

Intern rapport nr. 2381

FoU- prosjekt

**Parameterbestemmelser for
siltige materialer
Delrapport A).
Feltundersøkelser**

05.02.2005

Teknologiavdelingen

Intern rapport nr. 2381

FoU- prosjekt Parameterbestemmelser for siltige materialer Delrapport A). Feltundersøkelser

Sammendrag

Rapporten presenterer utvalgt prøvefelt, den geologiske historien, tidligere utførte feltundersøkelser, utførte feltundersøkelser og de erfaringene som er gjort i forbindelse med feltarbeidet.

Feltundersøkelsene utført i forbindelse med prosjektet omfatter totalsonderinger, vingeboringer, trykksonderinger med poretrykksmåling (CPTU), T-bar målinger samt opptak av uforstyrret prøvemateriale ved bruk av forskjellige stempelprøvetakere.

Analyser med hensyn på styrke- og deformasjonsegenskapene til materialet, samt sammenligninger av resultatene vil bli presentert i en samlerapport ved senere tidspunkt.

De siltige jordsedimentene ved Skeisleira er glaciofluviale. De siltige leirsedimentene som er funnet har en grå - blå farge, er bløte og middels sensitivt, stedvis meget sensitive.

Utførte vingeborforsøk antyder at det oppnås høyere omrørt og uomrørt skjærstyrke når man følger beskrevet prosedyre for vingeboring en ved manuell påføring.

Registrert spissmotstand fra utførte trykksonderinger er tilnærmet lik. Det samme gjelder registret spissmotstand fra utførte T- bar målinger. Trykkmotstand registrert med T- bar er omtrent halvparten av den registrerte trykkmotstanden med CPTU.

Det antas at bruk av ”galge” reduserer faren for kompresjon av prøvematerialet.

Rutiner for kalibrering av totalsonderingsutstyret i region vest bør innarbeides. Videre bør det også innarbeides vedlikeholdsrutiner for prøveutstyret. Det anbefales at rutinene utarbeides fra sentralt hold slik at alle regioner kan benytte seg av ledig borekapasitet uavhengig av region.

Emneord: *Siltige jordsedimenter, feltundersøkelser, totalsondering, vingebor, trykksondering med poretrykksmåling, T- bar og stempelprøvetaking*

Kontor: *Vegteknisk seksjon, region vest, Bergen*

Saksbehandler: *Gisli T. Gudjonsson, Anne Birgitte Roe*

/ gisgud

Dato: *05.02.2005*



Statens vegvesen

INNHOLDSFORTEGNELSE.

1. INNLEDNING.....	4
2. LOKALITETSBEKRIVELSE.....	5
3. TEORI.....	6
3. 1. TOTALSONDERING.....	6
3. 2. VINGEBORING.....	6
3. 3. TRYKKSONDERING.....	7
3. 4. T- BAR.....	8
3. 5. PRØVETAKING I LØSMASSER.....	8
4. PROSEDYRER.....	9
4. 1. TOTALSONDERING.....	10
4. 2. VINGEBOR.....	10
4. 3. TRYKKSONDERING.....	10
4. 4. T- BAR.....	11
4. 5. PRØVETAKING I LØSMASSER.....	11
5. RESULTATER.....	12
5. 1. TOTALSONDERING.....	12
5. 2. VINGEBOR.....	12
5. 3. TRYKKSONDERING.....	13
5. 4. T- BAR.....	14
5. 5. PRØVETAKING I LØSMASSER.....	14
6. DISKUSJON.....	14
7. KONKLUSJONER.....	16
8. VIDERE ARBEID.....	17
REFERANSER.....	17
VEDLEGG.....	18

1. INNLEDNING.

Vegteknisk seksjon, region vest, har utført geotekniske feltundersøkelser (in situ målinger) og geotekniske vurderinger for vegprosjekter i en periode på ca. 30 år. Ved prøvetaking i forbindelse med nye veganlegg i region vest de siste årene har det ved flere veganlegget blitt registrert siltige jordsedimenter. Eksempler er bl.a. vegutbygging av E39 Stigedalen i Nordfjordeid, Stedje i Sogn og Fjordane og flere områder i Os kommune.

I Norge har geoteknisk forskning de siste tiårene i "all hovedsak" vært konsentrert om leire og kvikkleire. Det finnes derfor begrenset forskning og kunnskaper om hvilke feltundersøkelsesmetoder og prøvetakingsprosedyrer som gir best grunnlag for parameterbestemmelser for siltige jordsedimenter. Vegteknisk seksjons erfaring med in situ målinger og prøvetaking i siltige jordsedimenter er at det er vanskelig å få tatt opp representativt uforstyrret prøvemateriale for vurdering av styrke- og deformasjonsegenskapene til materialet. Grunnen er at de siltige jordsedimentene som er registrert i region vest som regel er sensitive og bløte. Dette vil ofte føre til tap av prøvemateriale og også gi prøveforstyrrelser. Som en antagelse ved våre vurderinger er det derfor (som regel) blitt brukt de få referansene som eksisterer fra tidligere utførte prosjekter i regionen og de referansene som eksisterer for leirige jordsedimenter.

Som et ledd i kompetansehevingen når det gjelder parameterbestemmelser for siltige jordsedimenter og grunnboringsprosedyrer har Vegteknisk seksjon utført in situ målinger og laboratorieundersøkelser av materialer fra Skeisleira i Os kommune. Prosjektet er gjennomført ved hjelp av tildelte FoU- midler og i samarbeid med University Collage Dublin (UCD), Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) og Vegdirektoratet. Feltundersøkelsene som er utført i forbindelse med prosjektet omfatter totalsonderinger, vingeboringer, trykksonderinger med poretrykkmåling (CPTU), T-bar målinger samt opptak av uforstyrret prøvemateriale ved bruk av forskjellige stempelprøvetakere.

Rapporten presenterer den geologiske historien ved Skeisleira og tidligere utførte grunnundersøkelser i området. I rapporten har man også tatt med en kort beskrivelse av prosedyrene for de utførte feltundersøkelsene og teorigrunlaget som prosedyrene bygger på. Resultatene fra feltundersøkelsene og erfaringene som er gjort ved gjennomføringen er presentert og diskutert i rapporten. Analyser med hensyn på styrke- og deformasjonsegenskapene til materialet, samt sammenligninger av resultatene vil bli presentert i samlerapport for prosjektet.

Forfatterne av rapporten vil rette en spesiell takk til boremannskapene i region vest, Knut Hagberg (Vegdirektoratet), Dr. Mike Long (UCD), Professor Rolf Sandven (NTNU) og Senior Technician George Cosgrave (UCD) for deres verdifulle bidrag. Prosjektet hadde ikke vært gjennomførbart uten iherdig innsats fra bidragsyterne både under oppstart av arbeidene i felten og under analyseundersøkelsene i laboratoriene i Bergen og i Dublin.

Vi vil takke for den støtten vi har fått fra de øvrige ansatte ved vår egen seksjon. El Hadj Nouri (Vegdirektoratet), Jan Jønland (NTNU) og Tom Lunne (NGI) takkes for å ha bistått med veiledning, og bistand ved lån av utstyr.

En spesiell takk rettes også til Gunhild B. Vangsnes (seksjonsleder Vegteknisk seksjon), Nils Magne Slinde (leder av ressursstaben) og Arild O. Eggen (administrasjonstaben) som muliggjorde tildeling av FoU- midler.

Grunneier Arne Skeie takkes for å ha stilt eiendommen sin til rådighet og derved muliggjort gjennomføringen av grunnundersøkelsene.

2. LOKALITETSBEKRIVELSE.

Skeisleira ligger på vestkysten av Norge i Os kommune like ved Bergen, se Figur 1 A. Prøvefeltet har gjennom tidene vært brukt til omfattende geologisk forskning, *Bondevik og Mangerud (2002)*, samt at Vegteknisk seksjon utførte felt- og laboratorieundersøkelser i området i forbindelse med vegutbygging, *Pharo (2001)*.

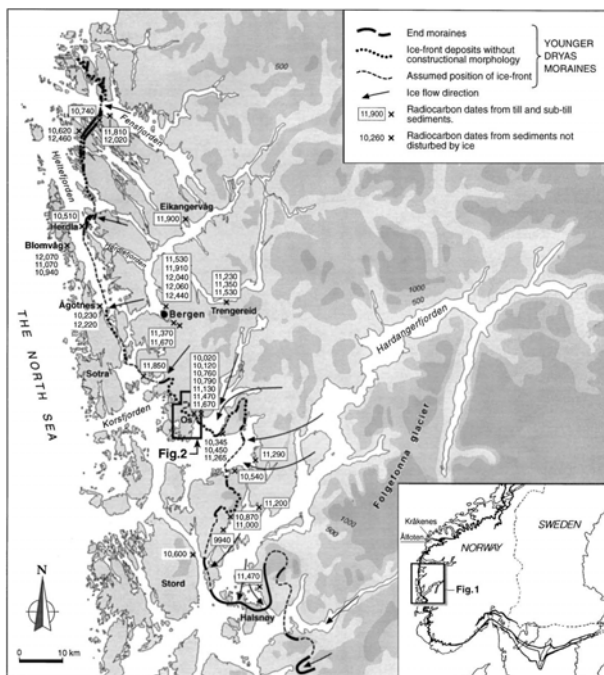
I sørlige Skandinavia ble det i perioden Yngre Dryas dannet endemorener da isbreen var på sitt største, illustrert i Figur 1 A. En palaeogeografisk rekonstruksjon av isbreen ved sitt maksimum viser at et glaciofluvialt delta ble dannet ved Ulvensletta, illustrert i Figur 1 B. Smeltevannet fra isbreen ble drenert gjennom trange daler fra Vaksinen til Grindvoll i området hvor prøvefeltet er lokalisert. Kombinasjonen av topografien i området, sedimentering og smeltevannets

bevegelser gjorde at det ble dannet glaciofluviale, siltige jordsedimenter i områdene Stølsmyra og Grindvoll.

Figur 3 C viser lengdeprofilen av materialfordelingen som ble dannet på grunn av bevegelsen til smeltevannet fra isbreen. Figuren viser også topografien i området.

Jordsmonnet ved prøvefeltet kan deles inn i fire forskjellige materiallag. De forskjellige materiallagene i grunnen består øverst av organisk materiale. Videre nedover er det funnet grus, sand og silt. Nederst i grunnen er det funnet siltig leire med en mektighet på opptil 15 m. Den siltige leiren har en grå blå farge.

Tidligere utførte feltundersøkelser og laboratorieundersøkelser i området beskriver den siltige leiren som bløt og stedvis meget sensitiv.

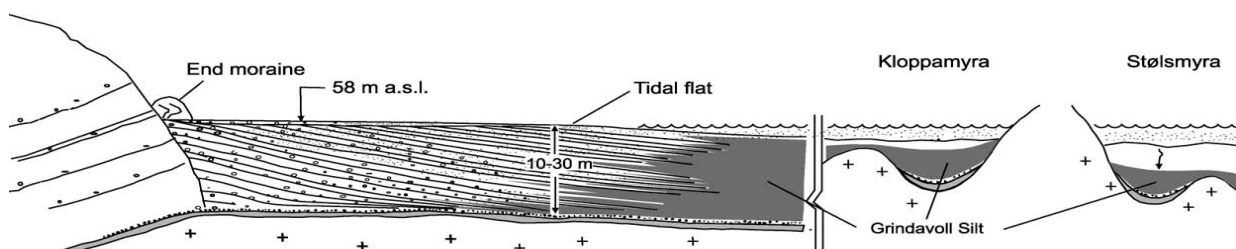


Figur 1 A). Geologisk kart over prøveområde, *Bondevik og Mangerud (2001)*.



Figur 1 B). Palaeogeografisk rekonstruksjon av isbreen, ved sitt maksimum, i Yngre Dryas.

(D) Transition Younger Dryas/Holocene: Tidal strait filled with Grindavoll Silt



Figur 1 C). Lengdeprofil over materialfordelingen fra Ulvensletta til Grindvoll.

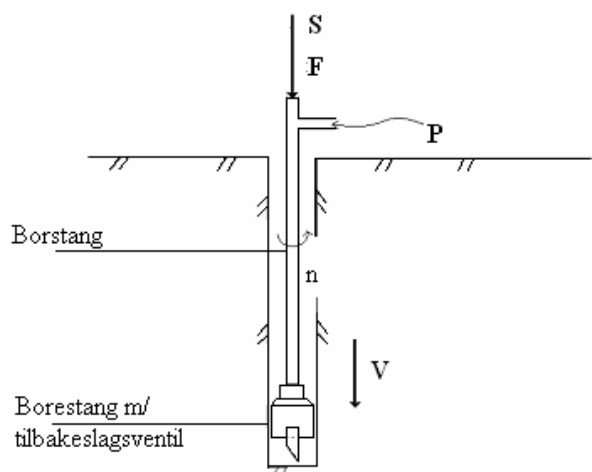
3. TEORI.

Teorigrunnlaget for de utførte feltundersøkelsene er i all hovedsak basert på retningslinjer som er gitt i *Statens vegvesen Håndbok 015 (1997)*. Teorigrunnlaget for de forskjellige metodene er gjengitt i korte trekk nedenfor.

3. 1. TOTALSONDERING.

Totalsondering er en boremetode som kombinerer dreietrykksondering og fjellkontrollboring.

Sonderingsutstyret består i prinsippet av borestenger med diameter på 44 mm og en borekrone med tilbakeslagsventil. Ventilen kan åpnes ved hjelp av spylevann eller ved hjelp av luft mens den lukkes når spyletrykket slås av. Prinsippet for metoden er illustrert i Figur 4. Sonderingsmotstanden er den nedpressingskraften (F) som skal til for å oppnå en gitt nedpressingshastighet, ($v = 3 \pm 0,5$ meter pr. min.) ved en gitt dreiehastighet ($n = 20 \pm 4$ sek. pr. meter).



Figur 4. Prinsipp for totalsondering.

Totalsondering utføres ved hjelp av hydraulisk borerigg utstyrt med hydraulisk slagenhet og med muligheter for vann- eller luftspyling. Sonderingene utføres i utgangspunktet som en dreiesondering, men ved stopp mot harde materialer går en over til fjellkontrollboring der boret penetreres ved en kombinasjon av slag og spyling. På denne måten kan faste lag penetreres, og en oppnår

samtidig relativ sikker bestemmelse av fjelldybde. Sonderingsresultatene gir normalt gode holdepunkter for å tolke grunnforholdene med hensyn på jordart, lagdeling og relativ fasthet.

Spyletrykket (P) kan varieres i området 0 til 30 bar, mens slagfrekvensen (S) kan variere mellom 0 og 3500 slag/min. Rotasjon ved fjellboring kan være inntil 150 rpm. Matekraft, rotasjonshastighet og eventuelt rotasjonsmoment og borsynk registreres med en elektronisk registreringsenhet eller med hydraulisk kraftmåler. Ved fjellkontrollboringen registreres i tillegg spyletrykket og mengde vann, *Sandven (2001)* og *Håndbok 015 (1997)*.

3. 2. VINGEBORING.

Vingeboring brukes til å bestemme udrenert skjærstyrke (s_{uv}) og omrørt skjærstyrke (s_{ur}) in situ av kohesjonsjordarter, i første rekke leire og leirig silt. Vingen består av fire rektangulære plater som står i rett vinkel på hverandre. I prinsippet presses vingen ned i grunnen for deretter å bli dreid med en gitt hastighet. På denne måten måles det maksimale torsjonsmoment.

Under nedpressing til et ønsket nivå er vingen trukket inn i en "vingesko" som er tilknyttet et system av ytterrør. Ved måling av skjærstyrken festes et måleinstrument på toppen av innerstengene. Dette instrumentet benyttes både for manuell påføring og måling av det torsjonsmomentet som belaster vingen ved brudd. Vingeforsøket utføres vanligvis i dybdeintervaller, f.eks. for hver 0,5 eller 1,0 m tilpasset til problemstillingen, grunnforholdene og det aktuelle dybdeområdet.

Under forutsetning av at bruddet finner sted langs den sylinderflaten som omhyller vingen, kan en omregne om torsjonsmomentet til skjærstyrke (s_u i kPa) i jordmaterialet, *Andersen og Bjerrum (1957)*.

Ved å rotere vingen 25 omdreininger, etter at den uforstyrrede skjærstyrken er målt, kan den omrørte skjærstyrken (S_{ur}) bestemmes ved ny måling av torsjonsmomentet.

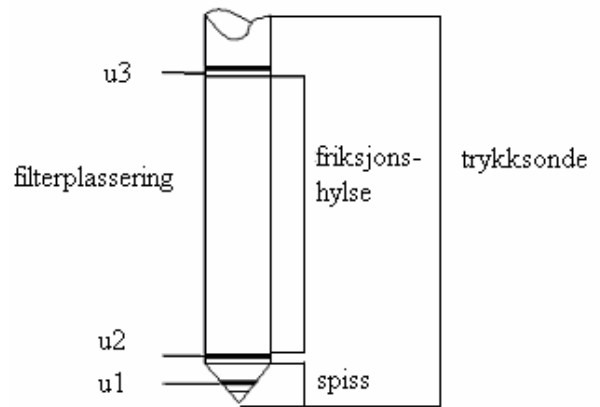
Sedimentets sensitivitet (S_t) finnes ved å dividere in situ skjærstyrke med den omrørte skjærstyrken.

3. 3. TRYKKSONDERING.

Trykksondering (Cone Penetration Test, CPT) som opprinnelig måling av spissmotstand og sidefriksjon har vært kjent i Norge siden først på 1950 tallet. Senere har denne metoden hatt en kontinuerlig utvikling på utstyrsiden, og det har fra 1975 eksistert kommersielt tilgjengelig trykksonderingssutstyr med elektriske målere for samtidig registrering av spissmotstand (q_c) sidefriksjon (f_s) og poretrykk ved nedpressing (u). Metoden benevnes trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) når spissmotstanden, sidefriksjonen og poretrykket registreres samtidig.

I en trykksondering presses et stangsystem, \varnothing 35 mm, med sonde kontinuerlig ned i grunnen, illustrert i Figur 5. Under nedpressingen måles kraften mot den koniske trykksonde og sidefriksjonen mot en friksjonshylse på den sylindriske delen. Den totale kraften som påvirker trykksonden (Q_c) dividert på overflatearealet (A_c) gir spissmotstanden (q_c). Sidefriksjonen bestemmes ved at den totale kraften utført på friksjonshylsen (F_s) divideres på det totale overflatearealet til friksjonshylsen (A_s).

Det finnes i dag mange forskjellige typer trykksonderingsutstyr i bruk der både utrustning og virkemåte kan variere. Trykksondens spissgeometri og størrelse er imidlertid standardisert. Diameteren til trykksonden skal være 35,7 mm som gir et overflateareal på rundt 1000 mm^2 . Trykksonden skal ha en indre diameter på 25,1 mm som gir et indre areal (A_N) på rundt 495 mm^2 . Poretrykket kan måles ved tre forskjellige steder på trykksonden, illustrert i Figur 5. Disse stedene er på den koniske trykksonden (u_1), bak trykksonden (u_2), og bak friksjonshylsen (u_3). Anbefalt plassering av porefilteret er like bak trykksonden, u_2 .



Figur 5. CPTU termologi.

Konvensjonelle hydrauliske borerigger utfører sonderingen med regelmessig taktskifte på stengene. Penetrasjonshastigheten er standardisert til å være 2 cm/sek, og verdier for spissmotstand, friksjon og poretrykk registreres for hver 2 til 2,5 cm.

Nedpressingskapasiteten er avhengig av boreriggen som benyttes. I faste masser må boreriggen ofte forankres for å kunne benytte riggens kapasitet maksimalt.

Resultatene fra trykksondering med poretrykksmåling kan brukes til å bedømme:

- Lagdeling.
- Jordart.
- Jordartens lagringsbetingelser.
- Jordartens mekaniske egenskaper.

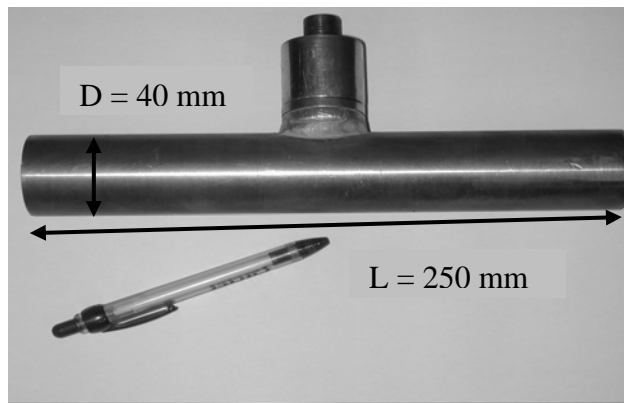
Lunne et al. (1997), Sandven (1990, 2001) samt Håndbok 015 (1997).

3. 4. T- BAR.

Trykksondering med poretrykksmåling ansees generelt i dag som den beste in situ målemetoden til å profilere jordsedimentenes lagdeling, samt for å bestemme jordsedimentenes skjærstryke. Det finnes to potensielle unøyaktigheter ved bruk av trykksondering med poretrykksmåling. Disse er:

- *Arealet hvor spissmotstanden måles er lite og nøyaktigheten til målingene blir derfor relativ dårlig.*
- *Skjærstyrken (S_u) er normalt bestemt ut i fra empiriske relasjoner.*

De siste årene har Centre for Offshore and Foundation Systems (COFS) i Australia, *e.g. Stewart og Randolph (1994) and Randolph et al., (1998, 2000)*, Norges Geotekniske Institutt (NGI), *Lunne (2001)*, og University College Dublin, *e.g. Long og Gudjonsson, (2003)*, utført in situ målinger ved hjelp av et sylindrisk instrument kalt T-bar, illustrert i Figur 6.



Figur 6. T-bar.

Hovedforskjellen på CPTU og T-bar ligger i utformingen av instrumentene. T- bar har en ytre diameter på 40 mm og en lengde på 250 mm. Det indre arealforholdet til T- bar er det samme som for CPTU. Registrering av målt spissstrykk skjer på lik måte for begge instrumentene, forskjellen ligger i at T- bar har et overflateareal som er ti ganger større enn CPTU. Den totale kraften som påvirker T-bar ($Q_{T\text{-bar}}$) dividert på overflatearealet ($A_{T\text{-bar}}$) gir spissmotstanden ($q_{T\text{-bar}}$). Sidefriksjonen

bestemmes ved at den totale kraften utført på friksjonshylsen ($F_{s,T\text{-bar}}$) divideres på det totale overflatearealet til friksjonshylsen ($A_{s,T\text{-bar}}$).

I tilfelle det er ønskelig å registrere poretrykket er det anbefalt at registreringen skjer like bak trykksonden (u_2), *Steward and Randolph (1994)*.

Omrørt, udrenert skjærstyrke (S_{ur}) kan tolkes hvis det utføres syklisk penetrasjon. T-bar instrumentet er da trykket ned til ett bestemt dybdeintervall, og deretter trukket opp igjen 0,5 m, for deretter å trykke instrumentet ned igjen 0,5 m. Syklusen gjentas 6 ganger ved den aktuelle dybden. Degraderingsfaktoren til hver syklus er beregnet ved å dividere den registrerte gjennomsnittlige (absolutte) trykkmotstanden med den initiale registrerte trykkmotstanden.

3. 5. PRØVETAKING I LØSMASSER.

For å bestemme massenes mekaniske egenskaper må det forutsettes uforstyrrede prøver som representerer materialets styrke- og deformasjonsegenskaper in situ. Tradisjonelt har en stempelprøvetaker vært benyttet ved fortrenningsboring for opptak av uforstyrrede prøver her til lands, illustrert i Figur 7. Vanlig diameter på stempelprøvetakeren er 54 mm, men det benyttes også større prøvetakere, f.eks. 76, 95 og 120 mm.



Figur 7. 54 mm stempelprøvetaker.

Stempelprøvetakere med diameter 76, 95 og 120 mm brukes hovedsakelig i bløte og sensitive leirer. I dag benyttes det hovedsakelig stempelprøvetakere med plastsylinder,

mens sylindere av rustfritt stål benyttes i mindre grad. Denne prøvetakeren har en sylinder av glassfiberarmert epoxy og et ytterør av stål med utskiftbar egg. Ved prøvetaking av uforstyrrede prøver benyttes en slank egg med eggvinkel på 9° (plastsylinder) og 5° (stålsylinder). Stempelprøvetakerens lengde er vanligvis 80 cm.

Det stilles krav til stempelprøvetakerens utforming for å oppnå ønsket prøve kvalitet. Disse er:

- *Dimensjonen til prøvesylinderen. Tverrsnittet skal være sirkulært og forskjellen mellom største og minste innvendige diameter skal være mindre enn 0,3 mm. Lengden (L) til prøvesylinderen skal være større en 5 til 10 ganger indre diameter.*
- *Tverrsnittsforskytning med krav til veggtykkelse. Tverrsnittsforskytning skal være minst mulig, men skal samtidig tilpasses kravet til tilstrekkelig styrke i sylinderen.*
- *Indre klaring skal være stor nok til å sikre en viss svelling av prøven, slik at prøvematerialet får plass mot sylinderveggen.*
- *Ytre klaring anbefales inntil 3%. En ytre klaring vil kunne redusere friksjon mellom prøvetaker og jord.*
- *Eggvinkel. Skjæreggen skal være skarp og uskade, og eggvinkelen skal være så liten som praktisk mulig. Denne spesifiseres i sammenheng med kravet til tverrsnittsforskytning, NGF (1997).*

Antall prøver, type prøvetaking og ønsket prøve kvalitet bestemmes ut fra det aktuelle geotekniske problem og den informasjon om geologi og grunnforhold som er tilgjengelig. I de fleste tilfeller anbefales det å utføre enkel sondering i forkant av prøvetaking for å grovkartlegge grunnforholdene, NGF (1982) og Håndbok 015 (1997).

4. PROSEDYRER.

In situ målinger og prøvetaking ble utført av grunnboringslagene til Vegteknisk seksjon i samarbeid med Vegdirektoratet i uke 39 (2004). Følgende in situ målinger og prøvetakinger ble utført:

- 4 stk. totalsonderinger.
- 2 stk. vingeboringer.
- 4 stk. trykksonderinger med poretrykkmåling, CPTU.
- Opptak av uforstyrret prøvemateriale med 54 mm plast sylindrer (6 stk.), 54 mm rustfrie stålsylindrer (6 stk.) og 76 mm stålsylindrer (6 stk.).
- 2 stk. T-bar målinger.

Feltundersøkelsene ble utført med GTB 150 borerigg (Rogaland) og Geotech 710 borerigg (Hordaland). Plassering av utførte in situ målinger og prøvehull kan ses i vedlegg 1.



Figur 8. Grunnboringslagene i aktivitet.

Feltundersøkelsesprosedyrene er i all hovedsak basert på de retningslinjene som er gitt i *Statens vegvesen Håndbok 015 (1997)*. Enkelte prosedyrer er fra *Norsok Standard (2004)*, samt boremannskapets erfaring om prøvetaking i slike materialer ble brukt. Knut Hagberg (Vegdirektoratet) veiledet boremannskapet under alle de utførte forsøkene.

Feltundersøkelsesprosedyrene for de forskjellige metodene er gjengitt i korte trekk nedenfor.

4. 1. TOTALSONDERING.

Det ble utført fire totalsonderinger, to stk. med hver borerigg. Borehull 1 og 2 ble utført med borerigg fra Rogaland og borehull 10 og 11 med Hordalandsrigger. Boreriggene ble plassert over aktuelle borepunkter og bortårnene ble plassert i loddrett stilling. Det ble brukt ny borkrone med tilbakeslagsventil under alle forsøkene. Det ble ikke benyttet forankringsskruer under forsøkene og det er ikke utført fjellkontrollboringer i de utførte sonderingene. Før sonderingene startet ble registreringsutstyret kontrollert og nullverdier avlest. Sonderingene ble utført med normerte hastigheter og dreining startet umiddelbart før nedpressingen startet. Dette gjaldt for hvert nytt tak med borhodet. For videre beskrivelse av prosedyren henvises det til *Håndbok 015 (1997), kapittel 15.213*.

4. 2. VINGEBOR.

Det ble utført to forsøksserier med vingebor. Under forsøkene ble det brukt H 10 vingebor med stor vinge (65 x 130 mm). Boreriggen fra Hordaland ble benyttet for å utføre forsøkene med innerstenger på 16 mm og 36 mm ytterrør. Vingeborinstrumentet var sist kalibrert i 2001.

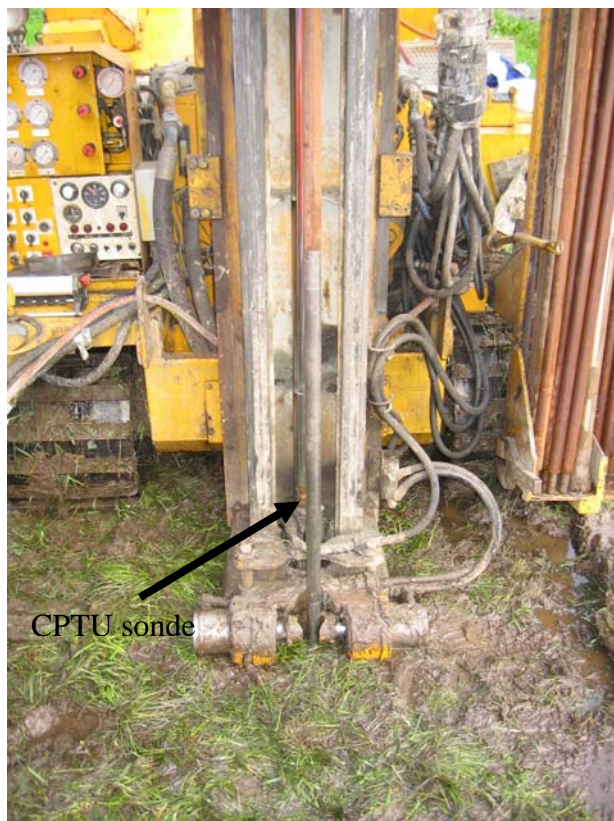
Den ene prøveserien ble utført i forhold til prosedyre i *Håndbok 015 (1997)*, mens det ble brukt håndmakt istedenfor momentnøkkel i den andre prøveserien. Første forsøksdybde for begge prøveseriene ble bestemt til å være 4,5 m, og intervallet mellom forsøksdybdene 1,0 m ned til 9,5 m.

Uomrørt skjærstyrke ble målt først. Vingen ble dreid til et brudd ved en rotasjonshastighet lik 0,2 grader/sek., dvs. 12 grader /min. Dette tilsvarer ca. 2 omdreininger av sveiva pr. sekund. Det største momentet avleses av slepeviseren på instrumentet og noteres på borekort som uomrørt avlesing (standardisert borekort). Omrørt skjærstyrke ble målt etter at vingen ble dreiet for hånd ca. 25 omdreininger. En ny avlesning ble tatt

etter at vingen ble dreiet ca. 90°. Minste verdi som ble funnet ble ført opp som omrørt avlesning. Hastigheten på sveiva var den samme som for avlesning av uomrørt skjærstyrke. Videre beskrivelse av prosedyren finnes i *Håndbok 015 (1997), kapittel 15.221*.

4. 3. TRYKKSONDERING.

Det ble utført fire trykksonderinger med poretrykksmålinger, to med hver sonde på prøvefeltet illustrert i Figur 9. Det ble brukt to typer trykksonder, henholdsvis ENVI Memocone fra Geonor og Geotech sonde. Memoconen har en dataenhet og en batterienhet for datalagring i selve sonden. Måledataene spilles over til Geoprinter etter opptrekk av sonden. Denne hadde en skade på friksjonshylsen. Geotech sonden har en senderenhet som overfører måledataene akustisk gjennom stengene til en mottakerenhet kalt Geologg.



Figur 9. CPTU forsøk.

Sondene har en standard dimensjon med diameter på 35,7 mm og overflateareal på 10

cm². Filteret for poretrykksmålingene er plassert ved u₂ posisjon. Spaltefiltrerene som ble benyttet ble mettet med Gelatin. Sondene ble presset ned i jordsedimentene med en konstant penetrasjonshastighet på 2 cm/s og målte verdier ble registrert for hver 0,01 m.

Dataene ble korrigert og tolket som anbefalt av *Lunne et al. (1997)*. Videre beskrivelse av prosedyren er beskrevet i *Håndbok 015 (1997), kapittel 15.222 og 15.223*.

4. 4. T- BAR.

To forsøk ble utført med boreriggen fra Hordaland. Den koniske trykksonden ble fjernet og T- baren ble festet på samme sted, som illustrert i Figur 5 og 6. Instrumentet som ble benyttet var lånt av NGI. Før forsøkene ble utført ble det forboret ned til dybde på 3,9 m. Spissmotstanden ble registrert mellom 4,0 og 10,0 m. Det ble ikke utført forsøk for å bestemme omrørt udrenert skjærstyrke. Videre ble det ikke utført poretrykksmålinger. Anbefalt prosedyre er den samme som for CPTU. Hele beskrivelsen av prosedyren kan finnes i *Norsok Standard (2004)*.

4. 5. PRØVETAKING I LØSMASSER.

Alle benyttede stempelprøvetakere ble demontert før bruk og alle pakninger samt kuttiskoene ble sjekket. Sylindrene som ble benyttet ble også undersøkt for eventuelle skader på egg og overflate.

For å hindre at stempelet beveget seg under utløsning ved prøveskjæring ble det benyttet en "galge" på boreriggen fra Rogaland. På Hordalandsriggen ble det benyttet en wire.

Prøveskjæringen ble utført under konstant jevn bevegelse. Generelt var prøveskjæringshastigheten på ca. 2 til 3 cm/sekunder. Vanligvis ble det benyttet en hviletid på 10-15 min før opptrekk av prøven. Hviletiden ble utvidet til 30 minutter ved opptak av 76 mm stempelprøvetaker på grunn av prøvetap.

Grunnet prøvetap (prøve nr. 2 med 76 mm prøvetaker) ble det benyttet en tynn

vannslange som ble ført helt ned mot skjæregget. Enden av slangen ble tettet igjen med en treplugg før den ble satt ned. Slangen ble deretter åpnet ved hjelp av boreriggens vannpumpe. Etter at proppen var presset ut ble enden av slangen på overflaten lagt i en bønne med vann. Under opptrekk ordnet etterfyllingen seg selv av undertrykket som oppsto da prøven ble trukket opp.

Opptrekk av prøvetakerne skjedde langsomt uten rykk, slag eller vibrasjoner. Overtrykket mellom stempel og toppen av prøven ble sluppet ut før prøvetakeren med stålsylinder ble demontert.

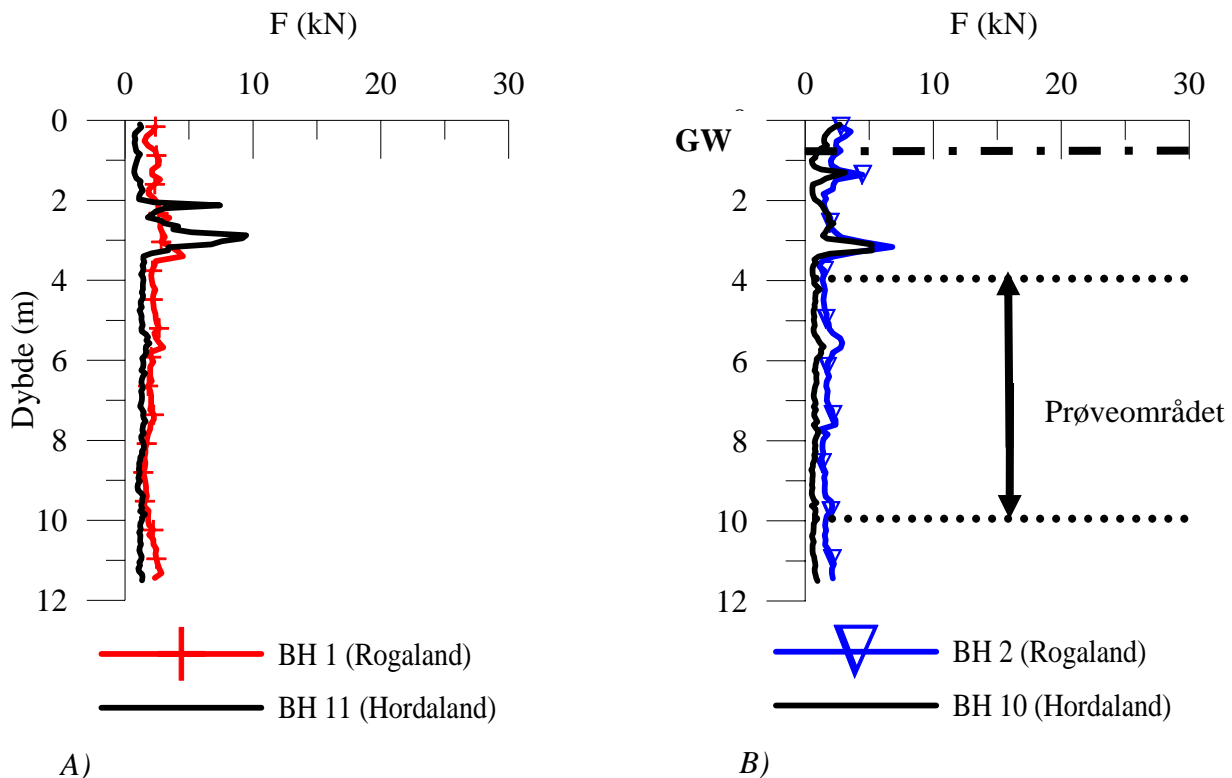
Prøvesylindrene ble plassert i spesialbygde støtdempende transportkasser for transport. Videre beskrivelse av prosedyrene er å finne i *Håndbok 015 (1997), kapittel 15.231 og 15.232*.



Figur 10. Opptak av uforstyrret prøvemateriale.

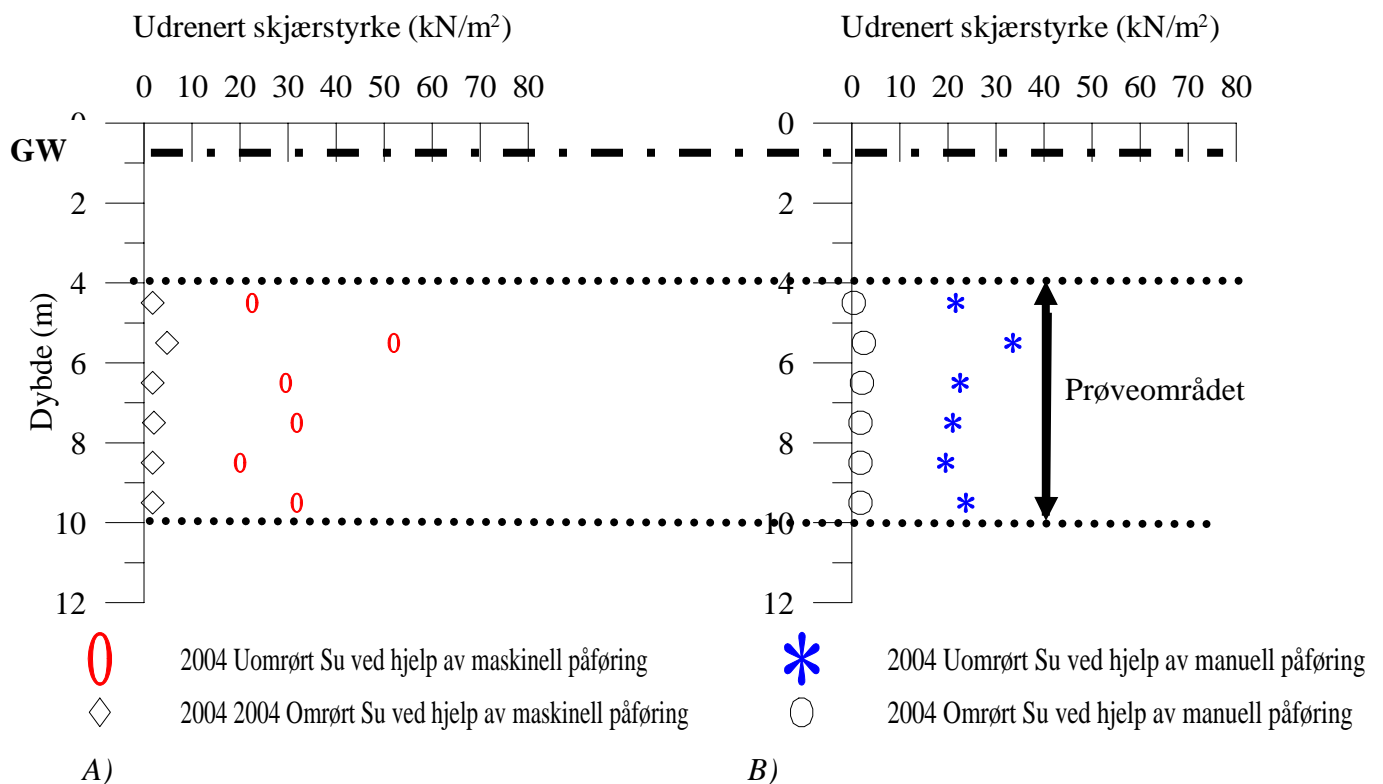
5. RESULTATER.

5. 1. TOTALSONDERING.



A) Figur 11. Resultater fra utførte totalsonderinger.

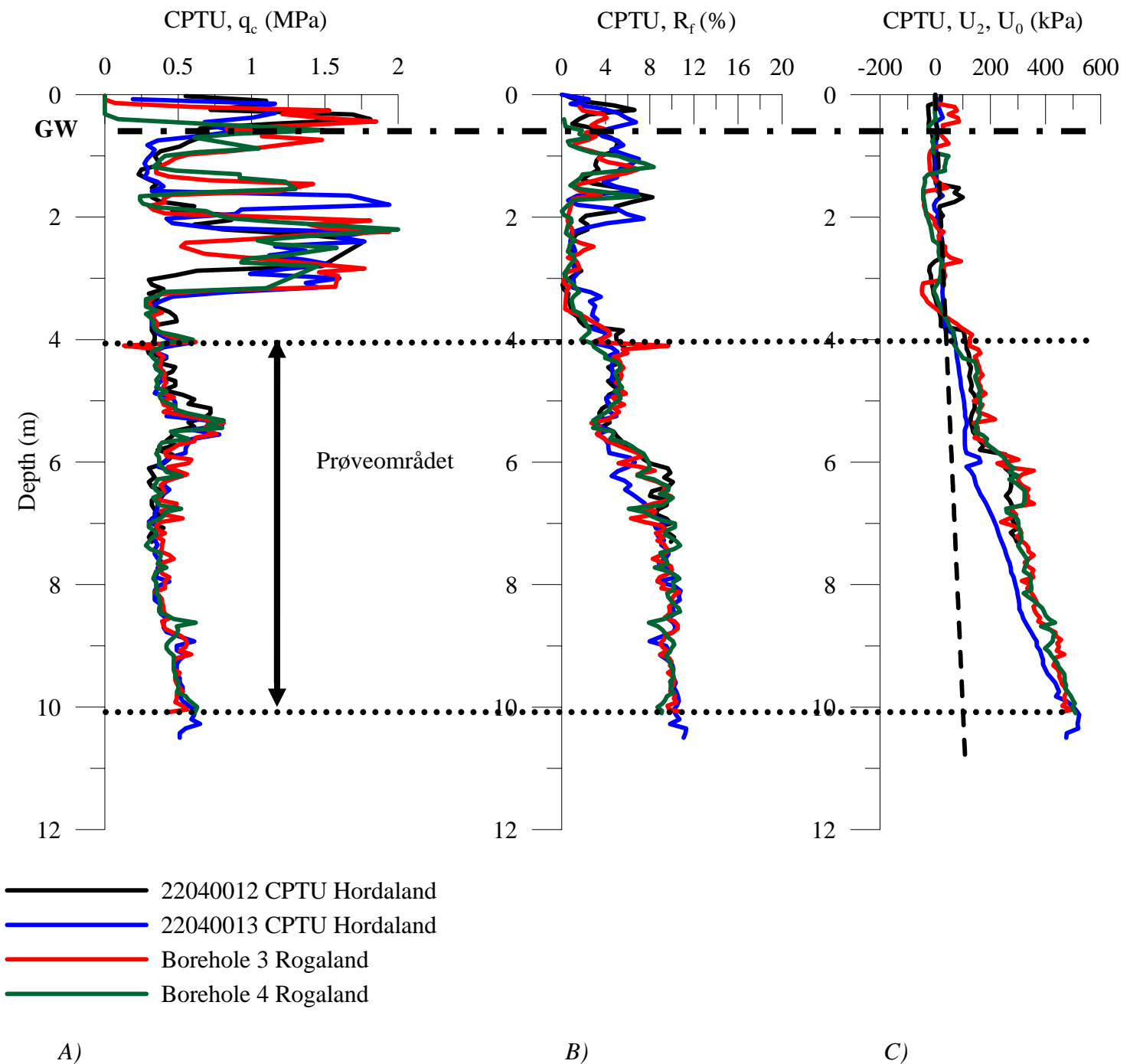
5. 2. VINGEBOR.



A) Figur 12. Resultater fra utførte vingeboringer.

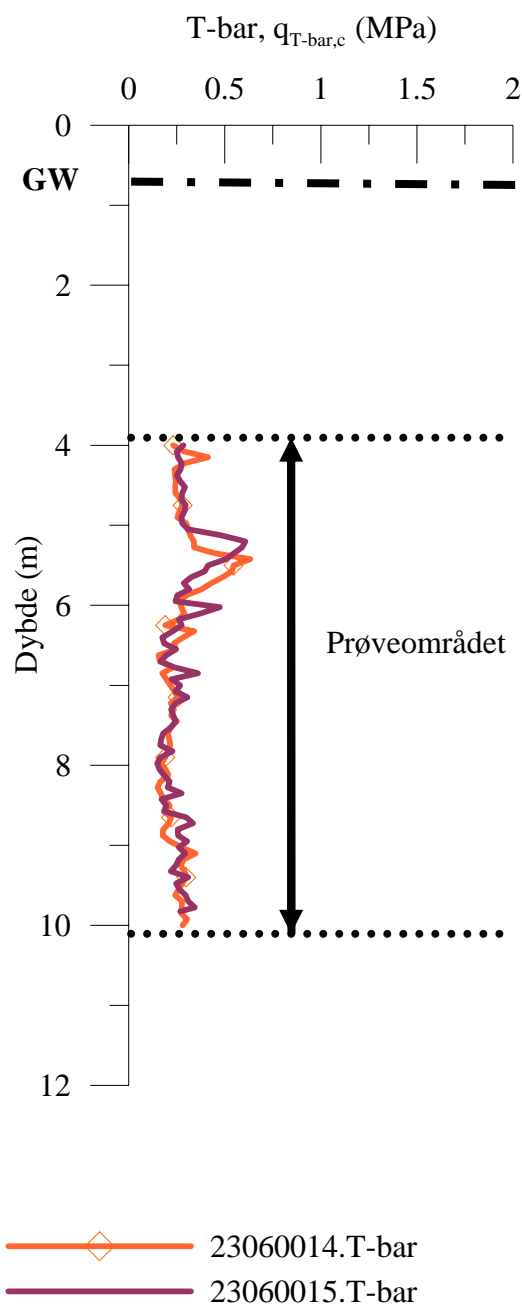
5. 3. TRYKKSONDERING.

Figur 13 A viser målt spissmotstand fra utførte CPTU (q_c) målinger. Figur B illustrerer målt friksjon (R_f), og figur C viser målt poretrykk (u_2) samt antatt hydrostatisk vanntrykk (u_0).



Figur 13. Resultater CPTU.

5. 4. T- BAR.



Figur 14. Resultater T-bar.

5. 5. PRØVETAKING I LØSMASSER.

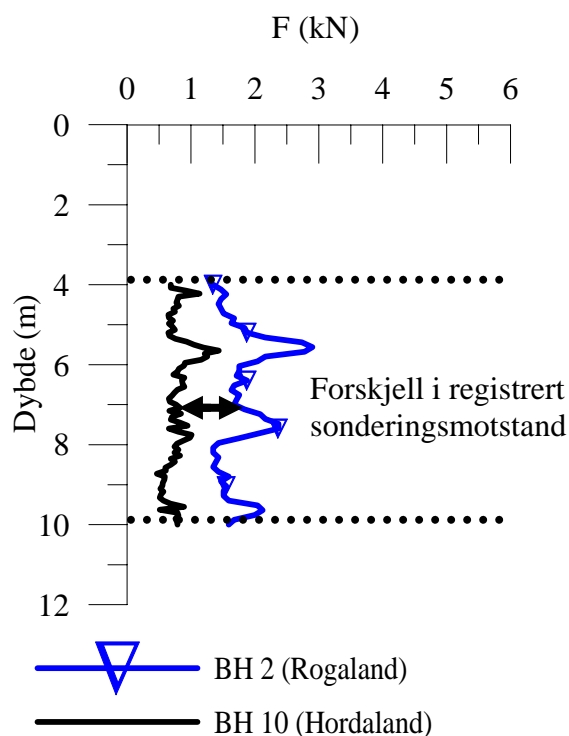
Kommentarer skrevet av boremannskapene for hver av de opptatte prøvesylindrene kan finnes i vedlegg 4.

6. DISKUSJON.

Utførte totalsonderinger viser at den registrerte sonderingsmotstanden mellom 0 og ca. 3,5 m varierer mellom 0,5 og 10 kN, illustrert i Figur 11 A og B. Sonderingsmotstanden for de øverste 3,5 meterne indikerer at jordsmonnet består av tre forskjellige jordmaterialer. Materialet klassifiseres som løst til middels fast lagret mellom 0 og ca. 3,5 m. Fra ca. 3,5 m og til henholdsvis ca. 11,5 m, og ca. 14,5 m varierer sonderingsmotstanden mellom 0,7 og 3,0 kN. Materialet klassifiseres som løst lagret.

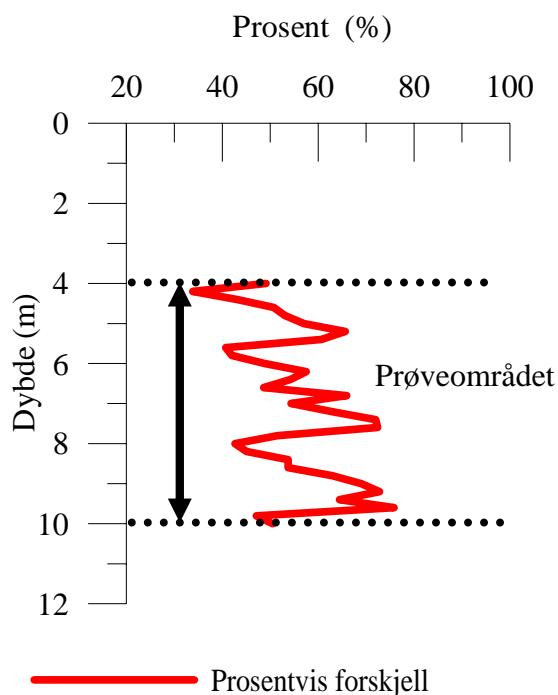
Mellom ca. 5,0 og 6,0 m er det registrert en økning i sonderingsmotstanden i forhold til den øvrige registrerte motstanden. Økning i registrert sonderingsmotstand antas å skyldes at materialet har en tettere kornstruktur, det vil si har en mer velgradert kornstruktur. Økning i sonderingsmotstand for Rogalandsriggen ved dybde 2,0 og 3,0 m registreres ikke i like stor grad som ved bruk av Hordalandsriggen, borehull 1 og 11, illustrert i Figur 11 A.

Når sonderingsmotstanden sammenlignes for henholdsvis borehull 2 og 10, Figur 11 B dybde 4,0 til 10,0 m, illustrert i Figur 15 er forskjellen i registrert motstand i gjennomsnitt på ca. 1,0 kN.



Figur 15. Sammenligning av sonderingsmotstand.

Som illustrert i Figur 16 er prosentforskjellen i registrert sonderingsmotstand ca. 45 % i gjennomsnitt for de to boreriggene. Dette indikerer at riggens kraftsensorer bør kalibreres.

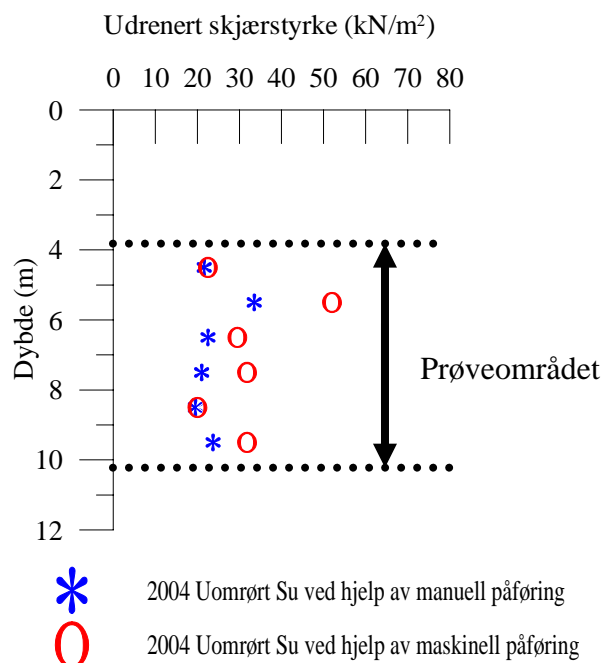


Figur 16. Forskjell, i prosent, i registrert sonderingsmotstand.

Vingeborresultatene som er illustrert i Figur 12 viser at den uomrørte skjærstyrken varierer mellom 20 og 52 kPa. Omrørt skjærstyrke varierer mellom 0,4 og 4,8 kPa. Materialet klassifiseres som middels sensitivt, unntatt ved dybde 4,5 m der materialet er meget sensitivt (manuelt utført), *NGF (1982)*.

Forsøkene som er gjort i henhold beskrevet prosedyre gir noe høyere uomrørt og omrørt udrenert skjærstyrke enn forsøkene utført manuelt, illustrert i Figur 17.

Vingeborresultatene viser en økning i skjærstyrken mellom ca. 5,0 og 6,0 m.



Figur 17. Sammenligning av udrenert skjærstyrke.

Registrert trykksonderingsmotstand for de øverste 3,5 m antyder, som utførte totalsonderinger, at jordmonnet øverst består av tre typer jordmaterialer, illustrert i Figur 13 A. Spissmotstanden mellom 3,5 og 10,0 m er tilnærmet lik for de utførte trykksonderingene. Mellom 3,5 og ca. 10,5 m varierer spissmotstanden mellom 0,3 og 0,8 MPa. Registrert spissmotstand mellom ca. 5,0 og 6,0 m øker fra ca. 0,3 til 0,8 MPa før den igjen reduseres til ca. 0,3 MPa. Materialet klassifiseres ut ifra registrert spissmotstand som bløtt mellom 3,5 og ca. 10,5 m.

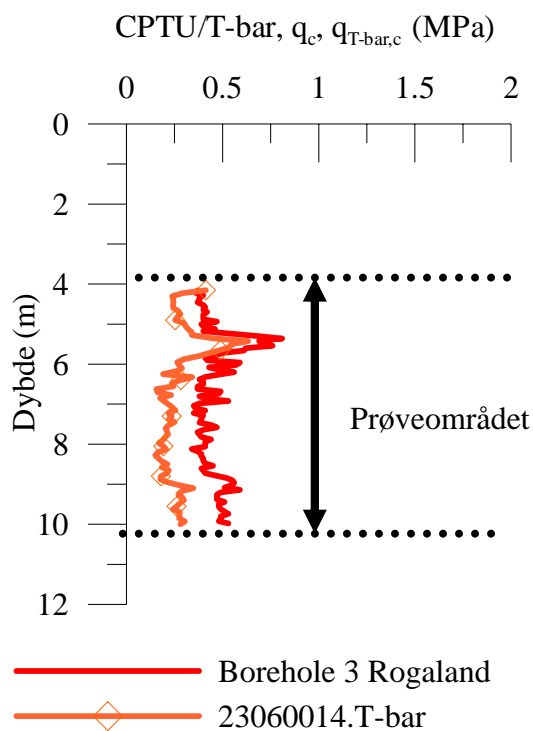
Friksjonen (R_f) er illustrert i Figur 13 B og varierer mellom ca. 4 og 10 %. Poretrykket som er illustrert i Figur 13 C ligger mellom 30 og 500 kN.

Registrert poretrykk med trykksonden 22040013 CPTU (Hordaland) antyder ikke samme oppførsel som de øvrige poretrykksregistreringene i området mellom 3,5 og 10,0 m. Poretrykksøkningen antyder, i motsetningen til de øvrige registreringene, en "flat" økning i poretrykket samt at det er registrert lavere poretrykk i dette området, illustrert i Figur 13 C. Dette antas å skyldes at metningen av poretrykks kammeret ikke var tilfredsstillende.

Registrert trykkmotstand fra utførte T-bar målinger mellom 4,0 og 10,0 m viser at trykkmotstanden varierer mellom ca. 0,2 og 0,6 MPa, illustrert i Figur 14. De utførte målingene er like i registrert trykkmotstand. Registrert motstand har en økning i motstand i området mellom ca. 5,0 og 6,0 m.

Det finnes ikke et klassifiseringssystem for T-bar, men det er naturlig å anta at materialet bør klassifiseres som bløtt.

Registrert trykkmotstand er omtrent halvparten av den registrerte trykkmotstanden med CPTU, illustrert i Figur 18. Denne observasjonen ble også registrert i forsøk som ble utført i Irland med leirmateriale, *Long og Gudjonsson (2003)*.



Figur 18. Sammenligning av spissmotstand CPTU og T-bar.

I påvente av resultatene fra de utførte laboratorieundersøkelsene er det vanskelig å uttale seg om prøvekvaliteten til det opptatte uforstyrrede prøvematerialet.

Generelt erfarte vi ved bruk av de forskjellige prøvetakerne at fiksering av stemplets posisjon ved bruk av ”galge” reduserte faren for kompresjon av prøven under prøvetaking.

Videre ble ventetiden og fylling av vann i prøvehullet før opptrekk av prøvematerialet en avgjørende faktor for å få opp de 76 mm prøvene.

Generelt erfarte vi at vedlikeholdet av samtlige stempelprøvetakere, både egne og lånte, kunne vært bedre. Det viste seg at alle stempelprøvetakerne hadde slitte pakninger og låseskruer. Slitte pakninger og låseskruer ble byttet ut før prøvetaking ble gjennomført.

7. KONKLUSJONER.

1. Totalsonderingene, T-bar og trykksonderingene antyder at materialet mellom 4,0 og 10,0 m er løst lagret og bløtt.
2. Det antas at materialet mellom ca. 5,0 og 6,0 m har en tettere kornstruktur enn det øvrige materialet mellom 4,0 og 10,0 m.
3. Vingeboringsresultatene viser at materialet som ligger i en dybde på 4,0 til 10,0 meter i all hovedsak er middels sensitivt.
4. Utførte vingeborforsøk antyder at det oppnås høyere omrørt og uomrørt skjærstyrke når man følger beskrevet prosedyre for vingeboring.
5. Spissmotstanden fra utførte trykksonderinger er tilnærmet lik. Det samme gjelder registrert trykkmotstand fra utførte T-bar målinger.
6. Registrert trykkmotstand med T-bar for materialet mellom 4,0 meters dybde og nedover i profilet er omtrent halvparten av den registrerte trykkmotstanden med CPTU.
7. Det anbefales at det innarbeides rutiner for kalibrering av totalsonderingsutstyret i region vest. Rutiner bør utarbeides fra sentralt hold slik at alle regioner kan benytte seg av ledig borekapasitet uavhengig av region.
8. Bruk av ”galge” antas å reduserer faren for kompresjon av prøvematerialet.
9. Vedlikehold av prøveutstyr er viktig for å oppnå riktige resultater.

8. VIDERE ARBEID.

Rapporten beskriver kun resultatene og observasjonene som ble gjort i felt. Resultatene og observasjonene fra feltundersøkelsene vil bli benyttet til å tolke og forstå resultatene av de planlagte laboratorieanalysene. Vegteknisk seksjon har i samarbeid med UCD og NTNU satt opp følgende laboratorieprogram på opptatt uforstyrret prøvemateriale.

Rutineundersøkelser:

- *Utpressing av prøvemateriale med visuelle beskrivelser og vurdering av prøvematerialet.*
- *Måling av materialets densitet og korndensitet.*
- *Saltinnhold.*
- *Vanninnhold.*
- *Innhold av organisk materiale.*
- *Konsistensgrenser.*
- *Kornfordeling.*
- *Konusforsøk.*
- *Enaksielt trykkforsøk.*

Avanserte laboratorieundersøkelser:

- *Treksialtester (anisotropiske udrenerte treksialforsøk (CAUC)).*
- *Ødometertester (trinnavis og kontinuerlig).*

Når resultatene fra laboratorieundersøkelsene foreligger vil det forhåpentligvis eksistere et bedre grunnlag for å uttale seg om hvilke(n) prøvetakingsmetode(r) som gir best grunnlag til å oppnå riktig prøve kvalitet. Videre er det håp om at sammenligning av de utførte laboratorieundersøkelsene og feltundersøkelsene som er utført i 2001 og 2004 vil gi oss et bedre grunnlag for å uttale oss om materialets styrke- og deformasjonsegenskaper.

Vegteknisk seksjon har i samarbeid med UCD søkt om midler fra International Collaboration Programme 2005 for å utvide programmet for feltundersøkelser ved Skeisleira. Det er ønskelig, hvis midlene blir tildelt, å bruke disse midlene så langt de strekker seg til å utføre geofysiske undersøkelser. Dette for å undersøke materialets skjærmodul (G_{max}) og til å ta opp

uforstyrret kvalitetsprøvemateriale ved hjelp av blokkprøvetaker.

Vegteknisk seksjon kan i fremtiden tenke seg å kjøre et forskningsprosjekt for å studere om bruk av ”galge” gir bedre prøve kvalitet enn uten.

Videre hadde det vært av interesse å se på effekten ved å bruke vann i prøvehullet ved optrekk av prøvemateriale. Normal prosedyre her til lands er uten vann, mens i England og Irland brukes det vann i prøvehullet, BS1377 (1990).

REFERANSER.

- Andersen og Bjerrum, (1957): Vane testing in Norway, Norges Geotekniske Institutt, publikasjon nr. 28.
- Bondevik, S., Mangerud, J., (2001): A calander age estimate of a very late Younger Dryas ice sheet maximum in western Norway. Quaternary Science Reaviews 21 (2002) 1661 – 1676.
- BS1377 (1990): Methods of test for soils for civil engineering purposes, Parts 1 to 9, British Standard Institute.
- Håndbok 015. (1997): Feltundersøkelser. Retningslinjer. Statens vegvesen håndbokserie. Trykkpartner AS. ISBN 82-7207-439-7.
- Long, M and Gudjonsson, G., (2004). “T-bar testing in Irish soft soils”. Proc 2nd. Int. Conf on Geotechnical Site Characterisation, ISC’2, Porto, September, Vol. 1, pp 719 – 726. Published by MillPress. ISBN 90 5966 009 9.
- Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.M., (1997): Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic and Professional.
- Lunne, T., (2001): In situ testing in offshore geoinvestigations. Proc. In situ 2001, Bali, Lunne and Rahardjo (eds.): 61-81.
- Norsk Geoteknisk Forening (NGF) (1982). Melding nr. 2 Veiledning for sympoler og definisjoner i geoteknikk. Presentasjon av geotekniske undersøkelser
- Norsk Geoteknisk Forening (NGF) (1997). Melding nr. 11. Veiledning for utførelse av prøvetaking.
- Norsok Standard (2004): Marine soil investigations. Standards Norway. G-001. Rev. 2, October 2004.
- Randolph, M.F., Hefer, P.A., Geise, J.M. and Watson, P.G., (1998): Improved seabed strength profiling using T-bar penetrometer. Proc. Int. Conf. Offshore Site Investigation and Foundation Behaviour, SUT, London: 221 – 236.

- Randolph, M.F., Martin, C.M. and Hu, Y., (2000):
Limiting resistance of a spherical penetrometer
in cohesive material. *Geotechnique*, 50, No. 5:
573 - 582.
- Sandven, R., (1990): Strength and deformation
parameters from cone penetration tests. Ph.D.
thesis, Norwegian Institute of Technology,
Trondheim, Department of Civil Engineering,
Doktor Ingeniøravhandling 1990:3.
- Sandven, R., (2001): Geotekniske material egenskaper.
Kompendium. Geotechnical department in
Trondheim.
- Stewart, D. P. and Randolph, M., F., (1994): T-bar
penetration testing in soft clay. *ASCE*, 120(12):
2230-2235.
- Pharo, K., (2001): Skeisleira, Sagbakken – Skeie OS.
Geoteknisk rapport nr. 010408-01.

VEDLEGG.

- Vedlegg 1. Boreplan. Boringer utført samt tidligere
utførte boringer. Målestokk 1:1000.*
- Vedlegg 2. Resultater fra utførte totalsonderinger.*
- Vedlegg 3. Resultater fra utførte trykksonderinger.*
- Vedlegg 4. Kommentarer opptatte prøvesylindrer.*

Type prøvesylinder: 54 mm plasticsylinder (Rogaland).

Prøve- dybde	Sylinder- nr.	Merknad
(m)	(-)	(-)
4,0 – 4,8	L-27	Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt siltig leire
5,0 – 5,8	L-16	Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt siltig leire
6,0 – 6,8	L-26	Mulig komprimering av prøve. Antatt siltig leire
7,0 – 7,8	L-19	Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt siltig leire
8,0 – 8,8	L-9	Forstyrret prøve, mangler 20 cm. Materiale erstattet med forstyrret materiale. Antatt siltig leire
9,0 – 9,8	R-27	Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt siltig leire
8,0 – 8,8	L-6	Prøve tatt på nytt pga tidligere forstyrret prøve på dette dybde intervallet, Ok. Antatt siltig leire

Vedlegg 4. Kommentarer 54 mm plasticsylinder.

Type prøvesylinder: 54 mm stålsylinder (Hordaland).

Prøve- dybde	Sylinder- nr.	Merknad
(m)	(-)	(-)
4,0 – 4,8	L-17	Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt siltig leire
5,0 – 5,8	L-23	Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt siltig leire
6,0 – 6,8	L-18	Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt siltig leire
7,0 – 7,8	L-20	Mulig forstyrret prøve. Antatt siltig leire
8,0 – 8,8	R-49	Mulig komprimering av prøve. Antatt siltig leire
9,0 – 9,8	R-27	Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt siltig leire

Vedlegg 4. Kommentarer 54 mm stålsylinder.

Type prøvesylinder: 74 mm stålsylinder. (Rogaland).

Prøve- dybde	Sylinder- nr.	Merknad
(m)	(-)	(-)
4,0 – 4,8	1	<i>Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende. Antatt organisk materiale øverst, antatt sandig silt nederst.</i>
5,0 – 5,8		<i>Prøve mistet</i>
6,0 – 6,8	2	<i>Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende, med slange og vannfylling i prøve- hullet. Antatt siltig leire.</i>
7,0 – 7,8	3	<i>Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende, med slange og vannfylling i prøve- hullet. Antatt siltig leire.</i>
8,0 – 8,8	4	<i>Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende, med slange og vannfylling i prøve- hullet. Antatt siltig leire.</i>
9,0 – 9,8	5	<i>Opptak av prøvematerialet antas tilfredsstillende, med slange og vannfylling i prøve- hullet. Antatt siltig leire.</i>
5,0 – 5,8	6	<i>Prøve tatt på nytt pga tidligere mistet prøve på dette dybdeintervallet. Ok, med slange og vann- fylling i prøvehullet. Antatt siltig leire</i>

Vedlegg 4. Kommentarer 54 mm plasticsylinder.