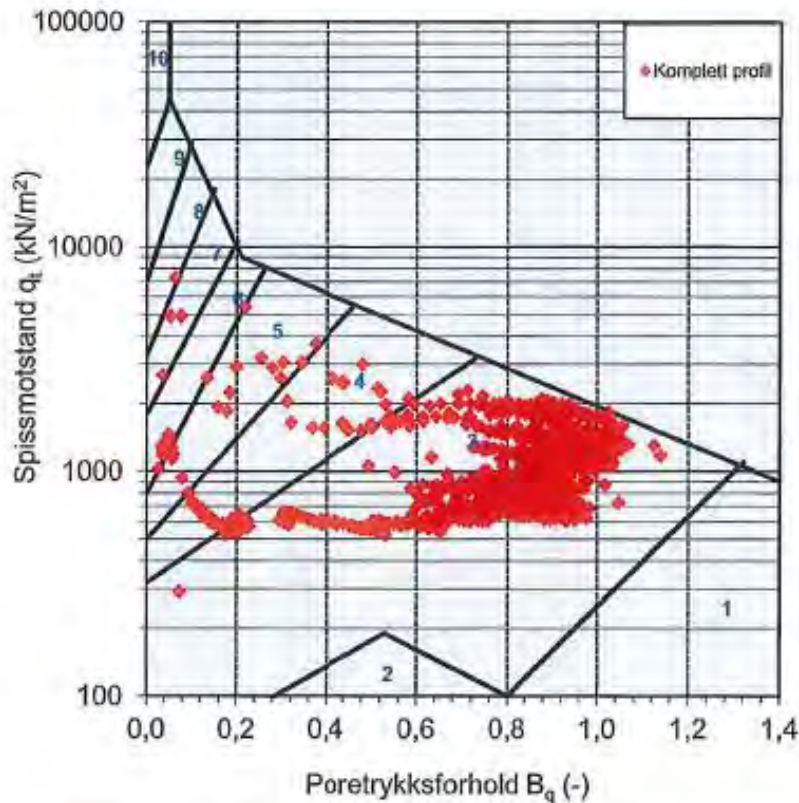
Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Oppdragsgiver: <b>Statens Vegvesen</b>		Oppdrag: <b>E6 Haga - Skjerdingsstad</b>		Tegningens filnavn: Fallan borpunkt 2	
Spissmotstandstall $N_m$ , poretrykks- $B_q$ og friksjonsforhold $R_f$ .					
CPTU id.:	BP 2 Fallan	Sonde:	4364		
MULTICONSULT AS	Dato: 06.04.2011	Tegnet: rols	Kontrollert: arv	Godkjent: oaa	
	Oppdrag nr.:	414622	Tegning nr.:	40.3	Versjon: 25.02.2011



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

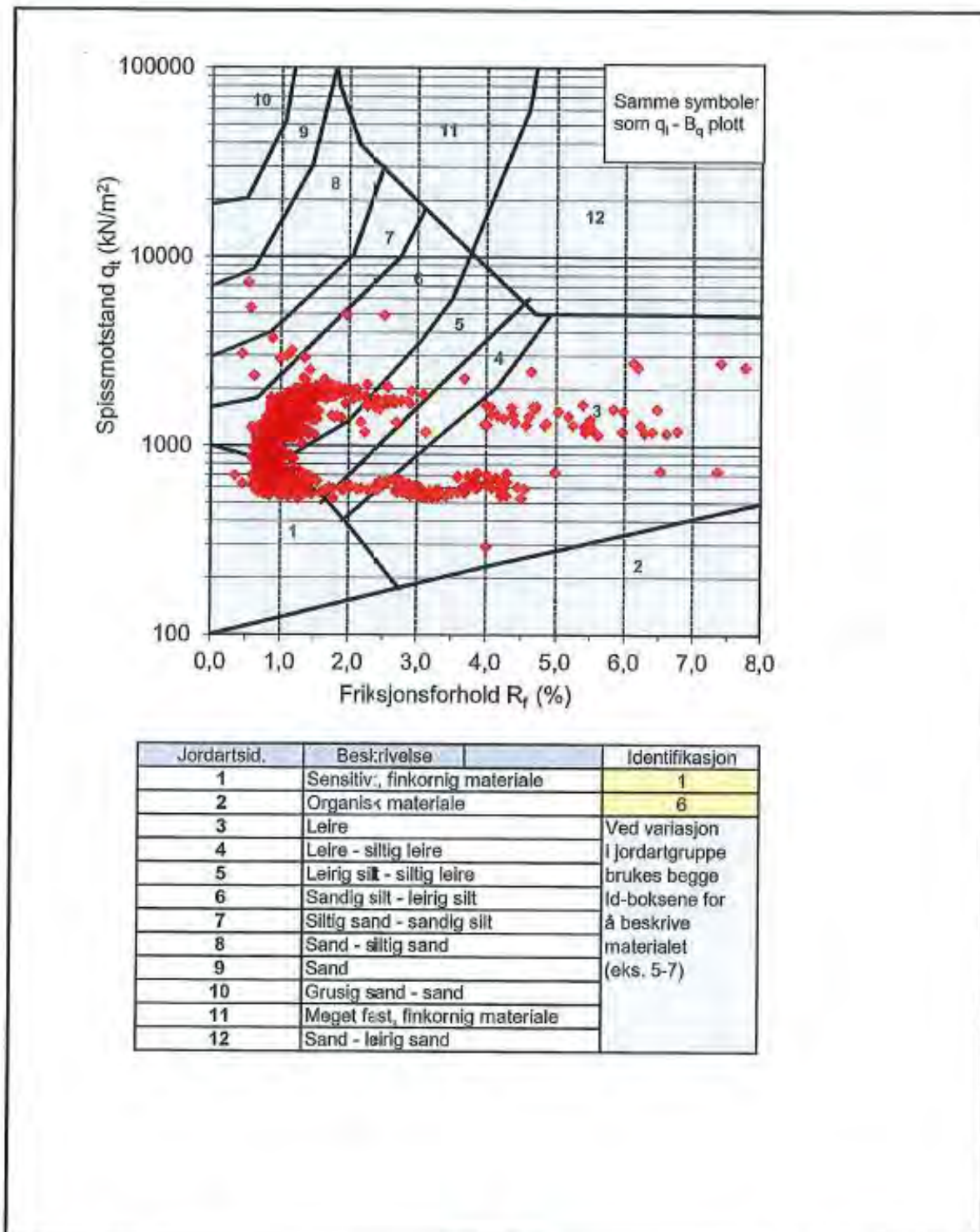


Jordartsid.	Beskrivelse	Identifikasjon
1	Sensitivt, finkornig materiale	3
2	Organisk materiale	6
3	Leire	Ved variasjon i jordartgruppe brukes begge Id-boksene for å beskrive materialet (eks. 5-7)
4	Leire - siltig leire	
5	Leirig silt - siltig leire	
6	Sandig silt - leirig silt	
7	Siltig sand - sandig silt	
8	Sand - siltig sand	
9	Sand	
10	Grusig sand - sand	
11	Meget fas., finkornig materiale	
12	Sand - leirig sand	

Oppdragsgiver: <b>Statens Vegvesen</b>		Oppdrag: <b>E6 Haga - Skjerdingsstad</b>		Tegningens filnavn: Fallan_borpunkt 2	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - $q_t$ og $B_q$ .					
CPTU id.:	BP 2 Falan	Sonde:	4364		
MULTICONSULT AS	Dato: 06.04.2011	Tegnet: rols	Kontrollert: arv		
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Versjon:	Revisjon:	
	414622	40.4	25.02.2011	0	



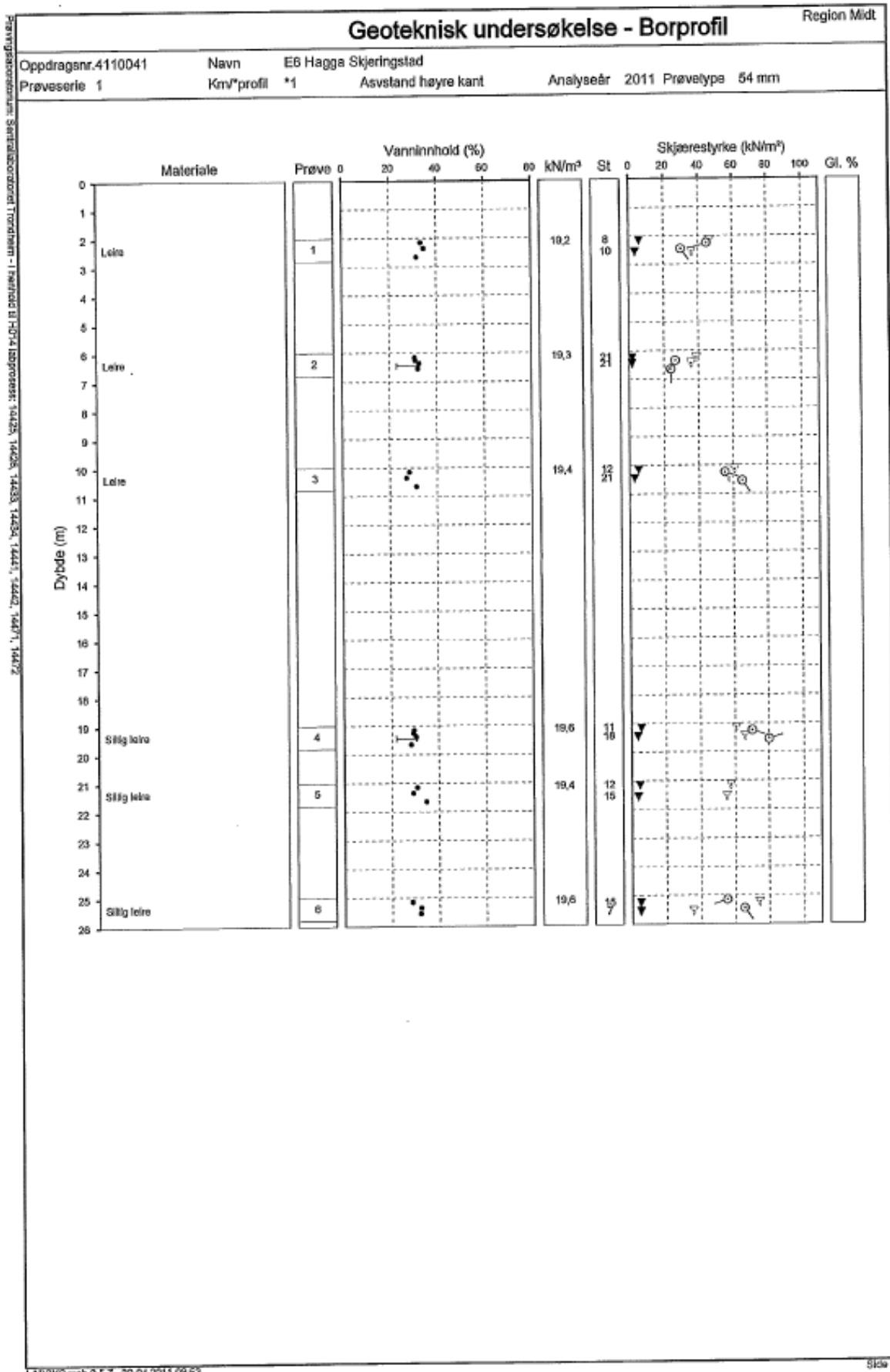
Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



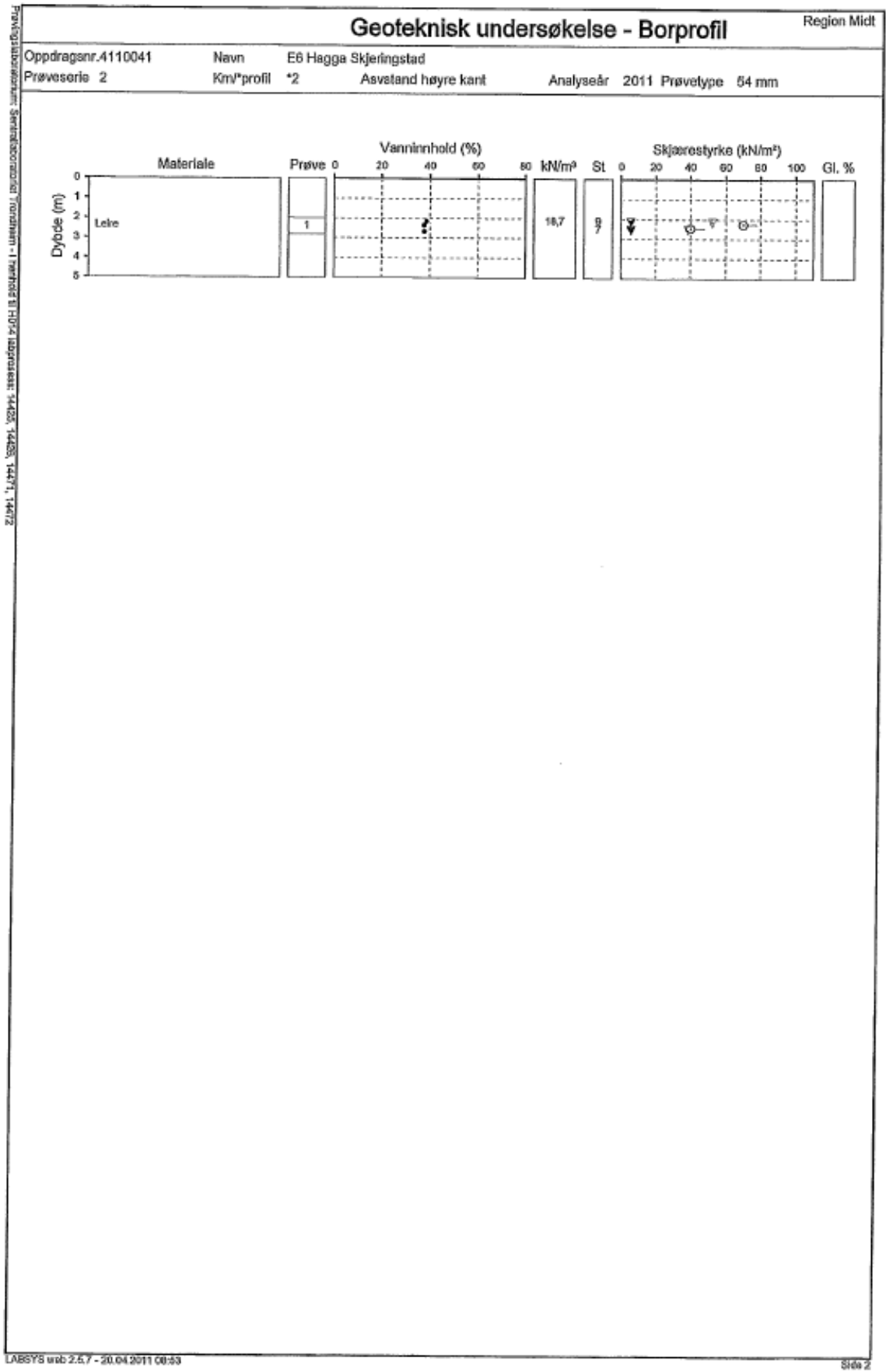
Jordartsid.	Beskrivelse	Identifikasjon
1	Sensitiv, finkornig materiale	1
2	Organisk materiale	6
3	Leire	Ved variasjon i jordartgruppe brukes begge id-boksene for å beskrive materialet (eks. 5-7)
4	Leire - siltig leire	
5	Leirig silt - siltig leire	
6	Sandig silt - leirig silt	
7	Siltig sand - sandig silt	
8	Sand - siltig sand	
9	Sand	
10	Grusig sand - sand	
11	Meget fest, finkornig materiale	
12	Sand - leirig sand	

Oppdragsgiver: <b>Statens Vegvesen</b>		Oppdrag: <b>E6 Haga - Skjerdingsstad</b>		Tegningens filnavn: Fallan_borpunkt 2	
Jordartsidentifikasjon fra CPTU data - $q_t$ og $R_f$ .					
CPTU id.:	BP 2 Fallan	Sonde:	4364		
MULTICONSULT AS	Dato: 06.04.2011	Tegnet: rols	Kontrollert: arv		
	Oppdrag nr.: 414622	Tegning nr.: 40.5	Versjon: 25.02.2011	Revisjon: 0	

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Geoteknisk undersøkelse - Borprofil		Region Midt
Merknader		
Oppdrag - 4110041		
Prøveserie: 1		
Dato	Merknad	
2011-04-20	(Geoprovnr. 6): Grå myk leiremasse med tynne sillelag i B og A-bitene.	
2011-04-20	(Geoprovnr. 5): Grå myk leiremasse med tynne sillelag i E og F-endene.	
2011-04-20	(Geoprovnr. 4): Grå fast leiremasse. Ren og jevn.	
2011-04-20	(Geoprovnr. 3): Grå myk leiremasse. Jevn og ren.	
2011-04-20	(Geoprovnr. 2): Grå myk leiremasse. Ren, jevn og fin.	
2011-04-20	(Geoprovnr. 1): Brun myk leiremasse. Mye oksidert.	
Prøveserie: 2		
Dato	Merknad	
2011-04-20	(Geoprovnr. 1): Brun-grå leiremasse. Veldig oksidert.	

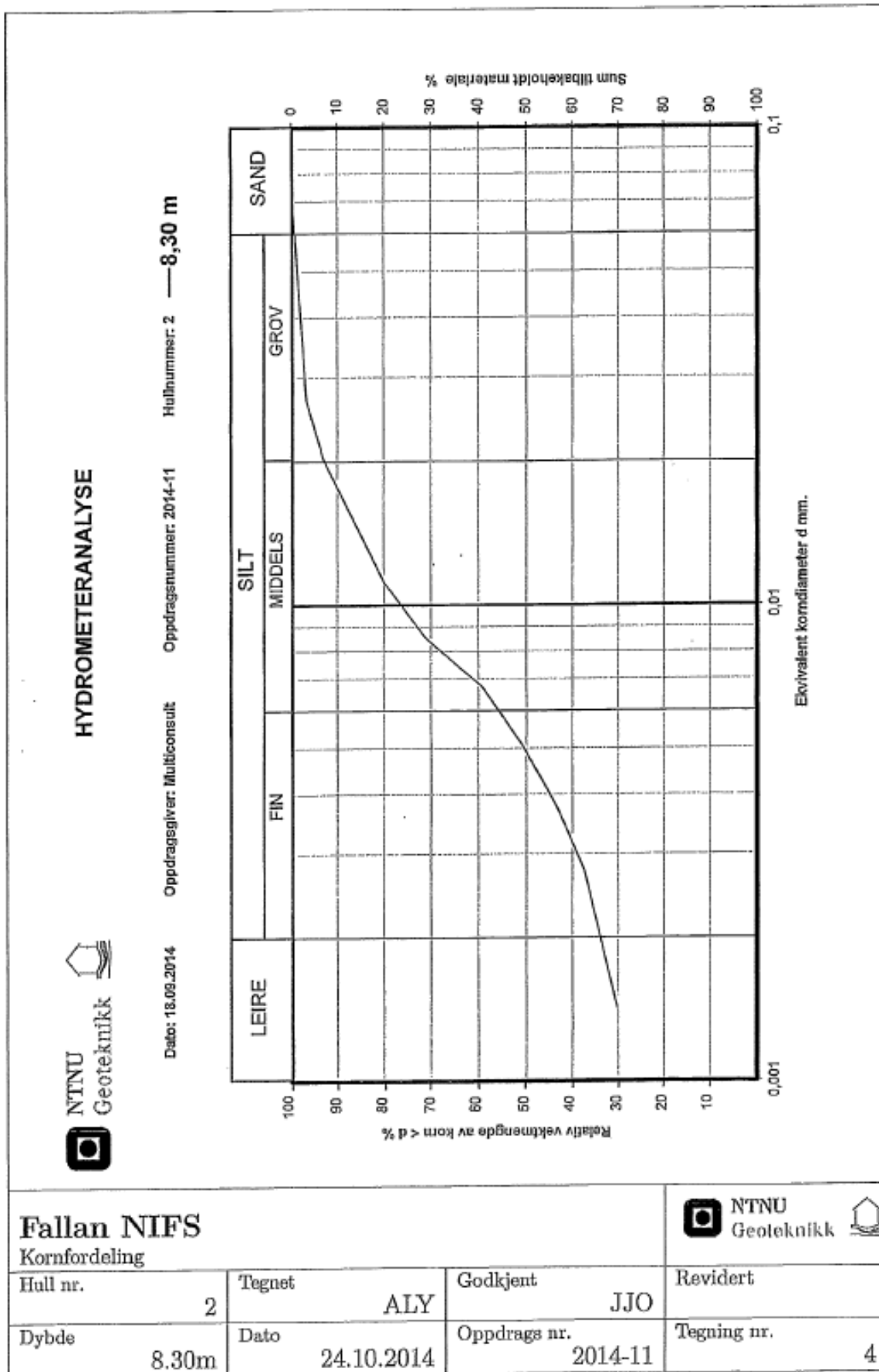
LABSYS web 2.5.7 - 20.04.2011 08:53

Merknadside 1

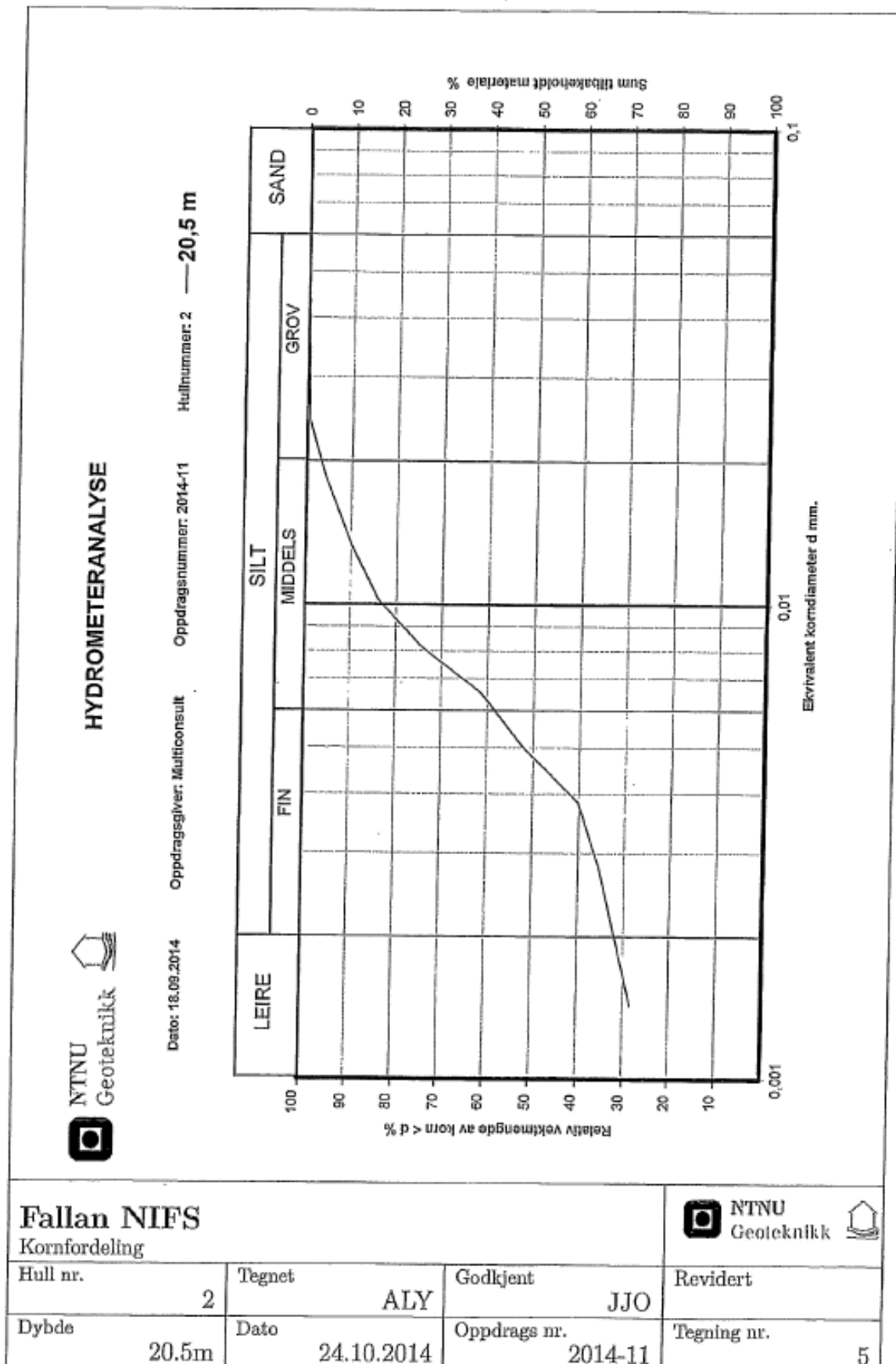




Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

### Resultater fra saltinnholdsbestemmelse på prøver fra fra Fallan

Hull nr	Dybde	Saltinnhold g/liter
2	11,5	1
2	22,2	1,1
107	8,45	0,6
109	4,45	1,6
118	7,15	0,5
118	14,42	1


### E6 Haga

### Resultater fra saltinnholdsbestemmelse på prøver fra fra Fallan

Hull nr	Dybde	Saltinnhold g/liter
2	11,5	1
2	22,2	1,1
107	8,45	0,6
109	4,45	1,6
118	7,15	0,5
118	14,42	1
104	18,1	21,5
107	19,65	1,8
109	15,1	2




Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

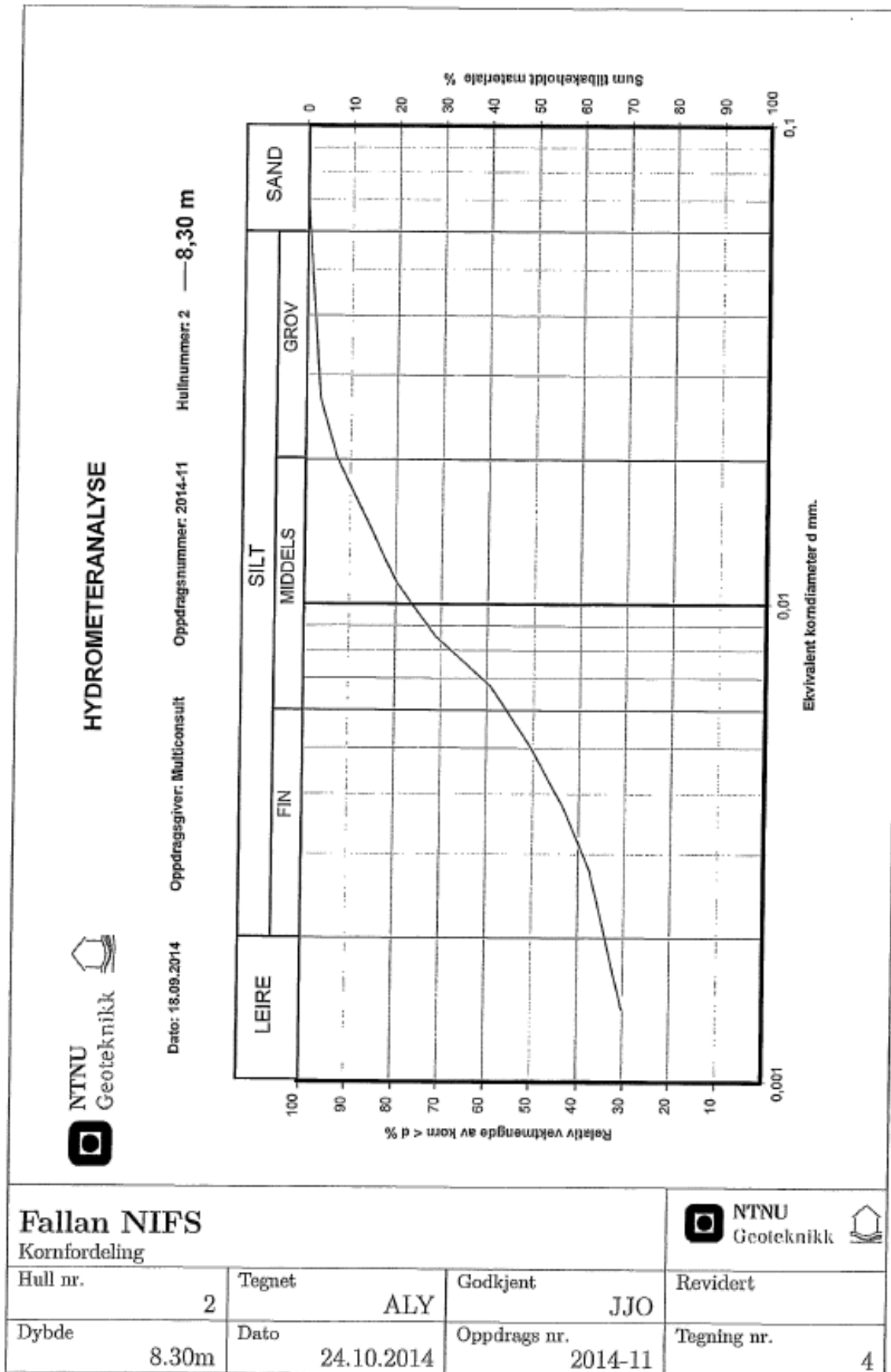
<b>PRØVEÅPNING, prøvediamter 54mm</b>								
Borested:	Fallan NIFS	Dato, prøvetaking	10.09.14	Masse av prøve	3276,20 g			
Hull nr.	2	Dato, prøveåpning	18.09.14	Volum av prøve	1719,91 cm <sup>3</sup>			
Prøve nr.		Lengde av prøve	75,1 cm	Midlere densitet	1,90 g/cm <sup>3</sup>			
Dybde, z	8,0 - 8,8 m	Masse av sylinder m/prøve	5130,2 g	Tyngdetetthet	18,69 kN/m <sup>3</sup>			
Grunnvannstand	m	Masse av tom sylinder	1854,0 g					
<b>GENERELL KLASSIFISERING</b>								
Geologisk betegnelse:			Jordart:					
Beskrivelse: Kvikkleire			Merknader: Forstyrret i øvre halvdel					
Noe lagdelt. Noen få tynne siltlag			Flytegrense med konus					
<b>VANNINHOLD</b>			<b>DENSITET LITEN PRØVE</b>					
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	Ring	Skål	
Skål nr.	101	215	234	249	22	Ring/skål nr.	III	233
Total masse våt, g	127,0	116,8	138,5	101,2	36,6	Tot. masse våt, g	98,93	-----
Total masse tørr, g	101,8	93,1	110,8	87,6	34,8	Tot. masse tørr, g	-----	76,27
Masse skål, g	22,48	23,3	26,2	26,69	25,47	Masse ring/skål, g	32,60	27,17
Masse vann, g	25,2	23,8	27,7	13,54	1,79	Masse våt prøve, g	66,33	-----
Masse tørr prøve, g	79,33	69,81	84,5	60,92	9,37	Masse tørr prøve, g	-----	49,10
Vanninnhold, %	31,8	34,0	32,8	22,2	19,1	Volum, cm <sup>3</sup>	35,30	-----
Middelverdi vanninnhold (prøve 1,2,3):			32,88 %			Densitet ρ/ρ <sub>a</sub> , g/cm <sup>3</sup>	1,88	1,39
<b>KONUSFORSØK</b>			<b>ENAKS. TRYKK FORSØK</b>			<b>KORNDENSITET FRA PYKNOMETERMÅLING</b>		
Prøve nr	s <sub>u</sub> kPa	s <sub>v</sub> kPa	S <sub>i</sub>	Prøve nr	s <sub>u</sub> kPa	ε %	Pyknometer nr.	
1	11,0	0,2	55,0	1	40,1	4,0	Masse pyknometer + vann, g	148,35
2	28,4	0,2	142,0				Masse pykn.+ prøve + vann, g	159,39
							Total masse tørr, g	319,61
							Skål nr.	
							Masse skål, g	302,05
							Masse tørr, g	17,56
							Korndensitet ρ <sub>s</sub> , g/cm <sup>3</sup>	2,69
<b>OPPSUMMERING OG RUTINEPARAMETRE</b>				<b>OPPEDELING AV PRØVEN</b>				
Densitet ρ	1,88	g/cm <sup>3</sup>		Fra - Til (m)	Forsøk/Kommentarer			
Korndensitet ρ <sub>s</sub>	2,69	g/cm <sup>3</sup>		8,00	8,05			
Vanninnhold w	32,9	%		8,05	8,07	Vanninnhold 1		
Porøsitet n	47,5	%		8,07	8,12	Konsistensgrenser		
Porertall e	0,905			8,12	8,21	Konus 1		
Metningsgrad S <sub>r</sub>	97,9	%		8,21	8,30			
Saltinnhold S	0,8	g/l		8,30	8,38	Kornfordeling		
Humusinnhold		%		8,38	8,40	Vanninnhold 2		
Plastisitetsindeks I <sub>p</sub>	3,1	%		8,40	8,46			
Flyteindeks I <sub>L</sub>	4,4	-		8,46	8,50	Saltinnhold		
s <sub>u</sub> (Konus)	19,7	kPa		8,50	8,62	Enaks		
s <sub>u</sub> (Enaks)	40,09	kPa		8,62	8,68	Konus 2		
Sensitivitet S <sub>i</sub>	98,5			8,68	8,71	Densitet liten ring		
				8,71	8,75	Vanninnhold 3		
<b>Fallan NIFS</b>								
Rutineundersøkelser, 54 mm stålsylinder								
Hull nr.	2	Tegnet	ALY	Godkjent	JJO	Revidert		
Dybde	8.0-8.8m	Dato	24.10.2014	Oppdrags nr.	2014-11	Tegning nr.		
						1		



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

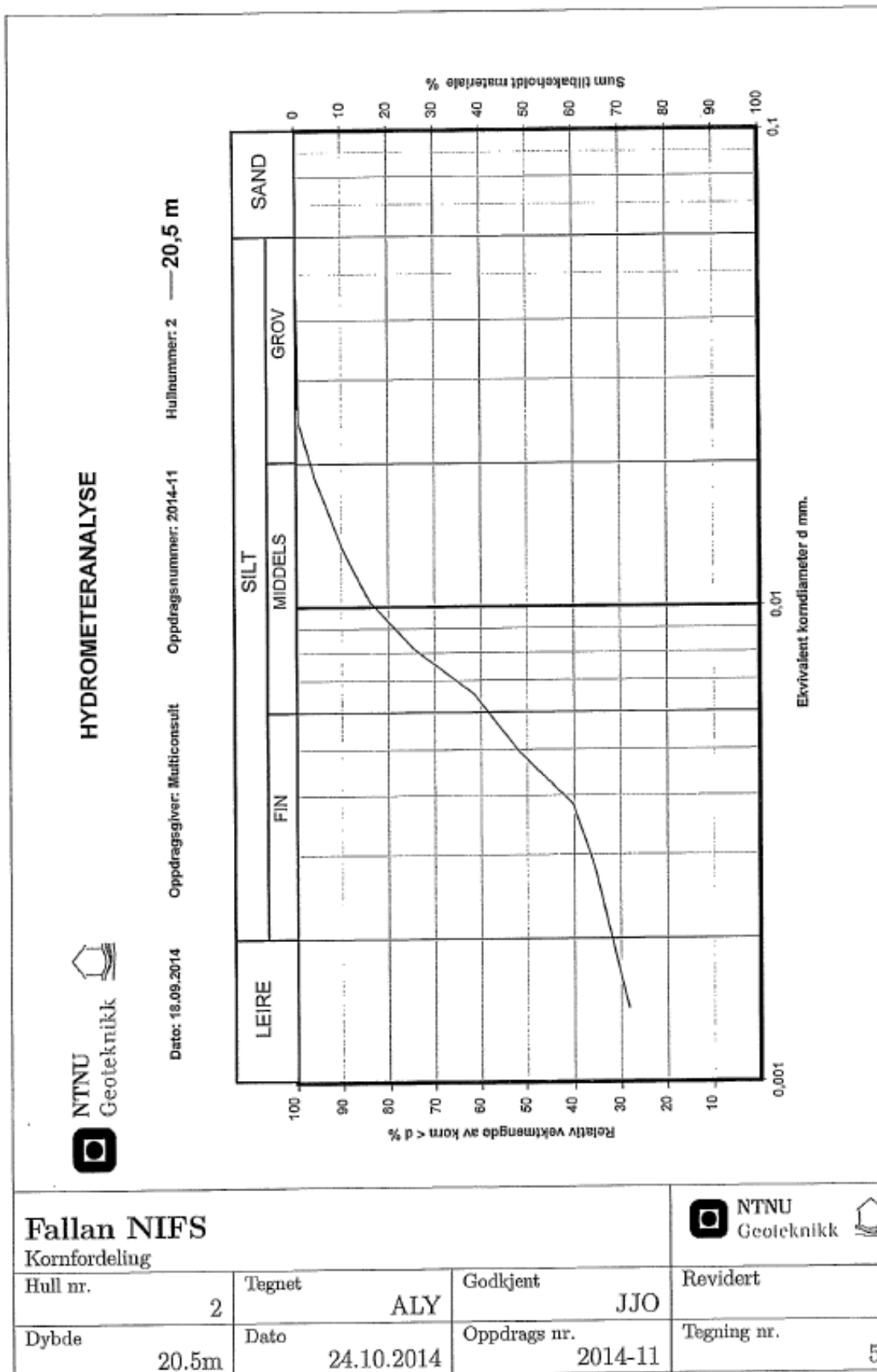
PRØVEÅPNING, prøvediamter 54mm							
Borested:	Fallan NIFS	Dato, prøvetaking	10.09.14	Masse av prøve	3425,00 g		
Hull nr.	2	Dato, prøveåpning	17.09.14	Volum av prøve	1729,07 cm <sup>3</sup>		
Prøve nr.		Lengde av prøve	75,5 cm	Midlere densitet	1,98 g/cm <sup>3</sup>		
Dybde, z	20,0 - 20,8 m	Masse av sylinder m/prøve	5236,7 g	Tyngdetetthet	19,43 kN/m <sup>3</sup>		
Grunnvannstand	m	Masse av tom sylinder	1811,7 g				
GENERELL KLASSIFISERING							
Geologisk betegnelse:			Jordart:				
Beskrivelse: Kvikkleire			Merknader:				
Noen siltlag, noen sand og siltlenser							
VANNINHOLD			DENSITET LITEN PRØVE				
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	Ring	Skål
Skål nr.	67	42	203	52	23	Ring/skål nr.	III 211
Total masse våt, g	137,7	120,8	120,2	91,4	35,2	Tot. masse våt, g	100,45
Total masse tørr, g	112,3	96,3	97,3	78,6	33,1	Tot. masse tørr, g	77,99
Masse skål, g	22,63	23,3	26,6	26,30	22,92	Masse ring/skål, g	32,60
Masse vann, g	25,3	24,5	23,0	12,82	2,08	Masse våt prøve, g	67,85
Masse tørr prøve, g	89,70	73,03	70,6	52,27	10,18	Masse tørr prøve, g	50,41
Vanninnhold, %	28,2	33,5	32,5	24,5	20,4	Volum, cm <sup>3</sup>	35,30
Middelverdi vanninnhold (prøve 1,2,3):			31,41 %			Densitet $\rho/\rho_0$ , g/cm <sup>3</sup>	1,92 1,43
KONUSFORSØK			ENAKS. TRYKK FORSØK			KORNDENSITET FRA PYKNOMETERMÅLING	
Prøve nr.	s <sub>u</sub> kPa	s <sub>r</sub> kPa	S <sub>i</sub>	Prøve nr.	s <sub>u</sub> kPa	e	Pyknometer nr.
1	37,8	0,4	96,9	1	40,3	6,0	Masse pyknometer + vann, g
2	43,2	0,4	110,8				Masse pykn. + prøve + vann, g
							Total masse tørr, g
							Skål nr.
							Masse skål, g
							Masse tørr, g
							Korndensitet $\rho_s$ , g/cm <sup>3</sup>
OPPSUMMERING OG RUTINEPARAMETRE				OPPDELING AV PRØVEN			
Densitet $\rho$	1,92	g/cm <sup>3</sup>		Fra - Til (m)	Forsøk/Kommentarer		
Korndensitet $\rho_s$		g/cm <sup>3</sup>		20,00	20,04		
Vanninnhold w	31,4	%		20,04	20,05	Vanninnhold 1	
Porøsitet n		%		20,05	20,11	Densitet liten ring	
Porertall e				20,11	20,15	Saltinnhold	
Metningsgrad S <sub>r</sub>		%		20,15	20,21	Konus 1	
Saltinnhold S	0,9	g/l		20,21	20,32	Enaks	
Humusinnhold		%		20,32	20,35	Vanninnhold 2	
Plastisitetsindeks I <sub>p</sub>	4,1	%		20,35	20,47		
Flyteindeks I <sub>L</sub>	2,7	-		20,47	20,52	Kornfordeling	
s <sub>u</sub> (Konus)	40,5	kPa		20,52	20,57	Konus 2	
s <sub>u</sub> (Enaks)	40,26	kPa		20,57	20,68		
Sensitivitet S <sub>i</sub>	103,8			20,68	20,72	Konsistensgrenser	
				20,72	20,75	Vanninnhold 3	
<b>Fallan NIFS</b>				NTNU Geoteknikk 			
Rutineundersøkelser, 54 mm stålsylinder							
Hull nr.	2	Tegnet	ALY	Godkjent	JJO	Revidert	
Dybde	20.0-20.8m	Dato	24.10.2014	Oppdrags nr.	2014-11	Tegning nr. 3	

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.





Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.




Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## Hullnummer 4

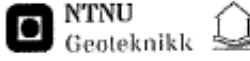


Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.


<b>PRØVEÅPNING, prøvediamter 54mm</b>							
Borested:	Fallan NIFS	Dato, prøvetaking	11.09.14	Masse av prøve	3410,50 g		
Hull nr.	4	Dato, prøveåpning	22.09.14	Volum av prøve	1731,36 cm <sup>3</sup>		
Prøve nr.		Lengde av prøve	75,6 cm	Midlere densitet	1,97 g/cm <sup>3</sup>		
Dybde, z	7,0 - 7,8 m	Masse av sylinder m/prøve	5240,9 g	Tyngdetetthet	19,32 kN/m <sup>3</sup>		
Grunnvannstand	m	Masse av tom sylinder	1830,4 g				
<b>GENERELL KLASSIFISERING</b>							
Geologisk betegnelse:			Jordart:				
Beskrivelse: Leire, lagdelt			Merknader:				
<b>VANNINHOLD</b>			<b>DENSITET LITEN PRØVE</b>				
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	Ring	Skål
Skål nr.	241	238	226			Ring/skål nr.	II 43
Total masse våt, g	131,1	132,9	134,3			Tot. masse våt, g	100,82
Total masse tørr, g	104,6	106,3	108,8			Tot. masse tørr, g	76,26
Masse skål, g	24,06	28,0	27,2			Masse ring/skål, g	31,10 24,94
Masse vann, g	26,4	26,7	25,6			Masse våt prøve, g	69,72
Masse tørr prøve, g	80,58	78,26	81,6			Masse tørr prøve, g	51,32
Vanninnhold, %	32,8	34,1	31,3			Volum, cm <sup>3</sup>	34,40
Middelverdi vanninnhold (prøve 1,2,3):			32,71 %			Densitet $\rho/\rho_a$ , g/cm <sup>3</sup>	2,03 1,49
<b>KONUSFORSØK</b>			<b>ENAKS. TRYKK FORSØK</b>			<b>KORNDENSITET FRA PYKNOMETERMÅLING</b>	
Prøve nr	s <sub>e</sub> kPa	s <sub>r</sub> kPa	S <sub>t</sub>	Prøve nr	s <sub>e</sub> kPa	ε %	Pyknometer nr.
1	36,8	0,4	94,4	1	49,3	4,0	Masse pyknometer + vann, g
2	37,8	0,4	96,9				Masse pykn. + prøve + vann, g
							Total masse tørr, g
							Skål nr.
							Masse skål, g
							Masse tørr, g
							Korndensitet $\rho_s$ , g/cm <sup>3</sup>
<b>OPPSUMMERING OG RUTINEPARAMETRE</b>				<b>OPPDELING AV PRØVEN</b>			
Densitet $\rho$	2,03	g/cm <sup>3</sup>		Fra - Til (m)	Forsøk/Kommentarer		
Korndensitet $\rho_s$		g/cm <sup>3</sup>		7,00	7,04		
Vanninnhold w	32,7	%		7,04	7,05	Vanninnhold 1	
Porøsitet n		%		7,05	7,12	Densitet liten ring	
Porositet e				7,12	7,20	Konus 1	
Metningsgrad S <sub>r</sub>		%		7,20	7,32		
Saltinnhold S	0,6	g/l		7,32	7,34	Vanninnhold 2	
Humusinnhold		%		7,34	7,45	Enaks	
Plastisitetsindeks I <sub>p</sub>		%		7,45	7,54	Konus 2	
Flyteindeks I <sub>L</sub>		-		7,54	7,62		
s <sub>e</sub> (Konus)	37,3	kPa		7,62	7,66	Saltinnhold	
s <sub>e</sub> (Enaks)	49,35	kPa		7,66	7,70	Vanninnhold 3	
Sensitivitet S <sub>t</sub>	95,6						
<b>Fallan NIFS</b>							
Rutineundersøkelser, 54 mm stålsylinder							
Hull nr.	4	Tegnet	ALY	Godkjent	JJO	Revidert	
Dybde	7.0-7.8m	Dato	24.10.2014	Oppdrags nr.	2014-11	Tegning nr. 7	



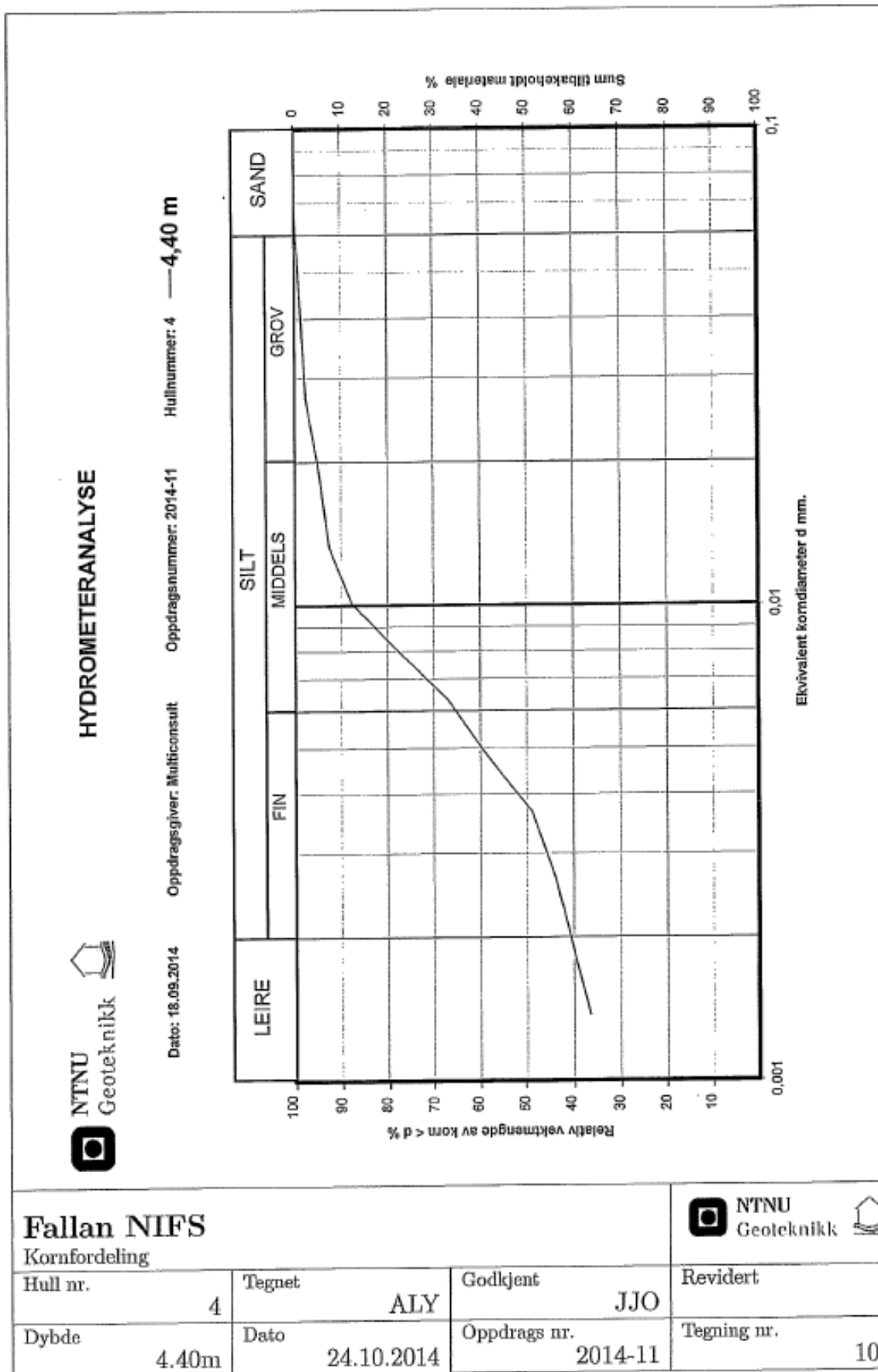
Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

PRØVEÅPNING, prøvediamter 54mm							
Borested:	Fallan NIFS	Dato, prøvetaking	11.09.14	Masse av prøve	3490,90 g		
Hull nr.	4	Dato, prøveåpning	22.09.14	Volum av prøve	1738,23 cm <sup>3</sup>		
Prøve nr.		Lengde av prøve	75,9 cm	Midlere densitet	2,01 g/cm <sup>3</sup>		
Dybde, z	12,0 - 12,8 m	Masse av sylinder m/prøve	5301,0 g	Tyngdetetthet	19,7 kN/m <sup>3</sup>		
Grunnvannstand	m	Masse av tom sylinder	1810,1 g				
GENERELL KLASSIFISERING							
Geologisk betegnelse:			Jordart:				
Beskrivelse: Kvikkleire			Merknader: Konus flytegrense				
Litt lagdelt							
Noen få skjellrester							
VANNINHOLD			DENSITET LITEN PRØVE				
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	Ring	Skål
Skål nr.	66	204	228	33	1	Ring/skål nr.	III 107
Total masse våt, g	123,6	133,1	128,7	106,4	43,9	Tot. masse våt, g	100,27
Total masse tørr, g	99,0	108,9	104,5	89,3	41,7	Tot. masse tørr, g	70,20
Masse skål, g	22,7	26,8	27,0	18,48	29,63	Masse ring/skål, g	32,60 20,00
Masse vann, g	24,6	24,2	24,2	17,12	2,19	Masse våt prøve, g	67,67
Masse tørr prøve, g	76,31	82,12	77,5	70,84	12,11	Masse tørr prøve, g	50,20
Vanninnhold, %	32,2	29,5	31,2	24,2	18,1	Volum, cm <sup>3</sup>	35,30
Middelverdi vanninnhold (prøve 1,2,3):			30,96 %			Densitet ρ/ρ <sub>0</sub> , g/cm <sup>3</sup>	1,92 1,42
KONUSFORSØK			ENAKS. TRYKK FORSØK			KORNDENSITET FRA PYKNOMETERMÅLING	
Prøve nr	s <sub>u</sub> kPa	s <sub>r</sub> kPa	S <sub>t</sub>	Prøve nr	s <sub>u</sub> kPa	ε %	Pyknometer nr.
1	40,7	0,4	104,4	1	72,7	3,0	Masse pyknometer + vann, g
2	39,7	0,4	101,8				Masse pykn.+ prøve + vann, g
							Total masse tørr, g
							Skål nr.
							Masse skål, g
							Masse tørr, g
							Korndensitet ρ <sub>s</sub> , g/cm <sup>3</sup>
OPPSUMMERING OG RUTINEPARAMETRE				OPPDELING AV PRØVEN			
Densitet ρ	1,92 g/cm <sup>3</sup>			Fra - Til (m)	Forsøk/Kommentarer		
Korndensitet ρ <sub>s</sub>	g/cm <sup>3</sup>			12,00	12,04		
Vanninnhold w	31,0 %			12,04	12,05	Vanninnhold 1	
Porøsitet n	%			12,05	12,10	Densitet liten ring	
Poretall e				12,10	12,16	Konsistensgrenser	
Metningsgrad S <sub>r</sub>	%			12,16	12,20	Konus 1	
Saltinnhold S	0,4 g/l			12,20	12,31	Enaks	
Humusinnhold	%			12,31	12,35	Saltinnhold	
Plastisitetsindeks I <sub>p</sub>	6,1 %			12,35	12,37	Vanninnhold 2	
Flyteindeks I <sub>L</sub>	2,1 -			12,37	12,50		
s <sub>u</sub> (Konus)	40,2 kPa			12,50	12,57		
s <sub>u</sub> (Enaks)	72,71 kPa			12,57	12,62	Konus 2	
Sensitivitet S <sub>t</sub>	103,1			12,62	12,67	Kornfordeling	
				12,67	12,71		
				12,71	12,74	Vanninnhold 3	
<b>Fallan NIFS</b>							
Rutineundersøkelser, 54 mm stålsylinder							
Hull nr.	4	Tegnet	ALY	Godkjent	JJO	Revidert	
Dybde	12.0-12.8m	Dato	24.10.2014	Oppdrags nr.	2014-11	Tegning nr. 8	

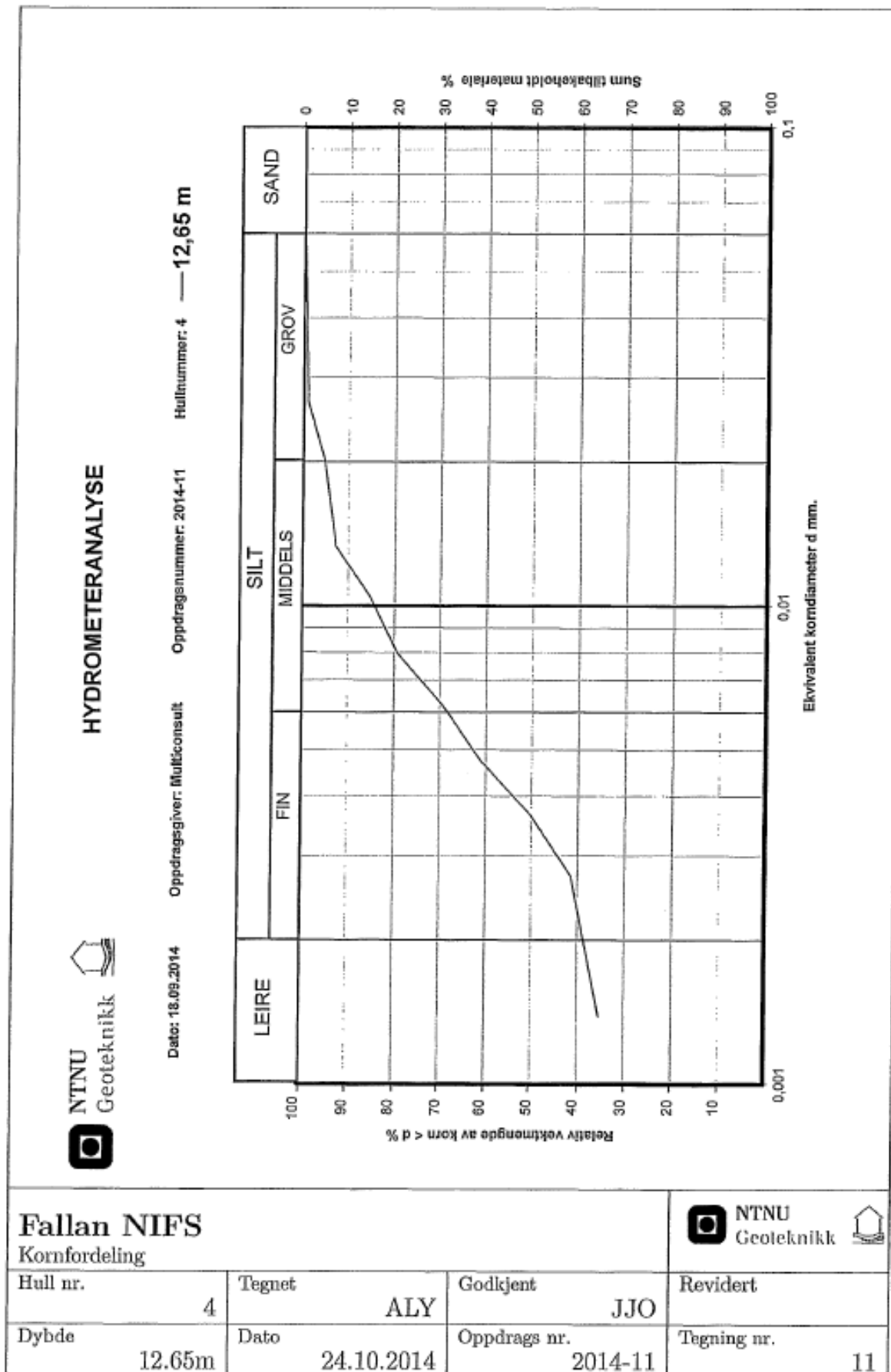
Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

<b>PRØVEÅPNING, prøvediamter 54mm</b>								
Borested: Fallan NIFS	Dato, prøvetaking	11.09.14	Masse av prøve	3530,10	g			
Hull nr. 4	Dato, prøveåpning	22.09.14	Volum av prøve	1735,94	cm <sup>3</sup>			
Prøve nr.	Lengde av prøve	75,8	cm	Midlere densitet	2,03 g/cm <sup>3</sup>			
Dybde, z 20,0 - 20,8 m	Masse av sylinder m/prøve	5345,8	g	Tyngdetetthet	19,95 kN/m <sup>3</sup>			
Grunnvannstand	m	Masse av tom sylinder	1815,7	g				
<b>GENERELL KLASSIFISERING</b>								
Geologisk betegnelse:			Jordart:					
Beskrivelse: Kvikkleire, lagdelt			Merknader:					
En det tynne siltlag noen siltlinser								
<b>VANNINHOLD</b>				<b>DENSITET LITEN PRØVE</b>				
	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>			
Skål nr.	239	207	212					
Total masse våt, g	128,4	133,7	139,2					
Total masse tørr, g	104,2	110,1	114,1					
Masse skål, g	22,77	26,3	25,9					
Masse vann, g	24,2	23,6	25,1					
Masse tørr prøve, g	81,46	83,81	88,2					
Vanninnhold, %	29,7	28,1	28,4					
Middelverdi vanninnhold (prøve 1,2,3): 28,75 %				Densitet ρ/ρ <sub>d</sub> , g/cm <sup>3</sup>				
			Ring		Skål			
			Ring/skål nr.		III	111		
			Tot. masse våt, g		102,33	-----		
			Tot. masse tørr, g		-----	76,37		
			Masse ring/skål, g		32,60	22,57		
			Masse våt prøve, g		69,73	-----		
			Masse tørr prøve, g		-----	53,80		
			Volum, cm <sup>3</sup>		35,30	-----		
			Densitet ρ <sub>s</sub> , g/cm <sup>3</sup>		1,98	1,52		
<b>KONUSFORSØK</b>			<b>ENAKS. TRYKK FORSØK</b>			<b>KORNDENSITET FRA PYKNOMETERMÅLING</b>		
Prøve nr	s <sub>u</sub> kPa	s <sub>e</sub> kPa	S <sub>1</sub>	Prøve nr	s <sub>u</sub> kPa	ε %	Pyknometer nr.	
1	60,3	0,4	154,6	1	82,2	4,0	Masse pyknometer + vann, g	
2	74,1	0,4	190,0				Masse pykn.+ prøve + vann, g	
							Total masse tørr, g	
							Skål nr.	
							Masse skål, g	
							Masse tørr, g	
							Korndensitet ρ <sub>s</sub> , g/cm <sup>3</sup>	
<b>OPPSUMMERING OG RUTINEPARAMETRE</b>				<b>OPPDELING AV PRØVEN</b>				
Densitet ρ	1,98	g/cm <sup>3</sup>	Fra - Til (m)		Forsøk/Kommentarer			
Korndensitet ρ <sub>s</sub>		g/cm <sup>3</sup>	20,00	20,04				
Vanninnhold w	28,7	%	20,04	20,05	Vanninnhold 1			
Porositet n		%	20,05	20,11				
Porertall e			20,11	20,17	Densitet liten ring			
Metningsgrad S <sub>r</sub>		%	20,17	20,21	Konus 1			
Saltinnhold S	0,6	g/l	20,21	20,32	Enaks			
Humusinnhold		%	20,32	20,33	Vanninnhold 2			
Plastisitetsindeks I <sub>p</sub>		%	20,33	20,45				
Flyteindeks I <sub>L</sub>		-	20,45	20,55				
s <sub>u</sub> (Konus)	67,2	kPa	20,55	20,60	Konus 2			
s <sub>e</sub> (Enaks)	82,24	kPa	20,60	20,64	Saltinnhold			
Sensitivitet S <sub>i</sub>	172,3		20,64	20,69				
			20,69	20,71	Vanninnhold 3			
<b>Fallan NIFS</b>								
Rutineundersøkelser, 54 mm stålsylinder								
Hull nr. 4	Tegnet	ALY	Godkjent	JJO	Revidert			
Dybde 20.0-20.8m	Dato	24.10.2014	Oppdrags nr.	2014-11	Tegning nr. 9			

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.





Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## Korngradering geoteknikk Merknader

Region Midt

### Oppdrag - 4110041

#### Prøveserie: 1

Dato	Merknad
2011-04-20	(Geoprovenr. 6): Grå myk leiremasse med tynne siltelag i B og A-bitene.
2011-04-20	(Geoprovenr. 5): Grå myk leiremasse med tynne siltelag i E og F-ene.
2011-04-20	(Geoprovenr. 4): Grå fast leiremasse. Ren og jevn.
2011-04-20	(Geoprovenr. 3): Grå myk leiremasse. Jevn og ren.
2011-04-20	(Geoprovenr. 2): Grå myk leiremasse. Ren, jevn og fin.
2011-04-20	(Geoprovenr. 1): Brun myk leiremasse. Mye oksidert.

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

Korngradering geoteknikk				Region Midt																											
Oppdragsnr.	4110041	Oppdragsnavn	E6 Hagga Skjeringstad																												
Prosjektnr	402143	Prosjektnavn	E6 Håggåtunnelen-Skjeringstad																												
Ansvarsområde	48010	Ansvarlig	Strategiseksjonen																												
<b>Prøveserienummer: 1</b>																															
Sylinder / Pose nr.	2B	4B																													
Uttaksdato	08.04.2011	08.04.2011																													
Uttatt kl.	07:40	07:40																													
Analysetype	Våtsikt	Våtsikt																													
Humus (Glødetap)																															
Vanninnhold (%)		30,9	29,3																												
% <63µm av <20mm		98,8	99,4																												
% <20µm av <20mm		87,7	85,7																												
<b>Siktedata - Passert(%)</b>																															
		µm																													
Pr.nr.		63		125																											
2B		1,2		0,0																											
4B		0,8		0,4																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Silt</th> <th colspan="3">Sand</th> <th colspan="3">Grus</th> </tr> <tr> <th>Fin</th> <th>Middels</th> <th>Grov</th> <th>Fin</th> <th>Middels</th> <th>Grov</th> <th>Fin</th> <th>Middels</th> <th>Grov</th> </tr> </thead> </table>						Silt			Sand			Grus			Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov								
	Silt			Sand			Grus																								
	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov	Fin	Middels	Grov																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Sylt/pose</th> <th>Vegnr</th> <th>HP</th> <th>Km/profil</th> <th>Avst.cl</th> <th>Dybde</th> <th>Jordart</th> <th>Cu</th> <th>TG</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2B</td> <td>EV6</td> <td></td> <td>*1</td> <td></td> <td>6,0 - 6,6</td> <td>Leire</td> <td>0,0</td> <td>T4</td> </tr> <tr> <td>4B</td> <td>EV6</td> <td></td> <td>*1</td> <td></td> <td>19,0 - 19,8</td> <td>Siltig leire</td> <td>*9,9</td> <td>T4</td> </tr> </tbody> </table>					Sylt/pose	Vegnr	HP	Km/profil	Avst.cl	Dybde	Jordart	Cu	TG	2B	EV6		*1		6,0 - 6,6	Leire	0,0	T4	4B	EV6		*1		19,0 - 19,8	Siltig leire	*9,9	T4
Sylt/pose	Vegnr	HP	Km/profil	Avst.cl	Dybde	Jordart	Cu	TG																							
2B	EV6		*1		6,0 - 6,6	Leire	0,0	T4																							
4B	EV6		*1		19,0 - 19,8	Siltig leire	*9,9	T4																							
Sted: _____		Dato: _____		Signatur: _____																											

Prøveserienummer: 1



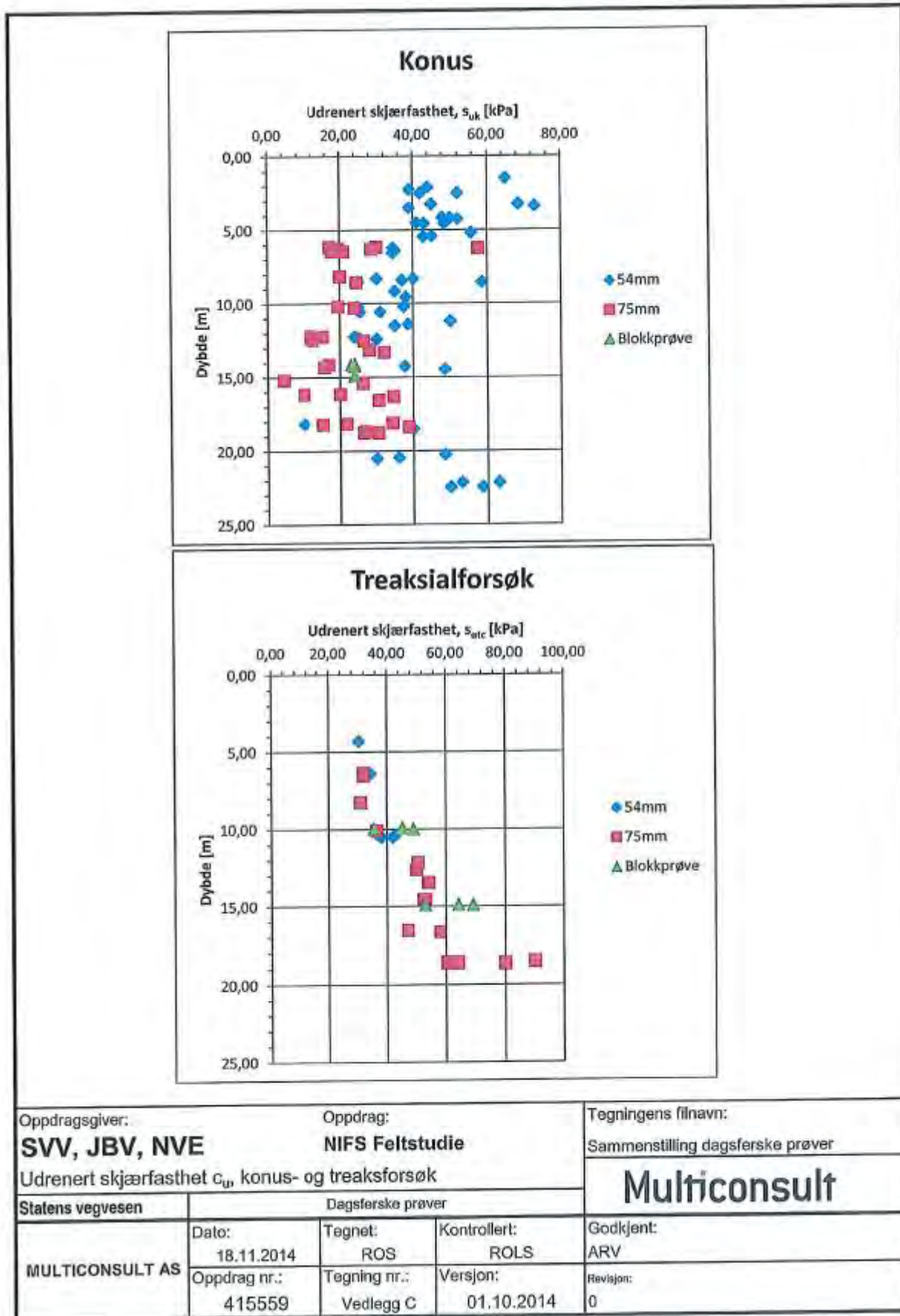
Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg C2**

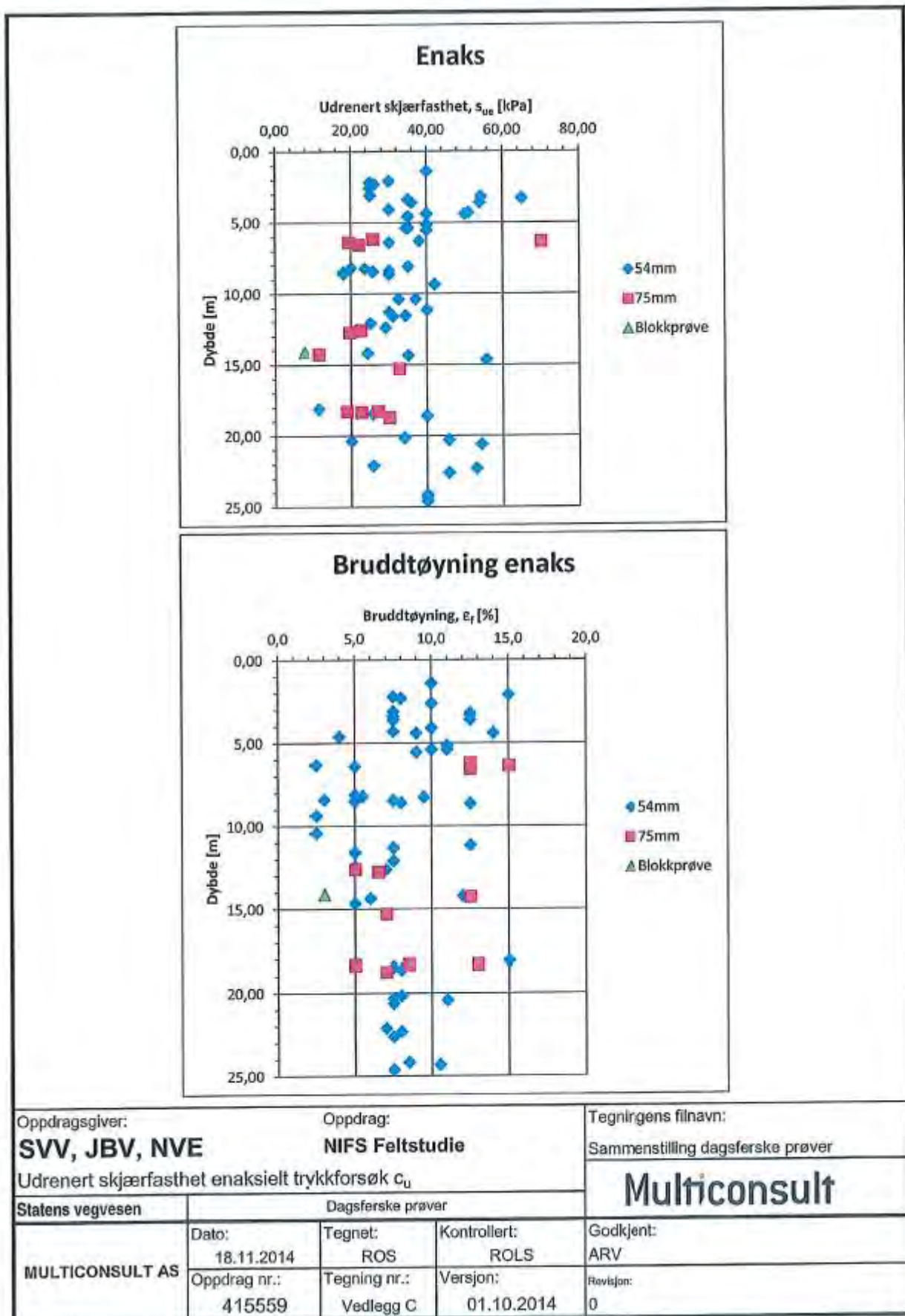
### **Klett forsøksfelt**

Klett, oppsummering dagsferske prøver, hull 1502 og 1503  
Klett, saltinnholdsmålinger

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## Saltinnhold - E6 Klett

Hull nr.	Dybde [m]	Saltinnhold [g/lt]
1	16.45	3
1	8.3	1
1	34.3	4
1	26.25	2
2	7.3	4
2	13.3 A	1
2	13.3 B	1
2	30.45	2.5



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg D**

### **Dokumentasjon av CPTU og R-CPTU**

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg D1**


### **Dokumentasjon for Fallan forsøksfelt**

Fallan, CPTU hull FS1, Statens vegvesen

Fallan, R-CPTU hull FS2, Multiconsult

Fallan, R-CPTU hull FS4, Multiconsult

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

<b>DOKUMENTASJON MÅLEDATA - GEOTECH SONDER</b>			
Sonde nr.:	<b>4364</b>	Sondetype:	Nova
SONDEDATA			
Arealforhold, a:	<b>0,810</b>	Arealforhold, b:	<b>0,000</b>
Kalibreringsdato:	21.12.2010	Utførende:	Geotech AB
EGENSKAP (fra kalibreringsark)	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimum spenning (MPa):	50,0	0,5	2,0
Måleområde (MPa):	50,0	0,5	2,0
Oppløsning, 2 <sup>22</sup> bit (kPa):	0	0	0
Oppløsning, 2 <sup>28</sup> bit (kPa):	0,60	0,01	0,02
Max. temp.effekt, ubelastet (kPa):	19,27	0,36	0,54
Temperaturområde (°C):	0-40	0-40	0-40
Merknad 1:			
Merknad 2:			
UTFØRELSE			
Borleder:	Morten Aune	Assistent:	NN, SVV
Filertype:	Spalte	Mettemedium:	Fett
Mettemetode:	Fettpresse	Lufttemperatur (°C):	6,0
Forankring:	Ukjent	Max. helning (°):	7,6
Merknad 1:			
MÅLEVARIABLE			
EGENSKAP	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimal temperatureffekt (kPa):	0,00	0,00	0,00
NULLPUNKTKONTROLL			
Faktor	NA (q)	NB (f)	NC (u)
Før sondering (DOS):			
Etter sondering (DOS):			
Avvik (DOS) (kPa):	0,0	0,0	0,0
Før sondering (Windows):	7,709	126,400	245,800
Etter sondering (Windows):	0,034	-0,010	0,000
Avvik (Windows) (kPa):	33,7	0,0	0,0
NØYAKTIGHETSVURDERING GEOTECH - VURDERING AV ANVENDELSESKLASSE			
Målestørrelse	Spissmotstand	Friksjon	Poretrykk
Samlet nøyaktighet, $\Delta_{TOT}$ (kPa)	34,30	0,02	0,02
Tillatt nøyaktighet A1, $\Delta_R$ (kPa)	35,0	5,0	10,0
Tillatt nøyaktighet A2, $\Delta_R$ (kPa)	100,0	15,0	25,0
Tillatt nøyaktighet A3, $\Delta_R$ (kPa)	200,0	25,0	50,0
Vurdering profil	Førholdsvis høy og ujevn helning, OK poretrykkmetning.		
ANVENDELSESKLASSE	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Oppdragsgiver:	Oppdrag:		
<b>Statens Vegvesen</b>	<b>E6 Haga - Skjerdingsstad</b>		
Dokumentasjon av utstyr og målenøyaktighet.			
CPTU id.:	BP 2 Fallan	Sonde:	4364
MULTICONSULT AS	Dato:	Tegnet:	Kontrollert:
	06.04.2011	rols	arv
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.	Versjon:
	414622	0	25.02.2011



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

<b>DOKUMENTASJON MÅLEDATA - GEOTECH SONDER</b>			
Sonde nr.:	<b>4293</b>	Sondetype:	Nova
SONDEDATA			
Arealforhold, a:	<b>0,851</b>	Arealforhold, b:	<b>0,000</b>
Kalibreringsdato:	04.06.2014	Utførende:	Geotech AB
EGENSKAP (fra kalibreringsark)	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimum spenning (MPa):	20,0	0,5	2,0
Måleområde (MPa):	20,0	0,5	2,0
Oppløsning, 2 <sup>12</sup> bit (kPa):	0	0	0
Oppløsning, 2 <sup>18</sup> bit (kPa):	0,21	0,01	0,02
Max. temp. effekt, ubelastet (kPa):	12,08	0,26	0,81
Temperaturområde (°C):	0-40	0-40	0-40
Merknad 1:			
Merknad 2:			
UTFØRELSE			
Borleder:	Stian Langolf	Assistent:	Malvik bygdeservice
Filtertype:	Sintret bronse	Mettemedium:	Glyserin
Mettemetode:	Ferdigmettet	Lufttemperatur (°C):	10,0
Forankring:		Max. helning (°):	4,7
Merknad 1:			
MÅLEVARIABLE			
EGENSKAP	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimal temperatureffekt (kPa):	1,21	0,03	0,08
NULLPUNKTKONTROLL			
Faktor	NA (q)	NB (f)	NC (u)
Før sondering (DOS):			
Etter sondering (DOS):			
Avvik (DOS) (kPa):	0,0	0,0	0,0
Før sondering (Windows):	2,546	133,600	255,900
Etter sondering (Windows):	-0,005	0,700	-3,700
Avvik (Windows) (kPa):	-5,0	0,7	-3,7
NØYAKTIGHETSVURDERING GEOTECH - VURDERING AV ANVENDELSESKLASSE			
Målestørrelse	Spissmotstand	Friksjon	Poretrykk
Samlet nøyaktighet, $\Delta_{TOT}$ (kPa)	<b>6,41</b>	<b>0,74</b>	<b>3,80</b>
Tillatt nøyaktighet A1, $\Delta_k$ (kPa)	35,0	5,0	10,0
Tillatt nøyaktighet A2, $\Delta_k$ (kPa)	100,0	15,0	25,0
Tillatt nøyaktighet A3, $\Delta_k$ (kPa)	200,0	25,0	50,0
Vurdering profil	God poretrykksresponse, akseptabel helning.		
ANVENDELSESKLASSE	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b> Dokumentasjon av utstyr og målenøyaktighet.	Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		<b>Multi consult</b>
CPTU id.:	Fallan RCPTU FS1	Sonde:	
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.	Versjon:
	415559		01.10.2014



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

DOKUMENTASJON MÅLEDATA - GEOTECH SONDER			
Sonde nr.:	4293	Sondetype:	Nova
SONDEDATA			
Arealforhold, a:	0,851	Arealforhold, b:	0,000
Kalibreringsdato:	04.06.2014	Utførende:	Geotech AB
EGENSKAP (fra kalibreringsark)	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimum spenning (MPa):	20,0	0,5	2,0
Måleområde (MPa):	20,0	0,5	2,0
Oppløsning, 2 <sup>17</sup> bit (kPa):	0	0	0
Oppløsning, 2 <sup>18</sup> bit (kPa):	0,21	0,01	0,02
Max. temp. effekt, ubelastet (kPa):	12,08	0,26	0,81
Temperaturområde (°C):	0-40	0-40	0-40
Merknad 1:			
Merknad 2:			
UTFØRELSE			
Borleder:	Stian Langolf	Assistent:	Malvik byggeservice
Filtertype:	Sintret bronse	Mettedium:	Glyserin
Mettemetode:	Ferdigmettet	Lufttemperatur (°C):	10,0
Forankring:	Ja	Max. helning (°):	6,9
Merknad 1:			
MÅLEVARIABLE			
EGENSKAP	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimal temperatureffekt (kPa):	1,21	0,03	0,08
NULLPUNKTKONTROLL			
Faktor	NA (q)	NB (f)	NC (u)
Før sondering (DOS):			
Etter sondering (DOS):			
Avvik (DOS) (kPa):	0,0	0,0	0,0
Før sondering (Windows):	2,550	133,400	256,400
Etter sondering (Windows):	-0,013	0,100	-3,700
Avvik (Windows) (kPa):	-13,0	0,1	-1,6
NØYAKTIGHETSVURDERING GEOTECH - VURDERING AV ANVENDELSESKLASSE			
Målestørrelse	Spissmotstand	Friksjon	Poretrykk
Samlet nøyaktighet, $\Delta_{TOT}$ (kPa)	14,41	0,14	1,70
Tillatt nøyaktighet A1, $\Delta_k$ (kPa)	35,0	5,0	10,0
Tillatt nøyaktighet A2, $\Delta_k$ (kPa)	100,0	15,0	25,0
Tillatt nøyaktighet A3, $\Delta_k$ (kPa)	200,0	25,0	50,0
Vurdering profil	God poretrykksrespons, meget lav helning		
ANVENDELSESKLASSE	1	1	1
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b> Dokumentasjon av utstyr og målenøyaktighet.	Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		<b>Multi consult</b>
CPTU id.:	Fallan R-CPTU FS2	Sonde:	4293
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.:	Versjon: 01.10.2014

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg D2**

### **Dokumentasjon for Klett forsøksfelt**

Klett, CPTU hull KS1, Multiconsult

Klett, R-CPTU hull KS1, Multiconsult

Klett, R-CPTU hull KS2, Multiconsult



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

<b>DOKUMENTASJON MÅLEDATA - GEOTECH SONDER</b>			
Sonde nr.:	4293	Sondetype:	Nova
SONDEDATA			
Arealforhold, a:	0,851	Arealforhold, b:	0,000
Kalibreringsdato:	13.09.2013	Utførende:	Geotech AB
EGENSKAP (fra kalibreringsark)	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimum spenning (MPa):	50/20	0,5	2,0
Måleområde (MPa):	50/20	0,5	2,0
Oppløsning, 2 <sup>12</sup> bit (kPa):	0	0	0
Oppløsning, 2 <sup>18</sup> bit (kPa):	0,21	0,01	0,02
Max. temp.effekt, ubelastet (kPa):	20,33	0,41	0,54
Temperaturområde (°C):	0-40	0-40	0-40
Merknad 1:			
Merknad 2:			
UTFØRELSE			
Borleder:	Stian Langolf	Assistent:	Arne Buhagen Hansen
Filtertype:	Sintret bronse	Mettemedium:	Glyserin
Mettemetode:	Ferdigmettet	Lufttemperatur (°C):	12,0
Forankring:		Max. helning (°):	1,5
Merknad 1:			
MÅLEVARIALE			
EGENSKAP	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimal temperatureffekt (kPa):	3,05	0,06	0,08
NULLPUNKTKONTROLL			
Faktor	NA (q)	NB (f)	NC (u)
Før sondering (DOS):			
Etter sondering (DOS):			
Avvik (DOS) (kPa):	0,0	0,0	0,0
Før sondering (Windows):			
Etter sondering (Windows):	-0,004	0,200	-0,100
Avvik (Windows) (kPa):	-4,0	0,2	-0,1
NØYAKTIGHETSVURDERING GEOTECH - VURDERING AV ANVENDELSESKLASSE			
Målestørrelse	Spissmotstand	Friksjon	Poretrykk
Samlet nøyaktighet, $\Delta_{TOT}$ (kPa)	7,26	0,27	0,20
Tillatt nøyaktighet A1, $\Delta_k$ (kPa)	35,0	5,0	10,0
Tillatt nøyaktighet A2, $\Delta_k$ (kPa)	100,0	15,0	25,0
Tillatt nøyaktighet A3, $\Delta_k$ (kPa)	200,0	25,0	50,0
Vurdering profil	God poretrykksrespons, meget lav helning.		
ANVENDELSESKLASSE	1	1	1
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b> Dokumentasjon av utstyr og målenøyaktighet.	Oppdrag: <b>NIFS - Feltstudium</b>		<b>Multi consult</b>
CPTU id.:	CPTU-KS1	Sonde:	4293
MULTICONSULT AS	Dato: 30.06.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: rols
	Oppdrag nr.: 415559	Tegning nr.:	Versjon: 28.11.2013



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

<b>DOKUMENTASJON MÅLEDATA - GEOTECH SONDER</b>			
Sonde nr.:	4293	Sondetype:	Nova
SONDEDATA			
Arealforhold, a:	0,851	Arealforhold, b:	0,000
Kalibreringsdato:	04.06.2014	Utførende:	Geotech AB
EGENSKAP (fra kalibreringsark)	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimum spenning (MPa):	20,0	0,5	2,0
Måleområde (MPa):	20,0	0,5	2,0
Opppløsning, 2 <sup>12</sup> bit (kPa):	0	0	0
Opppløsning, 2 <sup>18</sup> bit (kPa):	0,21	0,01	0,02
Max. temp. effekt, ubelastet (kPa):	12,08	0,26	0,81
Temperaturområde (°C):	0-40	0-40	0-40
Merknad 1:			
Merknad 2:			
UTFØRELSE			
Borleder:	Stian Langolf	Assistent:	Arne Buhagen Hansen
Filtertype:	Sintret bronse	Mettemedium:	Glyserin
Mettemetode:	Ferdigmettet	Lufttemperatur (°C):	10,0
Forankring:	Nel	Max. helning (°):	5,3
Merknad 1:			
MÅLEVARIABLE			
EGENSKAP	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimal temperatureffekt (kPa):	1,21	0,03	0,08
NULLPUNKTKONTROLL			
Faktor	NA (q)	NB (f)	NC (u)
Før sondering (DOS):			
Etter sondering (DOS):			
Avvik (DOS) (kPa):	0,0	0,0	0,0
Før sondering (Windows):	2,536	134,100	256,600
Etter sondering (Windows):	-0,004	0,200	-0,100
Avvik (Windows) (kPa):	-4,0	0,2	-0,1
NØYAKTIGHETSVURDERING GEOTECH - VURDERING AV ANVENDELSESKLASSE			
Målestørrelse	Spissmotstand	Friksjon	Poretrykk
Samlet nøyaktighet, $\Delta_{TOT}$ (kPa)	5,41	0,24	0,20
Tillatt nøyaktighet A1, $\Delta_k$ (kPa)	35,0	5,0	10,0
Tillatt nøyaktighet A2, $\Delta_k$ (kPa)	100,0	15,0	25,0
Tillatt nøyaktighet A3, $\Delta_k$ (kPa)	200,0	25,0	50,0
Vurdering profil	God poretrykksrespons, akseptabel helning.		
ANVENDELSESKLASSE	1	1	1
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b> Dokumentasjon av utstyr og målenøyaktighet.	Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		<b>Multi consult</b>
CPTU id.:	Klett RCPTU S1	Sonde:	4293
<b>MULTICONSULT AS</b>	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.	Versjon:
	415559		01.10.2014



Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

DOKUMENTASJON MÅLEDATA - GEOTECH SONDER			
Sonde nr.:	4293	Sondetype:	Nova
SONDEDATA			
Arealforhold, a:	0,852	Arealforhold, b:	0,000
Kallbreringsdato:	04.06.2014	Utførende:	Geotech AB
EGENSKAP (fra kallbreringsark)	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimum spenning (MPa):	20,0	0,5	2,0
Måleområde (MPa):	20,0	0,5	2,0
Opplysning, 2 <sup>12</sup> bit (kPa):	0	0	0
Opplysning, 2 <sup>16</sup> bit (kPa):	0,21	0,01	0,02
Max. temp. effekt, ubelastet (kPa):	12,08	0,26	0,81
Temperaturområde (°C):	0-40	0-40	0-40
Merknad 1:			
Merknad 2:			
UTFØRELSE			
Borleder:	Stian Langolf	Assistent:	Arne Buhagen Hansen
Filtertype:	Sintret bronse	Mettemedium:	Glyserin
Mettemetode:	Ferdigmettet	Lufttemperatur (°C):	10,0
Forankring:	Nel	Max. helning (°):	2,5
Merknad 1:			
MÅLEVARIALE			
EGENSKAP	SPISSMOTSTAND	SIDEFRIKSJON	PORETRYKK
Maksimal temperatureffekt (kPa):	1,21	0,03	0,08
NULLPUNKTKONTROLL			
Faktor	NA (q)	NB (f)	NC (u)
Før sondering (DOS):			
Etter sondering (DOS):			
Avvik (DOS) (kPa):	0,0	0,0	0,0
Før sondering (Windows):	2,537	133,900	257,000
Etter sondering (Windows):	-0,006	0,100	2,000
Avvik (Windows) (kPa):	-5,6	0,1	2,0
NØYAKTIGHETSVALDERING GEOTECH - VALDERING AV ANVENDELSESKLASSE			
Målestørrelse	Spissmotstand	Friksjon	Poretrykk
Samlet nøyaktighet, $\Delta_{TOT}$ (kPa)	7,01	0,14	2,10
Tillatt nøyaktighet A1, $\Delta_x$ (kPa)	35,0	5,0	10,0
Tillatt nøyaktighet A2, $\Delta_x$ (kPa)	100,0	15,0	25,0
Tillatt nøyaktighet A3, $\Delta_x$ (kPa)	200,0	25,0	50,0
Valdering profil	God poretrykksrespons, meget lav helning.		
ANVENDELSESKLASSE	1	1	1
Oppdragsgiver: <b>SVV, JBV, NVE</b> Dokumentasjon av utstyr og målenøyaktighet.	Oppdrag: <b>NIFS Feltstudie</b>		<b>Multi consult</b>
CPTU id.:	Klett RCPTU S2	Sonde:	4293
MULTICONSULT AS	Dato: 09.10.2014	Tegnet: ALM	Kontrollert: ROLS
	Oppdrag nr.:	Tegning nr.:	Versjon:
	415559		01.10.2014

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## **Vedlegg E**

### **Koordinater for utførte boringer**

Detektering av sprøbruddmateriale med R-CPTU og elektrisk vingebor. Resultater fra feltstudie. Vedlegg A-E.

## Koordinater for utførte boringer

### Fallan

#### Borpunkt FS 2

DRT, TOT, CPTU, R-CPTU, PR, EFVT: x 7006105, y 568197, z 120,9

#### Borpunkt FS 4

DRT (fra tidligere undersøkelser), R-CPTU, PR: x 7005958, y 568112, z 126,1

### Klett

#### Borpunkt KS 1

DRT: x 7022055, y 565497, z 40,92

TOT: x 7022051, y 565500, z 41,19

CPTU: x 7022055, y 565493, z 40,96

EFVT: x 7022054, y 565495, z 41,02

R-CPTU: x 7022051, y 565495, z 41, 29

PR: x 7022059, y 565495, z 40,75

CPTU totalkraft: x 7022057, y 565507, z 40,64

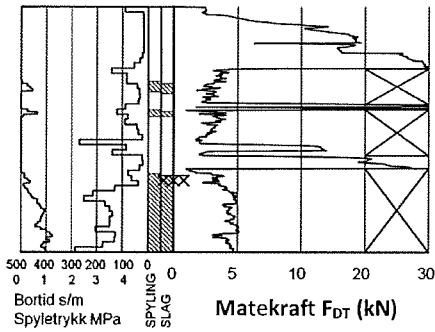
#### Borhull KS 2:

DRT: x 7022054, y 565505, z 40,84

TOT: x 7022052, y 565508, z 41,03

R-CPTU: x 7022051, y 565503, z 41,16

PR: x 7022057, y 565503, z 40,66



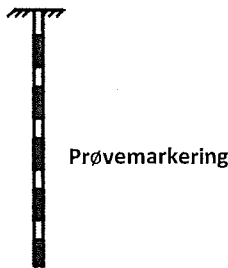
**T TOTALSONDERING (NGF MELDING 9)**

Kombinerer metodene dreietrykksondering og bergkontrollboring. Det benyttes  $\phi 45$  mm skjøtbare borstenger og  $\phi 57$  mm stiftborkrone med tilbakeslagsventil. Under nedboring i bløte lag benyttes dreietrykksmodus, og boret presses ned i bakken med konstant hastighet 3 m/min og konstant rotasjonshastighet 25 omdreininger/min. Når faste lag påtreffes økes først rotasjonshastigheten. Gir ikke dette synk av boret benyttes spyling og slag på borkronen. Nedpressingskraften  $F_{DT}$  (kN) registreres kontinuerlig og vises på diagrammets høyre side, mens markering av spyletrykk, slag og bortid vises til venstre.



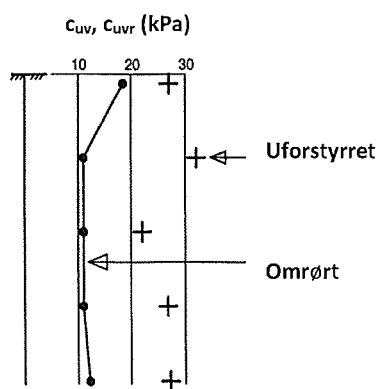
**O MASKINELL NAVERBORING**

Utføres med hul borstang påsveisert en metallspiral med fast stige høyde (auger). Med borrhigg kan det bores til 5-20 m dybde, avhengig av jordart, lagringsfasthet og beliggenhet av grunnvannstanden. Med denne metoden kan det tas forstyrrede poseprøver ved å samle materialet mellom spiralskivene. Det er også mulig å benytte enklere håndholdt utstyr som for eksempel skovlprøvetaking.



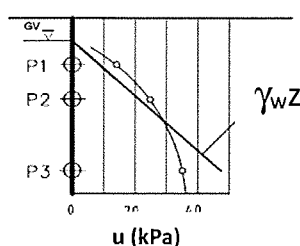
**O PRØVETAKING (NGF MELDING 11)**

Utføres for undersøkelse av jordlagenes geotekniske egenskaper i laboratoriet. Vanligvis benyttes stempelprøvetaking med innvendig stempel for opptak av 60-100 cm lange sylindereprøver. Prøvesylinderen kan være av plast eller stål, og det kan benyttes utstyr både med og uten innvendig prøvesylinder. På ønsket dybde blir prøvesylinderen presset ned mens innerstangen med stempelet holdes i ro. Det skjæres derved ut en jordprøve som trekkes opp til overflaten, der den blir forseglet for transport til laboratoriet. Prøvediameteren kan variere mellom  $\phi 54$  mm (vanligst) og  $\phi 95$  mm. Det er også mulig å benytte andre typer prøvetakere, som for eksempel ramprøvetakere og blokkprøvetakere. Prøvekvaliteten inndeles i Kvalitetsklasse 1-3, der 1 er høyeste kvalitet. Stempelprøvetaking gir vanligvis prøver i Kvalitetsklasse 1-2 for leire.



**+ VINGEBORING (NGF MELDING 4)**

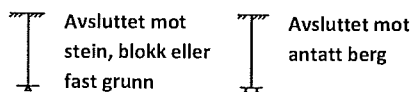
Utføres ved at et vingekorset med dimensjoner  $b \times h = 55 \times 110$  mm eller  $65 \times 130$  mm presses ned i grunnen til ønsket målenivå. Her blir vingekorset påført et økende dreiemoment til jorden rundt vingen når brudd. Det tilhørende dreiemomentet blir registrert. Dette utføres med jorden i uforstyrret ved første gangs brudd og omrørt tilstand etter 25 gjentatte omdreininger av vingekorset. Udrenert skjærfasthet  $c_{uv}$  og  $c_{ur}$  beregnes ut fra henholdsvis dreiemomentet ved brudd og etter omrøring. Fra dette kan også sensitiviteten  $S_t = c_{uv}/c_{ur}$  bestemmes. Tolkede verdier må vanligvis korrigeres empirisk for opptredende effektivt overlagingstrykk i måledybden, samt for jordartens plastisitet.



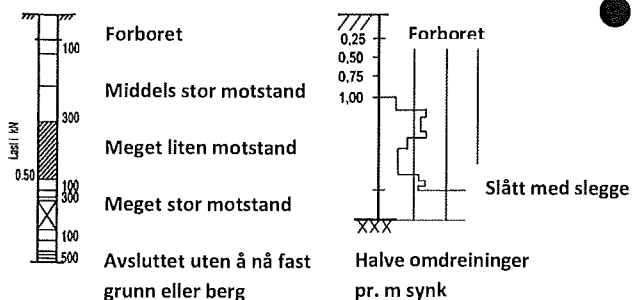
**O PORETRYKKSÅLING (NGF MELDING 6)**

Målingene utføres med et standrør med filterspiss eller med hydraulisk (åpent)/elektrisk piezometer (poretrykksmåler). Filteret eller piezometerspissen påmontert piezometerør presses ned i grunnen til ønsket dybde. Stabilt poretrykk registreres fra vannets stige høyde i røret, eller ved avlesning av en elektrisk trykkmåler i spissen. Valg av utstyr vurderes på bakgrunn av grunnforhold og hensikten med målingene. Grunnvannstand observeres eller peiles direkte i borhullet.





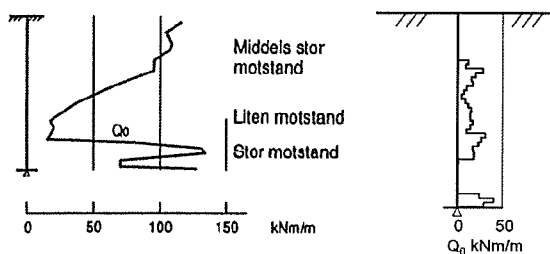
**Sonderinger** utføres for å få en indikasjon på grunnens relative fasthet, lagdeling og dybder til antatt berg eller fast grunn.



**DREIESONDERING (NGF MELDING 3)**

Utføres med skjøtbare  $\phi 22$  mm borstenger med 200 mm vridd spiss. Boret dreies manuelt eller maskinelt ned i grunnen med inntil 1 kN (100 kg) vertikalbelastning på stengene. Hvis det ikke synker for denne lasten, dreies boret maskinelt eller manuelt. Antall  $\frac{1}{2}$ -omdreininger pr. 0,2 m synk registreres.

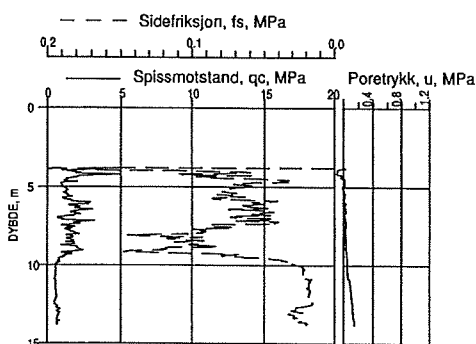
Boremotstanden presenteres i diagram med vertikal dybde-skala og tverrstrekk for hver 100  $\frac{1}{2}$ -omdreininger. Skravur angir synk uten dreining, med påført vertikallast under synk angitt på venstre side. Kryss angir at borstengene er rammet ned i grunnen.



**RAMSONDERING (NS-EN ISO 22476-2)**

Boringen utføres med skjøtbare  $\phi 32$  mm borstenger og spiss med normert geometri. Boret rammes med en rammeenergi på 0,38 kNm. Antall slag pr. 0,2 m synk registreres. Boremotstanden illustreres ved angivelse av rammemotstanden  $Q_0$  pr. m nedramming.

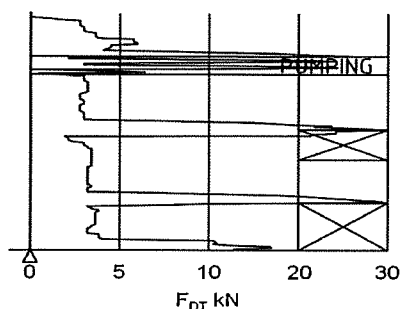
$Q_0$  = loddets tyngde \* fallhøyde/synk pr. slag (kNm/m)



**TRYKKSONDERING (CPT - CPTU) (NGF MELDING 5)**

Utføres ved at en sylindrisk, instrumentert sonde med konisk spiss presses ned i grunnen med konstant penetrasjonshastighet 20 mm/s. Under nedpressingen måles kraften mot konisk spiss og friksjonshylse, slik at spissmotstand  $q_c$  og sidefriksjon  $f_s$  kan bestemmes (CPT). I tillegg kan poretrykket  $u$  måles like bak den koniske spissen (CPTU). Målingene utføres kontinuerlig for hver 0,02 m, og metoden gir derfor detaljert informasjon om grunnforholdene.

Resultatene kan benyttes til å bestemme lagdeling, jordart, lagringsbetingelser og mekaniske egenskaper (skjærfasthet, deformasjons- og konsolideringsparametre).

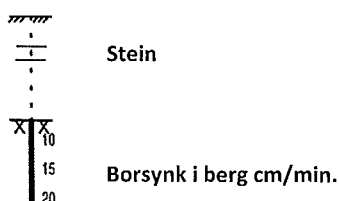


**DREIETRYKKSONDERING (NGF MELDING 7)**

Utføres med glatte skjøtbare  $\phi 36$  mm borstenger med en normert spiss med hardmetallsveis. Borstengene presses ned i grunnen med konstant hastighet 3 m/min og konstant rotasjonshastighet 25 omdreininger/min.

Rotasjonshastigheten kan økes hvis nødvendig. Nedpressingskraften  $F_{DT}$  (kN) registreres automatisk under disse betingelsene, og gir grunnlag for å bedømme grunnforholdene.

Metoden er spesielt hensiktsmessig ved påvisning av kvikkleire i grunnen, men den gir ikke sikker dybde til bergoverflaten.



**BERGKONTROLLBORING**

Utføres med skjøtbare  $\phi 45$  mm stenger og hardmetall borkrone med tilbakeslagsventil. Det benyttes tung slagborhammer og vannspyling med høyt trykk. Boring gjennom lag med ulike egenskaper, for eksempel grus og leire, kan registreres, likedan penetrasjon av blokker og større steiner. For verifisering av berginntrengning bores 3 m ned i berget, eventuelt med registrering av borsynk for sikker påvisning.

### VANNINNHOLD ( $w$ %) (NS 8013)

Vanninnholdet angir masse av vann i % av masse tørt (fast) stoff i massen og bestemmes fra tørking av en jordprøve ved 110°C i 24 timer.

### KONSISTENSGRENSER – FLYTEGRENSE ( $w_l$ %) OG PLASTISITETSGRENSE ( $w_p$ %) (NS 8002 & 8003)

Konsistensgrensene (Atterbergs grenser) for en jordart angir vanninnholdsområdet der materialet er plastisk (formbart). Flytegrensen angir vanninnholdet der materialet går fra plastisk til flytende tilstand. Plastisitetsgrensen (utrullingsgrensen) angir vanninnholdet der materialet ikke lenger kan formes uten at det sprekker opp. Plastisiteten  $I_p = w_l - w_p$  (%) angir det plastiske området for jordarten og benyttes til klassifisering av plastisiteten. Er det naturlige vanninnholdet høyere enn flytegrensen blir materialet flytende ved omrøring (vanlig for kvikkleire).

### DENSITETER (NS 8011 & 8012)

**Densitet** ( $\rho$ , g/cm<sup>3</sup>) Masse av prøve pr. volumenhet. Bestemmes for hel sylinder og utskåret del.  
**Korndensitet** ( $\rho_s$ , g/cm<sup>3</sup>) Masse av fast stoff pr. volumenhet fast stoff  
**Tørr densitet** ( $\rho_d$ , g/cm<sup>3</sup>) Masse av tørt stoff pr. volumenhet

### TYNGDETETHETER

**Tyngdetetthet** ( $\gamma$ , kN/m<sup>3</sup>) Tyngde av prøve pr. volumenhet ( $\gamma = \rho g = \gamma_s(1+w/100)(1-n/100)$ , der  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>)  
**Spesifikk tyngdetetthet** ( $\gamma_s$ , kN/m<sup>3</sup>) Tyngde av fast stoff pr. volumenhet fast stoff ( $\gamma_s = \rho_s g$ )  
**Tørr tyngdetetthet** ( $\gamma_d$ , kN/m<sup>3</sup>) Tyngde av tørt stoff pr. volumenhet ( $\gamma_d = \rho_d g = \gamma_s(1-n/100)$ )

### PORETALL OG PORØSITET (NS 8014)

**Poretall e** (-) Volum av porer dividert med volum fast stoff ( $e = n/(100-n)$ ) der  $n$  er porøsitet (%)  
**Porøsitet n** (%) Volum av porer i % av totalt volum av prøven

### KORNFORDELINGSANALYSER (NS 8005)

En kornfordelingsanalyse utføres ved våt eller tørr sikting av fraksjonene med diameter  $d > 0,063$  mm. For mindre partikler bestemmes den ekvivalente korndiameteren ved slemmeanalyse og bruk av hydrometer. I slemmeanalysen slemmes materialet opp i vann og densiteten av suspensjonen måles ved bestemte tidsintervaller. Kornfordelingen kan da bestemmes fra Stokes lov om sedimentering av kuleformede partikler i vann. Det vil ofte være nødvendig med en kombinasjon av metodene.

### DEFORMASJONS- OG KONSOLIDERINGSEGENSKAPER (NS 8017 & 8018)

Jordartens deformasjons- og konsolideringsegenskaper benyttes ved setningsberegning og bestemmes ved hjelp av belastningsforsøk i ødometer. Jordprøven bygges inn i en stiv ring som forhindrer sideveis deformasjon og belastes vertikalt med trinnvis eller kontinuerlig økende last. Sammenhørende verdier for last og deformasjon (tøyning  $\epsilon$ ) registreres, og materialets deformasjonsmodul (stivhet) kan beregnes som  $M = \Delta\sigma'/\Delta\epsilon$ . Denne presenteres som funksjon av vertikalspenningen  $\sigma'$ . Deformasjonsmodulen viser en systematisk oppførsel for ulike jordarter og spenningstilstander, og oppførselen kan hensiktsmessig beskrives med modulfunksjoner og inndeles i tre modeller:

Modell	Moduluttrykk	Jordart - spenningsområde
Konstant modul	$M = m_{oc}\sigma_a$	OC leire, $\sigma' < \sigma'_c$ ( $\sigma'_c$ = prekonsolideringsspenningen)
Lineært økende modul	$M = m(\sigma' \pm \sigma_r)$	Leire, fin silt, $\sigma' > \sigma'_c$
Parabolisk økende modul	$M = m\sqrt{\sigma'\sigma_a}$	Sand, grov silt, $\sigma' > \sigma'_c$

### PERMEABILITET (k cm/sek eller m/år)

Permeabiliteten defineres som den vannmengden  $q$  som under gitte betingelser vil strømme gjennom et jordvolum pr. tidsenhet. Generelt bestemmes permeabiliteten fra følgende sammenheng:  $q = k_i A$ , der  $A$  er bruttoareal av tverrsnittet normalt på vannets strømningsretning og  $i =$  hydraulisk gradient i strømningsretningen (= potensialforskjell pr. lengdeenheter). Permeabiliteten kan bestemmes ved strømningsforsøk i laboratoriet ved konstant eller fallende potensial, eventuelt ved pumpe- eller strømningsforsøk i felt.

### KOMPRIMERINGSEGENSKAPER

Ved komprimering av en jordart oppnås tettere lagring av mineral Kornene. Komprimeringsegenskapene for en jordart bestemmes ved at prøver med forskjellig vanninnhold komprimeres med et bestemt komprimeringsarbeid (Standard eller Modifisert Proctor). Resultatene fremstilles i et diagram som viser tørr densitet  $\rho_s$  som funksjon av innbyggingsvanninnhold  $w_i$ . Den maksimale tørrdensiteten som oppnås ( $\rho_{dmax}$ ) benyttes ved spesifisering av krav til utførelsen av komprimeringsarbeider. Det tilhørende vanninnhold benevnes optimalt vanninnhold ( $w_{opt}$ ).

### TELEFARLIGHET

En jordarts telefarlighet bestemmes ut i fra kornfordelingskurven eller ved å måle den kapillære stighøyde for materialet. Telefarligheten klassifiseres i gruppene T1 (Ikke telefarlig), T2 (Litt telefarlig), T3 (Middels telefarlig) og T4 (Meget telefarlig).

### HUMUSINNHOLD

Humusinnholdet bestemmes ved kolorimetri og bruk av natronlut (NaOH-forbindelse). Metoden angir innholdet av humufiserte organiske bestanddeler i en relativ skala. Andre metoder, som glødning av jordprøve i varmeovn og våt-oksidasjon med hydrogenperoksyd, kan også benyttes.

**MINERALSKE JORDARTER (NS-EN ISO 14688-1 & 2)**

Ved prøveåpning klassifiseres og identifiseres jordarten. Mineralske jordarter klassifiseres vanligvis på grunnlag av korngraderingen. Betegnelse og kornstørrelser for de enkelte fraksjoner er:

Fraksjon	Leire	Silt	Sand	Grus	Stein	Blokk
Kornstørrelse (mm)	<0,002	0,002-0,063	0,063-2	2-63	63-630	>630

En jordart kan inneholde en eller flere av fraksjonene over. Jordarten benevnes i henhold til korngraderingen med substantiv for den fraksjon som har dominerende betydning for jordartens egenskaper og adjektiv for medvirkende fraksjoner (for eksempel siltig sand). Leirinnholdet har størst betydning for benevnelse av jordarten. Morene er en usortert breavsetning som kan inneholde alle fraksjoner fra leire til blokk. Den største fraksjonen angis først i beskrivelsen etter egne benevningsregler, for eksempel grusig morene.

**ORGANISKE JORDARTER (NS-EN ISO 14688-1 & 2)**

Organiske jordarter klassifiseres på grunnlag av jordartens opprinnelse og omdanningsgrad. De viktigste typer er:

Benevnelse	Beskrivelse
<b>Torv</b>	Myrplanter, mer eller mindre omdannet.
• <i>Fibrig torv</i>	Fibrig med lett gjenkjennelig plantestruktur. Viser noe styrke.
• <i>Delvis fibrig torv, mellomtorv</i>	Gjenkjennelig plantestruktur, ingen styrke i planterestene.
• <i>Amorf torv, svarttorv</i>	Ingen synlig plantestruktur, svampig konsistens.
<b>Gytje og dy</b>	Nedbrutt struktur av organisk materiale, kan inneholde mineralske bestanddeler.
<b>Humus</b>	Planterester, levende organismer sammen med ikke-organisk innhold.
<b>Mold og matjord</b>	Sterkt omvandlet organisk materiale med løs struktur, utgjør vanligvis det øvre jordlaget.

**SKJÆRFESTHET**

Skjærfestheten uttrykkes ved jordens skjærfesthetsparametre  $a$ ,  $c$ ,  $\phi$  ( $\tan\phi$ ) (effektivspenningsanalyse) eller  $c_u$  ( $c_{uA}$ ,  $c_{uD}$ ,  $c_{uP}$ ) (totalspenningsanalyse).

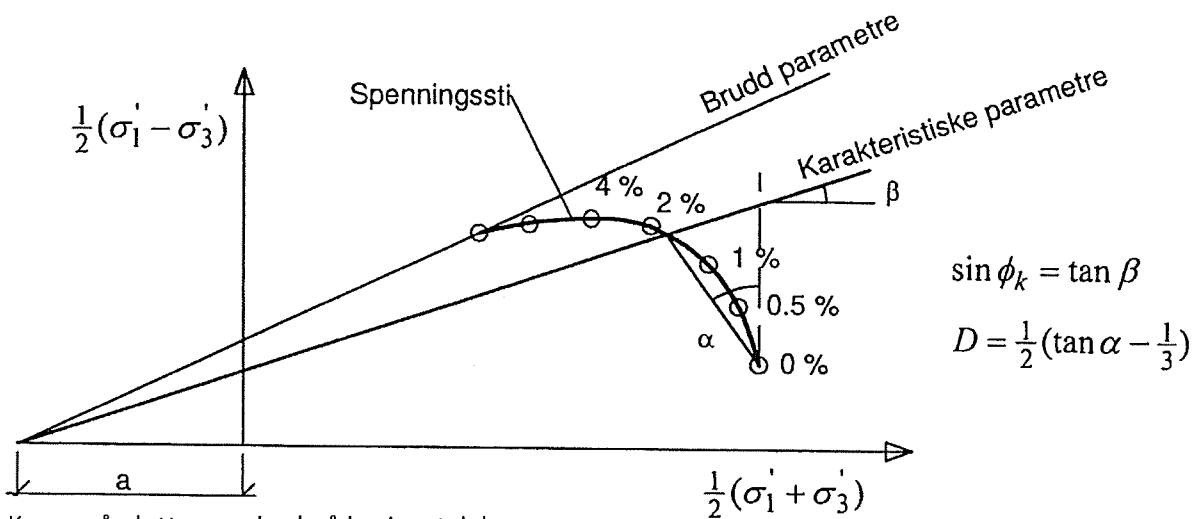
**Effektivspenningsanalyse: Effektive skjærfesthetsparametre  $a$ ,  $c$ ,  $\phi$  ( $\tan\phi$ ) (kPa, kPa, °, (-))**

Effektive skjærfesthetsparametre  $a$  (attraksjon),  $\tan\phi$  (friksjon) og eventuelt  $c = a \tan\phi$  (kohesjon) bestemmes ved treaksiale belastningsforsøk på uforstyrrede (leire) eller innbyggede prøver (sand). Skjærfestheten er avhengig av effektiv normalspenning (totalspenning – poretrykk) på kritisk plan. Forsøksresultatene fremstilles som spenningsstier som viser spenningsutvikling og tilhørende tøyingsutvikling i prøven frem mot brudd. Fra disse, samt fra annen informasjon, bestemmes karakteristiske verdier for skjærfesthetsparametre for det aktuelle problemet.

For korttids effektivspenningsanalyse kan også poretrykkparametrene  $A$ ,  $B$  og  $D$  bestemmes fra forsøksresultatene.

**Totalspenningsanalyse: Udrenert skjærfesthet,  $c_u$  (kPa)**

Udrenert skjærfesthet bestemmes som den maksimale skjærspenning et materiale kan påføres før det bryter sammen. Denne skjærfestheten representerer en situasjon med raske spenningsendringer uten drenering av poretrykk. I laboratoriet bestemmes denne egenskapen ved enaksiale trykkforsøk ( $c_{u1}$ ) (NS8016), konusforsøk ( $c_{uk}$ ,  $c_{ukr}$ ) (NS8015), udrenerte treaksialforsøk ( $c_{uA}$ ,  $c_{uP}$ ) og direkte skjærforsøk ( $c_{uD}$ ). Udrenert skjærfesthet kan også bestemmes i felt ved for eksempel trykksondering med poretrykkmåling (CPTU) ( $c_{u(CPTU)}$ ) eller vingebor ( $c_{uv}$ ,  $c_{ur}$ ).



Kan også plottes med  $\sigma'_3$  på horisontalaksen.

**SENSITIVITET  $S_t$  (-)**

Sensitiviteten  $S_t = c_u/c_r$  uttrykker forholdet mellom en leires udrenerte skjærfesthet i uforstyrret og omrørt tilstand. Denne størrelsen kan bestemmes fra konusforsøk i laboratoriet (NS 8015) eller ved vingeborforsøk i felt. Kvikkleire har for eksempel meget lav omrørt skjærfesthet  $c_r$  ( $S_t < 0,5$  kPa), og viser derfor som regel meget høye sensitivetsverdier.

**METODESTANDARDER OG RETNINGSLINJER – FELTUNDERSØKELSER**

Feltundersøkelsesmetoder beskrevet i geotekniske bilag, samt terminologi og klassifisering benyttet i rapportering, baserer seg på følgende norske veiledninger fra NGF (Norsk Geoteknisk Forening), norske standarder (NS) og andre referansedokumenter:

<b>NGF Veiledninger</b> <b>Norske standarder NS</b>	<b>Tema</b>
NGF 1 (1982)	SI Enheter
NGF 2, rev.1 (2012)	Symboler og terminologi
NGF 3, rev. 1 (1989)	Dreiesondering
NGF 4 (1981)	Vingeboring
NGF 5, rev.3 (2010)	Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU)
NGF 6 (1989)	Grunnvanns- og poretrykksmåling
NGF 7, rev. 1 (1989)	Dreietrykksondering
NGF 8 (1992)	Kommentarkoder for feltundersøkelser
NGF 9 (1994)	Totalsondering
NGF 10, rev.1 (2009)	Beskrivelsestekster for grunnundersøkelser
NGF 11 rev.1 (2012)	Prøvetaking
NS-EN ISO 22475-1 (2006)	
Statens vegvesen Geoteknisk felthåndbok 280 (2010)	Feltundersøkelser



**METODESTANDARDER OG RETNINGSLINJER – LABORATORIEUNDERSØKELSER**

Laboratorieundersøkelser beskrevet i geotekniske bilag, samt terminologi og klassifisering benyttet i rapportering, baserer seg på følgende norske standarder (NS) og referansedokumenter:

Norske standarder NS	Tema
NS8000 (1982)	Konsistensgrenser – terminologi
NS8001 (1982)	Støtflytegrense
NS8002 (1982)	Konusflytegrense
NS8003 (1982)	Plastisitetsgrense (utrullingsgrense)
NS8004 (1982)	Svinggrense
NS8005 (1990)	Kornfordelingsanalyse
NS8010 (1982)	Jord – bestanddeler og struktur
NS8011 (1982)	Densitet
NS8012 (1982)	Korndensitet
NS8013 (1982)	Vanninnhold
NS8014 (1982)	Poretall, porøsitet og metningsgrad
NS8015 (1987)	Skjærfasthet ved konusforsøk
NS8016 (1987)	Skjærfasthet ved enaksialt trykkforsøk
NS8017 (1991)	Ødometerforsøk, trinnvis belastning
NS8018 (1993)	Ødometerforsøk, kontinuerlig belastning
NS14688-1 og -2 (2009)	Klassifisering og identifisering av jord
NS-EN ISO/TS 17892-8 + -9 (2005)	Treaksialforsøk (UU, CU)
Statens vegvesen Håndbok 015 (2005)	Laboratorieundersøkelser



Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

Telefon: 09575  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

