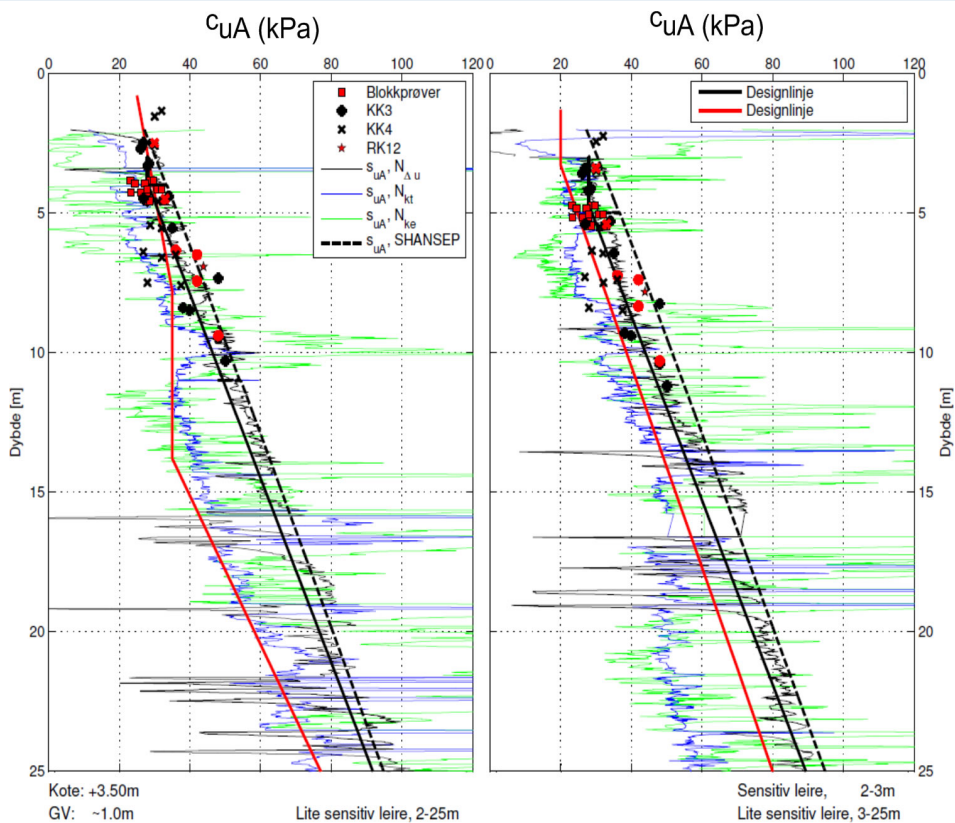




Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire Valg av karakteristisk c_{uA} – profil basert på felt – og laboratorieundersøkelser

77
2014



R
A
P
P
O
R
T

Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire

Valg av karakteristisk c_{uA} – profil basert på felt – og laboratorieundersøkelser

Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket

2014

Rapport nr. 77/2014

Valg av karakteristisk c_{uA} – profil basert på felt – og laboratorieundersøkelser

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket

Utarbeidet av arbeidskomiteen:

Frode Oset, Statens vegvesen Vegdirektoratet

Margareta Viklund, Jernbaneverket

Odd Arne Fauskerud, Multiconsult

Stein Christensen, SINTEF

Steinar Nordal, NTNU

Stein-Are Strand, Norges vassdrags- og energidirektorat

Vidar Gjelsvik, NGI

Vikas Thakur, Statens vegvesen Vegdirektoratet

Dato: 19.05.2015

Opplag: P.O.D.

ISBN: 978–82–410–1028–6

Avrop:

I det geotekniske fagmiljøet er det stor enighet om at valg av karakteristisk skjærfasthet c_{uA} er meget viktig og spiller en stor rolle for beregnet sikkerhetsfaktor i stabilitetsanalyser. Dette er således en viktig oppgave NIFS – etatene mener bør prioriteres i 2014, da man innser at valg av c_{uA} , både konservativ og ikke – konservativ, vil kunne ha store økonomiske (og samfunnsmessige) konsekvenser i mange prosjekter.

Oppdraget gjennomføres av en arbeidsgruppe bestående av nøkkelpersoner fra NGI, NTNU, SINTEF og Multiconsult i tillegg til en representant fra henholdsvis Statens vegvesen (Frode Oset), NVE (Stein-Are Strand) og Jernbaneverket (Margareta Viklund). Arbeidsgruppen blir ledet av NIFS (Vikas Thakur), og den trenger anslagsvis fem arbeidsmøter for å gjennomføre oppdraget. Målet for arbeidet i gruppen er at det skal resultere i en ”veileder for valg av aktiv skjærfasthetsprofil c_{uA} basert på felt – og laboratorieforsøk.

Emneord: feltundersøkelser, leire, udrenert skjærfasthet, laboratorieundersøkelser, stabilitetsberegninger, anbefalinger

Innhold

Symboler	4
1 Bakgrunn	5
1.1 Hva mener vi med karakteristisk c_{uA} profil?	5
2 Grunnlag for bestemmelse av karakteristisk c_{uA} -profil	6
2.1 Empirisk Grunnlag	6
2.2 Spenningshistorie	6
2.3 Feltundersøkelser	7
2.3.1 Sonderinger.....	7
2.3.3 In situ målinger	8
2.3.2 Poretrykksmålinger	9
2.3.4 Prøvetaking	9
2.4 Laboratorieundersøkelser	10
2.4.1 Rutineforsøk.....	10
2.4.2 Ødometerforsøk	10
2.4.3. Treaksforsøk	12
3 Prinsipp for valg av karakteristisk c_{uA} - profil: En stegvis beskrivelse.....	16
4 Forutsetninger for valg av c_{uA} - profil	26
4.1 Sammenstilling og valg av karakteristisk c_{uA} - profil.....	26
4.2 Krav i NS-EN 1997-1	28
4.3 Valg av representative data	29
4.4 Reduksjon av karakteristisk c_{uA} i sprøbruddmaterialer.....	29
6 Gyldighet	29
7 Referanser	29
Vedlegg.....	31

Symboler

B_q	poretrykksfaktor
c_{uA}	aktiv skjærfasthet
c_{uAK}	aktiv skjærfasthet, mest sannsynlig opptredende karakteristisk verdi
c_{uDSS}, c_{uD}	direkte skjærfasthet
c_{uP}	passiv skjærfasthet
f_{ck}	reduksjonsfaktor
I_p	plastisitetsindeks
m	konstant (SHANSEP-vurdering)
N_{ke}	konfaktor effektiv spissmotstand
N_{kt}	konfaktor spissmotstand
$N_{\Delta u}$	konfaktor poretrykk
OCR	overkonsolideringsgrad
p_c'	effektiv prekonsolideringsspenning
p_0'	effektiv vertikalspenning
q_T	totalt spissmotstand
S_t	sensitivitet
u_0	insitu-poretrykk
u_2	målt poretrykk (CPTU-sondering)
w_L	flytegrense
α	konstant (SHANSEP-vurdering)
ϕ	friksjonsvinkel
σ_{V0}	totalspenning
σ_{V0}'	effektiv totalspenning

1 Bakgrunn

I det geotekniske fagmiljøet er det stor enighet om at valg av karakteristisk udrenert aktiv skjærfasthet (c_{uA}) er meget viktig og spiller en stor rolle for beregnet sikkerhetsfaktor i stabilitetsanalyser. Dette er således en viktig oppgave NIFS, da man innser at valg av c_{uA} , både konservativ og ikke – konservativ, vil kunne ha store økonomiske (og samfunnsmessige) konsekvenser i mange prosjekter, se vedlegg A–C. Arbeidet er utført gjennom en arbeidsgruppe med representanter fra NIFS–etatene, NTNU, NGI, SINTEF og Multiconsult. Arbeidsgruppen består av

1. Frode Oset, Statens vegvesen Vegdirektoratet
2. Margareta Viklund, Jernbaneverket
3. Odd Arne Fauskerud, Multiconsult
4. Stein Christensen, SINTEF Byggforsk
5. Steinar Nordal, NTNU
6. Stein–Are Strand, Norges vassdrag– og energidirektorat
7. Vidar Gjelsvik, Norges Geotekniske Institutt
8. Vikas Thakur, Statens vegvesen Vegdirektoratet

Arbeidsgruppen har fokusert på å få en mest mulig ensartet praksis for hvordan c_{uA} – profil bestemmes. Arbeidet i gruppen har resultert i en ”veileder for valg av aktiv udrenert skjærfasthet c_{uA} –profil basert på felt – og laboratorieforsøk” som er diskutert i denne rapporten. Samtidig mener arbeidsgruppen at «sound engineering judgement» er helt sentralt når man velger et karakteristisk c_{uA} –profil.

1.1 Hva mener vi med karakteristisk c_{uA} profil?

Karakteristisk c_{uA} –profil er mest sannsynlig opptredende aktive udrenerte skjærfasthet som funksjon av dybden, basert på tilgjengelige og relevante måle- og erfaringsdata. I mange tilfeller vil dette være en middelvei, eller vektet middelvei av tilgjengelige data.

Ved stabilitetsberegning tolkes vanligvis karakteristisk skjærfasthetsprofil ved hvert borpunkt der dette er mulig. Med et godt datagrunnlag velges mest sannsynlig opptredende verdier for profilet i dette punktet. Hvis målingene (tolkede fasthetsverdier) viser stor variasjon med dybden i forhold til erfaringsmessig normal variasjon, velges profilet med forsiktighet i forhold til variasjonen. Der hvor det er behov for å legge inn ekstra fasthetsprofiler i beregningsprofilet for å styre beregningsprogrammets interpolering mellom borpunktene må graden av

forsiktighet for disse mellomliggende profilene veies opp mot omfanget av grunnundersøkelser, ref. /1/ kap 2.5.4.2.

2 Grunnlag for bestemmelse av karakteristisk c_{uA} -profil

2.1 Empirisk Grunnlag

En empirisk sammenheng som er mye benyttet i Norge i dag er *Stress History And Normalized Stress Engineering Parameters*, forkortet SHANSEP, ref. /2/. Dette prinsippet uttrykkes ved følgende formel:

$$c_{uA} = \alpha \cdot OCR^m \cdot p_0'$$

Hvor

c_{uA} = aktiv udrenert skjærfasthet

α = konstant

m = konstant

$OCR = p_c'/p_0'$ (overkonsolideringsforholdet)

p_c' = effektiv prekonsolideringsspenning

p_0' = effektiv vertikalspenning

Uttrykket viser at fastheten på den ene siden er styrt av tre parametere gitt av jordas tyngdetetthet, poretrykk og spenningshistorie, og i tillegg to empiriske konstanter som har vist seg å variere betydelig mellom forskjellige leirer, ref./3/.

Omfang og kvalitet av datagrunnlaget vil variere i forhold til prosjektets art, størrelse og kompleksitet og av grunnforholdenes variasjon, ref. /1/. Det tas her utgangspunkt i at all relevant informasjon forefinnes i ett og samme punkt der c_{uA} -profilet skal bestemmes, og at kvaliteten er tilfredsstillende.

2.2 Spenningshistorie

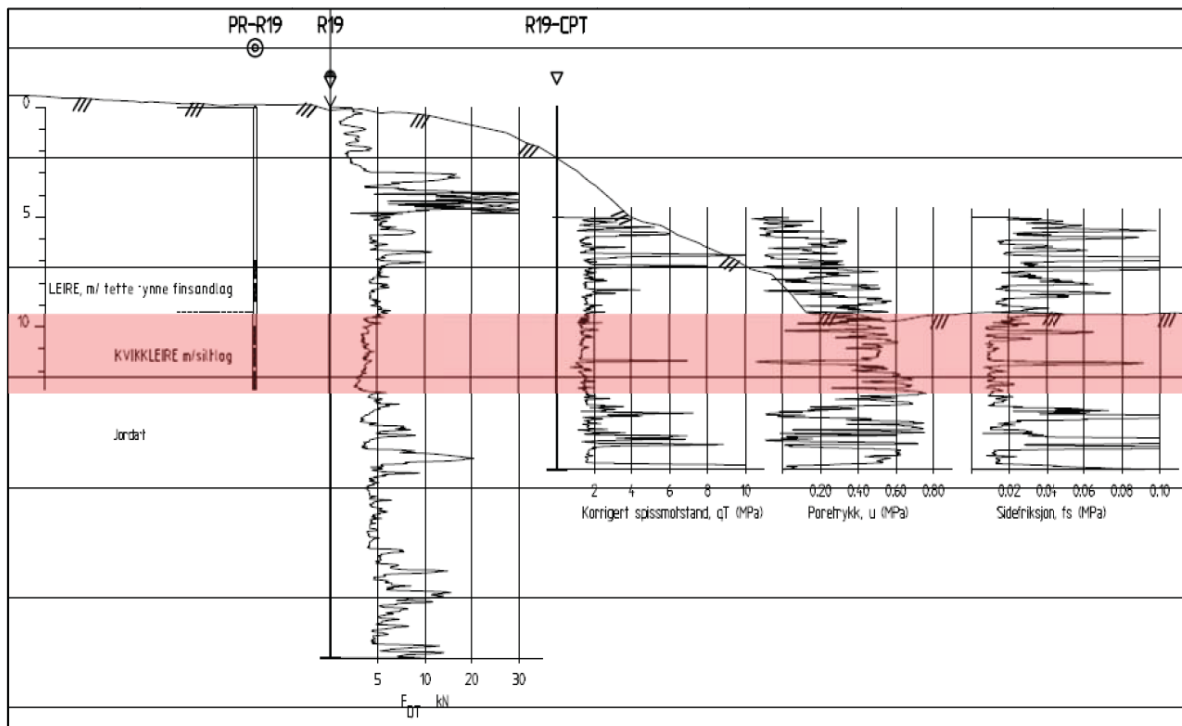
Siden det er nær sammenheng mellom en leires fasthet og effektiv prekonsolideringsspenning (p_c'), ref. /2/, er det viktig å ha en forståelse for den kvartærgeologiske historien i det området fastheten skal bestemmes. Dette innebærer løsmassenes dannelse og senere naturlige prosesser som har formet landskapet som f.eks. erosjon og skredaktivitet. Studien starter derfor ofte med kvartærgeologiske og

topografiske kart. I tillegg har menneskelig aktivitet mange steder medført vesentlige endringer av naturlige terrengformer. I slike tilfeller kan det ligge mye nyttig informasjon i gamle kart og rapporter som forteller om hva som har foregått i et område gjennom årenes løp. På steder hvor det er tydelige tegn etter tidligere skredaktivitet og/eller i ravinerte landskap gir en slik kartstudie ofte temmelig sikre indikasjoner på hva som kan forventes av overkonsolideringsforhold, og eventuelt om masser kan være skredpåvirket. Med tanke på å kunne vurdere p_c i ethvert punkt er antatt tidligere sjøbunn en nyttig referanse å etablere, som siden kan sammenlignes med resultater fra grunnundersøkelser. En befaring hører også naturlig med i et slikt forstudie. I tillegg kan terrenget fortelle en del om dreinsbetingelser for grunnvann; om det kan forventes poreovertrykk eller undertrykk. Dette er viktig informasjon for å kunne sette opp et fornuftig grunnundersøkelsesprogram.

2.3 Feltundersøkelser

2.3.1 Sonderinger

Dreietrykksondering ev. totalsondering danner grunnlag for vurdering av type løsmasse, lagdeling og relative forskjeller i fasthet, dybde til fjell eller fast grunn. Totalsondering har mulighet for spyling med vann, og har i tillegg en borkrone som kan bore i blokk og berg. Sonderingene utføres med jevn rotasjonshastighet og penetrasjonshastighet mens motstanden måles. Dersom penetrasjonshastigheten ikke kan opprettholdes økes rotasjonshastigheten. Ved totalsondering er det mulig å penetrere faste lag ved hjelp av spyling og slag. Ved en del tilfeller må dette også utføres gjennom fast leire. Slike resultater er imidlertid vanskelige å tolke med tanke på lagdeling og sensitivitet. Det er ikke mulig å tolke fasthet direkte ut fra sonderinger, annet enn å antyde en relativt bløt eller relativt fast leire. Kurvens "signatur" forteller noe om typen jord. Rene leirer gir gjerne en jevn kurve, men siltige og lagdelte leirer har en mer taggete signatur. Målt sonderingsmotstand består av både spissmotstand og sidefriksjon. Siden sidefriksjonen er lav i sensitive leirer blir tillegget i sonderingsmotstanden lite eller fraværende. Dreietrykksonderinger i kvikke leirer gir ofte en reduksjon i motstand med dybden, som vist i Figur 2.1.



Figur 2.1 Dreitrykkssondering, CPTU og prøvetaking i et kvikkleireområde (Klide: figur 19 i ref./ 4 /)

2.3.3 In situ målinger

Basert på resultater fra sonderingene utføres in situ målinger. In situ målinger av fasthet har den store fordel at målingen foregår under sin virkelige spenningstilstand. Det kreves imidlertid empiri for å kunne relatere målingene til en aktiv skjærfasthet. Dette igjen krever gjerne tilleggsinformasjon gjennom en prøveserie.

2.3.3.1 Trykksondering (CPTU)

Trykksonderinger (CPTU) er ofte det første feltresultatet som havner på geoteknikerens bord, og som gir grunnlag for å trekke opp et karakteristisk c_{uA} – profil. En vil kunne komme rimelig nær det endelige svaret ved første gangs tolkning, som da gir et godt grunnlag for å vurdere prøvetakingsprogram. En av styrkene med cptu er at tolkningen er relativt lite påvirket av in situ poretrykk. Ved spissmotstandstolkning inngår ikke poretrykket i formelen for fasthet, annet enn ev. ved vurdering av N_{kt} . Ved poretrykkstolkning inngår in situ poretrykk direkte i formelen for fasthet, som er proporsjonal med Δu ($= u_2 - u_0$). I og med at u_2 som regel er flere ganger større enn u_0 , typisk 4 – 5 ganger for bløte leirer og vesentlig mer for faste, vil usikkerheten i anslaget av u_0 som regel utgjøre en liten andel av Δu .

Trykksondering som skal brukes som grunnlag for vurdering av karakteristisk c_{uA} – profil skal utføres med utstyr og prosedyrer som tilfredsstillende anvendelsesklasse 1, ref. /5/. Krav til helning i anvendelsesklasse 1 (2°) vurderes mot betydningen av den dybdefeil som avviket vil innebære.

Ulike metoder for å tolke c_{uA} fra CPTU er vist i vedlegg D.

2.3.3.1 Vingebor

Vingebor har i dag i stor grad blitt erstattet av CPTU, men utviklingen av nye elektroniske vingebor er i ferd med å gjøre denne aktuell som et alternativ og/eller supplement til CPTU. Vingebores styrke er at bruddformen rundt vingen er noenlunde godt definert, selv om forskning, ref. /6/, viser at bruddformen ved maks kapasitet ikke nødvendigvis tilsvarer overflaten til en sirkulær sylinder. En ulempe, særlig i siltige leirer, er at det kan oppstå lokal dissipasjon i det smale skjærbåndet slik at forsøket blir delvis drenert. Kapasiteten er antagelig uavhengig av leirens stivhet, siden selve skjærforsøket ikke gir noen massefortrengning. Svakheterne er blant annet at prøvolumet får en forstyrrelse i det vingen skyves ut. Bruddsynderen blir delt i fire, og blir omrørt langs vingebladene, noe som antagelig er med på å påvirke bruddformen. Tradisjonelt har man vært avhengig av empiri for å korrigere vingeborfastheten til virkelig gjennomsnittlig fasthet, ref. /7/.

Tolkning av vingebor er beskrevet i vedlegg D.

2.3.2 Poretrykksmålinger

Det bør plasseres poretrykksmålere i minst to dybder, da avvik fra hydrostatisk trykk snarere er regelen enn unntaket i områder med skrånende terreng. I tillegg er det en fordel å planlegge det slik at poretrykket måles i de dybder det er aktuelt å gjøre spesialforsøk. Målinger bør utføres over en lengre periode for å fange årsvariasjoner.

2.3.4 Prøvetaking

Prøvetaking er nødvendig for å kunne få et fullgodt grunnlag for vurdering av fasthet. Prøveforstyrrelse er en utfordring i forhold til bestemmelse av leirens fasthet i laboratoriet, ref. /8/. Siltige og/eller kvikke leirer er spesielt utsatt. Normalt er forstyrrelsen økende med dybden pga. økende avlastning. Avhengig av prøvenes kvalitet må det vurderes om prøveserien skal benyttes til spesialforsøk, eller kun til klassifisering og rutineparametere. Dersom prøvene er forstyrret gir de likevel viktig informasjon til tolkning av CPTU. I de fleste tilfeller utføres kun 54 mm prøvetaking, men prøver med større diameter (72, 75 og 76 mm er de vanlige variantene) har blitt

ganske vanlig, særlig for prøver i kvikkleire. Dersom det planlegges spesialforsøk (ødometer, treaks) anbefales prøver med stor diameter. Blokkprøver kan gi prøver av meget høy kvalitet, men er foreløpig mest vanlig på store prosjekter og til forskning.

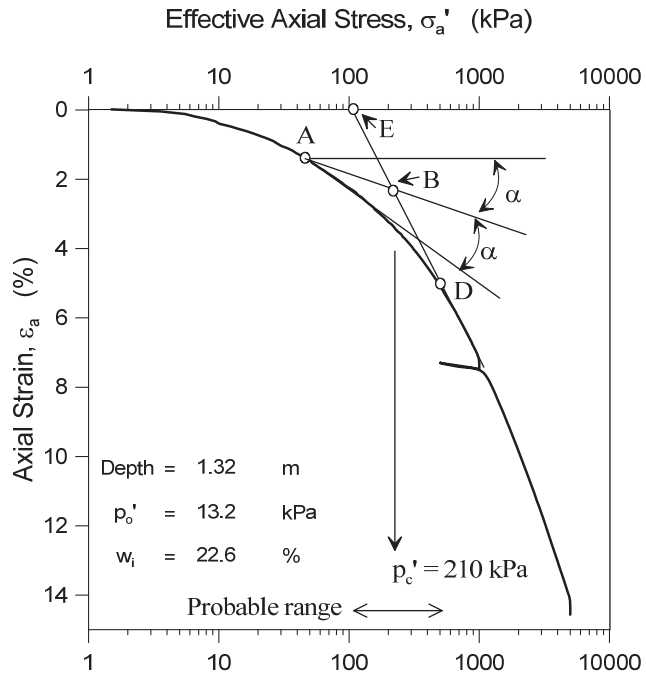
2.4 Laboratorieundersøkelser

2.4.1 Rutineforsøk

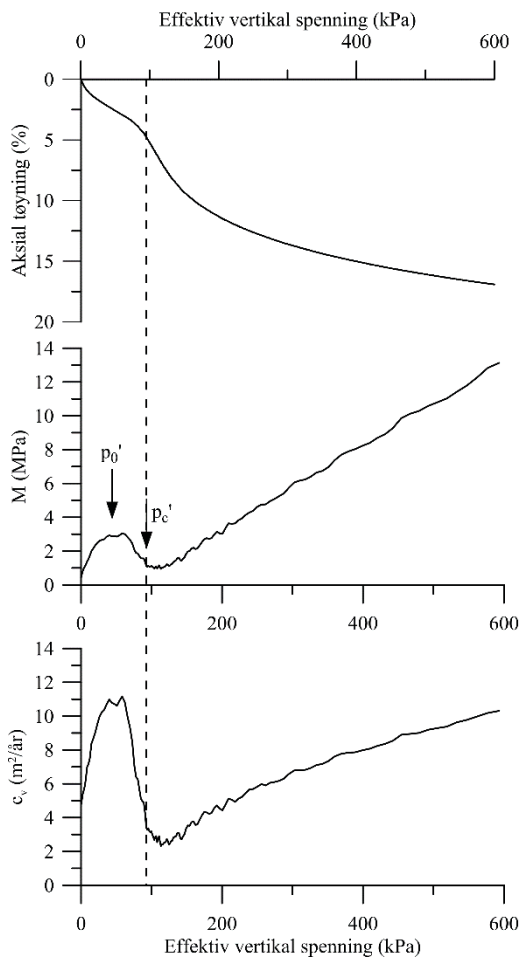
Rutineundersøkelsene i laboratoriet bidrar med viktig informasjon, for eks. vanninnhold er mye brukt som korrelasjonsparameter, blant annet mot fasthet. Plastisitet og til dels sensitivitet inngår også som korrelasjonsparametere. Indeksforsøkene enaks og konus antas normalt å representere midlere fasthet, eller direkte udrenert fasthet (c_{uDSS}). En skal imidlertid være oppmerksom på at rutineforsøkene har stor tøyningshastighet, noe som kan gi dilatans og høy målt fasthet. Ved slik mistanke kan det være nyttig å se på tøyningskurvene fra enaksforsøket. I og med at disse forsøkene er utført under spenningsforhold som avviker betydelig fra in situ spenningstilstand bør de ses på som veiledende og kun brukes direkte i eventuell mangel av noe bedre.

2.4.2 Ødometerforsøk

Det finnes flere metoder for selve tolkningen av p_c' fra et ødometerforsøk, beskrevet i f.eks. ref. /2/, /9/, /10/ og /11/. Noen tar utgangspunkt i at p_c' skal tilsvare skjæringspunktet mellom kurvetilpasninger for tøyningskurven hhv. over og under p_c' . Tøyningskurven over p_c' beskrives normalt med en logaritmisk kurve, mens det under p_c' ofte antas lineær økning. Andre metoder tar utgangspunkt i modulkurven og/eller c_v -kurven, enten ved at p_c' tilsvarer depresjonen før jomfruspenningsområdet eller et sted mellom dette og toppunktet i OC-området. Ulike tolkningsmetoder kan gi relativt ulike svar. Hva som er teoretisk mest riktig kan diskuteres, men det viktigste er at tolkningen samsvarer med det korrelasjonsgrunnlaget som benyttes. For å kunne utføre en pålitelig tolkning av p_c' kreves prøver av rimelig god kvalitet. Ødometerforsøk uten tydelig p_c' bør forkastes. Likeledes vil en prøveforstyrrelse påvirke modulen, og derav eventuelle korrelasjoner mot fasthet.



Figur 2.2 Casagrandes metode for bestemmelse av p_c' (ref. / 12 /)



Figur 2.3 Resultater fra Ødometerforsøk med tolkning ((ref. / 13 /))

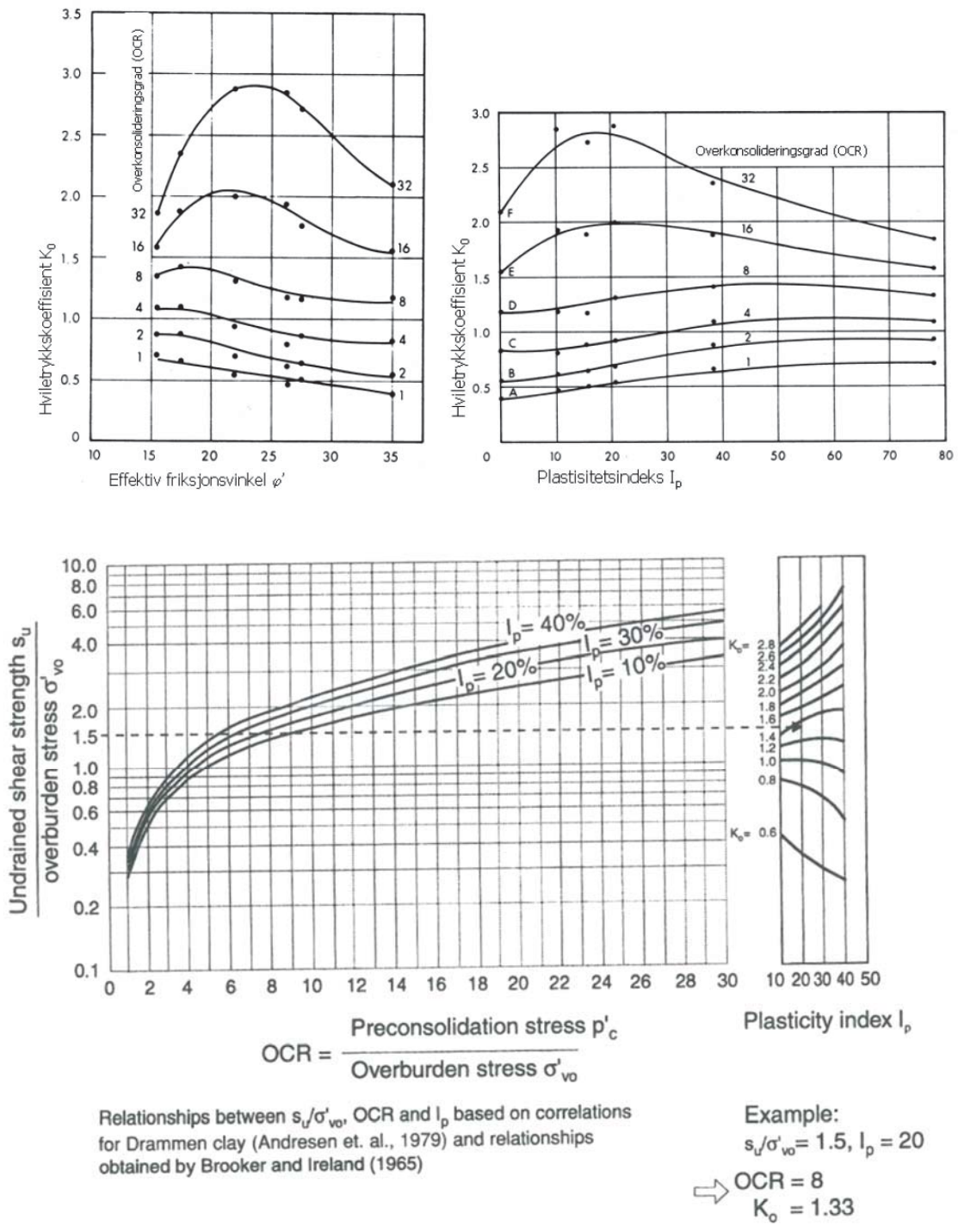
2.4.3. Treaksforsøk

Et udrenert aktivt treaksforsøk (c_{uA}) av god kvalitet er den laboratoriemålte parameteren som ligger definisjonsmessig nærmest c_{uA} (mest sannsynlig opptredende). For at et udrenert treaksforsøk skal gi riktig skjærfasthet er det helt essensielt å treffe riktig med konsolideringsspenningene, dvs. så nær in situ spenningstilstand som mulig. Dersom poretrykket er målt i gjeldende dybde har en rimelig god kontroll på p_0' . Vurdering av K_0' er som regel basert på kjennskap til p_c' og dermed OCR. Eurokode 7 angir følgende overslagsformel for K_0' :

$$K_0' = (1 - \sin \varphi) \cdot \sqrt{OCR}$$

Formelen bør ikke brukes for svært høye verdier av OCR (ref. /1/). For øvrig er også andre empiriske sammenhenger ofte benyttet, som f.eks. som vist i Figur 2.4, ref /14/. I praksis vil $K_0' = 1,0$ ofte være en øvre grense for overkonsoliderte leirer, dvs. isotrop konsolidering, med mindre man har gode grunner for å velge høyere. I skrånende terreng skal en også være oppmerksom på mulig lateral avlastning som kan kompensere for noe av OCR-virkningen på K_0' . Det er viktig at en ikke bruker for stor total deviatorspenning under konsolidering for at en ikke skal risikere å forstyrre prøven ved å ligge for nær bruddtilstanden før selve skjærforsøket starter.

Det er derfor aktuelt for bestilleren å kunne angi til laboratoriet hvilken maksimal deviatorspenning som kan tillates. Her kan en gjøre et overslag for minste tillatte K_0' ut fra erfaringsgrunnlag fra parametere som plastisitetsindeksen og overkonsolideringsgraden (OCR). Fig. 2.4 angir et slikt erfaringsgrunnlag ut fra kanadiske data. Det er relativt enkelt å kartlegge massenes plastisitetsindeks (I_p) og overkonsolideringsgrad, men å bestemme in situ tilsvarende K_0' er mer krevende. Det er avhengig av hvilken tillit en har til de eksisterende in situ målemetoder og teorier. Inntil dette er avklart, kan vi med noe forsiktighet basere oss på disse kanadiske anbefalingene. En overestimert K_0' vil på den annen side gi høyere gjennomsnittlig effektivspenning i prøven, og kan dermed gi for høy fasthet.



Figur 2.4 Erfaringsdata for K_o (ref. / 14 /)

Som for ødometerforsøkene vil resultatet av et treaksforsøk være avhengig av tøyningshastigheten (rateavhengighet). Det generelle bildet er at en økning av tøyningshastighet medfører økt maksimal fasthet og sprøere oppførsel. Forskning gjort på bl.a. NGI viser at det kan være en faktor på ca. 1,5 for fasthet på hhv. meget

raske og meget langsomme forsøk, ref. /15/. Vanlig benyttede forsøkshastigheter i Norge er aksialtøyning på 1 – 2 % pr. time. I praksis er det liten forskjell på disse forsøkene, og normalt skilles det ikke mellom disse hva gjelder korreksjon for tøyningshastighet og sprøbruddoppførsel etc.

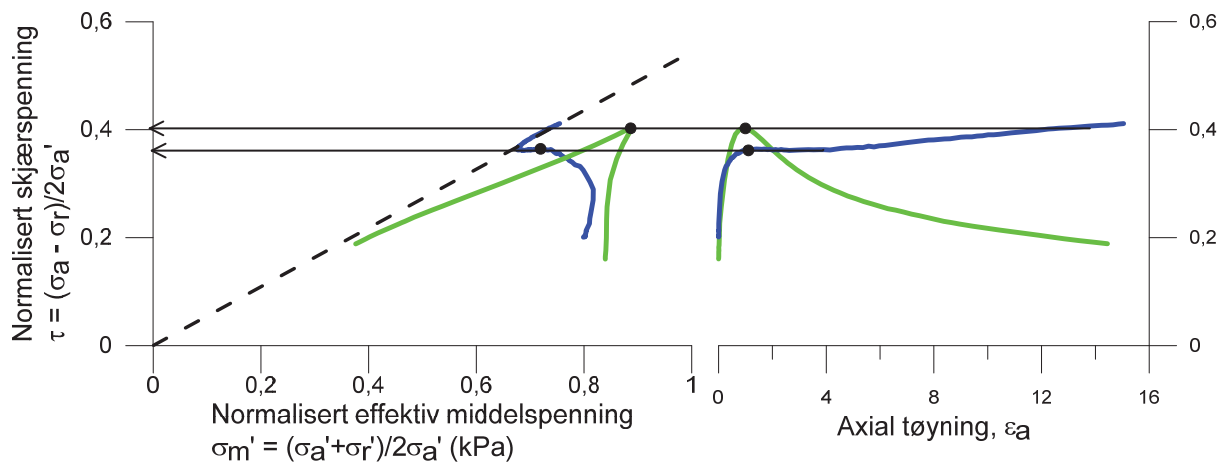
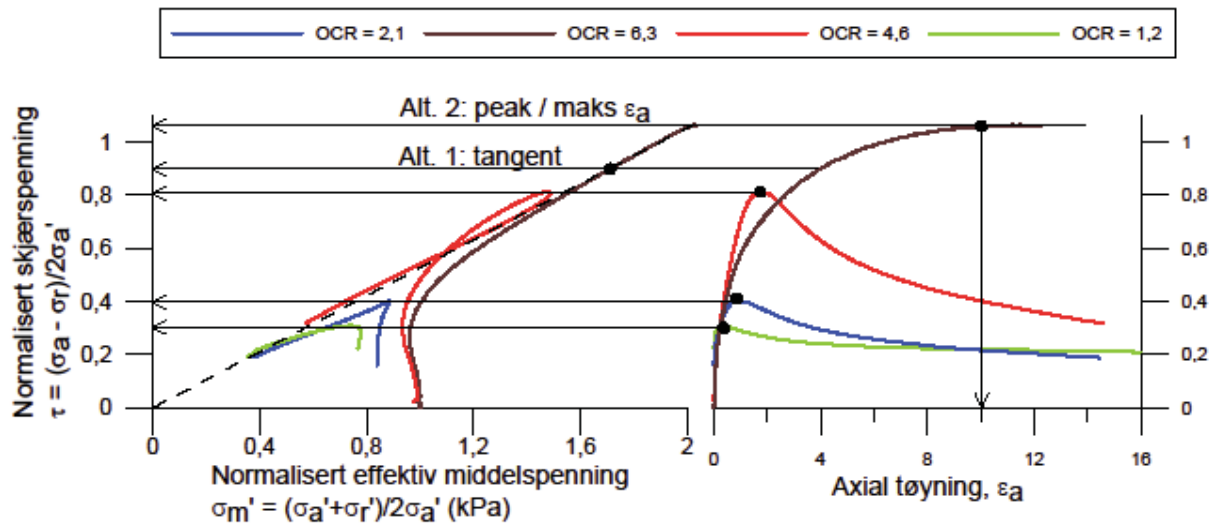
Prøvekvalitet måles ofte gjennom utpresset porevann under konsolideringen. Det finnes flere ulike forslag til klassifisering. Et eksempel fra NGF melding 11, ref. /16/, er vist i tabell 2.1. For andre forslag se også SVV (2014) /17/, NVE (2014) /18/, Lunne m.fl. (1997) /19/.

Tabell 2.1: Betegnelse av forsøkskvalitet ut fra utpresset porevann under konsolidering (ref. /17/)

Utpresset porevann cm ³	Utpresset porevann Volum % *	Klassifisering
0-5	0-2	Godt forsøk
5-10	2-4	Akseptabelt forsøk
>10	>4	Dårlig forsøk

* Tallene gjelder 54 mm prøver med ca. 10 cm prøvehøyde.

Ved uttak av c_{uA} må det skilles mellom dilaterende og kontrakterende forsøk. For kontrakterende forsøk er det anbefalt å ta ut maksimal målt fasthet, se Figur 2.5. Dersom forsøket først tenderer til å gå mot et kontraktant brudd, men deretter går over til å dilatere tyder dette på en prøveforstyrrelse. Ved slike tilfeller anbefales å ikke ta ut en høyere fasthet enn punktet som representerer overgangen mellom kontraktans og dilatans, se Figur 2.5. Faktisk dilaterende materialer, som overkonsoliderte leirer og omrørte rekonsoliderte leirer, oppnår ofte høye fastheter. Imidlertid er dette gjerne forbundet med høye tøyninger. I disse tilfellene anbefales at brudd defineres ved en gitt tøyning, f.eks. 10 %. For sterkt overkonsoliderte materialer må det i forbindelse med skjæringer eller naturlige skråninger vurderes nøye om dreneringsbetingelsen forsvarer bruk av rent udrenert fasthet, (ref. /20/)



Figur 2.5 Udrenert treaks forsøk (ref. / 20 /)

3 Prinsipp for valg av karakteristisk cuA – profil: En stegvis beskrivelse

Trinn/Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
1: Undersøk om det finnes det tidligere grunnundersøkelser i samme område	Avklare om evt. tidligere grunnundersøkelser i samme område kan gi supplerende informasjon/evt. være tilstrekkelig.	Har eget firma/enhet undersøkelser i samme område? Kjenner vi til andre undersøkelser i området? Større veganlegg eller for eksempel sikringsarbeider i regi av NVE i samme område? Rapporten vil i så fall kunne skaffes. Er det gjort faresoneevaluering/ skredfarekartlegging i området? Finnes rapporter herfra?	Beskrivelse av resultater med henvisning til tidligere rapporter
2: Studer kvartærgeologien i området <ul style="list-style-type: none"> • Terrengformer (erosjon, skredaktivitet ny/eldre, anleggs- eller byggeaktivitet) • Gammel sjøbunn 	Grunnlag for innledende vurdering av OCR. Første vurdering av behov for (supplerende) undersøkelser	Se på beskrivelse som hører til de kvartærgeologiske kartene Papirkartene har ofte en god beskrivelse av geomorfologi i tillegg til løsmasseangivelse	Beskrivelse av kvartærgeologi med kildehenvisning.
3: Befaring	Undersøke og dokumentere stedlige forhold	Se etter sprekker/tegn til pågående bevegelser i skråninger, tegn til pågående eller tidligere erosjon, tidligere skred/skredgroper. Avklar adkomstforhold for borerigg. Kan grunneier sitte på informasjon? Finnes historiske kart over området? (for eksempel på www.1881.no ?)	Bør dokumenteres i befarringsrapport/notat eller i datarapport. Bildedokumentasjon hører med.

Trinn/Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
<p>4: Planlegg (supplerende) grunnundersøkelser</p> <ul style="list-style-type: none"> • totalstasjoner i strategiske punkter (topp og bunn av skråning) • sondering (dreietrykk/total)¹ • poretrykksmåling i minst 2 nivåer • CPTU • prøveserie, helst Ø72mm ev. Ø54mm av god kvalitet • rutineundersøkelser inkl. konsistensgrenser • ødometerforsøk i minst 2 nivåer • treaksforsøk i minst 2 nivåer 	<p>Grunnlag for bestemmelse av c_{0A} – hva trenger vi å vite?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poretrykk (over-/under-/hydrostatisk trykk) • In-situ spenningstilstand (P_0) • Prekonsolideringsnivå (P_c) og OCR • Løsmassefordeling/lagdeling – svake lag – hydrogeologiske forhold – dybde til berg/fast grunn? • Løsmassenes fasthetsegenskaper/se nsitivitet (sondering/lab/CPTU/vingebor) 	<p>Hvor skal jeg gjøre beregninger (beliggenhet av beregningsprofil(er))?</p> <p>Hvor stort jordvolum/areal vil være involvert i et evt. skred?</p> <p>Grunnundersøkelsene bør gi grunnlag for å vurdere lagdeling og egenskaper for det potensielt involverte jordvolumet.</p> <p>Mulighet for adkomst til kritiske punkter med borerigg – ref. befarings?</p> <p>Det er viktig å alltid ha med seg at grunnundersøkelser er en dynamisk prosess der omfanget må tilpasses det som avdekkes etter hvert som det planlagte programmet utføres.</p> <p>Dette krever god oppfølging og god dialog mellom grunnborer og geoteknisk saksbehandler.</p> <p>Dersom borpunkt(er) flyttes under utførelse bør dette begrunnes i datarapporten.</p> <p>Grunnundersøkelser bør planlegges slik at det er tid til å tolke CPTU før prøver tas opp.</p>	<p>Dokumenteres i geoteknisk datarapport. Planlagt/utført omfang begrunnes mht. behov for data og praktisk gjennomføring</p>
<p>5: Gjør en førstegangs vurdering av CPTU</p>	<p>Identifisere lagdeling</p> <p>Gi grunnlag for vurdering av laboratorieundersøkelser</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vurdere dybde for spesialforsøk • Vurdere konsolideringsspenninger for treaks 	<p>Er det indikasjoner på svake lag og/eller deler av profilet som bør vies ekstra oppmerksomhet.</p> <p>Kan det være sammenhengende svake lag/vannførende lag?</p> <p>Pass på at ikke p_0 overestimeres på grunn av manglende poretrykkdata.</p>	<p>Valg mht. laboratorieundersøkelser, dybder og konsolideringsspenninger beskrives og begrunnes.</p>

¹ Ref. kap 2.3.1

Trinn/Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
6A: Rutineundersøkelser, inkl. tyngdetetthet. Plastisitetsgrenser og kornfordelingsanalyser	Grunnlag for etablering av korrelasjoner for erfaringsdata Klassifisering	Hvilke korrelasjonsdata trengs og hvor? (For eksempel I_p ?). Pass på å få tilstrekkelig mengde data til å kunne etablere godt sammenligningsgrunnlag med erfaringsstall.	Dokumenteres i geoteknisk datarapport.
6B: Ødometerforsøk og treaksialforsøk ²	Materialoppførsel/materialegen skaper: Fasthet, stivhet og P_c /OCR	Det er en stor fordel å kjøre ødometerforsøk før treaksialforsøk slik at bestemmelse av OCR kan gjøres før valg av konsolideringsspenninger til treaksialforsøket. OCR benyttes da for å finne K_0 for bruk i treaksialforsøket. Materialets stivhet har ikke betydning for bestemmelse av c_{uA} .	Data dokumenteres i geoteknisk datarapport. Valg av konsoliderings-spenninger bør begrunnes i beregnings/parameter-rapport. Tøyningshastighet i ødometerforsøket angis.
7: Tolkning av ødometerforsøk ³	Finne OCR Grunnlag for valg av konsolideringsspenninger i treaks (ofte et problem i praksis) og bruk av SHANSHEP metode/empiriske korrelasjoner	Kvalitet Kurvens form Er det mulig å tolke P_c ? $\Delta e/e_0$ (Lunne) ved P_0 ? Vurdering av tidligere terreng (aldring etc.)	Tolkning av ødometerforsøk med begrunnelse/beskrivelse av valg. Beskrivelse av forsøkskvalitet/prøvekvalitet hører med.

² Ref. kap. 2.3.4

³ Ref. kap. 2.4.2

Trinn/Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
8: Tolkning av aktivt treaksialforsøk ⁴	Finne peak c_{UA}	<p>Vurder forsøkskvalitet/prøvekvalitet</p> <p>Vurder kurvens form/tøyning ved brudd. $\Delta e/e_0$ (Lunne) ved P_0?</p> <p>Kontraktant eller dilatant oppførsel?</p> <p>Er forsøket kjørt ved korrekte konsolideringsbetingelser/spenningsnivå? Dvs. stemmer spenningsnivået i treaksialforsøket med in-situ spenninger og kan tolket peak c_{UA} benyttes for den dybden forsøket er kjørt på?</p> <p>Stemmer tolket verdi overens med erfaring fra tilsvarende grunnforhold? For sprøbruddmaterialeler:</p> <p>Dersom forsøket er kjørt på høykvalitets (blokk)prøver må det vurderes om peak c_{UA} skal korrigeres for sprøbruddeffekter.⁵</p>	<p>Tolkning av treaksialforsøk med begrunnelse/beskrivelse av valg. Peak-verdier vises.</p> <p>Beskrivelse av forsøkskvalitet/prøvekvalitet hører med.</p>
9: Tolkning av CPTU ⁶	Tolke c_{UA} /OCR/lagdeling/løsmasstype/sensitivitet	<p>Hvilket grunnlag har vi og hvordan bruker vi det?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rutineundersøkelser • Poretrykksmålinger • Ødometerforsøk • Treaksialforsøk <p>Vurder og begrunn valg av tolkningsmetode.</p> <p>Vurder gyldighet av tolkningsfaktorer (N_{kt} og N_{du}) (spesielt for N_{du} ved lave B_q)? ref./ 22, 23, 24 /Vurder spredning i tolkningsfaktorer – hva er øvre og nedre grense for tolkningsfaktorer (basert på erfaringer) for dette materialet og hvorfor?</p>	<p>Tolkning av CPTU forsøk presenteres med begrunnede valg for tolkningsmetode og tolkningsfaktorer</p>

⁴ Ref. kap. 2.4.3 og ref. / 21 /

⁵ For sprøbruddmaterialeler bør c_{UA} , dersom denne er bestemt på grunnlag av laboratorieforsøk på blokkprøver med prøvevalitet «veldig god til utmerket» eller data korrelasjoner mot slike prøver, iht. gjeldende praksis reduseres med 15% for å ta hensyn til tidseffekt og sprøbruddeffekt. Denne reduksjonen foreslås gjort i beregningsprogrammet ved å legge en faktor 0,85 på c_{UA} i beregningen

⁶ Ref. Vedlegg D

Trinn / Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
<p>9 fortsatt:</p>		<p>Stemmer tolket OCR fra CPTU overens med OCR fra ødometer og vurdert tidligere terrengnivå?</p> <p>Stemmer tolket verdi for c_{UA} med utførte treaksialforøk?</p> <p>Er det behov for å tilpasse tolkningsvariable for å få OCR-tolkning og c_{UA} tolkning til å stemme med verdier fra labforsøk? (lokal korrelasjon)</p> <p>For sprøbruddmaterialel:</p> <p>Dersom CPTU-tolkningen baseres på korrelasjoner etablert på grunnlag av høykvalitets (blokk) prøver må det vurderes om tolkede verdier skal korrigeres for sprøbruddeffekter.</p>	
<p>10: Etabler erfaringsgrunnlag for tilsvarende grunnforhold (for de aktuelle profilene/punktene). Vurder sannsynlig øvre og nedre grense for karakteristisk c_{UA} (Upper-lower bound) for hvert profil</p>	<p>Sammenlign målte og tolkede verdier med erfaringstall. Identifisere evt. avvik fra erfaringstall som må begrunnes/forklares. Grunnlag:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Shanse⁷ • c_{UA} / P_0^*-forhold⁸ (minimumsverdier, sannsynlig øvre/nedre grense) 	<p>Stemmer tolket verdi fra treaksialforsøk og ødometer overens med erfaring fra tilsvarende grunnforhold?</p> <p>Stemmer CPTU-tolkning med erfaringer fra tilsvarende grunnforhold?</p> <p>Faller tolkede verdier innenfor vurdert Upper-Lower bound (eller Øvre/nedre grense)?</p> <p>Kan evt. avvik forklares?</p>	<p>Vurdering med begrunnelse av valg presenteres.</p>

⁷ Ref. kap.2.1 og ref. /2/

⁸ Ref. kap.4.1

Trinn /Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
<p>10: Etabler erfaringsgrunnlag for tilsvarende grunnforhold – fortsatt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • $C_{uA} / P_o' = f(I_p)$ • Øvre/nedre grense for tolkningsvariable i CPTU –tolkning ved våre grunnforhold <p>Nedre grense C_{uA} –bør framgå av plottet</p>		
<p>11: Sammenstill grunnlag for fastlegging av karakteristisk C_{uA} – profil (for hvert punkt)</p>	<p>Presentasjon av alle data som inngår i bestemmelsen av karakteristisk C_{uA} –profil i samleplott pr. profil som skal bestemmes.</p> <p>Alle data fra punkt 6–10 bør inngå.</p> <p>Punktvis(for eksempel pr. totalstasjon).</p>	<p>Felt- og laboratoriedata som benyttes til tolkning av C_{uA} profiler må velges slik at profilene som framkommer representerer det jordvolumet som skal inngå i beregningen. Det må sannsynliggjøres at datautvalget er representativt for aktuelt profil og jordvolum. Her inngår topografi, avstand til beregningsprofil, kotenivå, tidligere terrengnivå i området (overkonsolidering), effektivpenningnivå/poretrykk, variasjon i grunnforhold i området, løsmassegeologisk informasjon og avsetningshistorikk.</p> <p>Det bør utvises forsiktighet med bruk av indeksdata fra rutineundersøkelser (enaks og konus) direkte til tolkning av karakteristisk C_{uA} –profil.</p> <p>(NC–leire: $C_{uEnaks} \approx 1/3(C_{uA} + C_{uIDSS} + C_{up}) \approx C_{uIDSS}$). Indeksdata kan likevel benyttes som støtte. Det må da framgå tydelig hva slags verdier som er lagt inn i plottene som presenteres (For eksempel dersom oppskalerte enaks/konus–verdier basert på et valgt/funnet anisotropiforhold presenteres, så må dette framgå av plottet).</p>	<p>Sammenstilling i samleplott presenteres pr. profil.</p>

Trinn/Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
<p>12: Vurder rangering av tilgjengelige data</p>	<p>Rangering av data</p> <p>Arbeidsgruppa foreslår følgende generelle rangering av data ved valg av c_{uA}-profil:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Treksialforsøk av god kvalitet (kvalitetsklasse 1) 2. CPTU (Anvendelsesklasse 1) 3. Erfaringsverdier (c_{uA} / $P_0' + \text{Shansep}$) 4. Vingebor 5. Konus/Enaks/ <p>Det understrekes at det må gjøres en spesifikk vurdering av rangering av data for hvert profil der karakteristisk c_{uA} skal bestemmes.</p>	<p>Treks</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tillagt vekt må vurderes opp mot kvalitet • Kan avvike pga. usikkerheter i P_0'-profil selv om kvaliteten er god (konsolideringsspenning) <p>CPTU-tolkning</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vurder samling på grunnlag av N_{kt} og N_{du} mot valgt OCR • Vurder tolkning basert på N_{du} ved lave B_q verdier (gyldighetsområde) <p>Erfaringsverdier/Shansep</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bør ligge innenfor normale verdier • Brukes gjerne som korrelasjon til andre punkter (interpolering og ekstrapolering) 	<p>Vurdert rangering presenteres og begrunnes for hvert c_{uA}-profil</p>
<p>13: Vurder hvor på området det må etableres karakteristisk c_{uA}-profil for å kunne gjøre nødvendige beregninger</p>	<p>Identifisere hvor mange profiler som må etableres og hvilke data som skal inngå i fastleggingen av hvert profil.</p> <p>Antall profiler som må fastlegges avhenger av topografiske forhold og variasjoner i grunnforhold. I tillegg har beregningsmodell/program som skal benyttes også betydning.</p>	<p>Skal c_{uA}-profilen representere ett punkt eller et jordvolum?</p> <p>Hvor stort jordvolum skal fasthetsprofilene representere?</p> <p>Kan det tenkes at det er gjennomgående svake lag som vil ha betydning?</p> <p>Har vi flere forsøk/tolkninger som vil kunne være gjeldende eller ha betydning for aktuelt c_{uA}-profil?</p> <p>Viser disse samsvarende eller avvikende forhold?</p>	<p>Vurdering med begrunnelse av valg presenteres.</p>

Trinn/Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
<p>13 fortsatt:</p>		<p>Hvilke data har størst betydning og skal vektlegges mest i fastlegging av c_{UA} –profil?</p> <p>For en stabilitetsberegning i en skråning foreslås etablert minimum 2 c_{UA}–profiler, ett som representerer skjærfasthet ved skråningstopp og ett ved bunnen av skråningen. Dersom det er stor variasjon i topografi og/eller grunnforhold i skråningen, så bør det etableres flere fasthetsprofiler som legges mellom profilene i topp og bunn skråning.</p>	
<p>14: Vurder om det er behov for bestemmelse av karakteristisk c_{UA} –profil i deler av beregningsprofilen der vi ikke har data</p>	<p>Vurder om det er behov for supplerende grunnundersøkelser eller om vi kan benytte data fra andre deler av beregningsprofilen til bestemmelse av karakteristisk c_{UA} –profil</p>	<p>Hva vet vi om kvartærgeologien og lagdeling? Er det store variasjoner i lagdeling og grunnforhold påvist, eller kan vi interpolere mellom punkter der vi har data? Vet vi nok om evt. svake lag og poretrykksforhold til å etablere nødvendige korrelasjoner/interpolasjoner?</p> <p>Hvilken betydning har det for beregningen om vi velger det ene eller det andre – er vårt valg kritisk for resultatet? Dette må kanskje svares ut etter innledende beregning.</p>	<p>Vurdering med begrunnelse av valg presenteres.</p>
<p>15: Vurder i hvor stor grad det bør utvises forsiktighet i valg av karakteristisk verdi/linje for c_{UA} i hvert profil</p>	<p>Skjønnsmessig vurdering av graden av forsiktighet i valgt linje for c_{UA} i plottet basert på omfang av tilgjengelige data/grad av uoversiktighet</p>	<p>Målet bør alltid være å komme dit at vi kan si at vi har god oversikt og god dekning mht. grunnundersøkelser/data, men det er det ikke alltid vi klarer i første omgang. Dersom det er gjort en god jobb mht. grunnundersøkelser/datafangst, så kan det argumenteres for at linje for karakteristisk c_{UA} kan velges som en middelvei av målte og tolkede data. Dersom det i motsatt fall konkluderes med at vi ikke har god nok oversikt og/eller mangler data, så bør linje for karakteristisk c_{UA} velges som en forsiktig anslått middelvei. Det er ofte ulik grad av uoversiktighet for ulike deler av det</p>	<p>Vurdering med begrunnelse av valg presenteres.</p>

Trinn /Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
<p>15-fortsatt:</p>		<p>området som skal analyseres. I mange tilfeller vil det da være behov for å utvise forskjellig grad av forsiktighet i angivelse av linje for karakteristisk c_{UA} – profil avhengig av datagrunnlag (mengde/kvalitet) – for hvert c_{UA} –profil som skal bestemmes. Det er viktig å ha et bevisst forhold til dette og at det gjøres en gradert og begrunnet vurdering av forsiktighet basert på tilgjengelige data, uten at vi er for forsiktede/konservative. Grad av forsiktighet kan angis som en %-andel av middelverdien. Dersom denne vurderingen faller veldig ugunstig for enkeltprofiler (ett eller flere), så bør det vurderes om det må utføres supplerende undersøkelser. Se også punkt 19.</p>	
<p>16. Bestem karakteristisk c_{UA} – profil for hvert samleplott</p>	<p>Bestemmelse av mest sannsynlig opptredende verdi for karakteristisk c_{UA} basert på en vektning av tilgjengelige relevante data. I samleplott med relevante måle- og erfaringsdata foreslås utført en (manuell vurdering av mest sannsynlig opptredende verdi basert på tilgjengelige data. I mange tilfeller vil dette være en middelverdi, eller vektet middelverdi av tilgjengelige data. Denne vurderingen legges inn som en linje, c_{UA} i plottet.</p>	<p>Bruk rangeringen fra punkt 12 og vurdert grad av forsiktighet fra punkt 16. Ha fokus på evt. gjennomgående svake lag som kan ha betydning for kritisk glideflate/beregnet sikkerhet. Valgt linje for karakteristisk c_{UA} –profil skal representere det vi mener er mest sannsynlig opptredende verdi for det jordvolumet som profilet representerer, basert på de dataene vi har tilgjengelig.</p>	<p>Samleplott og inntegnet karakteristisk c_{UA} –profil presenteres sammen med vurderingene som ligger til grunn. Begrunnelse for valg som er gjort beskrives.</p>

Trinn /Beskrivelse	Hensikt	Verdt å tenke på	Dokumentasjon i beregningsrapport/parameterrapport
17: Stabilitetsberegning(er)			Dokumenteres i beregningsrapport Ref. NGF – stabilitetskurs høst 2014.
18: Gjør en ny vurdering av datagrunnlaget	Verifisere om vurdering av datagrunnlaget fra punkt 15 fortsatt er gjeldende når beregningsresultatet foreligger.	Gir grunnundersøkelsene og de tolkningene vi har gjort tilstrekkelig grunnlag for å vurdere de forholdene som har betydning for vår beregning? Er valgt grad av forsiktighet rimelig?	Beskrives og begrunnes med forankring i kap 5 i denne rapporten.
19: Dersom vi mangler data, vurder behov for supplerende grunnundersøkelser og evt. revidert parameterforklaring og beregninger (trinn 4–18)			

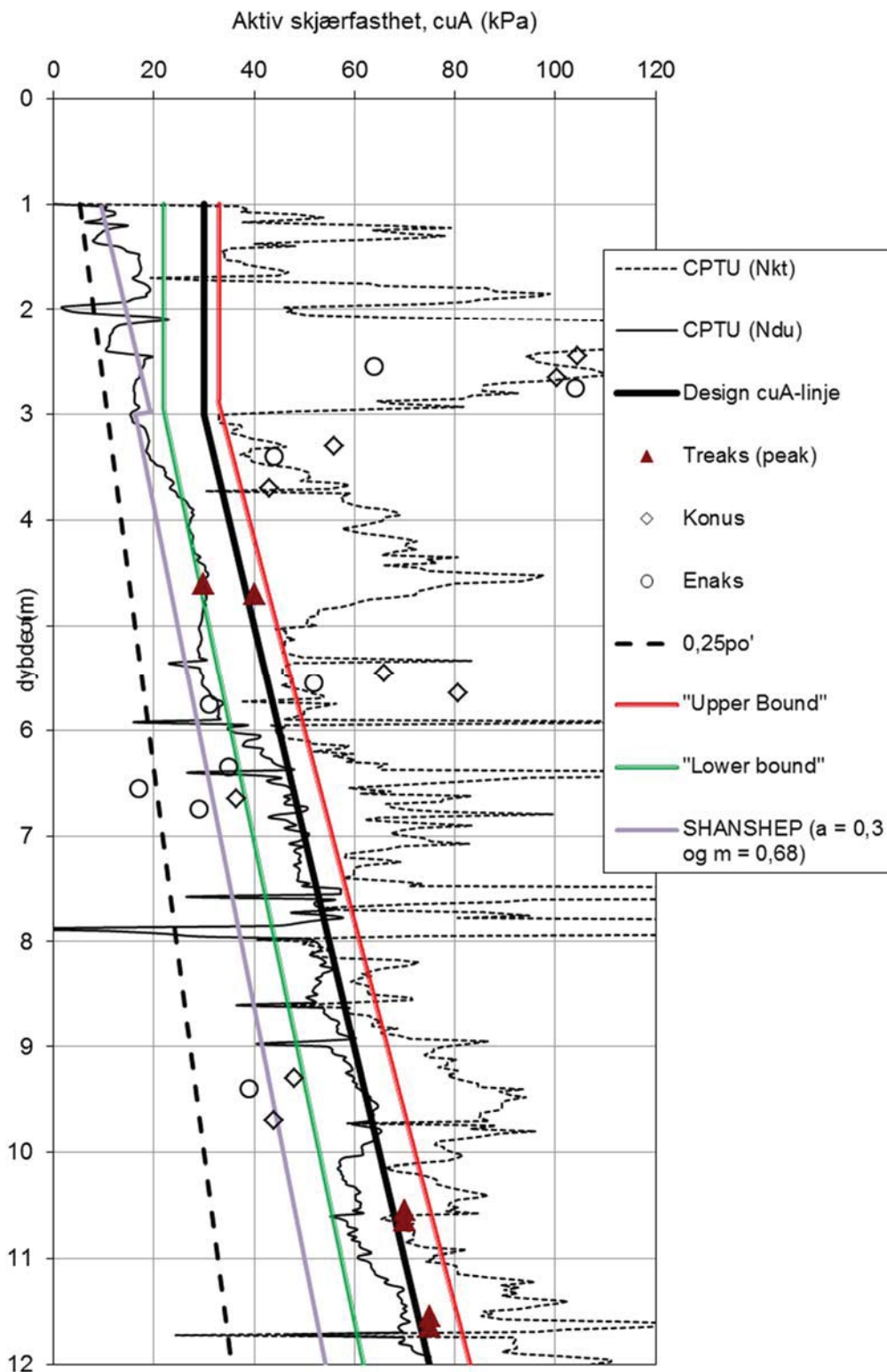
4 Forutsetninger for valg av c_{uA} – profil

4.1 Sammenstilling og valg av karakteristisk c_{uA} – profil

Tolkning av relevante måle- og erfaringsdata vises i et samleplott. En linje c_{uA} legges inn i plottet som det mest sannsynlig opptredende verdi, se eksempel i Figur 4.1. Rangering av måle- og erfaringsdata ved valg av mest sannsynlig opptredende verdi bør gjøres iht følgende:

1. Treksialforsøk av god kvalitet (kvalitetsklasse 1)
2. CPTU (Anvendelsesklasse 1)
3. Erfaringsverdier (c_{uA}/P_0' , SHANSEP)
4. Konus/Enaks/Vingebor

Det vises normalt ett plott for hvert borpunkt, men det kan iblandt være hensiktsmessig å tolke flere borpunkter i samme plott. Valgt c_{uA} -profil bør normalt ligge mellom den nedre respektive øvre begrensningelinje . Erfaringene, ref. /3/, viser at gir den laveste $c_{uA} \leq 0,25p_0'$ for norske leirer.



Figur 4.1 En typisk design c_{uA} -profil hvor den øvre beregningslinje er basert på CPTU (N_{kt}), Designlinjen er basert på treaksresultatene. c_{uA} -profil basert på SHANSHEP og 0,25 p_o' er vesentlig mindre enn de som er sett fra de fleste enaks og konus (justert) forsøkene.

4.2 Krav i NS-EN 1997-1

Relevante krav kan finnes i kapitlene 2.4.3 «Grunnens egenskaper» og 2.4.5.2 «Karakteristiske verdier av geotekniske parametere»

De mest relevante hovedpunktene som må tas hensyn til ved uttak c_{uA} -profiler er oppsummert nedenfor:

- Valg av karakteristisk c_{uA} skal baseres på resultater laboratorieforsøk eller in situ forsøk, enten direkte, eller gjennom korrelasjoner/teori/empiri eller annen godt etablert og relevant erfaring.
- Omfang av undersøkelser, samt type og antall prøvinger/forsøk skal hensyntas/reflekteres i valg av karakteristisk c_{uA} .
- Prøvingsmetode for bestemmelse av c_{uA} bør være i samsvar med publisert og anerkjent informasjon (praksis) for prøvingsmetoder.
- Faktorer som kan medføre forskjeller mellom målt verdi i lab/felt og reell oppførsel i grunnen skal tas hensyn til. Som eksempler nevnes: spenningsnivå, deformasjonsmåte, sprekker, lagdeling eller store partikler/korn, tidseffekter, strømning av vann, dynamiske påvirkninger, sprøhet og duktilitet. (f. eks. korreksjon for tidseffekter, sprøbruddoppførsel mv.).
- Det skal tas hensyn til geologisk informasjon og data fra andre prosjekter og/eller områder med tilsvarende grunnforhold. Størrelsen på valgt karakteristisk c_{uA} bør sammenlignes med relevante publiserte data og lokal og generell erfaring. Det vil si at målte verdier skal avstemmes med erfaringsdata for å kontrollere at størrelsen faller innenfor forventet variasjonsområde.
- Uttak av karakteristisk c_{uA} skal baseres på et forsiktig anslag av de verdiene som har størst betydning for aktuell problemstilling/analyse/beregning. Dvs. fokus på evt. svake lag/områder.
- Størrelsen på jordvolumet som inngår i beregningene/analysene skal gjenspeiles i valg av c_{uA} . Det vil si at det må gjøres en vurdering av størrelsen/utbredelsen for aktuelle glideflater (løsneområdet) og at dataene må representere hele volumet.
- På grunn av at lab- og feltforsøk i de fleste tilfeller kun vil dekke en meget liten andel av det jordvolumet som vil være involvert i en analyse/beregning så bør karakteristisk c_{uA} velges som et forsiktig anslag for middelveidene av målte/avledede verdier funnet ved forsøk på området. Det er viktig her å ha fokus på svake områder og/eller svake lag som kan ha betydning for analysen, slik at disse ikke kommer for gunstig ut i en middelveid-vurdering.
- Det bør utvises forsiktighet i bruk av verdier som betinger store deformasjoner.

4.3 Valg av representative data

Felt- og laboratoriedata som benyttes til tolkning av c_{uA} profiler må velges slik at profilene som framkommer representerer det jordvolumet som skal inngå i beregningen. Det må sannsynliggjøres at datautvalget er representativt for aktuelt profil og jordvolum. Her inngår topografi, avstand til beregningsprofil, kotenivå, tidligere terrengnivå i området (overkonsolidering), effektivspenningsnivå eller poretrykk, variasjon i grunnforhold i området, løsmassegeologisk informasjon og avsetningshistorikk. Vedlegg D gir en kort diskusjon over tolkning av data fra feltundersøkelser

4.4 Reduksjon av karakteristisk c_{uA} i sprøbruddmaterialer

For sprøbruddmaterialer bør c_{uA} , dersom denne er bestemt på grunnlag av laboratorieforsøk på blokkprøver med prøve kvalitet «veldig god til utmerket» eller data-korrelasjoner mot slike prøver, iht. gjeldende praksis reduseres med 15 % for å ta hensyn til tidseffekt og sprøbruddeffekt. Denne reduksjonen foreslås gjort i beregningsprogrammet ved å legge en faktor 0,85 på c_{uA} i beregningen.

6 Gyldighet

Foreliggende rapport gjelder for norske leirer. Rapporten er skrevet primært for å brukes ved stabilitetsanalyser, men kan også brukes generelt ved geoteknisk prosjektering.

7 Referanser

- /1/ Norsk Standard NS-EN 1997-1:2004+NA:2008. Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering Del 1: Allmenne regler.
- /2/ Ladd CC, Foott R. 1974. New design procedure for stability of soft clays. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE 100(7): 763-786.
- /3/ Karlsrud K and Hernandez-Martinez F G (2013). Strength and deformation properties of Norwegian clays from laboratory tests on high-quality block samples. Canadian Geotechnical Journal, 50(12): 1273-1293.
- /4/ Rolf Sandven, Arne Vik, Sigbjørn Rønning, Erik Tørum (2012). Detektering av kvikkleire fra ulike sonderingsmetoder. NIFS rapport nr. 46-2012. Utgitt av NVE.

- /5/ NGF: Melding nr. 5 Utgitt 1982, revidert 2010. Veiledning for utførelse av tyrkksondering.
- /6/ Gylland, Anders Samstad; Jostad, Hans Petter; Nordal, Steinar; Emdal, Arnfinn. (2013) Micro-level investigation of the in situ shear vane failure geometry in sensitive clay. Geotechnique. volum 63 (14).
- /7/ NGF melding nr 4 – Veiledning for utførelse av vinge boring.
- /8/ NGF: Melding nr. 11 – Utgitt 1997, revidert 2013. Veiledning for prøvetaking.
- /9/ Casagrande, A. 1936. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Boston, 22–26 June 1936. Vol. III, Discussion D–34, p. 60.
- /10/ Janbu, N. 1963. Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests. In Proceedings of the 3rd European Conference Soil Mechanics, Wiesbadem. Vol. 1, pp. 19–25.
- /11/ Salfors, G. (1975) Preconsolidation Pressure of Soft High Plastic Clays," Ph.D. thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- /12/ Holtz, R.D. and Kovacs, W.D. (1981). "An Introduction to Geotechnical Engineering," Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 733 pp.
- /13/ Kornbrekke H (2012) Skråningsstabilitet ved Rein kloster med utgangspunkt i resultater fra blokkprøver. Master thesis. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim
- /14/ Brooker, E.W. and Ireland, H.O. (1965), "Earth Pressure at Rest Related to Stress History", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 2 (1), pp 1–15
- /15/ Berre T, Lunne T, Andersen KH, Strandvik S, Sjursen M. 2007. Potential improvements of design parameters by taking block samples of soft marine Norwegian clays. Canadian Geotechnical Journal 44(6): 698–716
- /16/ NGF: Meldinger nr 11 VEILEDNING FOR PRØVETAKING (UTGITT 1997, REVIDERT 2013)
- /17/ Statens vegvesen, Veileder: V220 – Geoteknikk i vegbygging. Utgitt i 2014.
- /18/ NVEs kvikkleireveilder: Sikkerhet mot kvikkleireskred. Utgitt i 2014.

- /19/ Lunne, T., Berre, T., Strandvik, S. (1997). Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay. Proc. Of the Conference on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Rio de Janeiro, Brazil, 25–27 June. Balkema, Rotterdam. Pp 81–102
- /20/ NGF-kurs 2003 i stabilitet – Foredrag 4.2 av Kjell Karlsrud.
- /21/ Statens Geotekniske Institut (2007): Skjuvhållfasthet – utvärdering i kohesjonsjord. Information 3.
- /22/ Karlsrud, K., Lunne, T., Kort, D. A. and Strandvik, S. (2005): CPTU correlations for clays. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 16. Osaka 2005. Proceedings, Vol. 2, pp. 693–702. CPTU: Lunne, Karlsrud
- /23/ NIFS-rapport 14/2014. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer.
- /24/ Lunne, T., Robertson, P. K. and Powell, J. J. M. (1997): Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic & Professional.

Vedlegg

- A Dagens praksis v/Sintef
- B Dagens praksis v/Multiconsult
- C Dagens praksis v/NGI
- D Tolkning av Feltundersøkelser v/SINTEF
- E Valg av designprofil for c_{uA} ved stabilitetsberegning; påvirkning fra type og omfang av grunnundersøkelser / Statens vegvesen
- F Innspill til prinsipp for uttak av c_{uA} v/Multiconsult

Notat

Valg av design c_{uA} profil basert på lab – og feltundersøkelser. Innspill til arbeidsgruppe i NIFS.

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Stein Olav Christensen

BEHANDLING

UTTALELSE

ORIENTERING

ETTER AVTALE

GÅR TIL

Prosjektgruppen NIFS-CAU

x

PROSJEKTNR / SAK NR

102007174/NIFS-CAU

DATO

2014-03-07

GRADERING

Fortrolig

1 Bakgrunn

Statens vegvesen (SVV), Jernbaneverket (JBV) og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har rammeavtaler med NGI/ SINTEF/Multiconsult og avtale med NTNU for oppdrag relatert til NATURFARE-Infrastruktur, flom og skred (NIFS). Et av avropene gjelder "Valg av c_{uA} design profil".

2 Tolkingsgrunnlag

Valg av c_{uA} design profil baseres på tilgjengelige undersøkelser som rutineundersøkelser (romvekt, konus, enaks), treaksialforsøk, vingebor og ødometer, Sammen med tolkning av CPTU-sonderinger har geoteknikere en basis for å velge design profil for udrenert skjærfasthet. Informasjon om tidligere rasaktivitet (rasmasser i profilet), nedbørsforhold og strømningsforhold kan være viktig med tanke på hvordan skjærfasthetsprofilene skal brukes.

For stabilitetsberegninger vil også en god forståelse av utbredelsen for de forskjellige lagene og en sammenstilling av ulike skjærfasthetsprofil være av betydning.

3 Tolkingsmetoder

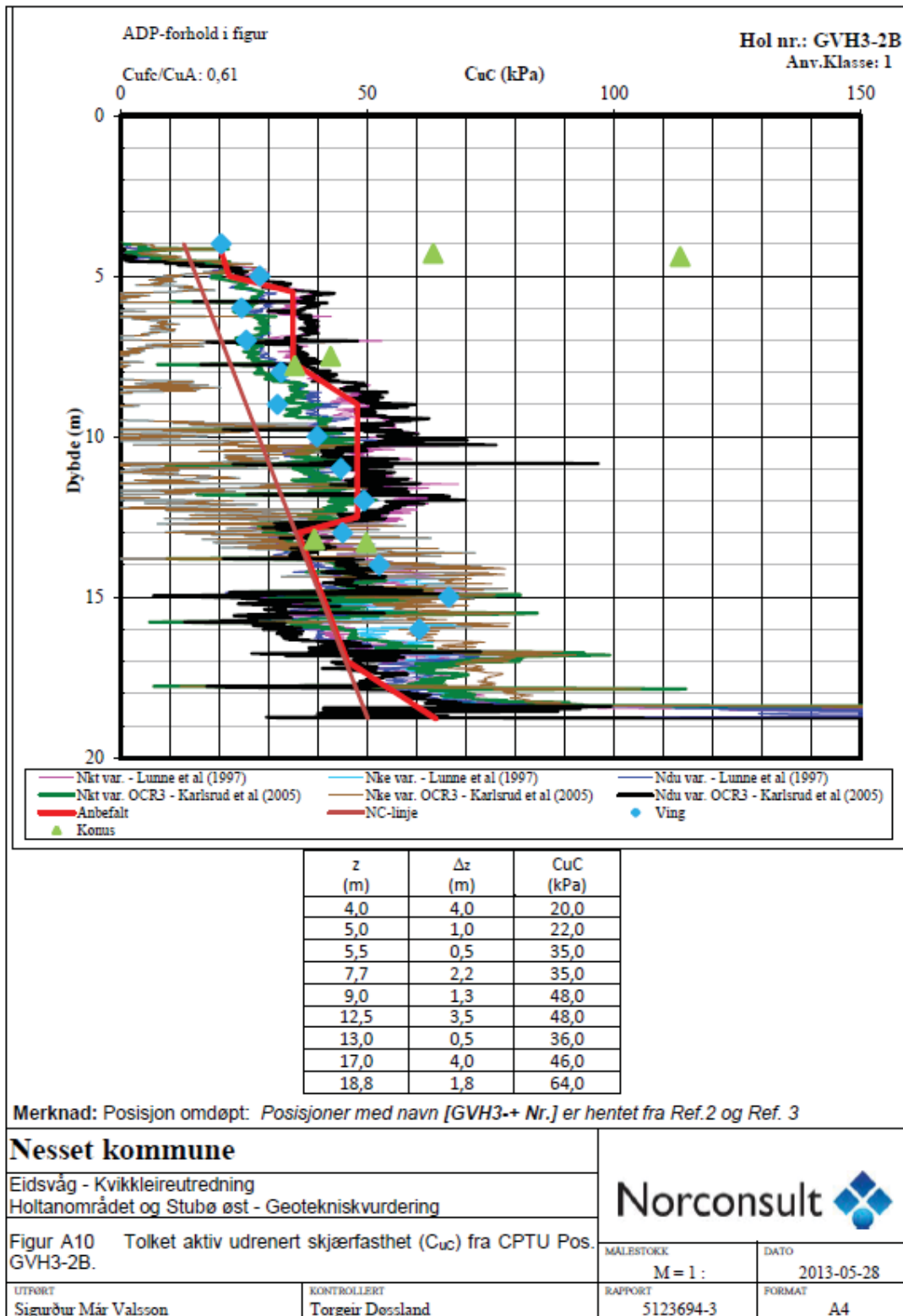
Tolkning av skjærfasthet fra rutineundersøkelser som konus og enaks er relativt entydige og kommenteres ikke her. Tolkning av skjærfasthet fra treaksialforsøk avhenger ofte av hvilket tøyingsnivå som legges til grunn og prøve kvaliteten. Tolkning av CPTU-forsøk gjøres med forskjellige metoder:

- Conrad (ofte brukt av SVV og i Sverige)
- NGI-metoden, diagrammer for N_{kt} og N_{du} mot OCR og I_p fra blokkprøver
- NTNU-metoden

Felles for de fleste er at det legges inn en nedre grense i form av en NC-linje. Ved tolkning av CPTU må legges det ofte mest vekt på skjærfasthet tolket med N_{du} dersom poretryksrespons vurderes god. Høyeste kvalitetsklasse er avgjørende for å få sikrest mulig tolking. Sammenligning med dreietrykk/totalsondering er nyttig i tolkingen.

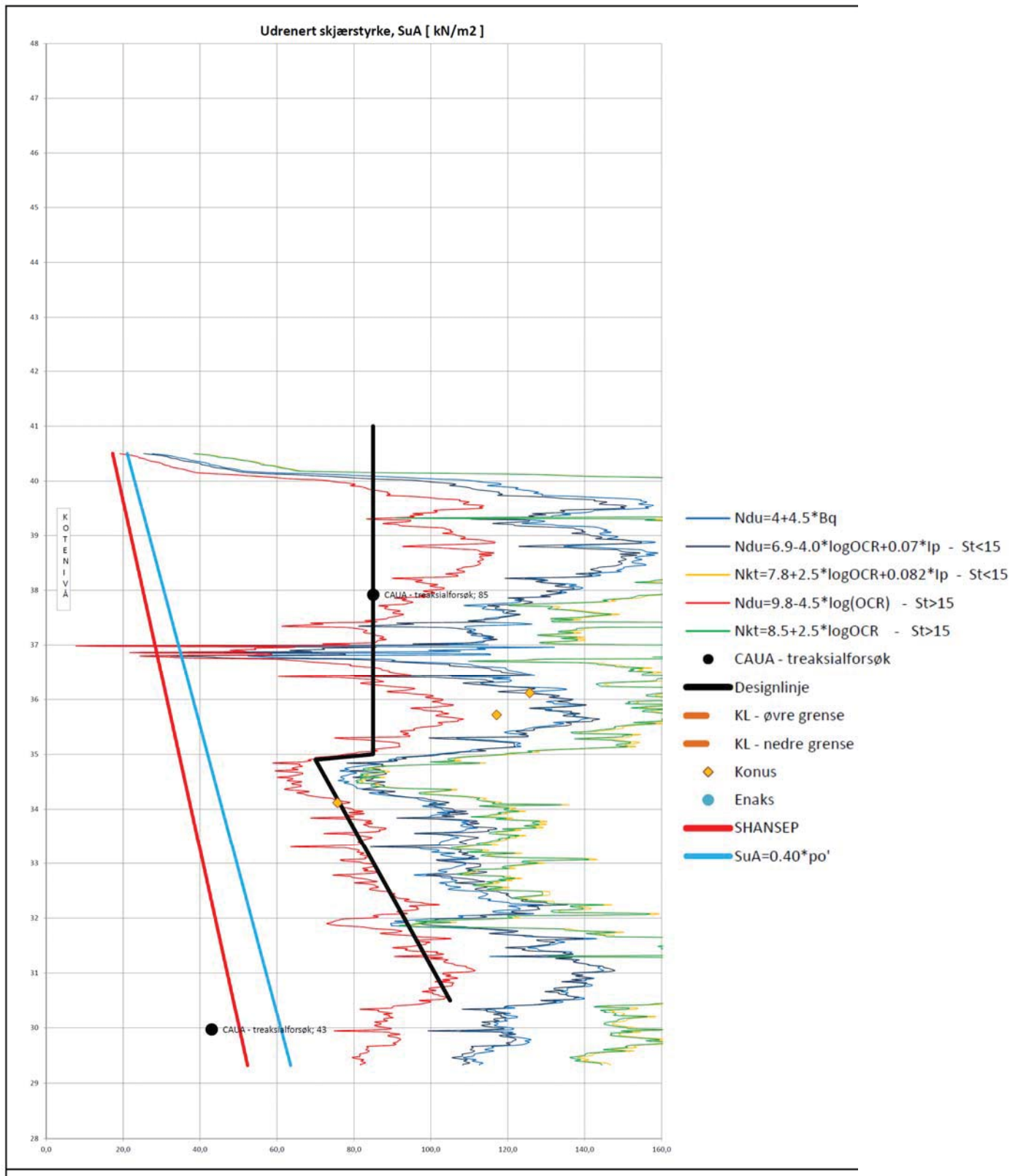
4 Eksempler på tolkning av skjærfasthetsprofil fra ulike geotekniske firma

4.1 Norconsult, Eidsvåg



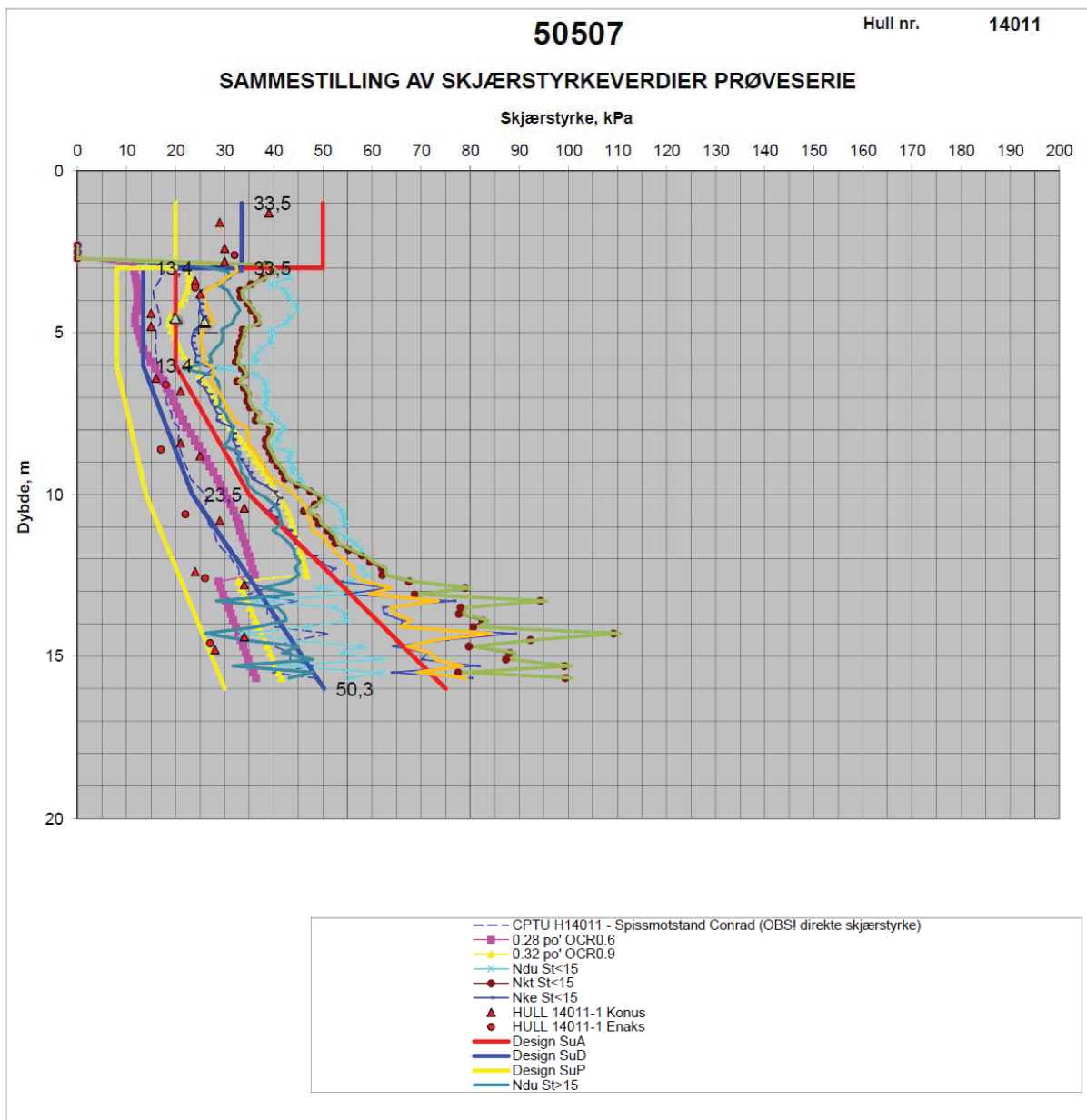
Figur 4-1 Norconsult – tolkning av skjærfasthet i Eidsvåg.

4.2 Rambøll, Bommestad-Sky



Figur 4-2 Rambøll – tolkning av skjærfasthet Bommestad-Sky.

4.3 SVV, Ømmervatn-Drevja



Figur 4-3 SVV – tolkning av skjærfasthet fra Ømmervatn-Drevja.

INTERNT ARBEIDSNOTAT

OPPDRAAG	Valg av designprofil for aktiv udrenert skjærfasthet	DOKUMENTKODE	415559-RIG-NOT-003
EMNE	Overordnet oversikt over prosedyre i Multiconsult	TILGJENGELIGHET	Begrenset
OPPDRAAGSGIVER	NIFS	OPPDRAAGSLEDER	Rolf Sandven
KONTAKTPERSON	Vikas Thakur	SAKSBEH	Odd Arne Sørlien Fauskerud
KOPI		ANSVARLIG ENHET	1012 Oslo Geoteknikk Bygg & Infrastruktur

SAMMENDRAG

Notatet inneholder en kort redegjørelse for hva vi mener er «best practice» mht. uttak av aktiv udrenert skjærfasthet og bestemmelse av designlinje for aktiv udrenert skjærfasthet. Notatet er et internnotat som innspill til diskusjoner i møter med NIFS gruppen.

Innhold

1	Innledning	2
2	Laboratoriemålte data	2
2.1	Aktive treaksialforsøk	2
2.2	Udrenert skjærfasthet fra konus og enaks	2
3	In-Situ – målinger.....	3
3.1	CPTU.....	3
3.2	Vingebor	4
4	Hjelpelinjer – erfaringstall og empiriske korrelasjoner	4
5	Sammenstilling av data, presentasjon og tolkning.....	7
6	Referanser	Error! Bookmark not defined.

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
01	2015-02-26	Endelig utgave	OAF	OLT/ROLS/CA	OAF
00	2014-03-07	Arbeidsnotat som grunnlag for møte	OAF	OLT	OAF

1 Innledning

Gjennom rammeavtale for Naturfareprosjektet (NIFS) er Multiconsult sammen med NTNU, SINTEF og NGI engasjert i et oppdrag hvis hovedmål er å komme fram til en omforent anbefaling/veiledning mht. uttak av aktiv udrenert skjærfasthet fra felt- og laboratorieundersøkelser.

I oppstartsmøte avholdt 2014-02-12 ble Multiconsult spurt om innledende bidrag til prosessen i form av en kort beskrivelse av dagens praksis i firmaet mht. uttak av aktiv udrenert skjærfasthet.

Foreliggende arbeidsnotat gir en overordnet oversikt over de prosedyrene som ligger til grunn i Multiconsult pr. i dag for normalkonsolidert til lett overkonsolidert leire. Prosedyrene gir ikke et fullstendig bilde av alle variantene av framgangsmåter som benyttes i enkeltprosjekter, og vil kunne variere mellom regioner og sågar mellom personer. Oversikten gir imidlertid innsikt i hva vi mener er «best practice» hos oss pr. i dag.

2 Laboratoriemålte data

2.1 Aktive treaksialforsøk

Aktiv udrenert skjærfasthet, Cu_A , bestemmes ut fra aktive treaksialforsøk (CAU_a). Normalt tolkes Cu_A som mobilisert skjærspenning ved en skarp endring i krumning av spennings-tøyningskurven (σ - ϵ) eller ved den tøying som gir høyest samlet verdi av Cu_A og Cu_P (der vi har passive forsøk) eller høyest verdi av Cu_A (der vi har kontraktant oppførsel og ikke har passive forsøk).

For å ta høyde for tidseffekter (hastighetseffekter) i forsøket anbefales skjærfastheter målt i treaksialforsøk redusert med tidsfaktoren f_T (som beskrevet av G.Aas 1988), der f_T varierer med leiras plastisitetsindeks (I_p). For $I_p \leq 20$ er $f_T = 1,0$ (ingen reduksjon).

Det er ikke vanlig å redusere målt peak skjærfasthet på grunn av sprøbruddoppførsel i treaksialforsøk på 54mm prøver i Multiconsult.

For å etablere et skjærfasthetsprofil tilsier prosedyrene at det bør utføres et tilstrekkelig antall treaksialforsøk. Dette antallet vil ofte være begrenset til et minimum av økonomiske og/eller tidsmessige årsaker (for eksempel forsøk i 3 dybder i homogen leire).

2.2 Udrenert skjærfasthet fra konus og enaks

Konus og enaks-skjærfastheter benyttes som støtteverdier for skjærfasthetsprofil.

For NC-leire: $Cu_{enaks} \approx 1/3(S_{uA} + C_{uD} + C_{uP}) \approx C_{uD}$.

Dette gir, sammen med etablerte/målte anisotropiforhold og/eller erfaringsverdier for anisotropiforhold (f. eks. $F(I_p)$) grunnlag for å benytte konus- og enaks skjærfastheter som støtte.

Overordnet oversikt over prosedyre i Multiconsult

3 In-Situ – målinger

4 In-Situ – målinger

4.1 CPTU

Tolkning av udrenert skjærfasthet basert på CPTU gjøres vha. egenutviklet regneark. Tolkningen gjøres både fra en spissmotstands- og en poretrykksbasert tilnærming. Tolkede verdier relaterer i prinsippet til den aktive skjærfastheten c_{uA} .

Metode basert på spissmotstand q_t :

$$c_u = (q_t - \sigma_{vo})/N = q_n/N$$

Følgende prosedyrer for bestemmelse av tolkningsfaktoren N_{kt} er inkludert i regnearket:

1. Valgt verdi, basert på spissmotstand: $c_{uA} = q_n/N$

Teoretisk variasjonsområde: $N = N_c = 9 \pm 3$

2. Empirisk middelvariasjon i B_q (Karlsrud et al (1996)):

$$N = N_{kt} = C_1 - C_2 \cdot B_q$$

3. Empirisk middelvariasjon i OCR, S_t og I_p (Karlsrud et al (2005)):

$$N = N_{kt} = D_1 + D_2 \cdot \log OCR + D_3 \cdot I_p \quad (S_t < 15, S_t > 15)$$

Metode basert på poreovertrykk Δu :

$$s_{uA} = \Delta u_2 / N_{\Delta u} = (u_2 - u_o) / N_{\Delta u}$$

Følgende prosedyrer for bestemmelse av tolkningsfaktoren $N_{\Delta u}$ er inkludert i regnearket:

1. Valgt verdi, basert på poreovertrykk: $s_{uA} = \Delta u_2 / N_{\Delta u}$

Teoretisk variasjonsområde: $N_{\Delta u} = 6-10$

2. Empirisk middelvariasjon i B_q (Karlsrud et al (1996)):

$$N_{\Delta u} = C_3 + C_4 \cdot B_q$$

3. Empirisk middelvariasjon i OCR, S_t og I_p (Karlsrud et al (2005)):

$$N_{\Delta u} = D_4 - D_5 \cdot \log OCR + D_6 \cdot I_p \quad (S_t > 15, S_t < 15)$$

Metode basert på effektiv spissmotstand q_t' :

$$s_{uA} = (q_t - u_2) / N_{ke} = q_t' / N_{ke}$$

1. Valgt verdi, basert på effektiv spissmotstand: $s_{uA} = q_t' / N_{ke}$, $q_t' = q_t - u_2$

Teoretisk variasjonsområde: $N_{ke} = 9 \pm 3$

2. Empirisk middelvariasjon i B_q (Karlsrud et al (1996)):

$$N_{ke} = C_5 - C_6 \cdot B_q$$

3. Empirisk middelvariasjon i OCR, S_t og I_p (karlsrud et al (2005)):

$$N_{ke} = D_7 - D_8 \cdot B_q \quad (S_t > 15, S_t < 15)$$

Overordnet oversikt over prosedyre i Multiconsult

CPTU gir en styrkeverdi ved tolkning som refererer til en kontinuerlig bruddsituasjon med høye tøyninger og høy tøyningshastighet. Tolkede verdier beskriver derfor den ultimate materialfastheten basert på materialets spesifikke egenskaper og geologiske forhistorie slik den er bestemt ved hjelp av CAUa treksialforsøk på høykvalitets blokkprøver. Normalt vil derfor CPTU-fasthet være noe i overkant av skjærfastheten bestemt ved aktive treksialforsøk, konsolidert til dagens effektive overlagingstrykk σ_{vo}' .

Kommentar: Her er det viktig å være klar over at korrelasjonene vi benytter er basert på blokkprøver, og at den høyere skjærfastheten vi oppnår ved tolkning av CPTU i hovedsak kan forklares med dette som bakgrunn. Hvis vi hadde utført våre treksialforsøk på prøver med blokkprøvekvalitet ville nok CPTU-skjærfasthet og treks-skjærfasthet ligget nærmere hverandre. Med andre ord: Ettersom korrelasjonsgrunnlaget er CAUa treksialforsøk utført med normal tøyningssrate vil ikke nødvendigvis være påvirket av tøyningssraten i CPTU så lenge den holdes uforandret fra gang til gang.

Tolket skjærfasthet fra CPTU samsvarer som regel godt med geologisk skjærfasthetsinje for overkonsoliderte materialer $C_{uoc} \sim \alpha \cdot \sigma_c'$.

For CPTU – korrelasjoner basert på blokkprøveresultater er det referert til aktive treksialforsøk (CAUAc), slik at fastheten fra disse korrelasjonene må beskrives som en aktiv skjærfasthet c_{uA} . (f.eks. Karlsrud m.fl. 1996, 2005).

Det anbefales videre en reduksjon på 15 % av tolket skjærfasthet i kvikkleirer/sensitive materialer på grunn av sprøbruddsoppførsel. For overkonsoliderte materialer må også den tidsavhengige effekt av svelling vurderes.

4.2 Vingebor

Erfaringstall for korrelasjonen $C_{uVinge}/C_{uD} = F(I_p)$ benyttes. ESPAR benyttes som hjelpeprogram. Se kap. 5.

5 Hjelpelinjer – erfaringstall og empiriske korrelasjoner

Som støtte for vurdering av tolket og målt udrenert skjærfasthet, benyttes grenselinjer fra ulike geologiske modeller og erfaringstall/empiriske korrelasjoner. Ofte benyttes øvre-/nedre grense betraktninger for styring av designlinje:

Erfaringstall:

$$s_{uA}/\sigma'_{v0} = F(I_p)$$

$$1/3(C_{uA} + C_{uD} + C_{uP}) = F(C_{uEnaks})$$

Normalkonsolidert skjærfasthet: $C_{u_{nc}} = \alpha_u \cdot (\sigma'_{vo} + a)$

Basert på eksisterende gjennomsnittlig effektivt overlagingstrykk σ'_{vo}

$$\alpha_u = (1 - K_o')/2 = \sin\phi/2$$

Eller α_u fra erfaringstall.

Overkonsolidert skjærfasthet: $C_{u_{oc}} = \alpha_c(\sigma_c' + a)$

Basert på eksisterende prekonsolideringstrykk σ_c'

$$\alpha_c = (1 - K_o')/2 = \sin\phi/2$$

Eller α_c fra erfaringstall.

Overordnet oversikt over prosedyre i Multiconsult

1. Tolket fra σ_c' – funksjon for profil basert på ødometerforsøk
2. Tolket fra enkeltverdier av σ_c' fra ødometerforsøk

SHANSEP-modell: $C_u = (C_u/\sigma_{vo}')_{OCR=1} * OCR^m = \alpha_c * OCR^m$

Basert på eksisterende prekonsolideringstrykk σ_c'

α_c = normalisert styrke for ung leire, se Tabell 1.

OCR = prekonsolideringsgrad = σ_c'/σ_{vo}'

m = eksponent = 0,6-0,9 for norske leirer

Tabell 1. Typiske verdier for normalisert udrenert skjærfasthet i norske normalkonsoliderte leirer (etter Karlsrud 2003):

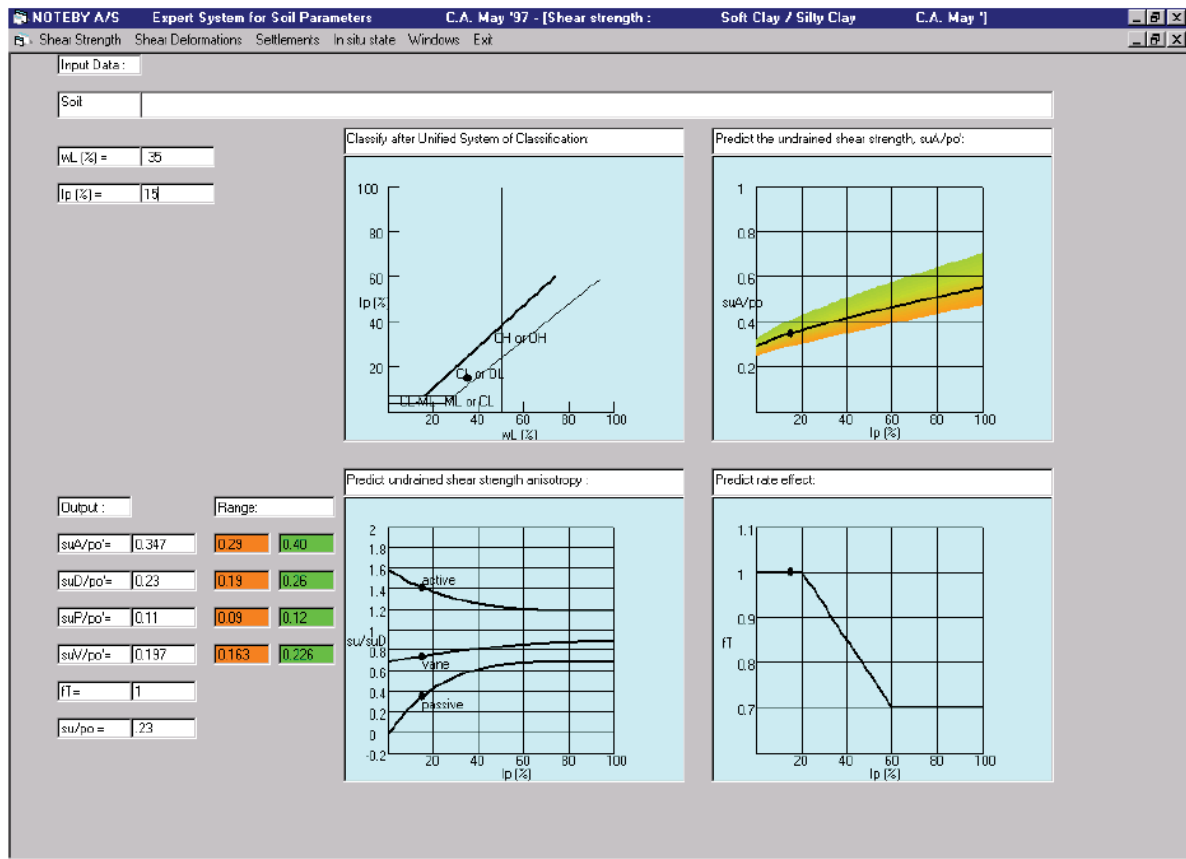
Type forsøk	Ung leire (OCR = 1)	Aldret leire (OCR = 1,2-1,4)
Aktiv – kompresjon	0,25 – 0,30	0,30 – 0,38
Direkte skjær	0,18 – 0,22	0,22 – 0,28
Passiv - ekstensjon	0,10 – 0,16	0,12 – 0,20

ESPAR:

Multiconsults hjelpeprogram ESPAR benyttes i stor grad som støtte ved vurdering av skjærfasthetsverdier og ved valg av hjelpelinjer – ofte med øvre/nedre-grense vurdering for styring av designlinje.

Inndata er w_L og I_p . Programmet gir forventede verdier og variasjonsområder for forholdene C_{uA}/p'_{o} , C_{uD}/p'_{o} , C_{uVinge}/p'_{o} og C_{uP}/p'_{o} og reduksjonsfaktoren, f_T , for tidseffekt. Figur 1 viser et eksempel på bruk av ESPAR.

Overordnet oversikt over prosedyre i Multiconsult



Figur 1: Eksempel på bruk av ESPAR

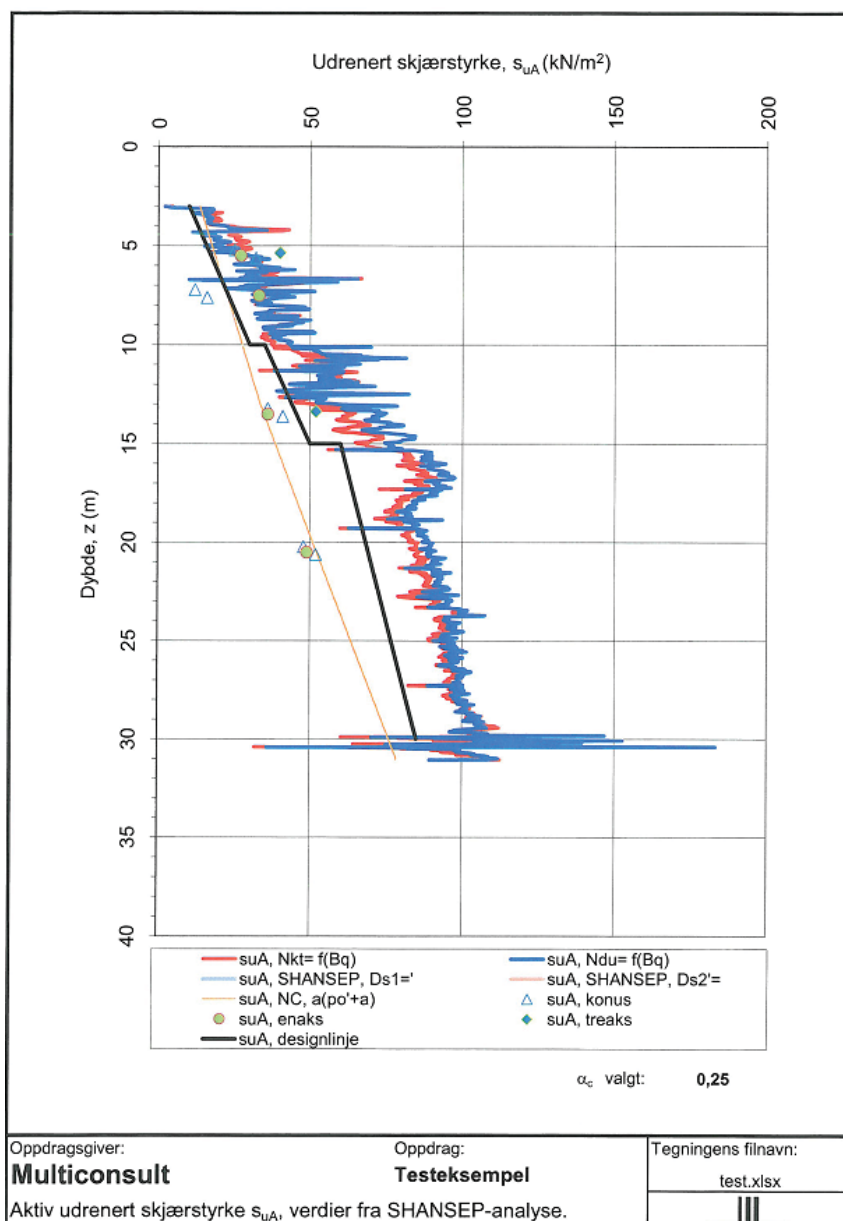
Overordnet oversikt over prosedyre i Multiconsult

6 Sammenstilling av data, presentasjon og tolkning

Data sammenstilles som regel sammen med en eller flere tolkede CPTU-skjærfastheter. Ofte med øvre/nedre grense i form av NC/OC linjer. Sammenstillingen kan baseres på samtolkning av flere borpunkter eller som enkeltpunkter og vi ender som regel opp med flere kurver og punktskyer med mer eller mindre spredning. En forståelse av prinsippet «forsiktig anslåtte middelveier» legges til grunn ved bestemmelse av designlinje.

Plassering av designlinje og hvilke data som vektlegges i tolkningen vil også være problemstillingsavhengig og avhengig av kvaliteten på CPTU/prøvetaking. Tolkning/designlinje vil også i mange tilfeller baseres på en geologisk forståelse av avsetningen, herunder tilpasninger til området som skal analyseres (variasjoner, lagdelinger, spredning av punkter osv) og aktuelle glideflater for problemstillingen.

Se eksempel i Figur 2 nedenfor.



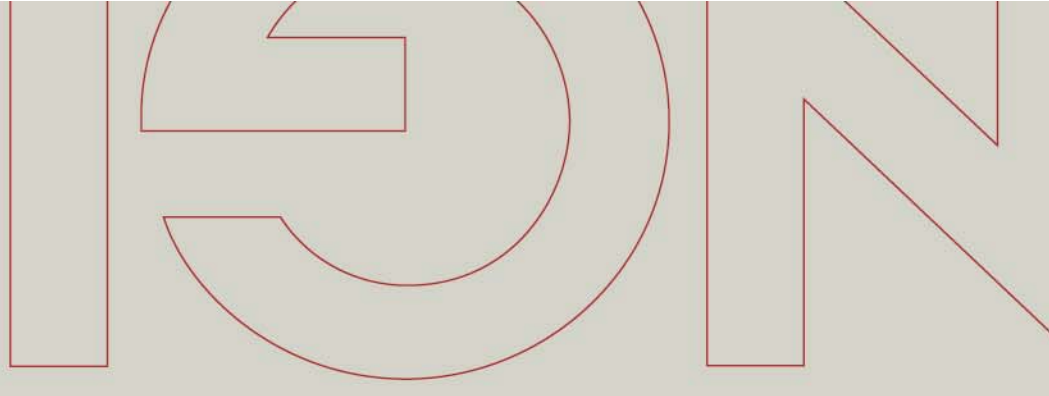
Figur 2: Eksempel på tolkning av Cu_A

7 Grunnlag

- /1/ Multiconsult AS «CPTU EXTRA Regneark for avansert tolkning av CPTU», Beskrivelse. 2010.
- /2/ Multiconsult AS, Håndbok 24731-21 –Fagbok Geoteknikk. 2007.

Valg av design cua-profil

Slik gjør NGI det



Grunnlag

- Kwartærgeologi – geomorfologi
- Grunnundersøkelser
 - totalstasjoner i strategiske punkter (topp og bunn)
 - sondering
 - poretrykksmåling i minst 2 nivåer
 - CPTU - førstegangsvurdering
 - prøveserie, helst Ø72mm ev. Ø54mm av god kv.
 - rutineundersøkelser inkl. konsistensgrenser
 - ødometerforsøk i minst 2 nivåer
 - treaksforsøk i minst 2 nivåer

Grunnlag

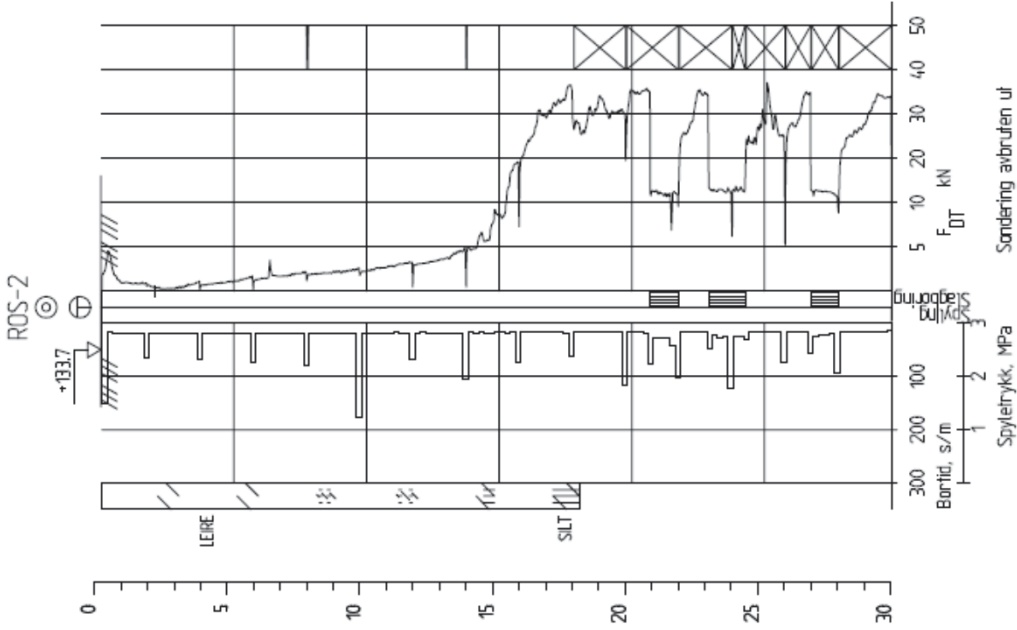
1. Kwartærgeologi – geomorfologi
2. Sondering (dreietrykk ev. totalsondering)
3. Poretrykkmåling i minst 2 nivåer
4. CPTU - førstegangsvurdering
5. Prøveserie, helst Ø72mm ev. Ø54mm av god kv.
 1. Rutineundersøkelser inkl. konsistensgrenser
 2. Ødometerforsøk i minst 2 nivåer
 3. Treaksforsøk i minst 2 nivåer
6. CPTU – endelig vurdering

kvartærgeologi - geomorfologi

- Geologisk historie
- Terrengformer
 - Erosjon
 - Tidligere skred
 - Byggevirksomhet
- Gammel sjøbunn
- OCR

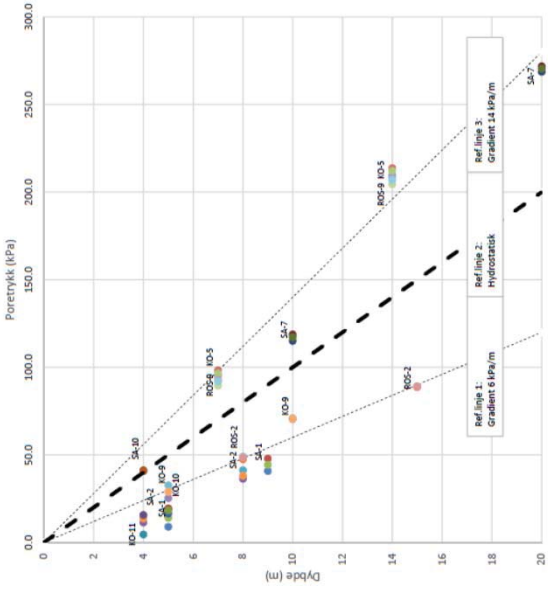
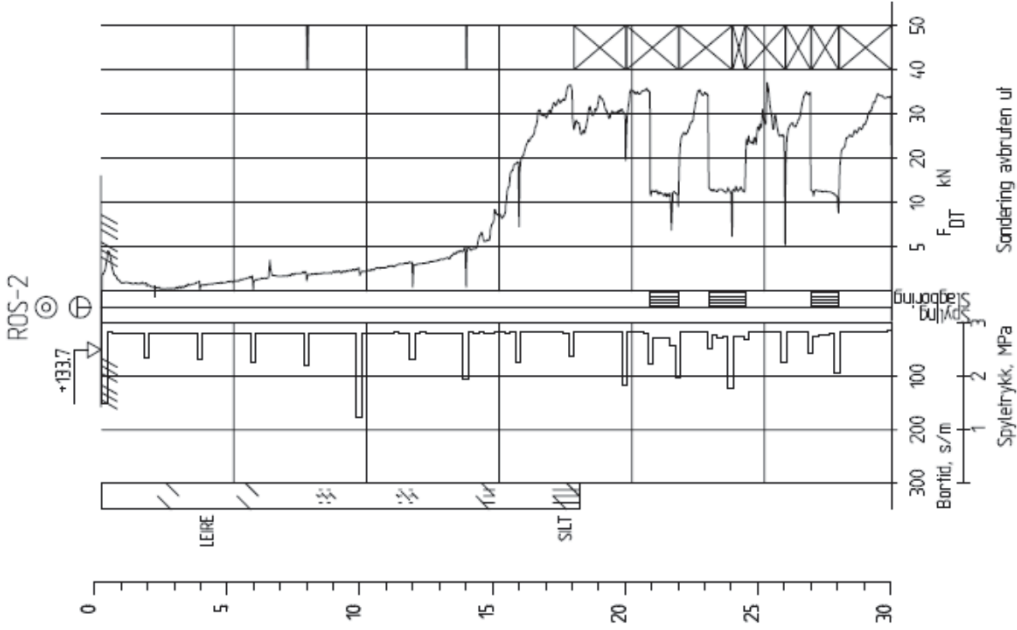
sondering

- Lagdeling
 - Rammebetingelser for hydrogeologiske forhold
- Sensitivitet
- Dybde til fjell / fast grunn



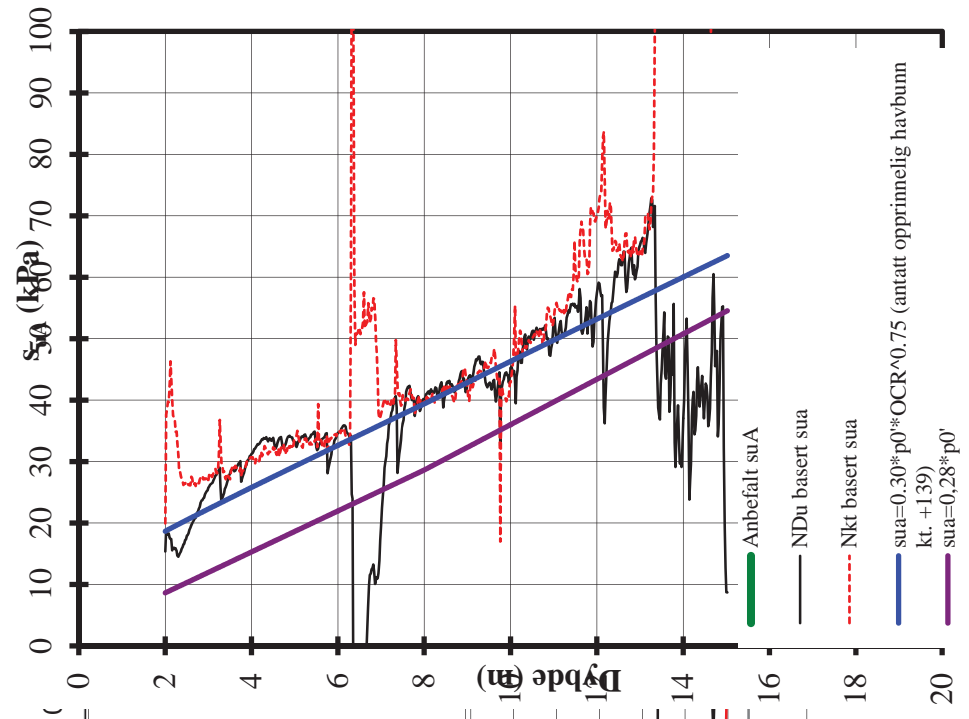
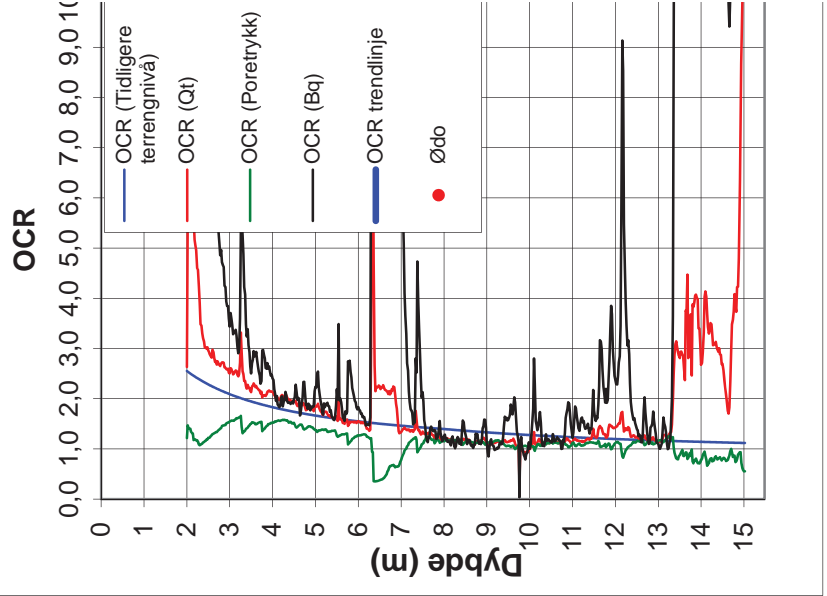
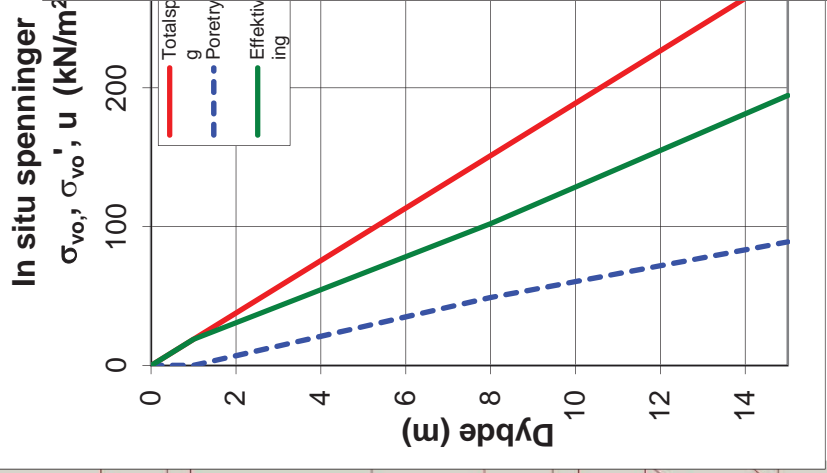
3. poretrykksmåling

- Viktig for å finne riktig effektivspenningsprofil
- konsolideringsspenninger i treaks
- (Tolkning av c_{ptu})



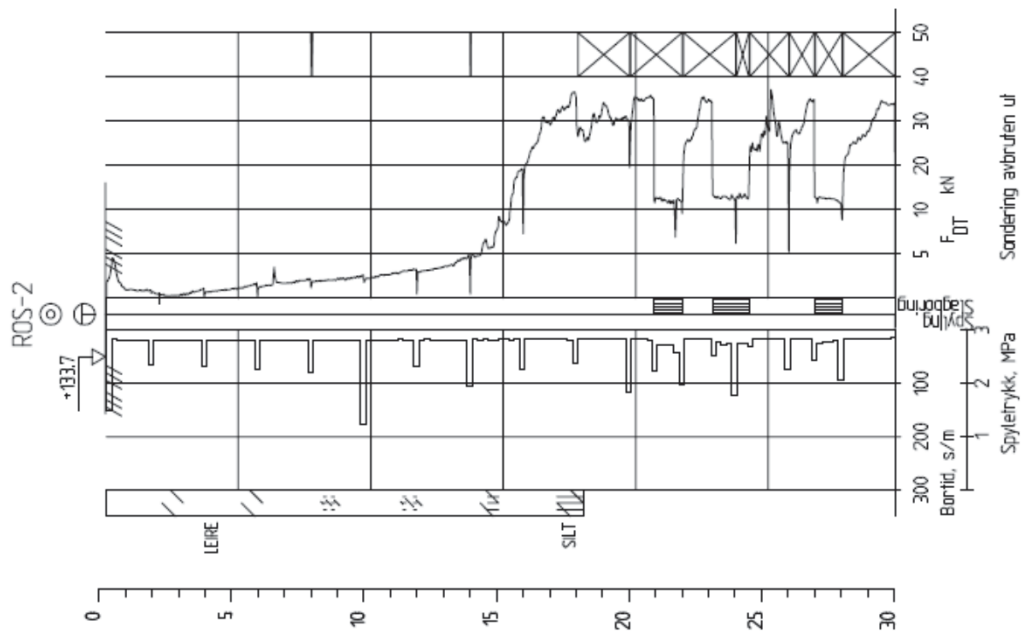
4. CPTU første gang

- Lagdeling
- Grunnlag for vurdering av lab.undersøkelser
 - Dybde for spesialforsøk
 - Konsolideringsspenninger (OCR)
- Ofte manglende informasjon fra poretrykk i denne fasen, men dette har relativt liten betydning for tolkningen



5. Prøveserie – tolkning av rutine

- Romvekt - vanninnhold
- Sensitivitet
- Plastisitetsgrenser
- Indeks fasthet, sjelden et viktig grunnlag



Horisont	Arter	Utsnitt	Vanninnhold w ₁ %	7	Skjærstyrke (C _v) kPa	S ₁
1	jordst	U3		step	20	80
2	LEIRE	U3	28.0	18.0	18	7
3	LEIRE	U3	28.0	18.0	18	9
4	LEIRE	U3	28.0	18.0	18	9
5	LEIRE	U3	28.0	18.0	18	10
6	LEIRE	U3	28.0	18.0	18	13
7	SILT	U3	28.0	18.0	18	11
8	SILT	U3	28.0	18.0	18	11

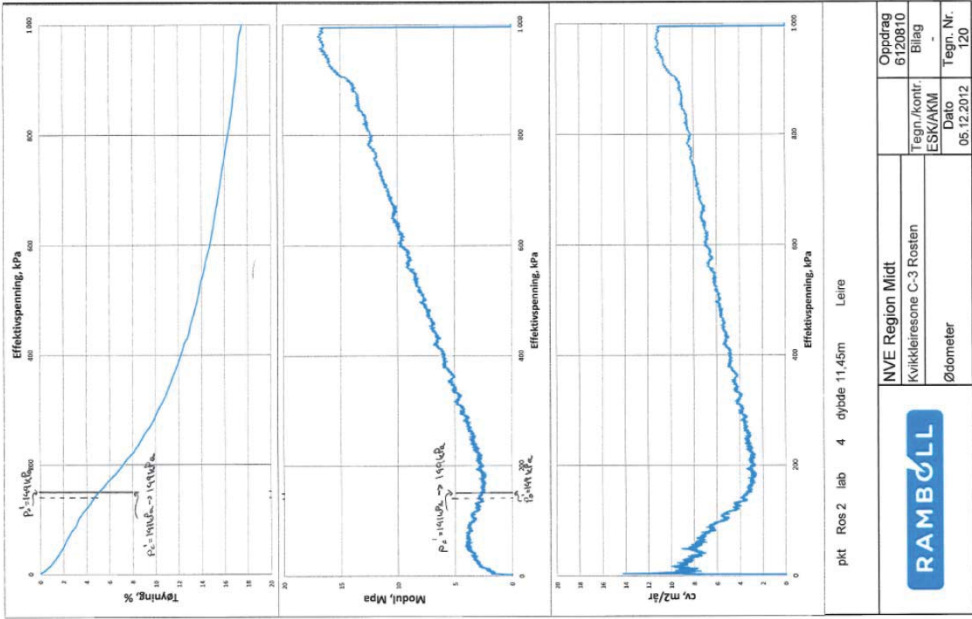
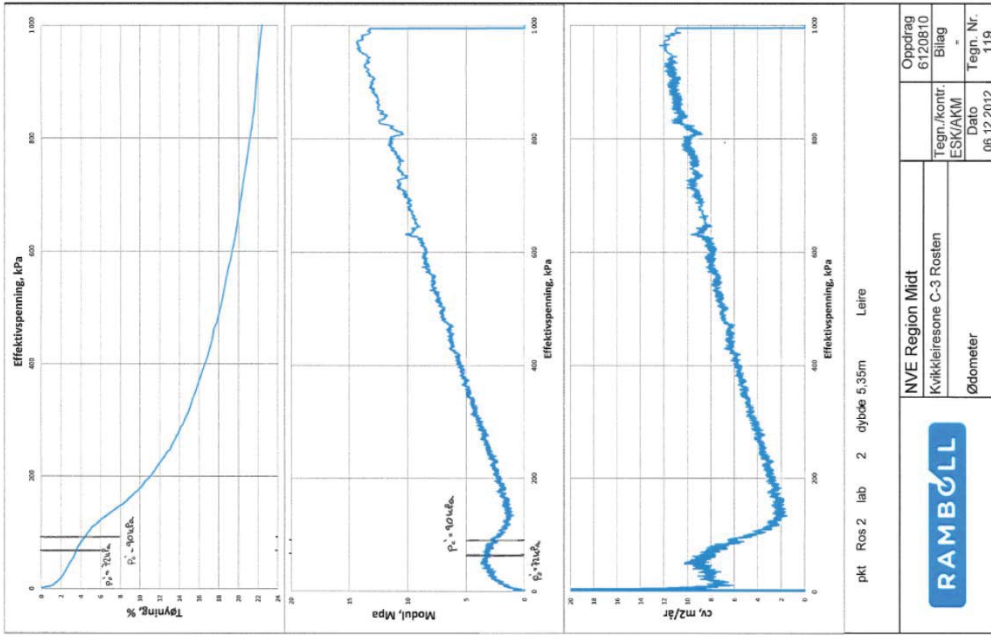
Enkelttrykkløst (støtkeppeløs) Konsoliderings - Omsettelsesnytt: 7 / 7
 Permeabilitetsfaktor D Konsolideringsgrad w_p - N_v Anden Egenskap:
 T = Traktstørrelse D = Øbrennerforbukk K = Kornfordeling

Skala: 1:1000
 Kvalifikasjon C-2 Raster
 NVE Rapport R02
 BOREPLOT HULL NR. 1 ROS-2
 TESTENEDRØYSEL +133.7 PROJEKTER 75 mm

NGI 60
1953-2013

5. Prøveserie – tolkning av ødo

- **Kvalitet**
 - Kurvens form
 - Er det mulig å tolke pc'?
 - de/eo (Lunne) ved p0' ?
- **OCR**
 - Metode
 - Casagrande, Karlsrud, Sällfors
 - Vurdering av tidligere terreng (aldring etc.)
- **Grunnlag for konsolideringsspenninger**
 - Ofte et problem i praksis



TABELL C1

OVERSIKT OVER ØDOMETERFORSØK

PRØVE IDENTIFISERING			KLASSIFISERING										TOLKNING AV DATA					
Borpunkt nr.	Forsøk	Dybde m	w _i %	w _p %	w _L %	l _p %	γ _T kN/m ³	e _i	Leif Innhold %	S _t	P ₀ kPa	d _{V/V} ved P ₀ %	Δe/e ₀ ved P ₀	P ₀ ' kPa	pc' kPa	OCR	Z _p (moh)	Prøve-kvalitet Hb_016
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SA-2	C5-2-3	4.6	35.0	27.0	45.0	18.0	19.0	0.96	45.0	6.0	73.0	1.34	0.027	70.0	-	-	-	1
SA-2	C5-2-4	7.6	32.0	23.0	34.0	11.0	19.5	0.88	42.0	7.0	110.0	1.60	0.034	112.0	365.0	3.26	153.8	2
SA-7		6.40	29.0	18.0	24.0	6.0	20.6	0.80	32.0	46.0	52.5	2.32	0.052	55.0	174.0	3.16	105.5	3
SA-7	AB-12	8.70	27.0	17.0	22.0	5.0	20.2	0.74	32.0	47.0	71.0	2.45	0.057	75.0	197.0	2.63	105.3	3
KO-9	AC-2	4.50	36.0	23.0	39.0	16.0	18.8	0.99	42.0	7.0	65.0	1.60	0.032	65.0	210.0	3.23	140.1	2
KO-9	AC-4	8.35	38.0	18.0	22.0	4.0	18.8	1.05	31.0	>100	103.0	2.80	0.055	103.0	182.0	1.77	133.7	3
KO-9	AC-4	8.40	38.0	18.0	22.0	4.0	18.8	1.05	31.0	>100	103.0	2.50	0.049	103.0	190.0	1.84	134.4	2
KO-10	1	4.6	38.0	24.0	38.0	14.0	18.8	1.05	42.0	8.0	70.0	1.60	0.031	70.0	200.0	2.86	133.1	2
ROS-2	Lab 02	5.35	45.0	23.0	40.0	17.0	19.0	1.24	47.0	9.0	71.0	3.60	0.065	71.0	113.0	1.59	138.8	2
ROS-2	Lab 04	11.45	37.0	22.0	33.5	11.5	19.0	1.02	38.5	10.0	148.0	5.10	0.101	148.0	148.0	1.00	136.0	3
ROS-9	Lab 20.1	5.35	32.0	18.0	28.0	10.0	20.0	0.88	38.5	15.0	37.0	1.69	0.036	37.0	331.0	8.95	112.6	2
ROS-9	Lab 20.2	5.45	32.0	18.0	28.0	10.0	20.0	0.88	38.5	15.0	38.0	1.10	0.024	38.0	324.0	8.53	111.9	1
ROS-9	Lab 22.1	11.40	30.0	20.0	25.0	5.0	20.0	0.83	38.0	20.0	65.0	2.25	0.050	65.0	347.0	5.34	108.0	2
ROS-9	Lab 22.2	11.45	30.0	20.0	25.0	5.0	20.0	0.83	38.0	20.0	65.0	2.30	0.051	65.0	280.0	4.31	101.8	3

w _i	In-situ vanninnhold	
w _p	Utrullingsgrense	
w _L	Flytegrense	
l _p	Plastisitetsindeks, l _p = w _L - w _p	
γ _T	Total romvekt	
e _i	Initielt porerall, e _i = 2.75 * w _i	
S _t	Sensitivitet	
P ₀ '	In-situ effektivspenning	
d _{V/V}	Volumtøyning ved P ₀ '	
Δe/e ₀	Endring i porerall, Δe = ε _{vol} (1+e _i) og e _i = 2.75 * w _i	

Klassifisering:		
1	Meget god	
2	God til bra	
3	Dårlig	
4	Meget dårlig	

Z_p = Terrenkote - prøvedybde + P₀'/(γ'₀*aldningsfaktor)

γ'₀ = 9 kN/m³

aldningsfaktor = 1.2

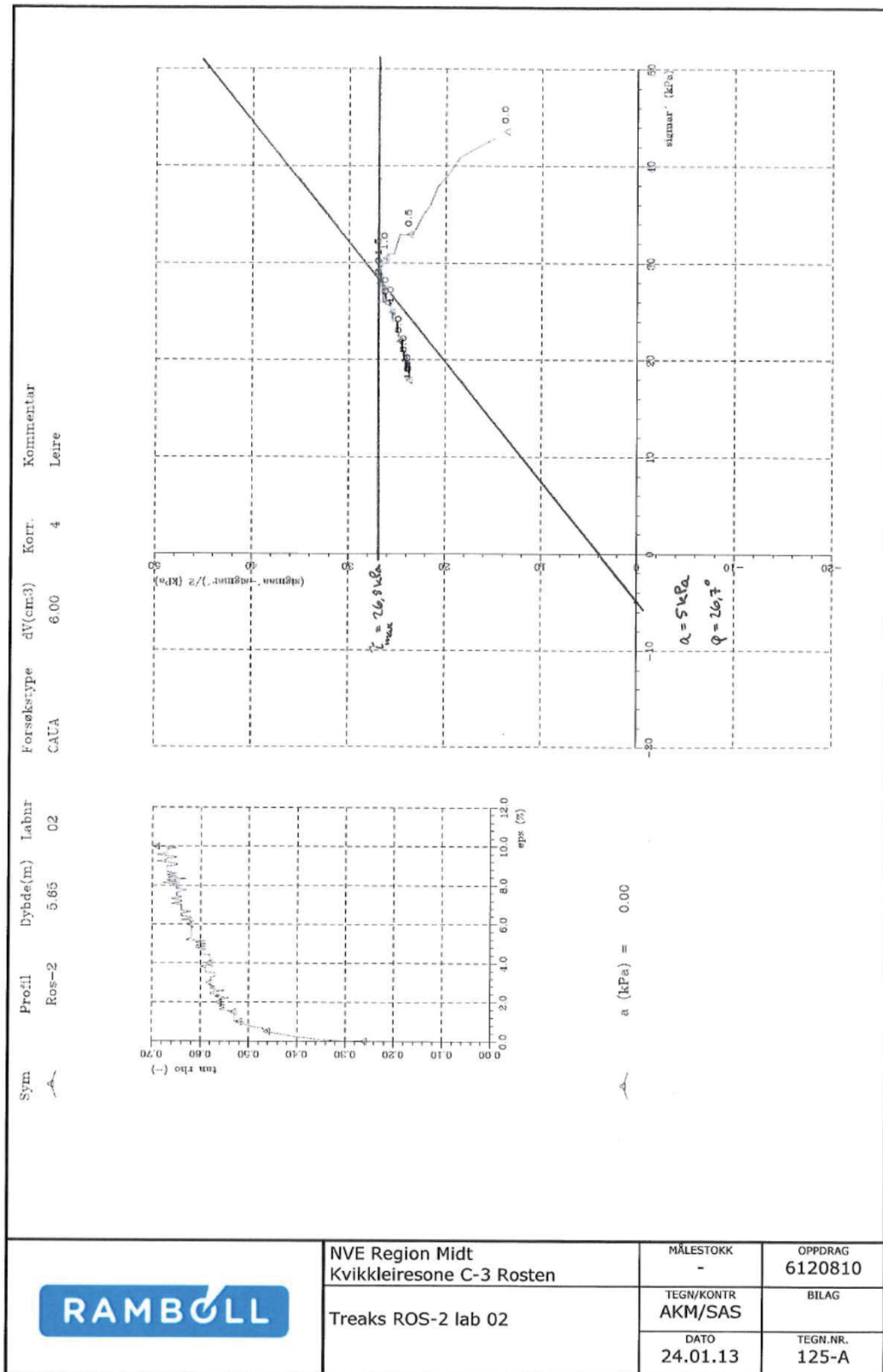
OPDRAGSGIVER:
 PROSJEKT:
 PROSJEKT NR:

NVE
 Kvikkleiresoner Trondheim. Rosten, Kolstad og Saupstad
 20120089



5. Prøveserie – tolkning av treaks

- Vurder kvalitet
 - d_e/e_0 (Lunne)
 - Spenningsstiens form
- Finne peak cua
 - Metode, kontraktant vs. dilatant



NVE Region Midt
Kvikkleiresone C-3 Rosten

Treaks ROS-2 lab 02

MÅLESTOKK
-

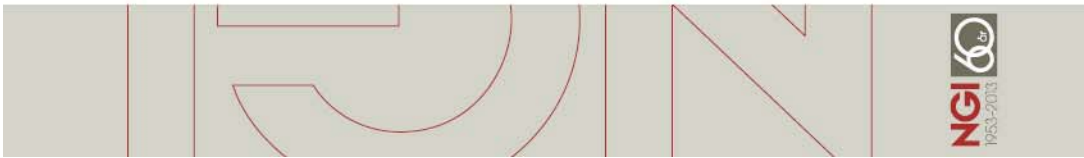
OPPDRAG
6120810

TEGN/KONTR
AKM/SAS

BILAG

DATO
24.01.13

TEGN.NR.
125-A



20120099

Kvikkleiresoner Trondheim og Sjørdal

SAMMENSTILLING AV TREAKSIALFORSØK

TABELL E1 :

PROVE IDENTIFISERING										INDEKSEGENSKAPER										KONSOLIDERING										STYRKEGENSKAPER									
Hull nr.	Prove diameter	Sylinder Dybde	Jordart	W _i	W _p	I _p	Leir	γ _{loc}	S _t	Type forsøk	P _{br}	σ _{ac}	σ _{rc}	K _d	ε _{vd}	Δe/e ₀	OCR	Prove kvalitert (-Δe/e ₀)	ε _a (peak)	ε _a (peak)	S _u (1%)	S _{u peak} /σ _{ac}	ct (m=0.6)	φ (phi)	atrasksjon														
	mm			%	%	%	Innh.	kN/m ³			kPa	kPa	kPa	%	%	%			%	%	%																		
SA-2	75	C5-2-3	Leire	35.0	45.0	27.0	18.0	45.0	19.0	6	CAUa	74.0	68.0	63.0	0.93	1.09	####	4.5	1	70.0	4.00	53.0	1.03	0.42	33-37	0-10													
SA-2	75	C5-2-4	Leire	37.0	34.0	23.0	11.0	42.0	19.5	6	CAUa	113.0	113.0	66.0	0.58	1.65	####	3.3	2	59.5	2.00	51.0	0.53	0.26	29-32	0-10													
SA-7	75	AB-12	Kvikkleire	28.0	22.0	17.0	5.0	32.0	20.7	47	CAUp	72.0	77.0	96.0	1.25	2.10	####	2.6	2	23.5	1.00	23.5	0.31	0.17	-	-													
SA-7	75	AB-12	Kvikkleire	28.0	22.0	17.0	5.0	32.0	20.2	107	CAUa	73.0	74.0	68.0	0.92	1.90	####	2.6	2	37.0	3.00	31.0	0.50	0.28	28-33	0-10													
KO-9	75	AC-2	Leire	36.0	39.0	23.0	16.0	42.0	18.8	7	CAUa	66.0	66.0	46.0	0.70	1.50	####	3.2	2	36.0	2.00	33.0	0.55	0.27	28-33	0-10													
KO-9	75	AC-4	Kvikkleire	38.0	22.0	18.0	4.0	31.0	18.8	>100	CAUa	102.0	106.0	70.0	0.66	2.97	####	1.8	3	45.0	3.00	41.0	0.42	0.29	30-36	0-10													
KO-9	75	AC-4	Kvikkleire	38.0	22.0	18.0	4.0	31.0	18.8	>100	CAUa	105.0	106.0	62.0	0.58	1.30	####	1.8	1	42.0	1.00	42.0	0.40	0.27	27-31	0-10													
KO-10	75	1	Leire	38.0	38.0	24.0	14.0	42.0	18.8	8	CAUa	71.0	71.0	51.0	0.72	2.60	####	2.9	3	39.0	5.0	31.0	0.55	0.29	28-34	0-10													
ROS-2	75	Lab 02	Leire	45.0	40.0	23.0	17.0	47.0	19.0	9	CAUa	72.0	70.0	44.0	0.63	2.60	####	1.6	2	26.8	1.50	26.0	0.38	0.29	24-28	0-10													
ROS-2	75	Lab 04.1	Leire	37.0	33.5	22.0	11.5	38.5	19.0	10	CAUa	149.0	156.0	82.0	0.53	4.10	####	1.0	3	45.0	0.50	45.0	0.29	0.29	20-21	0-10													
ROS-2	75	Lab 04.2	Leire	37.0	33.5	22.0	11.5	38.5	19.0	10	CAUa	149.0	150.0	86.0	0.55	1.90	####	1.0	1	46.0	1.25	46.0	0.31	0.31	26-29	0-10													
ROS-9	75	Lab 20.1	Leire	31.0	28.0	18.0	10.0	38.5	20.0	15	CAUp	39.0	43.0	36.0	0.84	0.60	####	9.0	1	16.0	3.00	12.5	0.37	0.10	-	-													
ROS-9	75	Lab 20.2	Leire	31.0	28.0	18.0	10.0	38.5	20.0	15	CAUp	39.0	64.0	35.0	0.55	1.60	####	9.0	2	14.5	4.00	11.0	0.23	0.06	-	-													
ROS-9	75	Lab 22.1	Leire	30.0	25.0	20.0	5.0	38.0	20.0	20	CAUp	65.0	56.0	52.0	0.93	1.40	####	5.3	2	17.5	1.50	17.0	0.31	0.11	-	-													
ROS-9	75	Lab 22.2	Leire	30.0	25.0	20.0	5.0	38.0	20.0	20	CAUp	66.0	84.0	56.0	0.67	1.00	####	5.3	1	22.0	1.50	21.0	0.26	0.10	-	-													

Provekvalitet vurdert iht. Hb. 018 - Figur 2.21

Klassifisering:

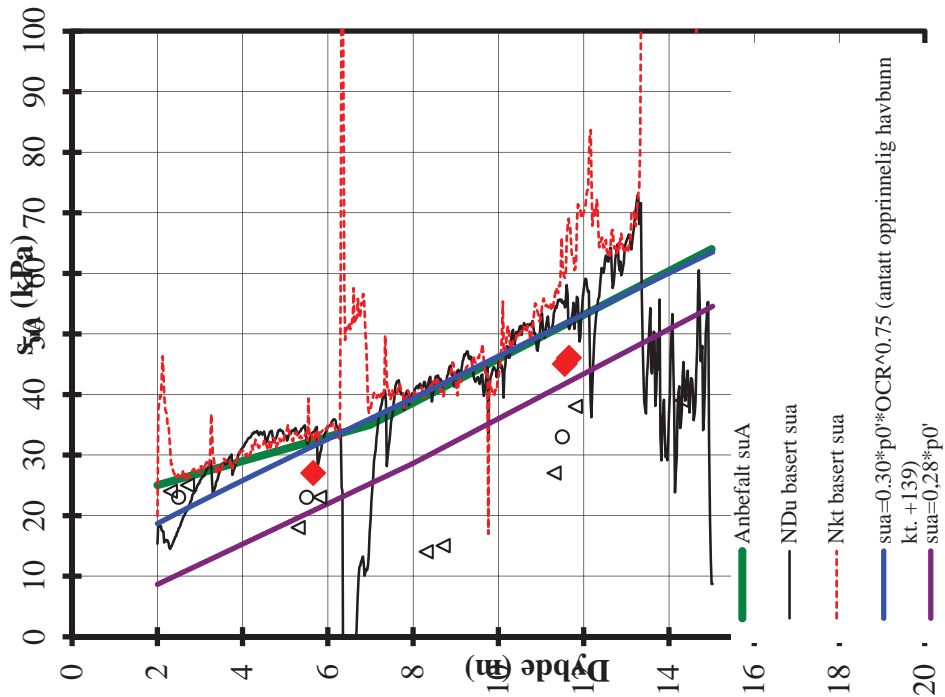
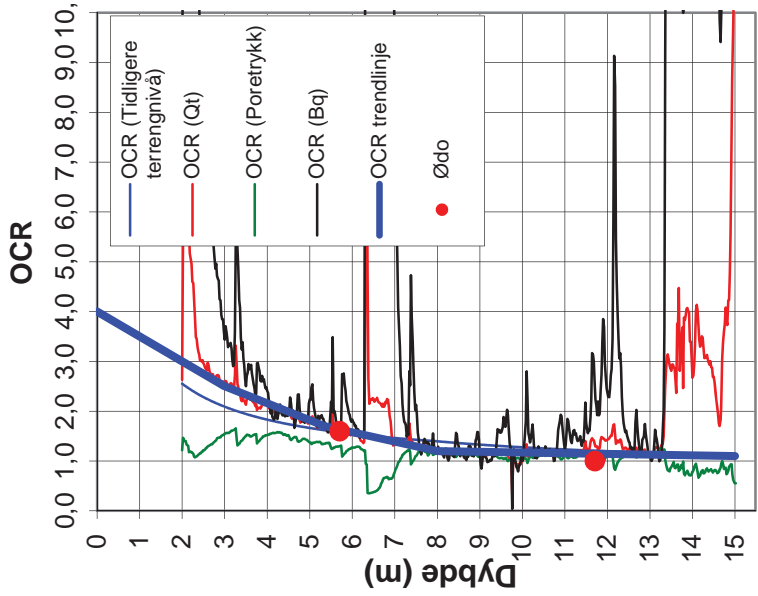
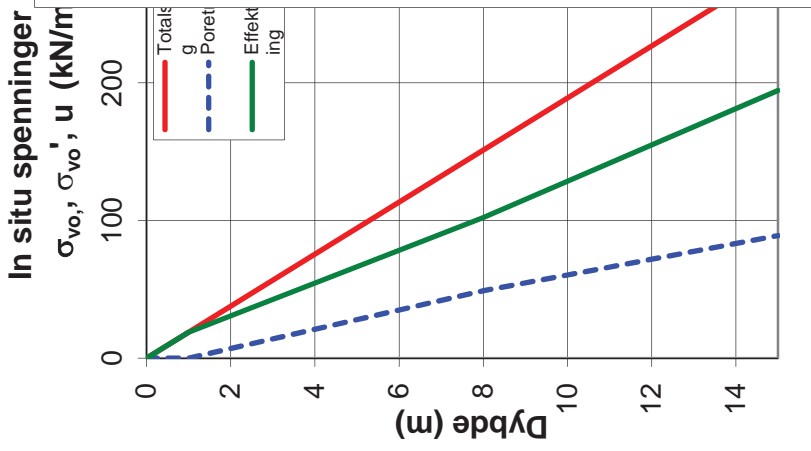
- 1 Meget god
- 2 God til bra
- 3 Dårlig
- 4 Meget dårlig



NGI 60
1953-2013

6. Tolkning av CPTU

- **Grunnlag**
 - Rutine
 - Poretrykk
 - Ødometer
- **Tolkningsmetode**
 - basert på Osaka 2005
 - OCR
 - Cptu-tolkning vs. Ødometer
 - Anatt tidligere terreng
 - trendlinje
 - Nkt og Ndu
 - Vurder gyldigheten



7. Samlet vurdering

- **Treaks**
 - Tillagt vekt avhenger av kvalitet
 - Kan avvike pga. usikkerheter i p0'-profil selv om kvaliteten er god (konsolideringsspenning)
- **CPTU-tolkning**
 - Vurder samling på grunnlag av Nkt og Ndu mot valgt OCR
 - Stort sett mest vekt på Ndu-tolkning, men ikke nødvendigvis ved lave Bq
- **Shansep**
 - Bør ligge innenfor normale verdier
 - Brukes gjerne som korrelasjon til andre punkter

Vedlegg D

Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire

Valg av design cuA – profil basert på felt – og laboratorieundersøkelser

- **Vedlegg E Tolkning av feltundersøkelser**

Utarbeidet av: Stein Christensen, SINTEF Byggforsk

Stein Christensen
Sign.

KORRELASJONER MELLOM TRYKKSONDERING OG TREAKSIALFORSØK

SGF

Direkte skjærstyrke ut fra spissstrykket blir i Conrad

(SGI information 3, 2007) tolket ved hjelp ut fra formel:
$$S_{ud} = \frac{q_T - \sigma_{v0}}{13,4 + 6,65 \cdot w_L} \cdot \left[\frac{OCR}{1.3} \right]^{-0,20}$$

q_T = totalt spissstrykk

σ_{v0} = totalspenning

N_{KT} = spissmotstandsfaktor

w_L = flytegrense

OCR = overkonsolideringsgrad

I disse beregningene er det ved tolkningen av skjærstyrkeverdiene ut fra spissmotstanden benyttet en $N_{KT} = 13.4 + 6.65 w_L$. Dersom flytegrensen ikke angis er $N_{KT} = 16.3$ for leire. Tilsvarende er $N_{KT} = 14.5$ for siltmasser.

Dersom prekonsolideringsspenningen (σ_c') ikke er kjent

kan preliminær verdi finnes fra CPT-sonderingen fra:

$$\sigma_c' = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{1,21 + 4,4w_L}$$

NGI

Karlsrud et al (2005) sammenlignet CPTU med aktiv skjærfasthet fra blokkprøver og fant forhold for konfaktorene N_{kt} og $N_{\Delta U}$ mot OCR (overkonsolideringsgrad) og N_{ke} mot B_q (poretrykkparameter).

Tolking av aktiv skjærfasthet ut fra spissstrykket gjøres ved:

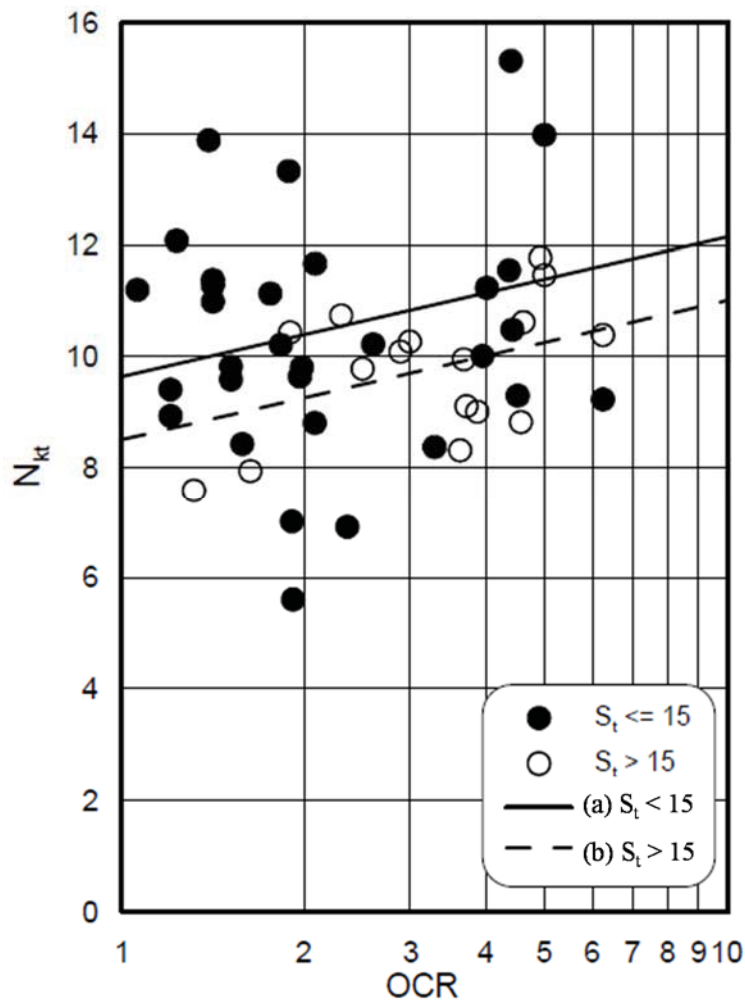
$$S_{ua} = \frac{q_T - \sigma_{v0}}{N_{kt}}$$

$$N_{kt} = 7.8 + 2.5 \cdot \log OCR + 0.082 \cdot I_p \quad \text{for } S_t < 15 \quad (a)$$

$$= 8.5 + 2.5 \cdot \log OCR \quad \text{for } S_t > 15 \quad (b)$$

der I_p = plastisiteten og S_t = sensitiviteten.

Sammenheng mellom N_{kt} og OCR er vist med $I_p = 22.4\%$ for $S_t < 15$ i Figur 1.



Figur 1 Sammenheng mellom N_{kt} og OCR.

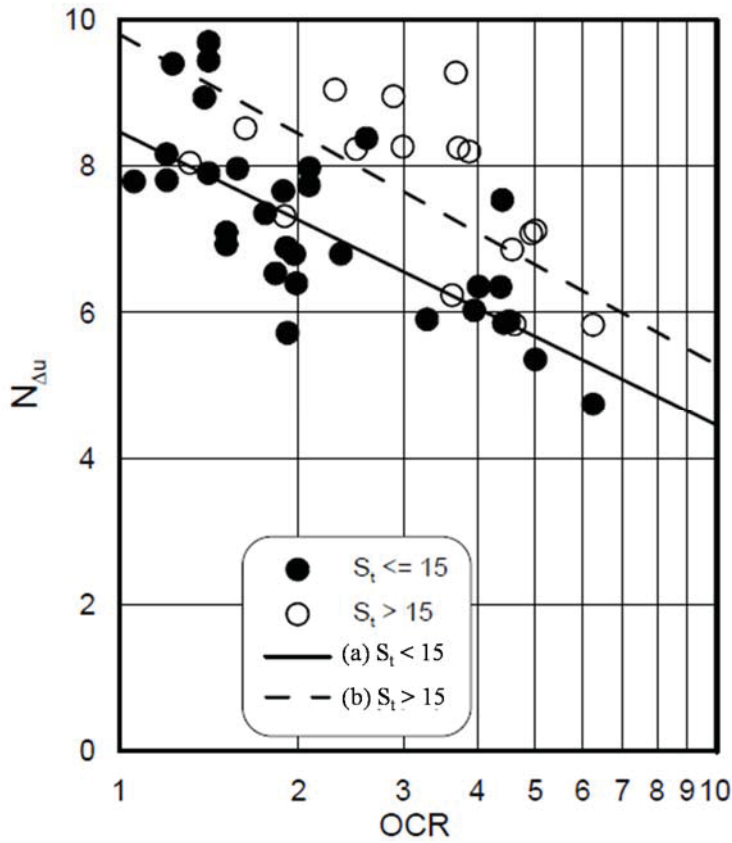
Aktiv skjærfasthet ut fra poreovertrykk tolkes ut fra formel:

$$S_{ua} = \frac{u_2 - u_0}{N_{\Delta u}}$$

der u_2 = målt poretrykk og u_0 = insitu poretrykk

$$\begin{aligned} N_{\Delta u} &= 6.9 - 4.0 \cdot \log \text{OCR} + 0.07 \cdot I_p && \text{for } S_t < 15 && \text{(a)} \\ &= 9.8 - 4.5 \cdot \log \text{OCR} && \text{for } S_t > 15 && \text{(b)} \end{aligned}$$

Sammenheng mellom N_{kt} og OCR er vist med $I_p=22.4\%$ for $S_t < 15$ i Figur 2.



Figur 2 Sammenheng mellom $N_{\Delta u}$ og OCR.

Aktiv skjærfasthet ut fra poretrykksparemeter tolkes ut fra formel:

$$S_{ua} = \frac{q_T - u_2}{N_{ke}}$$

Der poretrykksfaktoren $B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{v0})$

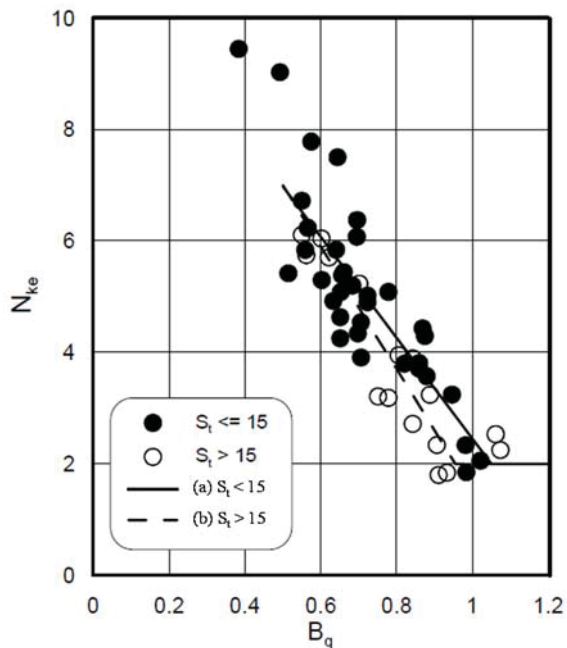
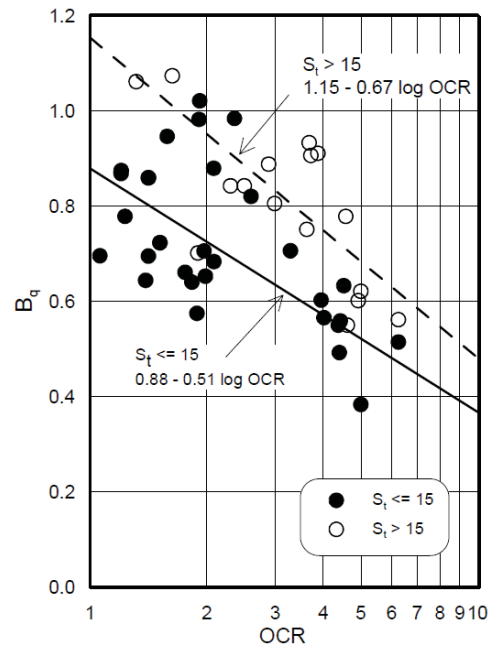
$$\begin{aligned} N_{ke} &= 11.5 - 9.0 \cdot B_q && \text{for } S_t < 15 && \text{(a)} \\ &= 12.5 - 11.0 \cdot B_q && \text{for } S_t > 15 && \text{(b)} \end{aligned}$$

Sammenheng mellom N_{ke} og B_q er vist i Figur 3. Laveste grense for $N_{ke} = 2.0$.

Poretrykksfaktoren B_q kan estimeres ut fra OCR ved formlene:

$$\begin{aligned} B_q &= 0.88 - 0.51 \cdot \log \text{OCR} && \text{for } S_t < 15 \\ &= 1.15 - 0.67 \cdot \log \text{OCR} && \text{for } S_t > 15 \end{aligned}$$

Sammenhengen mellom poretrykksfaktoren B_q og OCR er vist i Figur 4.

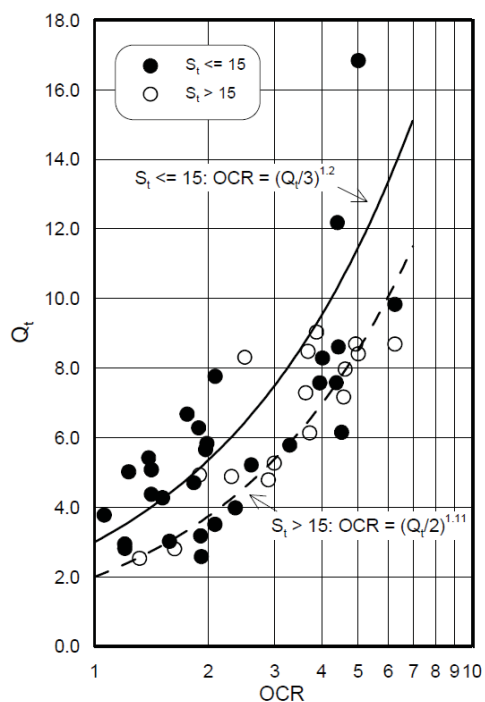

Figur 3 Sammenheng mellom N_{ke} og B_q .

Figur 4 Sammenheng mellom B_q og OCR.

Tolkning av OCR gjøres helst ut fra spisstrykket etter formlene:

$$\begin{aligned} \text{OCR} &= (Q_t/3)^{1.2} && \text{for } S_t < 15 \\ &= (Q_t/2)^{1.11} && \text{for } S_t > 15 \end{aligned}$$

der $Q_t = (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$ og σ'_{v0} = effektivspenning

Sammenheng mellom Q_t og OCR er vist i Figur 5.


Figur 5 Sammenheng mellom konfaktoren Q_t og OCR.

Sammenheng mellom konfaktorer og poretrykksfaktoren, B_q

Multiconsult

Multiconsult bruker sammenhengen mellom konfaktorene ($N_{\Delta U}$, N_{kt} og N_{ke}) og poretrykksparameteren B_q ut fra Lunne et al, 1997 (Cone penetration testing in geotechnical practice).

Multiconsult bruker følgende sammenhenger:

Tolkingsmetode	Konfaktor	Konfaktor som funksjon av B_q
Poretrykksbasis	$N_{\Delta U} (B_q)$	$N_{\Delta U} = 1,8 + 7,25 \cdot B_q$
Total spissmotstandsbasis	$N_{kt} (B_q)$	$N_{kt} = 18,7 - 12,5 \cdot B_q$
Effektiv spissmotstandsbasis	$N_{ke} (B_q)$	$N_{ke} = 13,8 - 12,5 \cdot B_q$

Norconsult

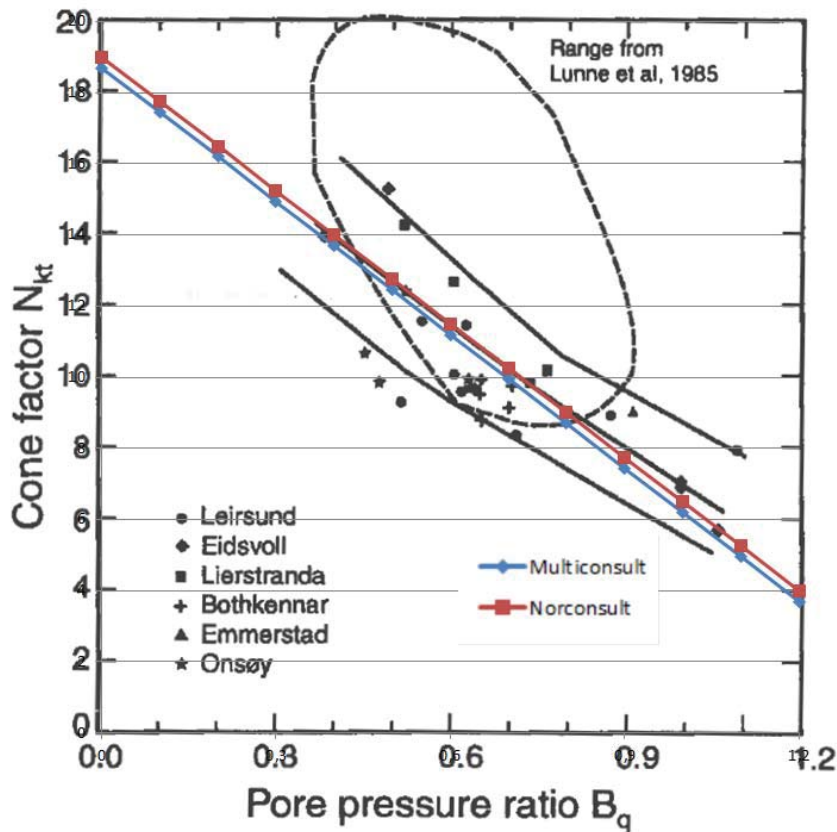
Norconsult har også brukt sammenhengen mellom konfaktorene ($N_{\Delta U}$, N_{kt} og N_{ke}) og poretrykksparameteren B_q ut fra Lunne et al, 1997.

Tolkingsmetode	Konfaktor	Konfaktor som funksjon av B_q
Poretrykksbasis	$N_{\Delta U} (B_q)$	$N_{\Delta U} = 1,0 + 9,0 \cdot B_q$
Total spissmotstandsbasis	$N_{kt} (B_q)$	$N_{kt} = 19,0 - 12,5 \cdot B_q$
Effektiv spissmotstandsbasis	$N_{ke} (B_q)$	$N_{ke} = 16,0 - 14,5 \cdot B_q$

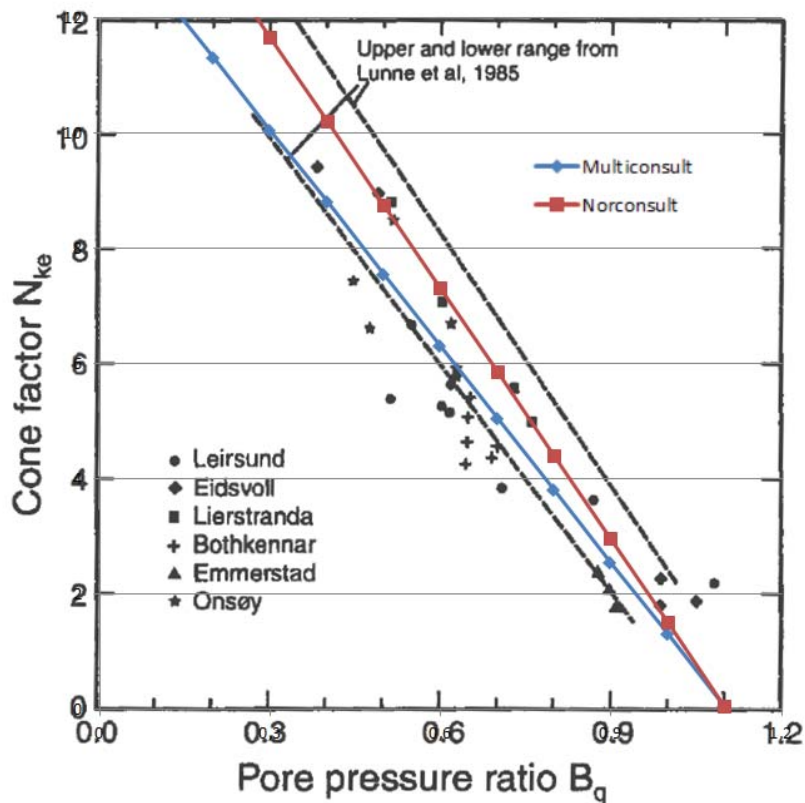
Både Multiconsult og Norconsult bruker i tillegg metoden beskrevet av Karlsrud et al (2005).

De forskjellige konfaktorene $N_{\Delta U}$, N_{kt} , og N_{ke} er vist i Figur 7 - Figur 8.

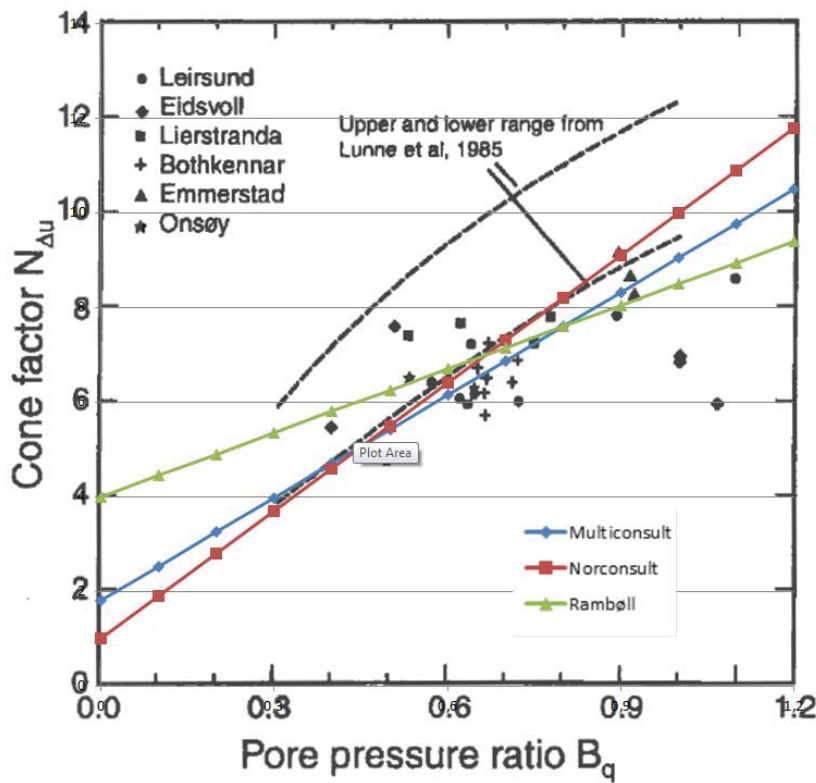
Karlsrud et al (2005) mener det vil være misledende å lage plott av N_{kt} og $N_{\Delta U}$ mot B_q fordi $B_q = N_{\Delta U}/N_{kt}$, og slike plott vil bare vise hvordan målt poreovertrykk varierer med skjærfastheten.



Figur 6 Konfaktor N_{kt} mot B_q . Data fra Lunne et al 1997 sammenlignet med Multiconsult og Norconsult.



Figur 7 Konfaktor N_{ke} mot B_q . Data fra Lunne et al 1997 sammenlignet med Multiconsult og Norconsult.



Figur 8 Konfaktor $N_{\Delta u}$ mot B_q . Data fra Lunne et al 1997 sammenlignet med Multiconsult, Norconsult og Rambøll.

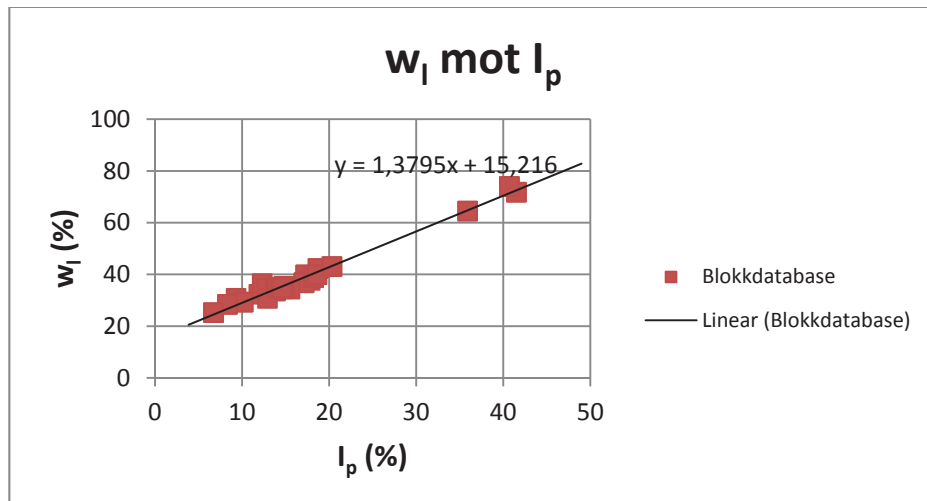
Lunne, T., Robertson, P. K. and Powell, J. J. M. (1997): Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic & Professional.

Karlsrud, K., Lunne, T., Kort, D. A. and Strandvik, S. (2005): CPTU correlations for clays. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 16. Osaka 2005. Proceedings, Vol. 2, pp. 693-702.

Statens Geotekniske Institut (2007): Skjuvhållfasthet – utvärdering i kohesjonsjord. Information 3.

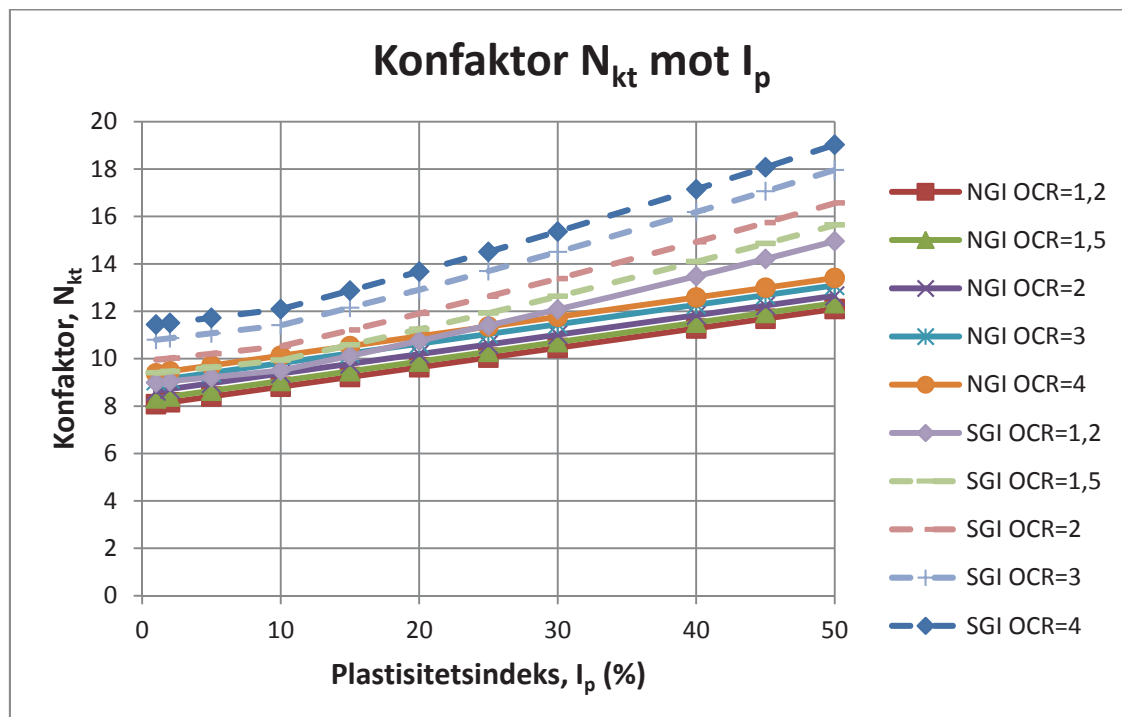
Sammenligning av konfaktor N_{kt} mellom NGI og SGI

Fra blokkdatabasen til NGI er det mulig å lage en sammenheng mellom flytegrense (w_l) og plastisitetsindeksen (I_p). Det er her valgt å fremstille en lineær sammenheng som vist i Figur 9.

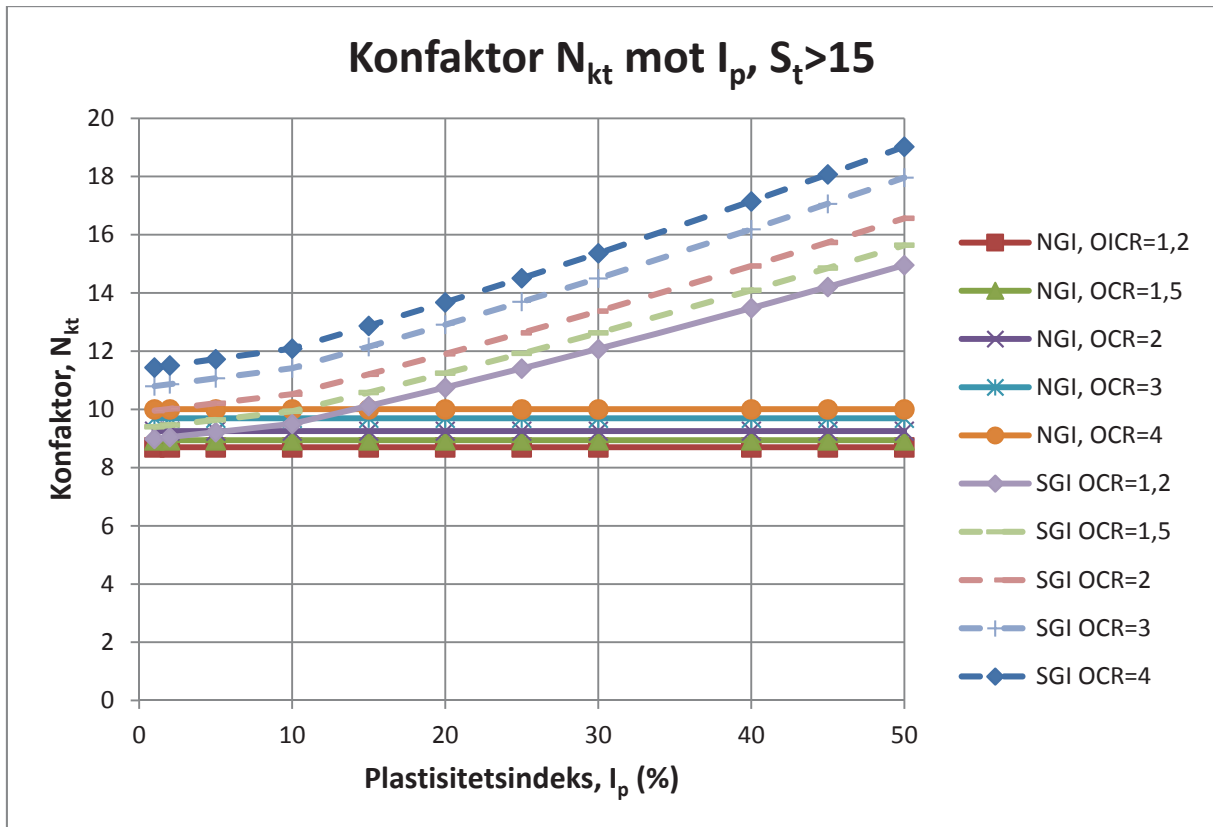


Figur 9 Sammenheng mellom flytegrense og plastisitetsindeks.

Ved å bruke den lineære kurvefunksjonen for w_l mot I_p , samt å anta forholdet $c_{ud}/c_{ua}=0,63$ ($I_p \leq 10$) og $c_{ud}/c_{ua}=0,63-0,80$ ($10 < I_p \leq 80$) fra NIFS-rapport 14:2014 kan konfaktoren N_{kt} sammenlignes for NGI (Karlsrud et al 2005) og SGI (Information 3:2007). Dette er vist i Figur 10 for $S_t < 15$ og i Figur 11 for $S_t > 15$. Utledet konfaktor fra SGI blir høyere enn konfaktor anbefalt av NGI. SGI er dermed mer konservativ ved utregning av c_{ua} enn Karlsrud et al.



Figur 10 Konfaktor N_{kt} mot plastisitetsindeks I_p for sensitivitet $S_t < 15$. Lineær sammenheng mellom w_l og I_p .



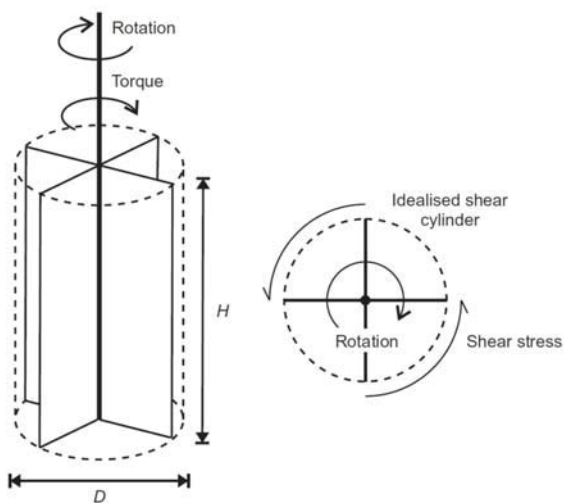
Figur 11 Konfaktor N_{kt} mot plastisitetsindeks I_p for sensitivitet $S_t > 15$. Lineær sammenheng mellom w_l og I_p .

TOLKNING AV UDRENERT SKJÆRFASHTHET FRA VINGEBOR

Bruddforhold og tolkning

I klassisk tolkning av vingeboret antas en sirkulær bruddflate med diameter lik vingens størrelse langs omkretsen (Fig 1). Det antas videre at udrenert skjærfasthet mobiliseres fullt ut og samtidig på denne vertikale flaten (s_v). Langs endeflatene i horisontalplanet antas ofte en konstant fordeling av skjærmotstand (s_h), men det benyttes ofte også en trekantfordeling. Benyttes en konstant fordeling, og $H = 2D$, får man ligning 1 for tolkning av udrenert skjærfasthet fra målt moment (T). I denne ligningen kommer 86% av motstanden fra skjær på vertikallbladene. Med andre tolkninger kommer dette bidraget opp i 94 % (Chandler 1988).

$$s_{u,v} = 6 * T / 7 \pi D^3 \quad (1)$$



Figur 1 Skjematiske opptegning av vingebor.

Studier antyder at bruddformen ved brudd ikke nødvendigvis er en sirkel, men et avrundet kvadrat (Gylland et al. 2013, Chandler 1988). Dette er dog usikkert, og feilen ved å anta en sirkel er liten og i konservativ retning. Mer interessant er at disse studiene støtter opp om antagelsen til Wroth (1984), at bruddsituasjonen langs sylinderruudet er tilsvarende direkte skjær, som igjen er tilsvarende DSS. Forenklet burde da målt moment være en riktig vektning av udrenert DSS-fasthet i vertikallplanet (s_v) og DSS i horisontallplanet (s_h). Dette underbygger at anisotropi i udrenert skjærfasthet for ulike skjær-retninger er av stor betydning for tolkning av vingebor.

Feilkilder

Bruk av vingebor innebærer flere feilkilder hvor de viktigste er

- Forstyrrelse ved installasjon av vingebor i grunnen
 - Spesielt i sensitive leirer installasjon føre til en oppbygging av poreovertrykk som igjen reduserer målt fasthet.
 - I noen tilfeller vil derfor ventetid mellom installasjon og utførelse av forsøk ha en innvirkning på målinger i og med at dette poreovertrykket konsoliderer.
- Friksjon i utstyr
 - Dette kan med riktig utstyrskonfigurasjon kontrolleres og måles innenfor akseptable verdier

- Ving-størrelse
 - Det er kjent av forskjellig størrelse og geometri på vingeboret gir ulike verdier. Dette kan knyttes til ulik grad av forstyrrelse og forskjellig tangentiell hastighet ved i vingeborets bruddflate.
- Lagdeling
 - Tynne lag med fastere materiale (f.eks silt) og steiner kan påvirke målinger i stor grad og gi verdier som ikke er representative

Korreksjonsfaktorer

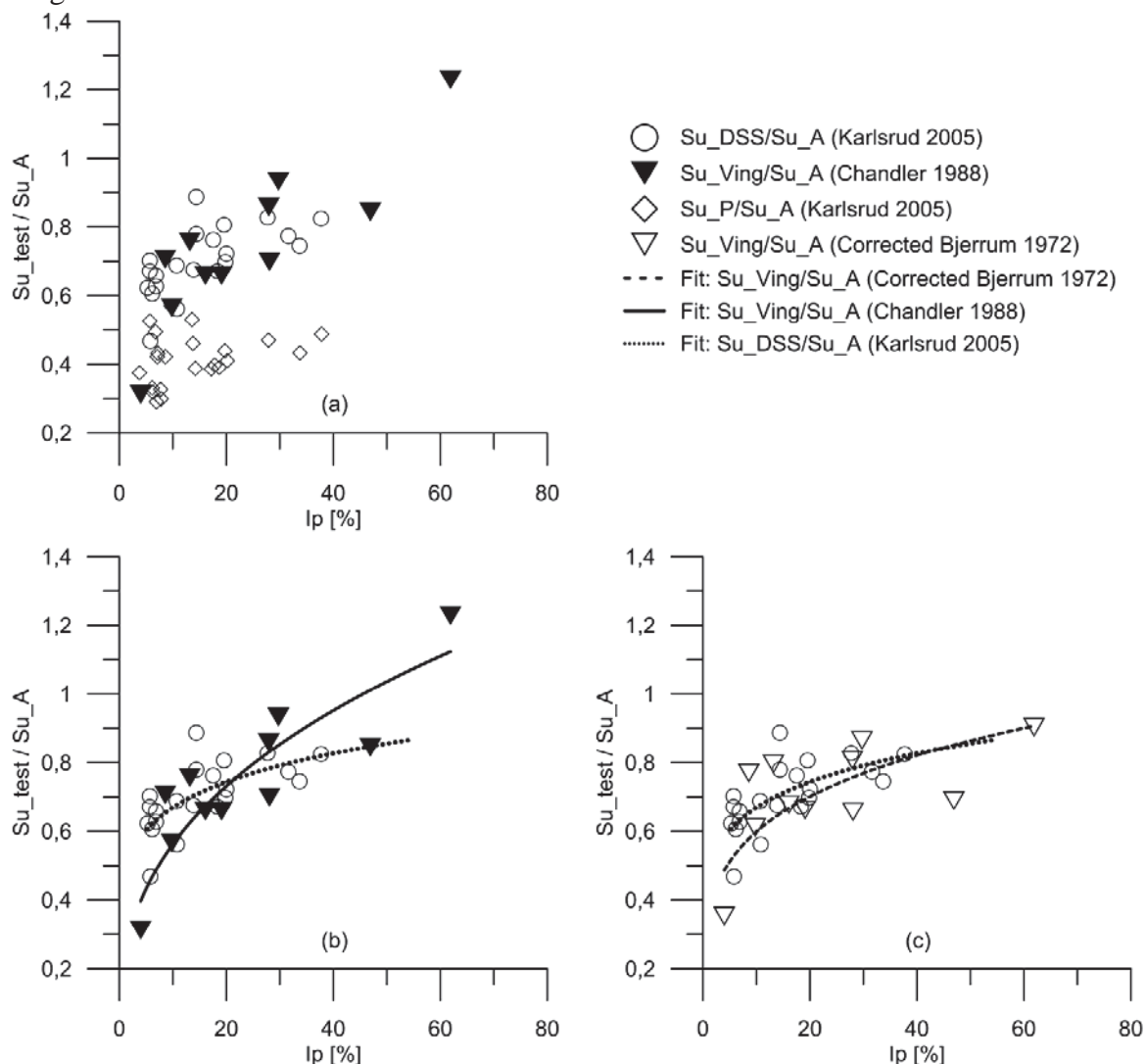
Ofte benyttes en korreksjonsfaktor for å justere tolket vingeborfasthet til en representativ in-situ fasthet for bruk i design. Det er to faktorer som det i hovedsak justeres for: anisotropi og hastighetseffekter. Som nevnt måler vingeboret i hovedsak udrenert skjærfasthet på et vertikalplan, mens det i en design-situasjon ofte er horisontalplanet som er av interesse. Anisotropi mellom vertikal og horisontal-planet må derfor korrigeres for. Videre er det kjent at leirers udrenerte skjærfasthet viser en hastighetsavhengighet, dvs. at målt fasthet ved en høy skjærtøyningshastighet er større enn ved en lavere skjærtøyningshastighet. Et vingeborforsøk utføres normal slik at brudd inntreffer i løpet av 1-2 minutter. I laboratorieforsøk inntreffer brudd i løpet av 1-2 timer, mens det i en reell bruddsituasjon kan ta dager eller uker. Denne differansen i hastighet må det korrigeres for. Det er siden 70-taller foreslått flere korreksjonsfaktorer og de viktigste er listet opp under.

- Bjerrum (1972)
 - Korreksjonsfaktor basert på tilbakeberegninger av dokumenterte fyllingsbrudd og gir ekvivalent gjennomsnittsfasthet for denne bruddsituasjonen. Korreksjonsfaktor er gitt som funksjon av plastisitetsindeks (I_p) og skiller på effekt relatert til rate og anisotropi. Korreksjonsfaktoren ble oppdatert med 3D-beregninger av Azzouz et al. (1983).
- SGI 1969, SGI 1984
 - Korreksjonsfaktor basert på tilbakeberegninger av dokumenterte fyllingsbrudd og sammenstillinger av felt og laboratorieforsøk. Korreksjonsfaktoren gir en ekvivalent middelfasthet som er rapportert å ligge noe høyere enn DSS-fasthet. Korreksjonsfaktor er gitt som funksjon av flytegrense (w_l).
- Dascal & Tournier (1975)
 - Korreksjonsfaktor basert på tilbakeberegninger av dokumenterte fyllingsbrudd og gir ekvivalent gjennomsnittsfasthet for denne bruddsituasjonen. Gir en oppdatering og reevaluering av Bjerrums korreksjonsfaktor. Korreksjonsfaktor er gitt som funksjon av plastisitetsindeks (I_p) og skiller på effekt relatert til rate, anisotropi og progressivt brudd rundt vingen.
- Aas (1986)
 - Argumenterer med at rate-effekter er mest fremtredende og at disse reflekteres bedre av OCR enn I_p . Gir en korreksjonsfaktor basert på sammenstilling av vingebormålinger og middel-fasthet som målt i laboratoriet (middel av aktiv- og passiv treks samt DSS).

Ved bruk av disse korreksjonsfaktorene er det avgjørende å ha kjennskap til bakgrunns materialet slik at man ikke umiddelbart benytter Bjerrums korreksjonsfaktor, som er basert på fyllingsbrudd, til å beregne stabilitet av en lang slak skråning.

Tolkning av DSS og aktiv skjærfasthet

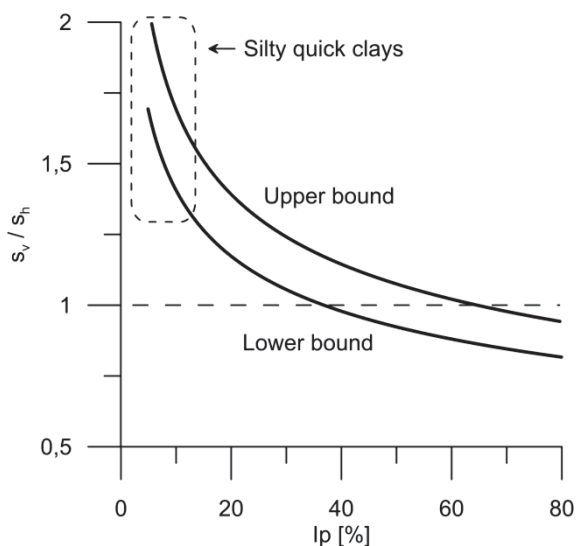
Mens etablerte korreksjonsfaktorer gir en ekvivalent middelfasthet til bruk hovedsakelig for fyllinger, er det få sammenstillinger av data hvor aktiv udrenert skjærfasthet fra treksialforsøk er tolket ut og sammenstilt med korresponderende vingeborforsøk. Et begrenset datasett er tilgjengelig i Chandler (1988) hvor ulike kilder er samlet. Figur 2a gjengir datapunktene for tolket udrenert skjærfasthet fra vingebor (ukorrigert) normalisert med aktiv udrenert skjærfasthet fra treksialforsøk plottet mot I_p . De oppgitte datapunktene er i hovedsak hentet fra Norske og Svenske marine leirer med OCR mindre enn 1,5. Det kan ikke antas at det er benyttet blokkprøver for bestemmelse av $s_{u,a}$. Figuren inneholder også data fra DSS-forsøk og passive treksialforsøk hentet fra Karlsrud et al. (2005) (blokkprøver). Det er tilsynelatende god overenstemmelse mellom normalisert DSS-fasthet og vingeborfasthet. Men hvis trendlinjer plottes inn (som vist i Figur 2b) er det klart at datasettene spriker. Vingeborfastheten viser en mye sterkere avhengighet av I_p enn DSS-styrken. I Figur 2c er vingeborfastheten korrigert etter Bjerrums korreksjonsfaktor. Datasett og trendlinjer for vingebor og DSS er nå betydelig mer samstemte, men med et avvik for lav I_p (under 25%). Det samme avviket for lav I_p finner Chandler (1988) i en sammenstilling av DSS og korrigert vingeborfasthet normalisert med p_c' . For I_p over 30% er det godt samsvar, men under 30% gir vingebor lavere fasthet enn DSS.



Figur 2 Sammenstilling av vingebor og lab-data.

Som nevnt, er anisotropi en nøkkelfaktor i forståelse av vingeboet. Mens DSS-data i Figur 2 er basert på skjær i et horisontalplan, vil vingeboet domineres av skjær i et vertikalplan. Soydemir (1976) har satt opp en sammenstilling av DSS-forsøk kjørt i horisontal og vertikal retning sammen med tolkninger av skjærfasthet på et vertikalplan og et horisontalplan fra vingeborforsøk kjørt med ulike vingegeometri. Resultatet er gjengitt i Figur 3 hvor s_h angir udrenert skjærfasthet i horisontal retning og s_v gir udrenert skjærfasthet i vertikal retning. Datasettet indikerer at fasthet i et horisontalt plan er større enn i vertikalplanet når I_p blir lavere enn ca 30-40%. Over dette er disse fasthetene jevnstore. Det bemerkes at for siltige kvikkleirer med lav I_p er det målt opp mot dobbel fasthet i horisontalplanet sammenlignet med vertikalplanet.

En forklaring av anisotropiens avhengighet av I_p går ut over målet med denne diskusjonen, men det må antas at det er en sammenheng mellom retning og størrelse på konsolideringsspenninger og kornskjellettets opptak og tilpasning til disse spenningene.



Figur 3 Udrenert skjærfasthet på vertikalplan og horisontalplan som funksjon av I_p .

Evaluering

Tolkning av vingebor inkluderer flere faktorer hvorav anisotropi er ett av de avgjørende elementene. De sammenstillingene av data som er gjort indikerer at vingeboet gir tilsvarende verdier som DSS-forsøk for leirer med I_p over ca 25-30%, forutsatt at det benyttes en relevant korreksjonsfaktor (f.eks. Bjerrum 1972, SGI 1984). For slike plastiske leirer er det f.eks. i Sverige gode erfaringer med bruk av vingebor for bestemmelse av *in-situ* udrenert skjærfasthet.

For leirer med lavere plastisitet er det et avvik mellom DSS-forsøk og korrigert vingebor som trolig kan tilskrives økende anisotropi mellom horisontal og vertikal skjærfasthet, samt økende forstyrrelse ved nedpressing av vingebor i og med at slike leirer ofte også er sensitive. For leire med I_p ned mot 5% er det trolig nødvendig å korrigere opp målt udrenert skjærfasthet fra vingebor med 50-80% for å gi en fasthet tilsvarende DSS. For å få en fasthet som tilsvarer aktiv styrke må målt vingeborfasthet justeres opp med en faktor på over 100%. For å gjøre en slik markant oppjustering med trygghet er det nødvendig med et solid datagrunnlag. Per i dag fins ikke et slikt datagrunnlag i Norge og innen det utføres mer

forskning anbefales det å utvise forsiktighet ved bruk og tolkning av udrenert skjærfasthet fra vingebor i lavplastiske, sensitive leirer.

Ved tolkning av udrenert skjærfasthet fra vingebor er det avgjørende at prosedyrer for installasjon og rotasjonshastighet blir fulgt. Det er videre nødvendig å måle, og korrigere for, friksjon i utstyret. For moderne (elektriske) vingeborinstrument ivaretas disse aspektene, mens det for eldre dataserier kan det være uklart om det er korrigert for friksjon og om den foreskrevne rotasjonshastighet er holdt. Eldre dataserier, uten dokumentasjon av hastighet og friksjon, bør derfor ikke brukes f.eks. i dataanalyser og etablering av korreksjoner.

Konklusjon

- Korrigert udrenert skjærfasthet fra vingebor gir tilsvarende verdier som DSS-forsøk for I_p over 25-30%.
- For leirer med I_p under 25-30% bør det utvises forsiktighet ved tolkning og bruk av udrenert skjærfasthet fra vingebor.
- Basert på eksisterende datagrunnlag bør det utvises forsiktighet med tolkning av aktiv udrenert skjærfasthet fra vingebor, dette gjelder spesielt for lavplastiske leirer.

Referanser

Azzouz, A., Baligh, M., and Ladd, C. (1983). "Corrected Field Vane Strength for Embankment Design." J. Geotech. Engrg., 109(5), 730–734.

```
author = {R.J. Chandler},
title = {The in-situ measurement of the undrained shear strength of clays using the field vane},
booktitle = {Vane shear strength testing in soils: Field and laboratory studies},
organization = {ASTM STP 1014},
publisher = {ASTM, Philadelphia},
year = 1988,
editor = {A.F. Richards},
pages = {13-44}
}
```

```
@article{S377_Gylland,
author = {A.S. Gylland and H.P. Jostad and S. Nordal and A. Emdal},
title = {Micro-level investigation of the in situ shear vane failure geometry in sensitive clay},
journal = {G\{e}otechnique},
year = 2013,
volume = 63,
number = 14,
pages = {1264 –1270}
}
```

```
author = {C.P. Wroth},
title = {The interpretation of in situ soil tests},
year = 1984,
journal = {G\{e}otechnique},
volume = 34,
number = 4,
pages = {449-489}
}
```

```
@inproceedings{S272_Bjerrum,
author = {L. Bjerrum},
title = {Embankments on soft ground},
year = 1972,
booktitle = {ASCE, Spec. Conf. Perform. Earth and Earth-Support. Struct., Lafayette},
pages = {1-54},
volume = {2},
}
```

R. Larsson, G. Sällfors, P-E. Bengtsson, C. Alén, U. Bergdahl & L. Eriksson (2007) 'Skjuvhallsfasthet – utvärdering i kohesjonsjord' SGI Information 3

```
@article{S347_Dascal,
```

```
author = {O. Dascal and J-P. Tournier},  
title = {Embankments on soft and sensitive clay foundation},  
journal = {Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE},  
year = 1975,  
volume = 101,  
number = 3,  
pages = {297-314}  
}
```

G. Aas, S. Lacasse, T. Lunne and K. Høeg (1986) 'Use of in situ tests for foundation design on clay' ASCE Proc. In Situ '86 Blacksburg, Virginia. P 1-30

```
@inproceedings{S118_Karlsrud,  
author = {K. Karlsrud and T. Lunne and D.A. Kort and S. Strandvik},  
title = {CPTU correlations for clays},  
booktitle = {Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and  
Geotechnical Engineering},  
year = {2005},  
volume = 2,  
pages = {693-702}  
}
```

```
@incollection{S309_Soydemir,  
author = {C. Soydemir},  
title = {Strength anisotropy observed through simple shear tests},  
booktitle = {Laurits {B}jerrum {M}emorial {V}olume},  
publisher = {Norwegian Geotechnical Institute},  
year = 1976,  
pages = {99-113}  
}
```

Vedlegg E



Statens vegvesen

Notat

Til: C_{uA}-gruppen, NIFS DP6
Fra: Frode Oset, Statens vegvesen
Odd Arne Fauskerud, Multiconsult
Kopi:

Saksbehandler/innvalgsnr:
Frode Oset +47 22073952
Vår dato: 18.08.2014
Vår referanse:

Valg av designprofil for c_{uA} ved stabilitetsberegning; påvirkning fra type og omfang av grunnundersøkelser

Vi viser til referat fra møtet i arbeidsgruppen 25.06.2014. I møtet diskuterte vi hvordan reduksjonsfaktorer kan brukes for å komme fram til karakteristisk verdi, med utgangspunkt i «mest sannsynlig opptredende verdi».

En mulighet for gradering er å benytte en framgangsmåte tilsvarende bruken av fa-faktor ved beregning av installert kapasitet for peler (ref. Peleveiledningen 2012).

Med et forholdsvis optimistisk utgangspunkt kan anbefalt reduksjonsfaktor f_c gis en variasjon som for peler, men vi må diskutere disse verdiene noe mer i lys av mulig variasjonsområde for aktiv udrenert skjærfasthet:

Vurderte forhold	f_c
Gunstige	0,9
Midlere	0,75
Ugunstige	0,6

Med utgangspunkt bl.a i NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 (kap 2.4.3 og 2.4.5.2) kan man sette opp følgende sammenstilling av forhold som påvirker valget av f_c -faktor:

	Gunstige forhold	Ugunstige forhold	Merknad (til arbeidsgruppen)
Omfang av grunnundersøkelser	Undersøkelsene dekker hele det aktuelle området. Området er kartlagt med sonderinger, prøvetaking og poretrykksmålinger.	Undersøkelsene ligger utenfor aktuelt område, eller dekker bare deler av området. Det er stor avstand mellom undersøkelsene. Undersøkelsene er ikke utført tilstrekkelig dypt.	Kreve at undersøkelsene er jevnt fordelt i aktuelt område?

Postadresse
Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: 02030
Telefaks: 22 07 37 68
firmapost@vegvesen.no
Org.nr: 971032081

Kontoradresse
Brynsengfare 6A
0667 OSLO

Fakturaadresse
Statens vegvesen
Landsdekkende regnskap
9815 Vadsø
Telefon: 78 94 15 50
Telefaks: 78 95 33 52

Type og antall prøvinger	<p>Prøvetaking i et antall punkter som gir representative data for hele området. Variasjon i egenskaper med dybden er også godt dekket.</p> <p>Prøvetaking tilfredsstillende anvendelsesklasse 1(*).</p> <p>Laboratorieforsøk av «veldig god til utmerket» kvalitet for relevante materialegenskaper.</p> <p>CPTU tilfredsstillende anvendelsesklasse 1</p>	<p>Ingen eller lite antall prøveserier.</p> <p>Dårlig prøve kvalitet.</p> <p>Sonderinger som ikke gir grunnlag for parameterbestemmelse.</p> <p>Parametervalg i stor grad basert på forstyrrede prøver og/eller empiriske data.</p>	<p>-angi krav til antall prøver/forsøk?</p> <p>-angi krav til antall CPTU etc?</p> <p>-kvalitet på prøver og labforsøk: Ref NGF-melding nr 11</p>
Grunnforhold	<p>Lite variasjon i grunnforhold innenfor området.</p> <p>Lagdeling godt kartlagt.</p> <p>Oversiktlig poretrykkfordeling i grunnen.</p>	<p>Uoversiktlig og variert lagdeling.</p> <p>Betydelig variasjon i materialegenskaper.</p> <p>Uryddige poretrykkforhold og hengende grunnvannsspeil.</p>	
Utstrekning og topografi i området	<p>Lite område med ensartet topografi.</p>	<p>Stort område med ujevn topografi.</p>	
Geologisk informasjon og annen informasjon	<p>Geologisk historikk med hensyn på avsetning, forkonsolidering etc. er godt kjent.</p> <p>Målinger foreligger fra relevante arbeider i tilsvarende grunnforhold i nærheten.</p>	<p>Uryddige avsetningsforhold.</p> <p>Relevante målinger eller erfaringer fra nærliggende område foreligger ikke.</p>	
Annet???			

*) Anvendelsesklasse i henhold til NS-EN 1997-2:2007+NA:2008

Tabellen angir forhold som anses som gunstige eller ugunstige i forhold til bestemmelse og representativitet av skjærfasthet innenfor et område som skal vurderes med tanke på stabilitet. Valg av gunstige eller ugunstige forhold gjøres ut fra en samlet vurdering av de ulike forhold. Forhold som ligger mellom ytterlighetene anses som midlere.

Udrenert aktiv skjærfasthet velges i utgangspunktet som mest sannsynlig opprettede verdi $c_{uA;s}$. Karakteristisk verdi framkommer så ved å multiplisere denne verdien med reduksjonsfaktor f_c :

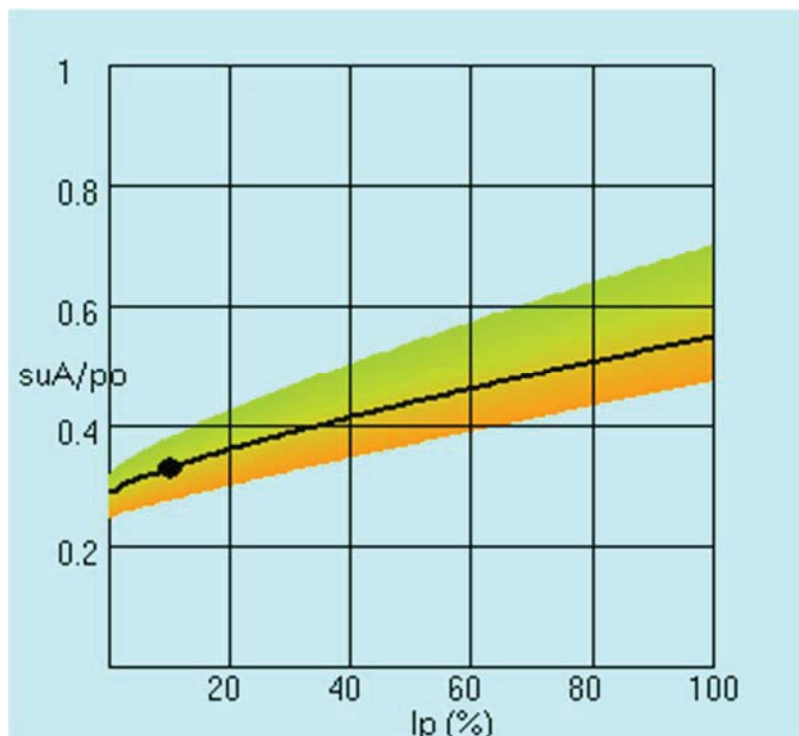
$$c_{uA;k} = c_{uA;s} * f_c$$

I diskusjonen rundt størrelsen på reduksjonsfaktorer må vi se litt nærmere på mulig variasjonsområde for skjærfasthet, og se på forholdet til en mulig nedre grense basert på erfaringsverdier.

Erfaringsverdier (minimumsverdier) for c_u/p_0' i norske leirer (Kjell Karlsrud 2003 "Tolkning og fastlegging av jordartsparemetre – Karakteristisk jordprofil" NGF-Kurs 2003.)

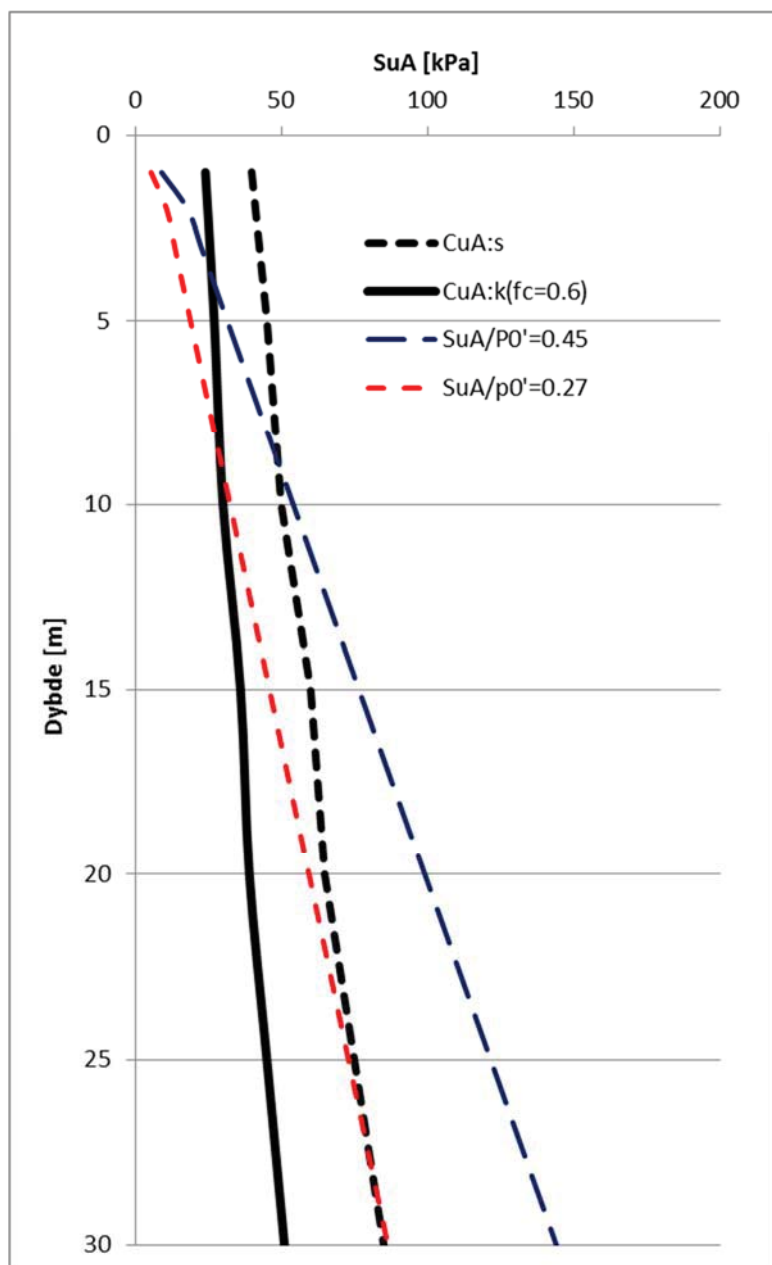
Type materiale	c_u/p_0'		
	Aktiv treaks.	Direkte skjær	Passiv treaks.
Kvikkleire	0,27	0,16	0,03
Ikke kvikkleire, $I_p = 10-20 \%$	0,29	0,17	0,07

Variasjonsområde $c_{u:A}/P_0'$ – I_p . Multiconsult (ESPAR):



For I_p i området 5-20% viser erfaringstall i figurene over at forholdet SuA/P_0' varierer mellom ca. 0,27 og 0,45. Mulig vi kan vise dette litt bredere med å avlede

effektivspenningsavhengig $C_{u:A}$ fra shansep-formuleringene – men hovedpoenget er å ikke havne utenfor erfaringsområdet – i alle fall ikke uten at det er gode grunner til det. På figuren under er det vist et tenkt eksempel med utgangspunkt i variasjonsområdet over for effektivspenningsavhengig S_{uA} . Linjen $C_{u:As}$ representerer et eksempel på tolket linje for mest sannsynlig opptredende verdi (som kan være en middelvei). Som vi ser av eksempelet vil linjen $C_{u:Ak}$ (karakteristisk verdi) havne under laveste estimat på $C_{u:A}$ i dybden. I motsatt fall kan det også hende at $C_{u:As}$ og $C_{u:Ak}$ –linjene i noen tilfeller havner over høyeste estimat mht. erfaringstall. Det må knyttes noen kommentarer til anvendelse av faktorene i disse tilfellene og hvordan det skal håndteres.



Vedlegg

Anvendelsesklasser for prøvetaking i jord, fra NGF-melding nr 11:

Tabell 1. *Anvendelsesklasser for jordprøver og egenskaper som bestemmes i laboratoriet (ref. NS-EN 1997-2:2007+NA:2008).*

Jordegenskaper	Anvendelsesklasser				
	Uforstyrret		Forstyrret		Om-rørt
	1	2	3	4	5
Uforandrede jordegenskaper					
kornstørrelse	*	*	*	*	
vanninnhold	*	*	*		
densitet, densitetsindeks, permeabilitet	*	*			
kompressibilitet, skjærfasthet	*				
Egenskaper som kan bestemmes					
jordartssekvenser	*	*	*	*	*
jordlagsgrenser – grov	*	*	*	*	
jordlagsgrenser – fin	*	*			
konsistensgrenser, korndensitet, humusinnhold	*	*	*	*	
vanninnhold	*	*	*		
densitet, densitetsindeks, porøsitet, permeabilitet	*	*			
kompressibilitet, skjærfasthet	*				
Prøvetakingskategori iht. NS-EN ISO 22475-1	A				
	B				
					C

Kriterier for evaluering av prøvekvallitet fra NGF-melding nr 11:

Tabell 6. Veiledende kriterier for evaluering av prøvekvallitet basert på endring i porevanninnhold.

OCR	$\Delta e/e_0^4$			
	Veldig god til utmerket	God til brukbar	Dårlig	Veldig dårlig
1-2	<0,04	0,04-0,07	0,07-0,14	>0,14
2-4	<0,03	0,03-0,05	0,05-0,10	>0,10
4-6	<0,02	0,02-0,035	0,035-0,07	>0,07

Det gjøres oppmerksom på at kriteriene for prøvekvallitet som er vist i tabell 6 er basert på tester av marine leirer med plastisitet mellom 6 - 43%, vanninnhold mellom 20 - 67%, OCR mellom 1 - 6 og dybder under terreng på mellom 0 - 25 m. For jord med egenskaper som faller utenfor ovennevnte verdier bør kriteriene som er vist i tabell 6 benyttes med varsomhet.

Anvendelsesklasse for CPTU fra NGF-melding nr 5:

Tabell 5.2. Anvendelsesklasser for CPT og CPTU.

Anvendelses- klasse	Forsoks- type	Målestørrelse	Tillatt minimums- noyaktighet ^a	Maksimum avstand mellom målinger	Bruk	
					Profil ^b	Tolkning ^c
1	TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning Nedtrengingslengde ^e	35 kPa eller 5% 5 kPa eller 10% 10 kPa eller 2% 2° 0.1 m eller 1%	20 mm	A	GH
2	TE1 TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk ^d Helning Nedtrengingslengde	100 kPa eller 5% 15 kPa eller 15% 25 kPa eller 3% 2° 0.1 m eller 1%	20 mm	A B C D	GH* GH GH GH
3	TE1 TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk ^d Helning Nedtrengingslengde	200 kPa eller 5% 25 kPa eller 15% 50 kPa eller 5% 5° 0.2 m eller 2%	50 mm	A B C D	G GH* GH GH
4	TE1	Spissmotstand Sidefriksjon Nedtrengingslengde	500 kPa eller 5% 50 kPa eller 20% 0.2 m eller 2%	50 mm	A B C D	G* G* G* G*

- A Homogen jord med meget bløt til fast leire og silt (typisk $q_c < 3$ MPa)
- B Lagdelt jord med bløt til fast leire (typisk $q_c \leq 3$ MPa) og middels fast sand (typisk $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10$ MPa)
- C Lagdelt jord med fast leire (typisk $1.5 \text{ MPa} \leq q_c < 3$ MPa) og meget fast sand (typisk $q_c > 20$ MPa)
- D Meget fast til hard leire (typically $q_c \geq 3$ MPa) og meget fast, grov jord ($q_c \geq 20$ MPa)

INTERNT NOTAT

OPPDRAAG	NIFS -Arbeidsgruppe Cu:A	DOKUMENTKODE	415559-RIG-NOT-004
EMNE	Innspill til prinsipp for uttak av Cu:A ARBEIDSNOTAT	TILGJENGELIGHET	INTERNT ARBEIDSNOTAT
OPPDRAAGSGIVER	NIFS v/Vikas Thakur	OPPDRAAGSLEDER	Odd Arne Fauskerud
KONTAKTPERSON		SAKSBEH	Odd Arne Sørlien Fauskerud
KOPI		ANSVARLIG ENHET	1012 Oslo Geoteknikk Bygg & Infrastruktur

SAMMENDRAG

Notatet omhandler innspill til kapittel 4.1 i NIFS- Cu:A-rapport

1 Innledning

Notatet omfatter innspill til kap. 4.1 i NIFS Cu:A-rapport.

2 4.1 Prinsipper for valg av nivå**2.1 Krav i NS-EN 1997-1**

Relevante krav kan finnes i kapitlene 2.4.3 «Grunnens egenskaper» og 2.4.5.2 «Karakteristiske verdier av geotekniske parametere»

De mest relevante hovedpunktene som må tas hensyn til ved uttak Cu:A profiler er oppsummert nedenfor:

- Valg av design $C_{u:A}$ skal baseres på resultater laboratorieforsøk eller in situ forsøk, enten direkte, eller gjennom korrelasjoner/teori/empiri eller annen godt etablert og relevant erfaring.
- Omfang av undersøkelser, samt type og antall prøvinger/forsøk skal hensyntas/reflekteres i valg av design $C_{u:A}$.
- Prøvmingsmetode for bestemmelse av $C_{u:A}$ bør være i samsvar med publisert og anerkjent informasjon (praksis) for prøvmingsmetoder.
- Faktorer som kan medføre forskjeller mellom målt verdi i lab/felt og reell oppførsel i grunnen skal tas hensyn til. Som eksempler nevnes: spenningsnivå, deformasjonsmåte, sprekker, lagdeling eller store partikler/korn, tidseffekter, strømning av vann, dynamiske påvirkninger, sprøhet og duktilitet. (f. eks. korreksjon for tidseffekter, sprøbruddoppførsel mv.).

00	2014-08-21	Arbeidsnotat – innspill	OAF	OAF	OAF
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

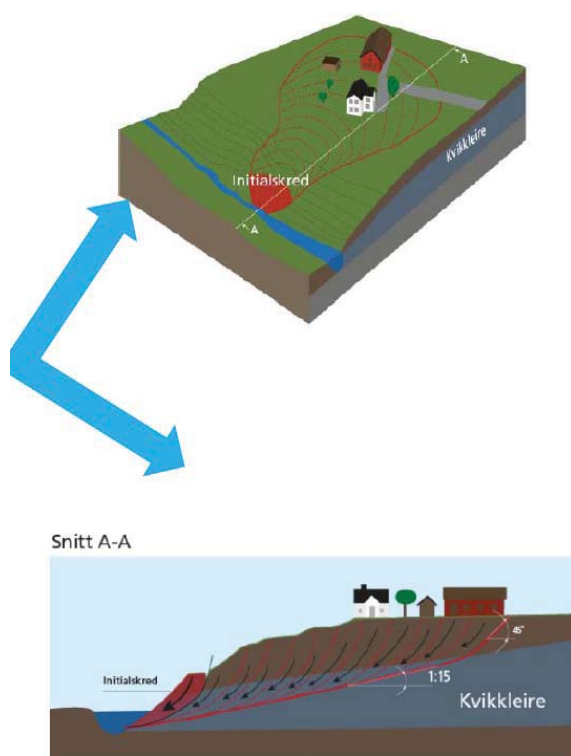
Innspill til prinsipp for uttak av Cu:A: ARBEIDSNOTAT

- Det skal tas hensyn til geologisk informasjon og data fra andre prosjekter og/eller områder med tilsvarende grunnforhold. Størrelsen på valgt design $C_{u:A}$ bør sammenlignes med relevante publiserte data og lokal og generell erfaring. Det vil si at målte verdier skal avstemmes med erfaringsdata for å kontrollere at størrelsen faller innenfor forventet variasjonsområde.
- Uttak av design $C_{u:A}$ skal baseres på et forsiktig anslag av de verdiene som har størst betydning for aktuell problemstilling/analyse/beregning. Dvs. fokus på evt. svake lag/områder.
- Størrelsen på jordvolumet som inngår i beregningene/analysene skal gjenspeiles i valg av $C_{u:A}$. Det vil si at det må gjøres en vurdering av størrelsen/utbredelsen for aktuelle glideflater (løsneområdet) og at dataene må representere hele volumet.
- På grunn av at lab- og feltforsøk i de fleste tilfeller kun vil dekke en meget liten andel av det jordvolumet som vil være involvert i en analyse/beregning så bør design $C_{u:A}$ velges som et forsiktig anslag for middelveidene av målte/avledede verdier funnet ved forsøk på området. Det er viktig her å ha fokus på svake områder og/eller svake lag som kan ha betydning for analysen, slik at disse ikke kommer for gunstig ut i en middelveid-vurdering.
- Det bør utvises forsiktighet i bruk av verdier som betinger store deformasjoner.

2.2 Antall profiler

Antall profiler må være slik at beregningsprogrammet som skal benyttes kan modellere skjærfastheten i beregningsprofilen (skråningen) realistisk.

For en stabilitetsberegning i en skråning foreslås etablert minimum 2 $C_{u:A}$ profiler, ett som representerer skjærfasthet ved skråningstopp og ett ved bunnen av skråningen. Dersom det er stor variasjon i topografi og/eller grunnforhold i skråningen, så bør det etableres flere fasthetsprofiler som legges mellom profilene i topp og bunn skråning. *(Her bør det være en figur som viser prinsippet, evt. etter neste kapittel. En 3D figur som viser terreng/skråning og løsneområde hadde vært fint å ha her – se eksempel)*



Innspill til prinsipp for uttak av Cu:A: ARBEIDSNOTAT

2.3 Valg av representative data

Felt- og laboratoriedata som benyttes til tolkning av $C_{U:A}$ profiler må velges slik at profilene som framkommer representerer det jordvolumet som skal inngå i beregningen. Det må sannsynliggjøres at datautvalget er representativt for aktuelt profil og jordvolum. Her inngår topografi, avstand til beregningsprofil, kotenivå, tidligere terrengnivå i området (overkonsolidering), effektivspenningsnivå/poretrykk, variasjon i grunnforhold i området, løsmassegeologisk informasjon og avsetningshistorikk.

2.4 Presentasjon

Valgt $C_{U:A}$ profil vises i et samleplott sammen med grunnlagsdata (måle- og erfaringsdata) som er representative for aktuelt profil.

Rangering av data

Arbeidsgruppa foreslår følgende rangering av data ved valg av $C_{U:A}$ profil:

1. Treaksialforsøk av god kvalitet (kvalitetsklasse 1)
2. CPTU (Anvendelsesklasse 1)
3. Erfaringsverdier ($C_{U:A}/P_0' + \text{Shansep}$)
4. Konus/Enaks/Vingebor

2.5 Mest sannsynlig opptredende verdi; $C_{U:AS}$

I samleplott med relevante måle- og erfaringsdata foreslås utført en (manuell ?) vurdering av mest sannsynlig opptredende verdi basert på tilgjengelige data. I mange tilfeller vil dette være en middelvei, eller vektet middelvei av tilgjengelige data. Denne vurderingen legges inn som en linje, $C_{U:AS}$ i plottet.

2.6 Karakteristisk verdi; $C_{U:AK}$

Karakteristisk $C_{U:A}$ ($C_{U:AK}$) foreslås bestemt ved multiplisering av mest sannsynlige verdi, $C_{U:AS}$, med en reduksjonsfaktor f_c .

$$C_{U:AK} = C_{U:AS} * f_c$$

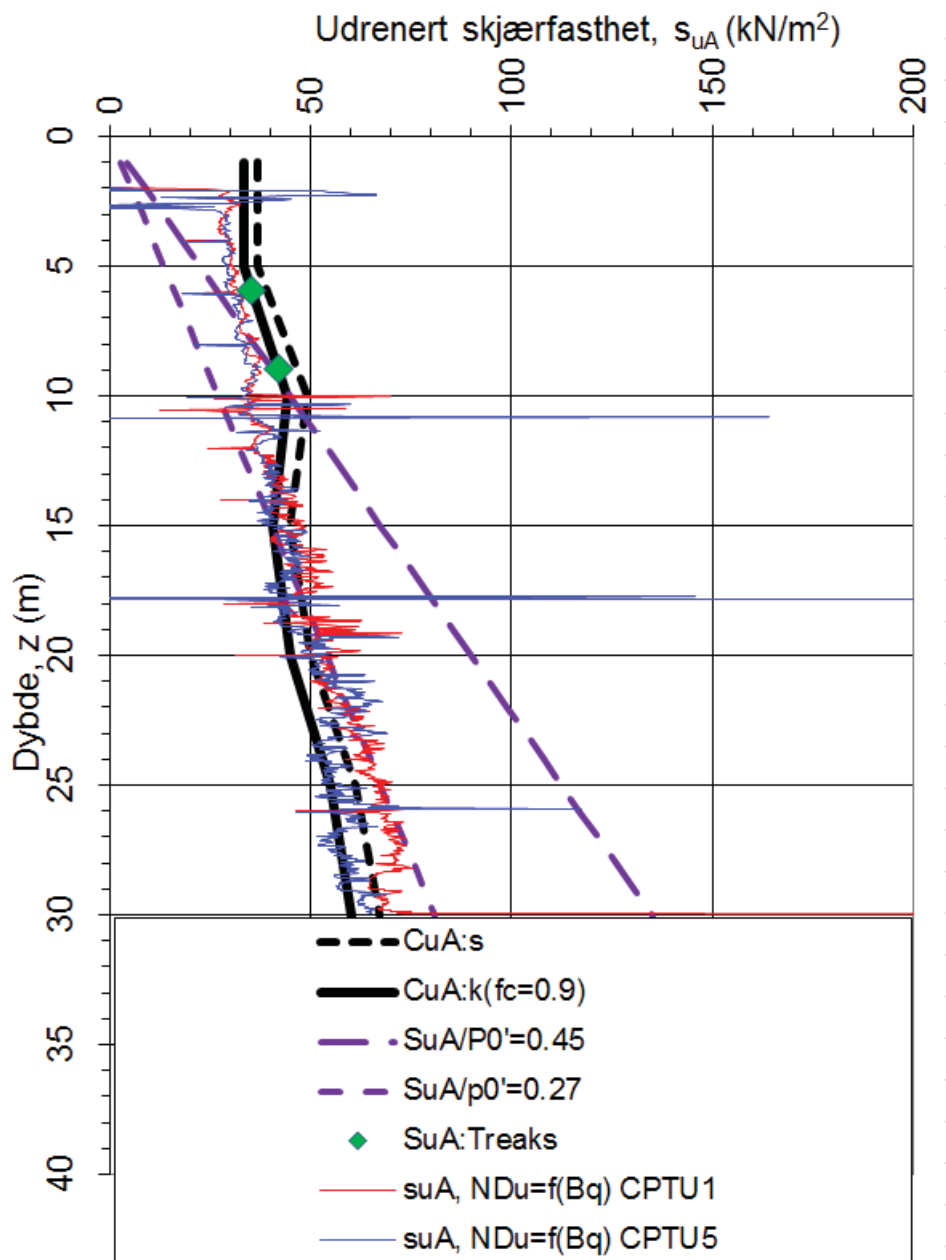
(Kfr. Notat fra Frode/Odd Arne datert 18.08.14. Elementer fra dette notatet bør legges inn i dette kapitlet.)

2.7 Reduksjon av $C_{U:AK}$ i sprøbruddmaterialer

For sprøbruddmaterialer bør $C_{U:AK}$, dersom denne er bestemt på grunnlag av laboratorieforsøk på blokkprøver med prøve kvalitet «veldig god til utmerket» eller data korrelasjoner mot slike prøver, iht. gjeldende praksis reduseres med 15% for å ta hensyn til tidseffekt og sprøbruddeffekt.

Denne reduksjonen foreslås gjort i beregningsprogrammet ved å legge en faktor 0,85 på $C_{U:AK}$ i beregningen.

2.8 Eksempel



Kommentarer til eksempel:

- $C_{U:AS}$ bestemt som en middelværdi, med treaksialforsøkene tillagt større vekt enn CPTU og slik at $C_{U:AK}$ (ved $f_c = 0,9$) samsvarer med treaksialforsøkene i 6 og 9 m dybde.
- Treaksialforsøk og CPTU har høyere rang enn SHANSEP ($C_{U:AS}/P_0'$).



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

