



# Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire Workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer

55  
2013



R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

# Workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer

**Rapport nr. 55/2013**

Workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer

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

**Forfatter:** Frode Oset, Statens vegvesen, Vegdirektoratet

**Dato:** 05.07.2013

**Opplag:** P.O.D.

**ISBN:** 978-82-410-0925-9

**Sammendrag:** Etatene Statens vegvesen (SVV), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Jernbaneverket (JBV) har, gjennom etatsatsningsprosjektet Naturfare - Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS) et delprosjekt (DP6) som omhandler kvikkleire. Den 26. april 2013 arrangerte delprosjekt kvikkleire en workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer. Denne rapporten gir en oppsummering fra workshopen. Foredragene til workshopen er samlet som vedlegg i rapporten.

**Emneord:** sensitive leirer, anisotropiforhold, stabilitetsberegninger, sprøbruddmaterialer, kvikkleire

## **Forord**

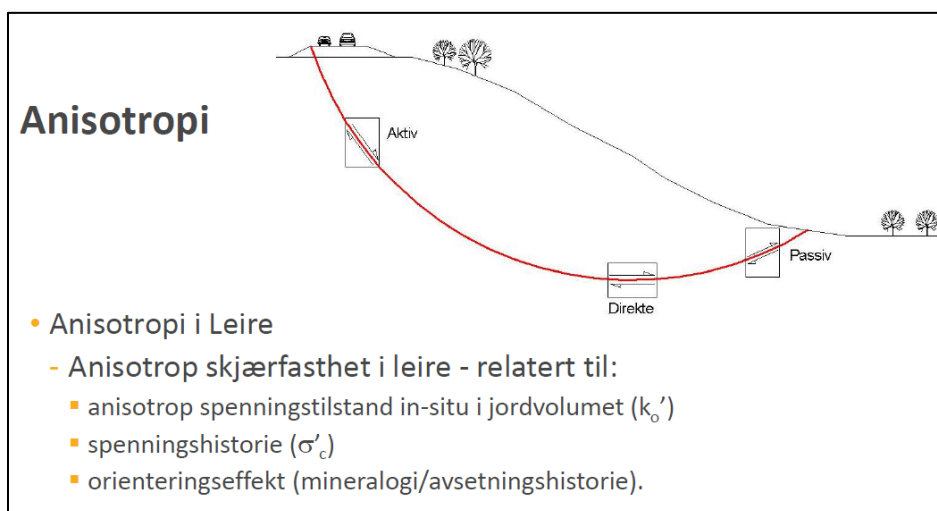
NIFS-prosjektet er et felles satsningsområde mellom Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen. Prosjektperioden er definert som 2012 – 2015. Planlagt budsjett er på 42 millioner kroner i perioden. Stort fokus på intern kompetanse og faglig utvikling bidrar i tillegg med anslagsvis 30 årsverk fra etatene i samme periode. Prosjektet er allerede i leveransefasen, 7 delprosjekter er etablert, og opp i mot 100 medarbeidere i de tre etatene er involvert i større eller mindre grad.

## OPPSUMMERING

### Workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer

Sted: Norges vassdrags- og energidirektorats s kontor i Trondheim, 26. april 2013.

ADP-analyse brukes i stor grad ved stabilitetsanalyse av udrenerte situasjoner ved prosjektering. I utgangspunktet baseres skjærfasthetens anisotropi på laboratorieforsøk på prøver fra det aktuelle stedet. Utviklingen over tid har vært slik at det benyttes erfaringsbaserte verdier for anisotropiforhold i mange tilfeller, ofte med mangelfulle referanser til empiriske korrelasjoner.



Figur 1: Anisotropi i leire (Fauskerud 2013).

Gjennom Naturfareprosjektet er det uttrykt et behov for å etablere føringer for en bedre og mer dokumentert praksis. Det kan i denne sammenheng også nevnes at det i Sverige (jfr. Trafikverket (TK Geo og Skredkommisionen, referanser.....)) er gitt krav om at utnyttelse av anisotropi ved prosjektering krever laboratorieforsøk utført på lokale prøver. Erfaringsverdier kan brukes for overslag.

Med dette som utgangspunkt fikk samarbeidsgruppen SINTEF/Multiconsult et oppdrag gjennom rammeavtalen med Naturfareprosjektet. Oppdraget var todelt:

- 1) Gi en beskrivelse av dagens praksis i prosjekteringsammenheng.
- 2) Gi en anbefaling for anisotropiforhold basert på erfaringsverdier.

I workshopen var programmet lagt opp slik:

Tid	Workshop: Bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer	
0830-0835	Velkommen	Vikas Thakur
0835-0845	Ord fra møteleder	Frode Oset
0845-0915	Presentasjon av SINTEF/Multiconsults rapport: Bruk av anisotropi i stabilitetsberegninger i sprøbruddmaterialer	Odd Arne Fauskerud
0915-1200	Diskusjon	
	0915-0945: Presentasjon fra NGI	Lars Andresen
	0945-1000: Pause	
	1000-1030: Presentasjon fra NTNU	Steinar Nordal
	1030-1145: Åpen diskusjon	Alle
	1145-1200: Oppsummering	Frode Oset
1200	Workshop slutt	

Følgende deltakere var invitert til workshopen den 26.04:

Nr	Navn	Firma
1	Alexander Slobodinski	SVV
2	Anders Gylland	NTNU
3	Arild Sleipnes	SVV
4	Arnfinn Emdal	NTNU
5	Arnulf Robsrud	JBV
6	Bjørn K Dolva	SVV
7	Eigil Haugen	SVV
8	Einar Lyche	NVE
9	Frode Oset	SVV
10	Gunnar Djup	SVV
11	Håvard Narjord	MULTIUCONSULT
12	Inger-Lise Solberg	NGU
13	Jean-Sebastien L'heureux	NGI
14	Kristian Aunaas	SVV
15	Lars Andresen	NGI
16	Margareta Viklund	JBV
17	May-Britt Sæter	JBV
18	Odd Are Jensen	NVE
19	Odd Arne Fauskerud	MULTIUCONSULT
20	Oddvar Longva	NGU
21	Stein Christensen	SINTEF
22	Steinar Nordal	NTNU
23	Vidar Gjelsvik	NGI
24	Vikas Thakur	SVV

I presentasjonen av rapporten ble det lagt vekt på at første del av rapporten gir en beskrivelse av gjeldende praksis. Intensjonen er å gi en uhildet situasjonsbeskrivelse ut fra erfaring i egne prosjekter og kontakt med andre miljøer. Det vil si at dette skal være representativt for hverdagen i de prosjekterende fagmiljøene i Norge. Fra presentasjonen gjengis følgende oppsummering av status i bransjen:

**Anisotropiforhold i stabilitetsberegninger – status i bransjen**

- Oppsummering av erfaringer
  - CPTU-korrelasjoner benyttes i stor grad for etablering av karakteristisk profil for aktiv udrenert skjærfasthet.
  - Generelt benyttes laboratoriebestemte data i liten grad for bestemmelse av ADP-forhold og i mange tilfeller benyttes generelle anbefalinger mer eller mindre velbegrunnet.
  - Etter prosjektgruppens syn er det for lite fokus på stedsspesifikke prøver med høy nok kvalitet
  - Dette gjelder også uttak av representative indeksdata for sammenligning med tilgjengelige erfaringsverdier, f.eks. via OCR,  $I_p$ ,  $S_{tr}$ , leirinnhold etc.
  - Korreksjon av udrenert skjærfasthet er et komplekst tema, og praksisen er varierende i de ulike miljøene.

Figur 2: Valg av anisotropiforhold – status i bransjen (Fauskerud 2013)

Anbefalingene fra rapporten peker tydelig på behovet for bestemmelse av anisotrop skjærfasthet med basis i stedsspesifikke data.

**Prosjektgruppens anbefalinger**

- Stedsspesifikke data
  - Bestemmelse av anisotrop skjærfasthet i sprøbruddmaterialer bør baseres på innsamling av stedsspesifikke data som er relevante og gyldige for den aktuelle problemstillingen.
  - Bruk av faste, generelle forhold mellom aktiv, direkte og passiv skjærfasthet anbefales ikke.
  - Opptak av høykvalitets prøver og utførelse av laboratorieforsøk for å bestemme aktiv, direkte og passiv udrenert skjærfasthet er et klart førstevalg.
  - Resultatene fra laboratorieforskene bør alltid sammenlignes med tilgjengelige empiriske korrelasjoner for å evaluere dataene fra forsøkene som er utført.

Figur 3: Rapportens anbefalinger om bruk av stedsspesifikke data (Fauskerud 2013).

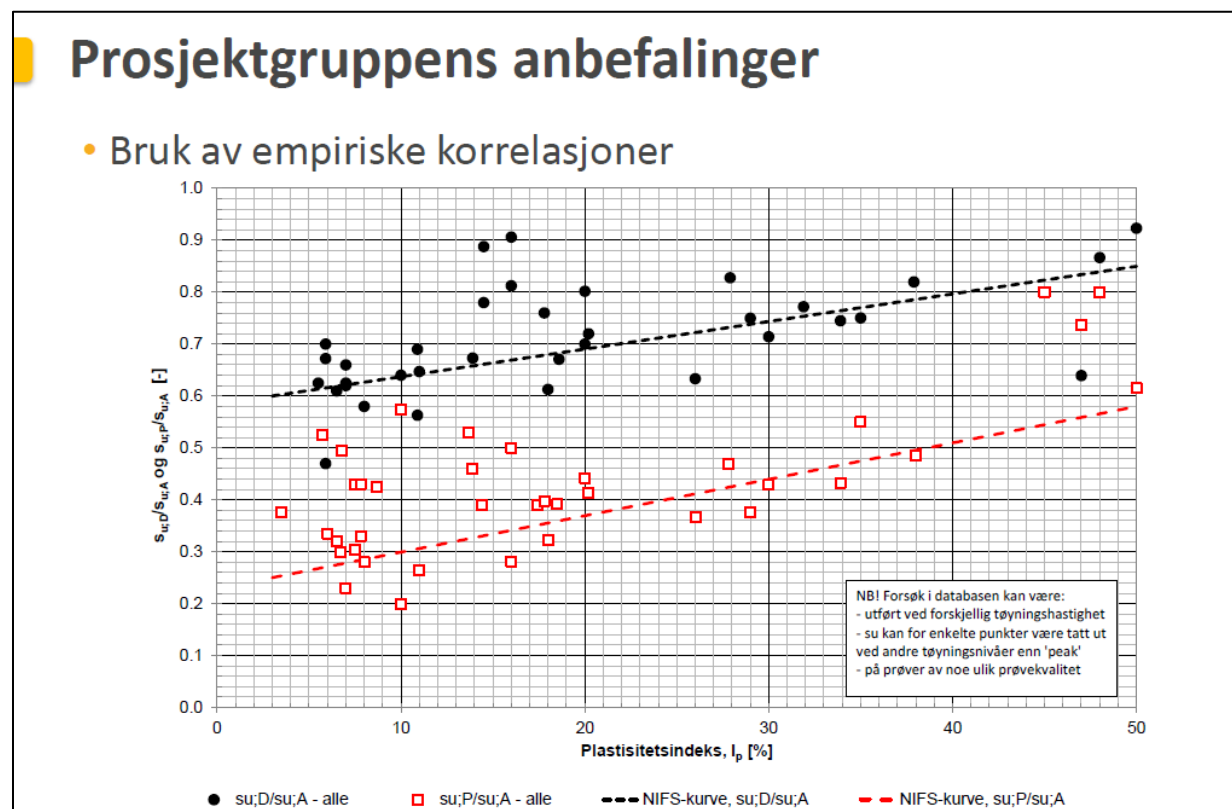
For den delen av oppdraget som gikk ut på anbefaling av anisotropiforhold basert på erfaringsverdier har prosjektgruppen i SINTEF/Multiconsult samlet data fra litteratur og fra

egne prosjekter. Den resulterende sammenstillingen inneholder data publisert av NGI, supplert med andre data, bl.a fra SINTEF/Multiconsult.

### Prosjektgruppens anbefalinger

- Stedsspesifikke data
  - Der ikke er mulig å få gode nok data fra laboratorieforsøk for tolkning av ADP-forhold, bør enkelt målbare indeksdata, som ikke er avhengig prøveforstyrrelse, (for eksempel  $w_L$ ,  $I_p$  etc) benyttes sammen med korrelasjoner etablert på grunnlag av forsøk på høykvalitets prøver.
  - Ved noe videreutvikling av korrelasjonsgrunnlaget kan bruk av in-situ målemetoder som vingebor og CPTU gi støtte i valg av ADP-skjærfasthetsprofiler, kanskje spesielt vingebor.
  - Både utførelse av laboratorieforsøk, korrelasjonsvurderinger med indeksdata og in-situ målemetoder bør kombineres med en eller to av de andre ved vurdering av ADP-forhold.

Figur 4: Rapportens utsagn vedrørende erfaringsbaserte korrelasjoner for anisotropiforhold (Fauskerud 2013).



Figur 5: Empiriske korrelasjoner for anisotropiforhold (Fauskerud 2013).

I den etterfølgende diskusjonen var det forberedte innlegg fra NGI og NTNU. Presentasjonene er gjengitt i vedlegg 2 og 3.

Fra NGI ble det blant annet referert til forskningsprosjektet «Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire» som gjennomføres ved NGI i samarbeid med NIFS. Prosjektet går ut på å vurdere betydningen av å modellere bruddutviklingen i kvikkleire med verktøy som tar hensyn til progressiv bruddutvikling, og sammenligne dette med tradisjonelle beregningsverktøy basert på grenselikevekt. I denne sammenhengen er det påvist at betydningen av anisotropiforhold ikke er veldig stor ved FE-modellering av progressiv bruddutvikling (Andresen 2013). Slike FE-analyser viser også at konseptet med tøyingskompatibilitet ved valg av materialparametere ikke er gyldig i forhold til virkelig materialoppførsel.

Ved prosjektering med grenselikevektsmetoden ble det fra NGI hevdet at stedsspesifikke høykvalitetsprøver for bestemmelse av anisotropiforhold bare kunne forsvares i store prosjekter og/eller høyrisikoprojekter:

### Valg av anisotropiforhold i prosjektering

- Stedsspesifikke høykvalitetsprøver for bestemmelse av anisotropiforhold kan kun forsvares i store- og/eller høyrisiko prosjekter hvor anisotropi er av vesentlig betydning (kost/nytte vurdering)
- For andre prosjekter: Bygge videre på det vi har dvs. database med korrelasjoner mellom anisotropiforhold og indeksparametre ( $I_p$ ,  $w$  etc.)
- Korrelasjonsdatabasen bør bygges ut og man bør gå tilbake til stedene hvor den viser stor spredning og prøve å finne ut hva dette skyldes (eks. mineralogi, prøve kvalitet etc.)

Figur 6: Valg av anisotropiforhold i prosjektering (Andresen 2013).

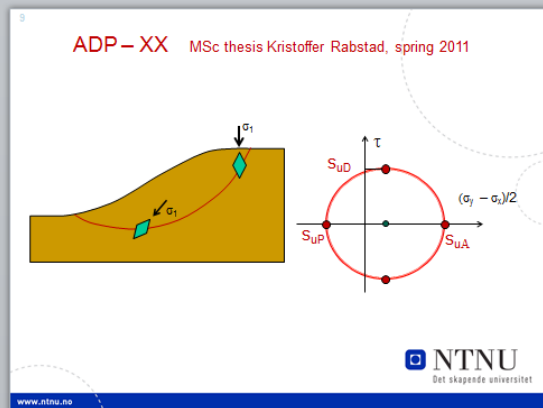
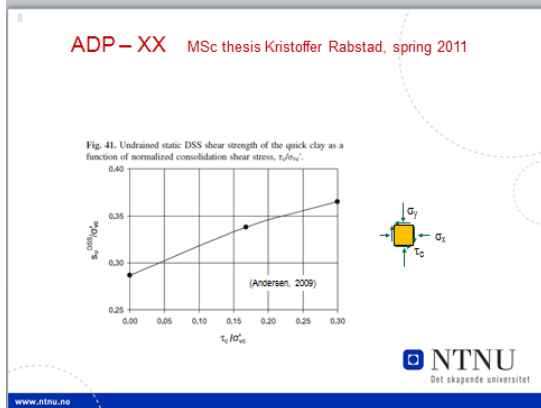
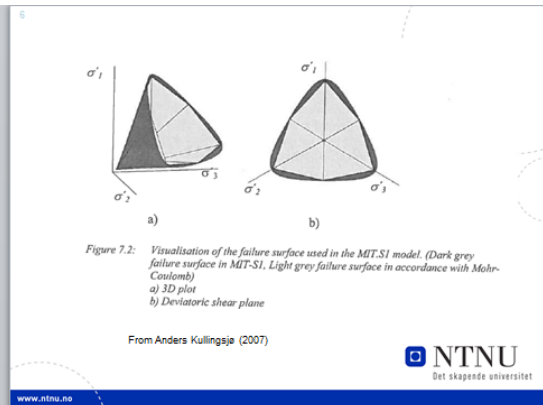
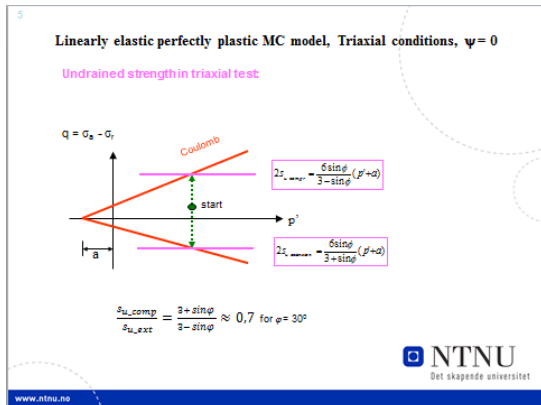
Ideen med tøyingskompatibilitet ved valg av anisotrope skjærfasthetsparametere for stabilitetsberegning er i prinsippet ikke i samsvar med progressiv bruddoppførsel.

Videre ble det fra NGI påpekt at forsøk med lav tøyingshastighet viser betydelig mindre sprøbruddoppførsel enn ved standard hastighet, og at kombinasjon av korreksjon for sprøbrudd med korreksjon for tøyingshastighet derfor ville være alt for konservativt.

Anvendelse av CPTU og vingebor som feltundersøkelser ble diskutert. Det vil bli gjennomført et feltarbeid i regi av NTNU (Post Doc.) for å se nærmere på anvendeligheten av vingebor i forhold til andre metoder.



Fra NTNU påpekes det blant annet at utredninger de siste årene indikerer at skjærfastheten kan knyttes mot orienteringen av in situ hovedspenninger. Temaet er ikke ferdig utredet, men det kan være interessant med videre forskning. De grunnleggende prinsippene bak effektivspenningstien, spenningsfeltteorien og de forskjellige jordmodeller ble presentert.



Figur 7: Grunnleggende teori bak bruddet i anisotropiske leirer (Nordal 2013).

### Oppsummering fra åpen diskusjon

- Anbefalinger om stedsspesifikke prøver som grunnlag for korrelasjoner ved prosjektering
- Nytte/kost-vurderinger mht ressursinnsats ved optak av høykvalitetsprøver, i forhold til bruk av empiriske korrelasjoner
- Fordel om bransjen samler seg om en omforent metodikk
- Anvendelse av og korrelasjoner for anisotropiforhold bør baseres på det som samlet sett er utviklet, publisert og tilgjengelig.
- Database for forsøksresultater som grunnlag for korrelasjoner bør samles på ett sted med ansvar for vedlikehold og kvalitetssikring av input. NGI er villig til å forestå dette med utgangspunkt i foreliggende database med blokkprøverresultater.

- Anisotropiforhold har liten betydning ved FE-modellering av progressiv bruddutvikling, men ved tradisjonelle beregninger med grenselikevektsmetoden er det direkte sammenheng mellom valgt anisotropiforhold og beregnet materialfaktor.
- Ideen med tøyingskompatibilitet ved valg av anisotrope skjærfasthetsparametere for stabilitetsberegning er i prinsippet ikke i samsvar med progressiv bruddoppførsel. Dette må tas med i betraktning hvis man skal lage retningslinjer rundt anisotropi.
- Foreslått empirisk korrelasjon gjennomgås og sammenlignes med annet publisert materiale.
- Naturfareprosjektet tar sikte på å komme med en anbefaling om framgangsmåte og forutsetninger ved valg av anisotropifaktorer for prosjektering med beregningsverktøy basert på grenselikevektsberegninger.
- Videre utredninger i forhold til mer prinsipielle forhold (modellering av sprøbruddoppførsel, betydning av hovedspenningsrotasjon etc) vil bli fulgt opp av NIFS i forhold til samarbeidspartnerne.

## Referanser

1. Fauskerud, O. A., Athanasiu, C., Havnegjerde, C. R., Tørum, E., Christensen, S. O., Gylland, A. (2012): Bruk av anisotropiforhold i stabilitetsberegninger i sprøbruddmaterialer. Naturfareprosjektet/SINTEF/Multiconsult. NIFS-rapport nr 75/2012. ISBN: 978-82-410-0863-4.
2. Fauskerud, O. A. (2013): Presentasjon ved workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer. Se vedlegg 1 i denne rapporten.
3. Andresen, L. (2013): Presentasjon ved workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer. Se vedlegg 2 i denne rapporten.
4. Nordal, S. (2013): Presentasjon ved workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer. Se vedlegg 3 i denne rapporten.

# Vedlegg

Vedlegg 1: presentasjon fra SINTEF/Multiconsult v/Odd Arne Fauskerud

Vedlegg 2: Presentasjon fra NGI v/Lars Andresen

Vedlegg 3: Presentasjon fra NTNU v/Steinar Nordal

## Vedlegg 1

presentasjon fra SINTEF/Multiconsult v/Odd Arne Fauskerud

# NIFS Rapport 75-2012: Bruk av anisotropiforhold i stabilitetsberegninger i sprøbruddmaterialer

Odd Arne Fauskerud  
Presentasjon for miniworkshop  
Trondheim 13-04-26



## ■ Prosjektgruppen

- Sintef
  - Stein Olav Christensen
  - Erik Tørum
  - Anders Gylland
- Multiconsult
  - Corneliu Athanasiu
  - Christian Rekdal Havnegjerde
  - Odd Arne Fauskerud

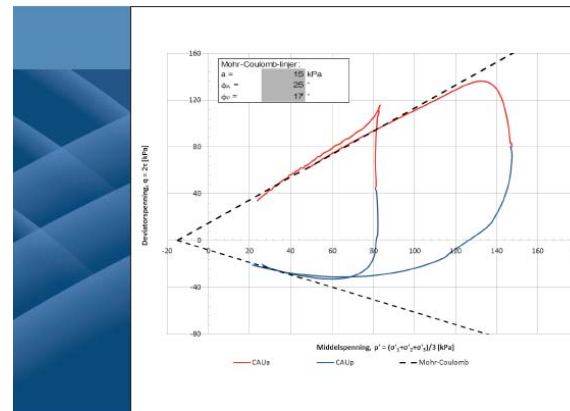


Jernbaneverket



Statens vegvesen

Naturfareprosjektet:  
 «Bruk av anisotropiforhold  
 i stabilitetsberegninger i  
 sprøbruddmaterialer»

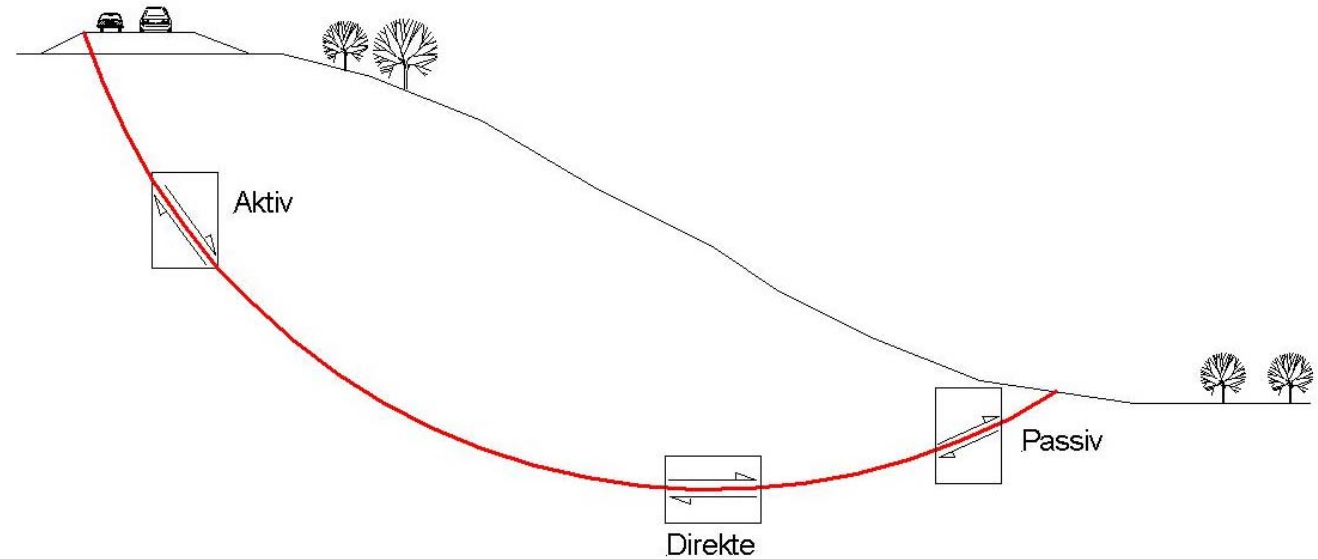
75  
2012R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

## ■ Oppgaveforståelsen

- Første del:
  - Gjeldende praksis i mht. anisotropiforhold i, med hovedfokus på norsk praksis.
  - Uhildet situasjonsbeskrivelse ut fra erfaring i egne prosjekter og kontakt med andre miljøer.
- Andre del:
  - Anbefaling for mht. anisotropiforhold for basert på eksisterende empiriske sammenhenger og erfaringstall.
  - Anbefalinger for videre arbeider/FoU innenfor temaene.



# ■ Anisotropi



- Anisotropi i Leire

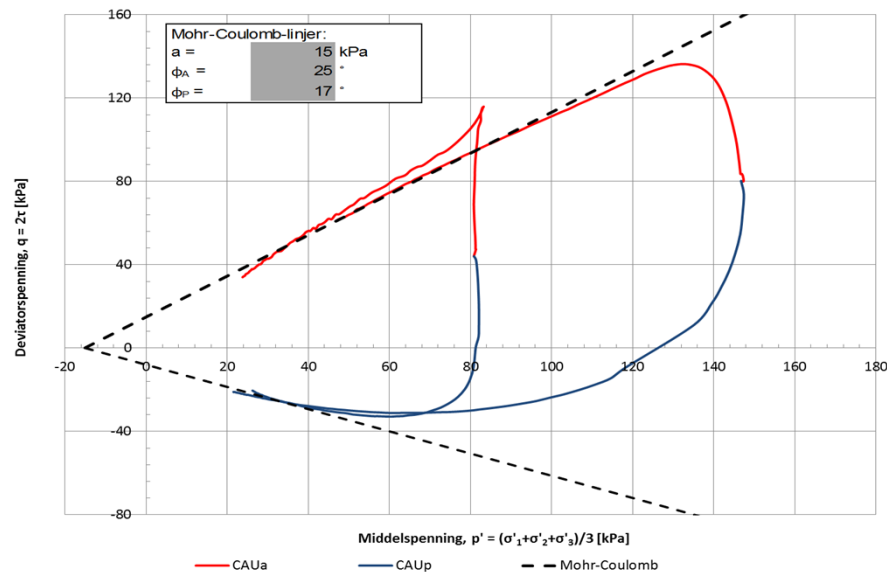
- Anisotrop skjærfasthet i leire - relatert til:
  - anisotrop spenningstilstand in-situ i jordvolumet ( $k_o'$ )
  - spenningshistorie ( $\sigma'_c$ )
  - orienteringseffekt (mineralogi/avsetningshistorie).





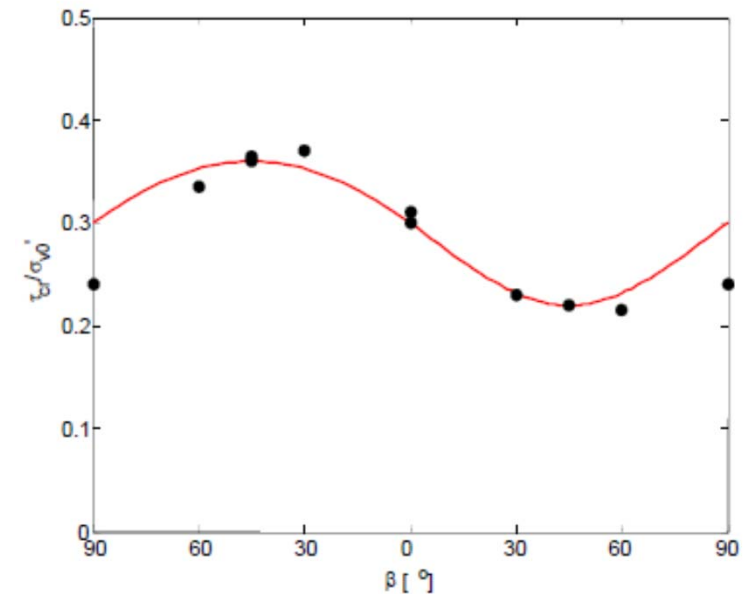
## ■ Anisotropi –praktisering og empirikk

- Praksis i bransjen innebærer i all hovedsak bruk av erfaringsgrunnlag og empiriske sammenhenger sammen med laboratorieforsøk ( $CAU_A$  og  $CAU_P$ ) og i noen grad DSS.



Eksempel på parallelle  
treaksialforsøk på blokkprøver  
fra E6 –Øst prosjektet

Degago & Grimstad (2012). Forsøk med ulike skjærspenningsretninger og tilpasningsfunksjonen med en sinus-kuve benyttet i en beregningsmodell



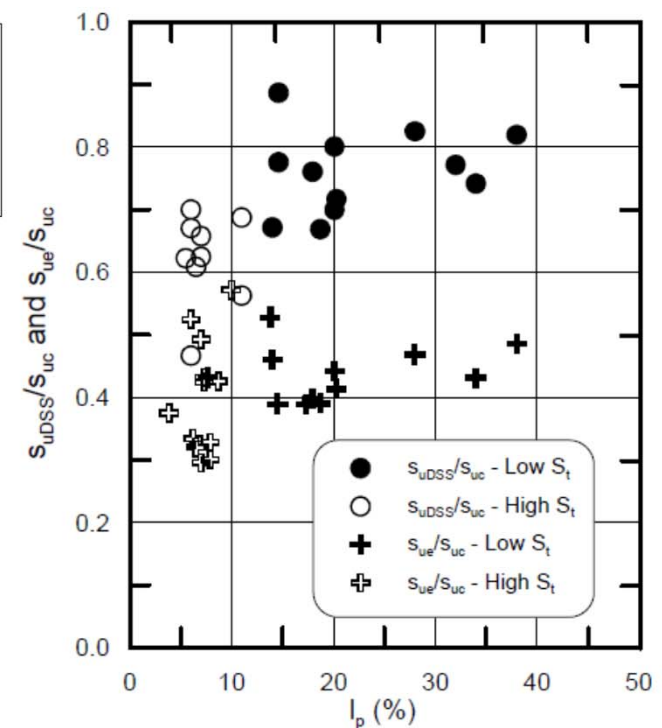
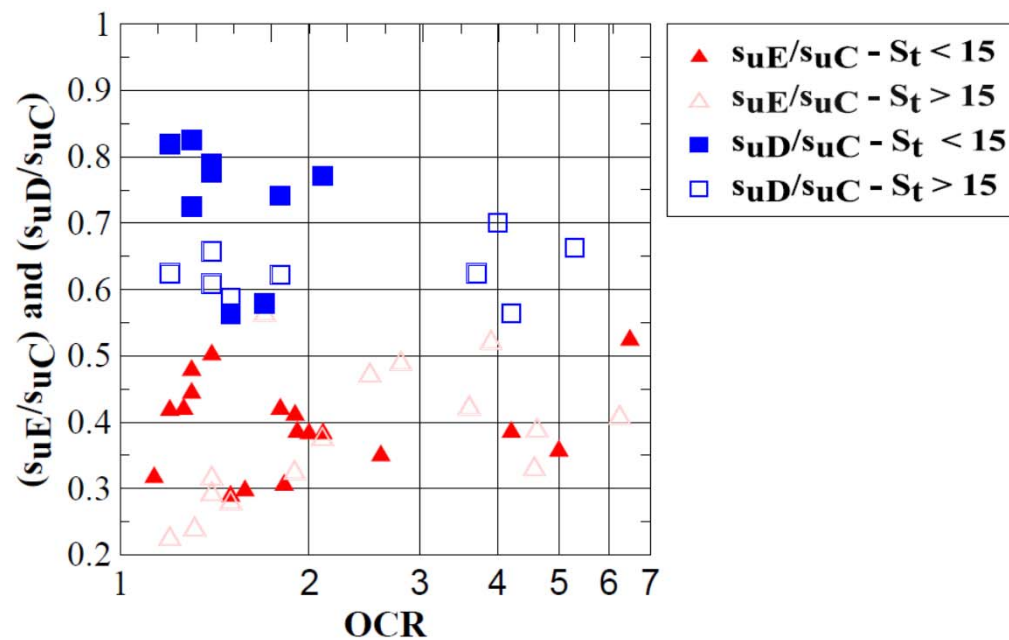
## ■ Anisotropi –praktisering og empirikk

- Mye av erfaringsgrunnlaget og empiriske sammenhenger i Norge (og internasjonalt) er bygget opp ved NGI basert på direkte skjærforsøk og treaksialforsøk utført på blokkprøver.



## ■ Anisotropi –praktisering og empirikk

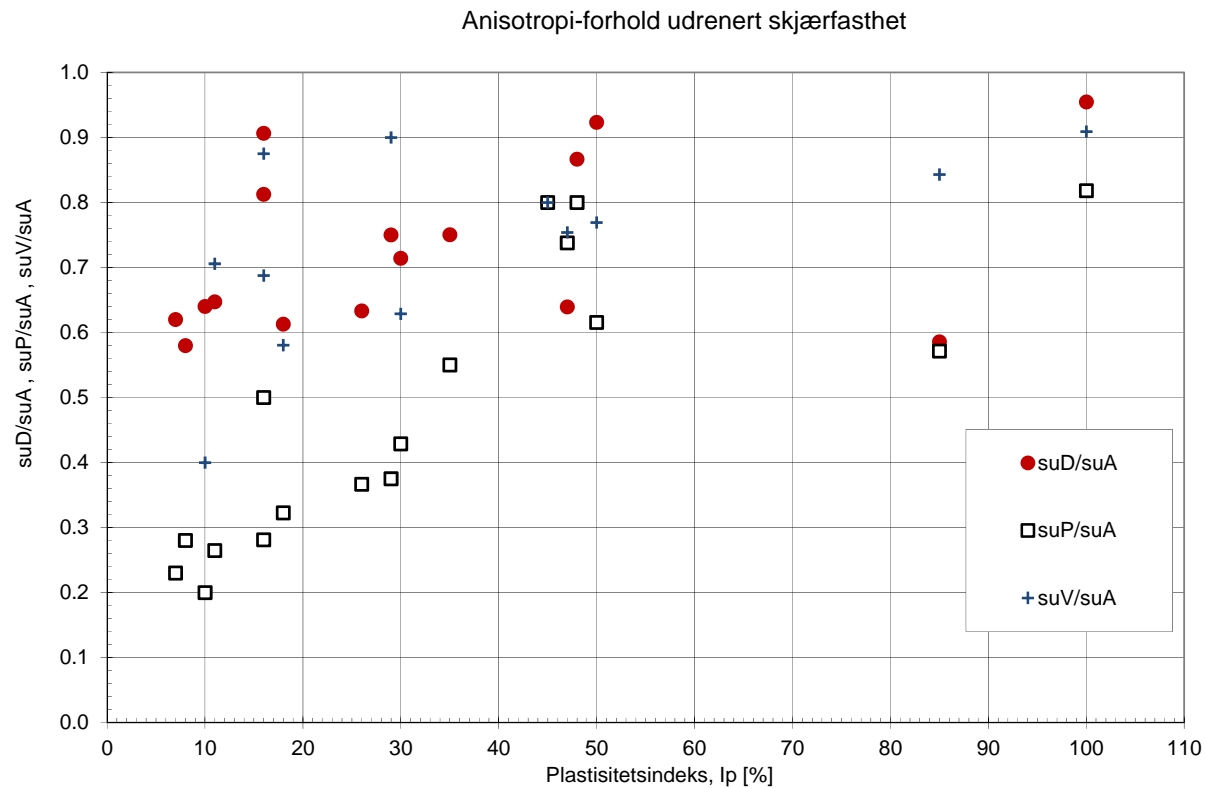
- NGI: Database basert på parallellforsøk CAUa, CAUp og DSS. Dette er blant annet presentert av Karlsrud (2010)(2005)



- NGI (Karlsrud (2010) og (Karlsrud (2005))



# ■ Anisotropi –praktisering og empirikk



Multiconsult –ESPAR – Erfaringstall.



## ■ Anisotropi –praktisering og empirikk

- Svenske data: Larsson (1980) og (2010):

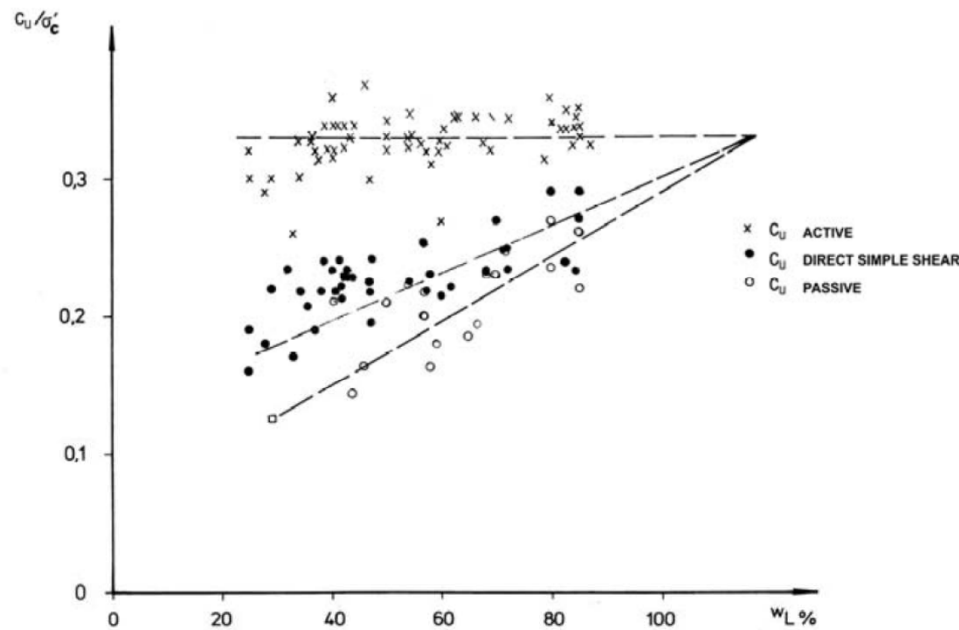


Fig. 3. Undrained shear strength in normally consolidated inorganic Scandinavian clays as a function of preconsolidation pressure and liquid limit. (After Larsson et al. 2007)

(Sammenhengen mellom  $w_L$  og  $I_p$  er tilnærmet lineær.  $w_L=25-85$  tilsvarer  $I_p$  i området ca. 4-53%)  
 Casagrandes A-Linje:  $I_p=0,72*(w_L-20)$



## ■ Anisotropi –praktisering og empirikk

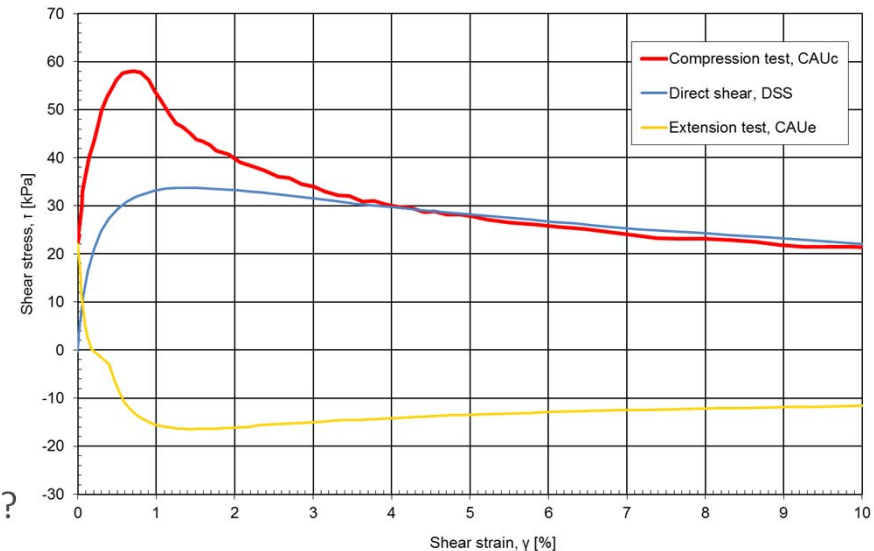
- Lavplastiske leirer har generelt større anisotropi enn høyplastiske leirer
  - Kontroll på skjærfasthetsanisotropi er derfor særskilt viktig ved bestemmelse av representative verdier for udrenert skjærfasthet i leirer med sprøbruddegenskaper.
  - Spesielt kan det passive fasthetsforholdet være svært lavt ved lav  $I_p$ .
  - Plastisitetsindeksen kan være ned mot 5% (eller lavere) i norske kvikkleirer (høyt siltinnhold) og det er derfor mulig med svært ugunstige anisotropiforhold (lav passiv skjærfasthet).



Parallel CAUC/ DSS/ CAUE tests on block sample  
E6 Øst - borehole 823, 9.2 m depth

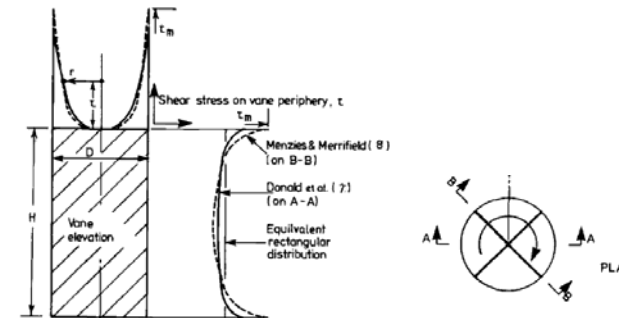
## Anisotropi-bestemmelse

- **Laboratoriebestemte data:**
  - Normalt: CAUa og CAUp samt DSS forsøk.
- Flere kompliserende effekter:
  - Forsøk
    - » kjørt på prøver fra samme lokasjon og dybde?
    - » sammenlignbar prøve kvalitet ?
    - » og sammenlignbare tøyningshastigheter?
  - Nedjustere fasthetsprofiler fra høykvalitets prøver og/ eller blokkprøvekorrelasjoner for å ta høyde for tidseffekter og sprøbruddsoppførsel.
  - NVE retningslinjene (2011) - tøyningsskompatibilitet.
  - Effekt av prøveforstyrrelse –  $su_A$  påvirkes i større grad av dårlig prøve kvalitet enn  $su_D$  og  $su_p$  -> underestimering av  $su_A$  ? - Kan gi feil forhold mellom  $su_A$ ,  $su_D$  og  $su_p$



## ■ Anisotropi–bestemmelse

### - In-Situ målinger - Vingebor:



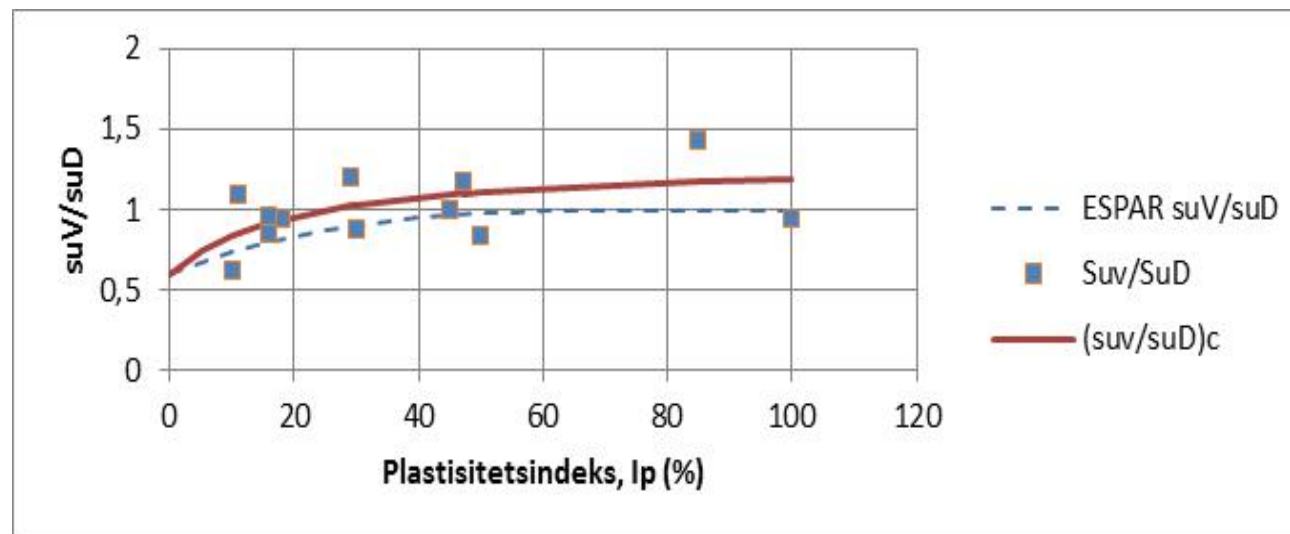
- Skjær fra vingens omkrets og endeflater i topp og bunn bidrar til den målte motstanden. Hovedandelen (86-94%) kommer fra de vertikale sidene på vingeboret (skjær på vert.plan).
- Bruddmoden rundt omkretsen av vingeboret (topp og bunn) kan tilnærmes DSS, men forskjellen mellom  $su_v$  og  $su_D$  øker for lavere  $I_p$  og OCR på grunn av større anisotropi ( $su_v < su_D$ )
- Vingeboret måler i hovedsak fasthet på et plan som ikke er direkte relevant for brudd langs en reell glideflate.
- Dette gjør at det vil være usikkerheter knyttet til å overføre  $su_{v,h} / su_{v,v}$  til  $su_A$ ,  $su_D$  og  $su_p$ . Korrelasjoner må i så fall etableres





## ■ Anisotropi - bestemmelse

- In-Situ målinger - Vingebor:
  - Sammenstilling utført av Multiconsult AS og illustrerer sammenhengen mellom vingeborskjærfasthet og direkte skjærfasthet ( $s_{uV}/s_{uD}$ ) korrelert mot plastisitetsindeks for ikke-sensitive lerier

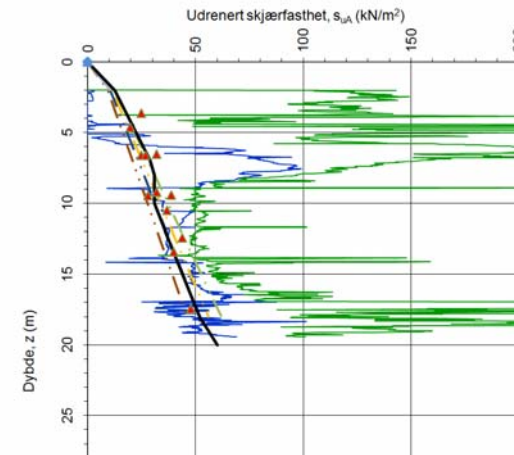


## ■ Anisotropi - bestemmelse

- In-Situ målinger - Vingebor:
  - Oppsummert:
    - » Vingeboret er ikke et ideelt instrument for å måle nøyaktige verdier av anisotropi i form av  $su_A$ ,  $su_D$  og  $su_p$  for bruk i stabilitetsanalyser.
    - » Følsomt for inhomogenitet/lagdeling
    - » Har et potensiale for å anslå grad av anisotropi som igjen bør kunne korreleres opp mot erfaringsbaserte anisotropiforhold. Slike korrelasjoner kan gjerne støttes av målte  $I_p$ -verdier.
    - » Eneste in situ målemetode som kan gi en direkte og antagelig pålitelig måling av omrørt skjærfasthet med sikker kvikkleirebestemmelse



## ■ Anisotropi – bestemmelse



- In-Situ målinger – CPTU-korrelasjoner:
  - Det finnes flere korrelasjoner for å tolke  $s_{uA}$  fra CPTU-sonderinger basert på spissmotstand og poretrykk.
  - For å kunne benytte CPTU-sonderinger til å bestemme anisotrop skjærfasthet i leire må  $s_u$ -tolkning fra CPTU kobles til tilsvarende konsistente sett med laboratorieforsøk på høykvalitetsprøver, for eksempel DSS-forsøk og CAUp-treaksialforsøk.
  - Forslag til korrelasjoner er blant annet presentert av Larsson et al (2010).



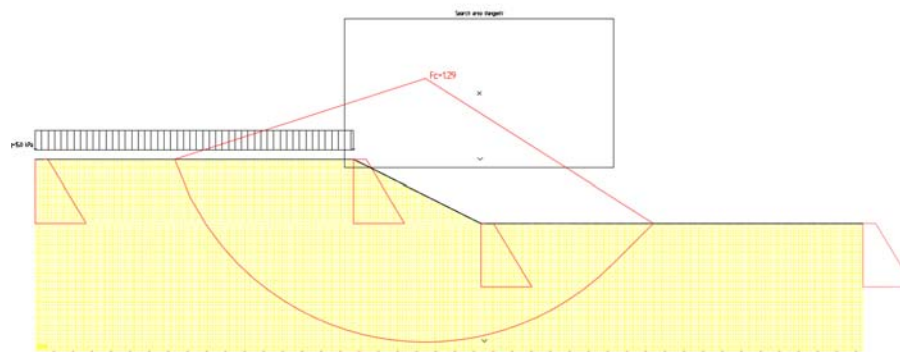
## ■ Anisotropiforhold i stabilitetsberegninger – status i bransjen

- Uttak av aktiv udrenert skjærfasthet
  - Generelt inntrykk:
    - » Utgangspunktet er bestemmelse av aktiv udrenert skjærfasthet, primært gjennom korrelasjoner fra CPTU, og sekundært gjennom empiriske korrelasjoner ( $s_{u_A} / \sigma'_c$  og OCR-forhold) og laboratoriemålte data.
- Etablering av ADP-forhold
  - Vanlig praksis å bestemme  $s_{u_D} / s_{u_A}$  og  $s_{u_p} / s_{u_A}$  på erfaringsverdier alene.
  - I liten grad stedsspesifikke prøver av høy nok kvalitet
  - Ofte velges  $s_{u_D} / s_{u_A} = 0,7$  og  $s_{u_p} / s_{u_A} = 0,4$ .
  - I mangel av stedsspesifikke data:
    - » Redusere ADP-forhold, f.eks. til  $s_{u_D} / s_{u_A} = 0,6$  og  $s_{u_p} / s_{u_A} = 0,3$ .
    - » Av og til relatert til  $I_p$  (for eksempel  $I_p < 10\%$ ) og erfaringstall presentert av Karlsrud et.al (2005).



## ■ Anisotropiforhold i stabilitetsberegninger – status i bransjen

- Etablering av ADP-forhold
  - I prosjekter utført for Statens vegvesen benyttes ofte  $su_D = 0,67 su_A$  og  $su_P = 0,33su_A$  (Håndbok 016 (2010)) når stedsspesifikke data ikke er kjent.
  - I noen tilfeller er laboratorieforsøk (CAUa og CAUp på  $\varnothing 54\text{mm}$ ) tilsidesatt fordi kvaliteten av prøvene ikke var god nok.
- Svært varierende praksis!



- Eksempel (ADP-analyse 10m høy skråning)
  - $su_A/su_D = 0,70$  og  $su_A/su_P = 0,40 \rightarrow \gamma_m = 1,40$
  - $su_A/su_D = 0,67$  og  $su_A/su_P = 0,33 \rightarrow \gamma_m = 1,35$
  - $su_A/su_D = 0,60$  og  $su_A/su_P = 0,30 \rightarrow \gamma_m = 1,29$ 
    - 8-9% endring i partialfaktor



## ■ Anisotropiforhold i stabilitetsberegninger – status i bransjen

- Korreksjon av udrenert skjærfasthet
  - Korreksjon av udrenert skjærfasthet for å ta hensyn til tøyingskompatibilitet/ sprøbruddsoppførsel og tidseffekter legges på som en reduksjon av karakteristisk profil til et design-profil.
  - Størrelsen på denne korreksjonen varierer noe i bransjen.
  - I grove trekk følges anbefalt praksis fra NVEs retningslinjer som beskriver 15% reduksjon på  $su_A$ , men det er heller ikke uvanlig at det foretas en reduksjon på 15% for alle ADP-forhold.
  - Karlsrud (2010) anbefaler at hvis fastheter baserer seg på (blokk)prøver av meget høy kvalitet så bør fasthetene reduseres med verdier som angitt i nedenfor:

Type forsøk	“Kvikk” St>15	“Ikke kvikk” St<15
CAUa	10-15%	0-10%
DSS	5-10%	0-5%
CAUp	0-5%	0



## ■ Anisotropiforhold i stabilitetsberegninger – status i bransjen

- Oppsummering av erfaringer
  - CPTU-korrelasjoner benyttes i stor grad for etablering av karakteristisk profil for aktiv udrenert skjærfasthet.
  - Generelt benyttes laboratoriebestemte data i liten grad for bestemmelse av ADP-forhold og i mange tilfeller benyttes generelle anbefalinger mer eller mindre velbegrunnet.
  - Etter prosjektgruppens syn er det for lite fokus på stedsspesifikke prøver med høy nok kvalitet
  - Dette gjelder også uttak av representative indeksdata for sammenligning med tilgjengelige erfaringsverdier, f.eks. via OCR,  $I_p$ ,  $S_t$ , leirinnhold etc.
  - Korreksjon av udrenert skjærfasthet er et komplekst tema, og praksisen er varierende i de ulike miljøene.



## ■ Prosjektgruppens anbefalinger

- Stedsspesifikke data
  - Bestemmelse av anisotrop skjærfasthet i sprøbruddmaterialer bør baseres på innsamling av stedsspesifikke data som er relevante og gyldige for den aktuelle problemstillingen.
  - Bruk av faste, generelle forhold mellom aktiv, direkte og passiv skjærfasthet anbefales ikke.
  - Opptak av høykvalitets prøver og utførelse av laboratorieforsøk for å bestemme aktiv, direkte og passiv udrenert skjærfasthet er et klart førstevalg.
  - Resultatene fra laboratorieforsøkene bør alltid sammenlignes med tilgjengelige empiriske korrelasjoner for å evaluere dataene fra forsøkene som er utført.





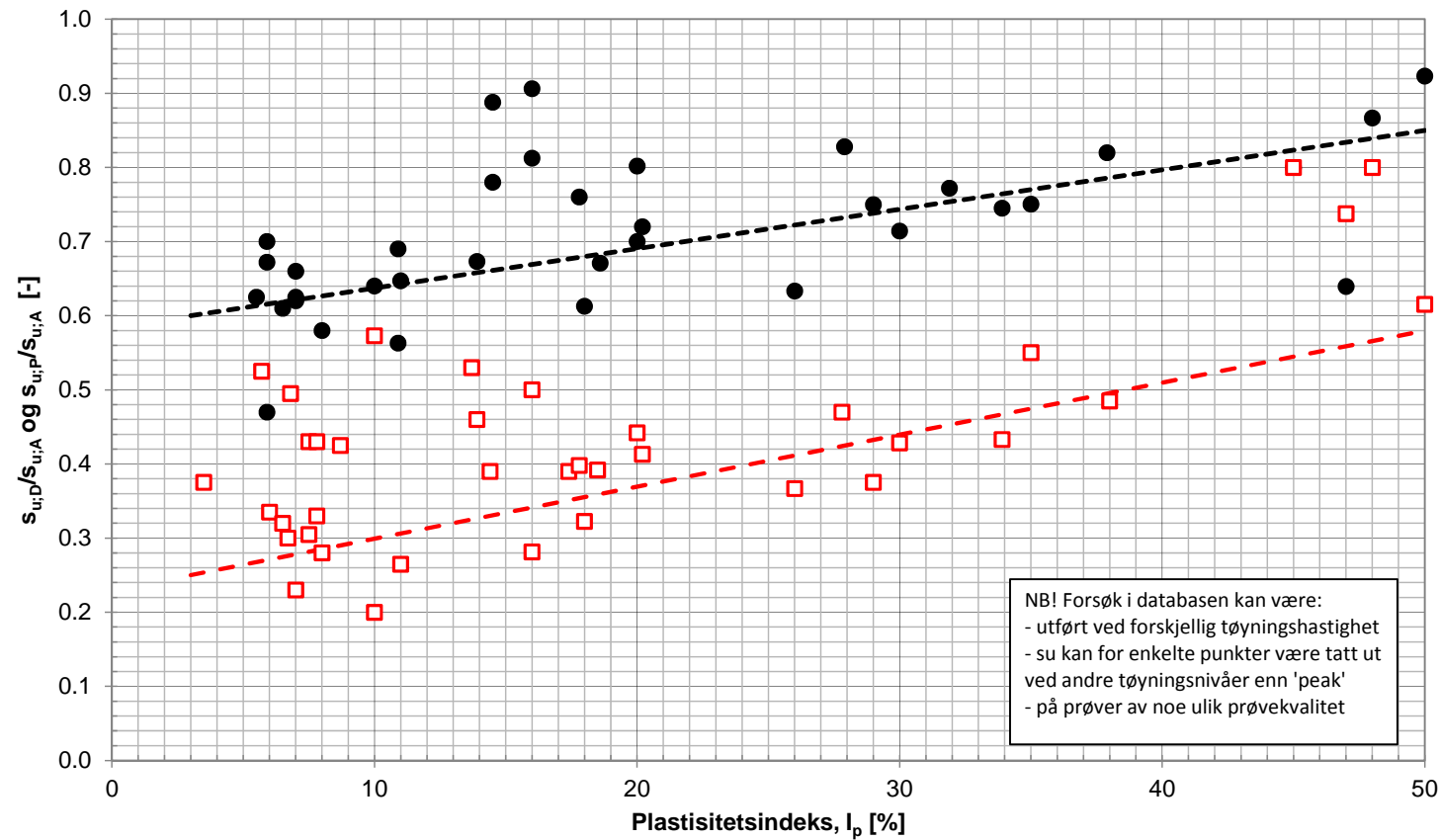
## ■ Prosjektgruppens anbefalinger

- Stedsspesifikke data
  - Der ikke er mulig å få gode nok data fra laboratorieforsøk for tolkning av ADP-forhold, bør enkelt målbare indeksdata, som ikke er avhengig prøveforstyrrelse, (for eksempel  $w_L$ ,  $I_p$  etc) benyttes sammen med korrelasjoner etablert på grunnlag av forsøk på høykvalitets prøver.
  - Ved noe videreutvikling av korrelasjonsgrunnlaget kan bruk av in-situ målemetoder som vingebor og CPTU gi støtte i valg av ADP-skjærfasthetsprofiler, kanskje spesielt vingebor.
  - Både utførelse av laboratorieforsøk, korrelasjonsvurderinger med indeksdata og in-situ målemetoder bør kombineres med en eller to av de andre ved vurdering av ADP-forhold.



## ■ Prosjektgruppens anbefalinger

- Bruk av empiriske korrelasjoner

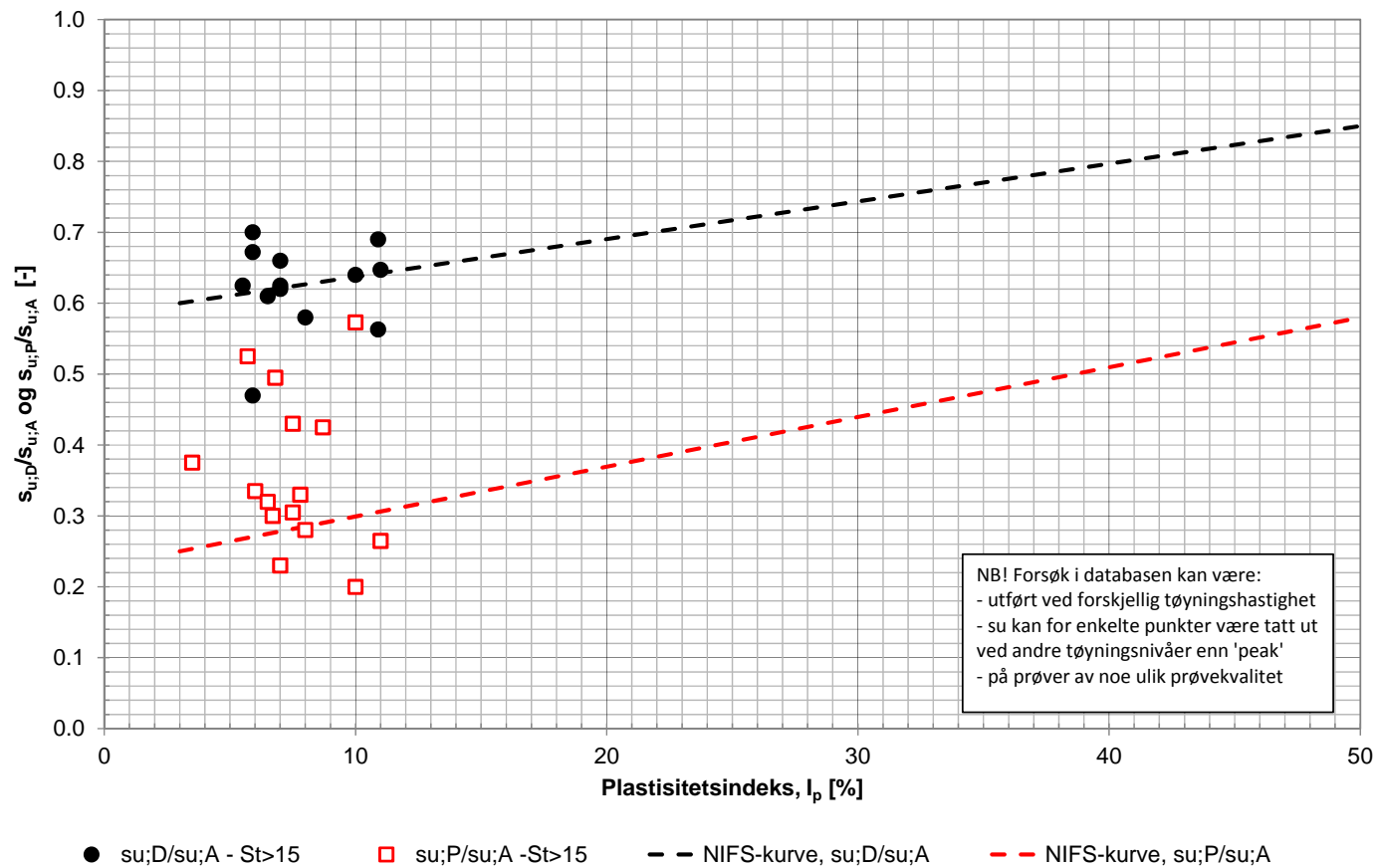


●  $s_{u;D}/s_{u;A}$  - alle    □  $s_{u;P}/s_{u;A}$  - alle    - - - NIFS-kurve,  $s_{u;D}/s_{u;A}$     - - - NIFS-kurve,  $s_{u;P}/s_{u;A}$



## ■ Prosjektgruppens anbefalinger

- Bruk av empiriske korrelasjoner



## ■ Anisotropi - oppsummering

- Temaet er velkjent!
- Til daglig ligger fokuset naturlig nok på praktisk anvendelse og empiri.
- Anisotropi i sprøbruddmaterialer et sammensatt tema som krever god problemforståelse.
- Fullt mulig å havne i en situasjon med ikke-konservative anslag, selv der det i utgangspunktet legges opp til verdier på konservativ side.
- Generelle anbefalinger benyttes av og til mer eller mindre velbegrunnet.
- For lite fokus på å få opp stedsspesifikke prøver med høy nok kvalitet for å utføre laboratorieforsøk for bestemmelse av anisotrop skjærfasthet.
- Det legges generelt heller ikke tilstrekkelig vekt på å ta ut representative indeksdata for korrelasjonsvurderinger, f.eks. korrelasjoner mot OCR,  $I_p$ ,  $w_L$ , leirinnhold etc.
- Korreksjon av udrenert skjærfasthet er et komplekst tema, og praksisen er varierende i de ulike miljøene.



## ■ Anbefalinger for videre arbeider

- Korrelasjoner
  - Supplering av korrelasjonsdatabaser mellom ADP-forhold og  $I_p$ , OCR,  $W_L$ , leirinnhold, vanninnhold, etc.
    - » Utvidelse av databaser med flere data, fra flere firmaer/miljøer også fra andre land.
  - Utvidelse av CPTU-tolkning til også å omfatte tolkning med korrelasjoner for av  $su_D$  og  $su_p$ . (Blokkprøver)
  - Utvide eksisterende korrelasjoner mellom laboratoriemålte data  $I_p$ ,  $w_L$ , OCR, leirinnhold, vanninnhold mv og vingebor-skjærfasthet og korrelere disse verdiene mot laboratoriemålt udrenert anisotrop skjærfasthet (basert på høykvalitets prøver).
    - » Korrelasjoner som nevnt over for in-situ målemetoder vil kunne gi god støtte for uttak av representative verdier for anisotrop udrenert skjærfasthet sammen med korrelasjoner mot  $I_p$ ,  $w_L$ , OCR, leirinnhold, vanninnhold etc. (alternative, uavhengige metoder).



## ■ Generelle anbefalinger

- BRUK STEDSSPESIFIKKE DATA
- TA OPP PRØVER OG BRUK IN-SITU METODER
- GJØR LABFORSØK – minimum indeksdata
- KOMBINER EMPIRISKE KORRELASJONER MED MÅLTE VERDIER (In-situ/lab)
- HOLD «TUNGA RETT I MUNNEN» VED JUSTERING AV SKJÆRFASTHET OG ETABLERING AV ADP-FORHOLD



## ■ Konsept – udrenert skjærfasthet i sprøbruddmateriale

- Konsept - Udrenert skjærfasthet i leire med sprøbruddegenskaper
  - Fundamentalt konsept presentert av Bjerrum (1973) – basert på forskningsarbeid på NC-Leirer ved NGI.

- Antagelse: Skjærfasthet i bløt leire består av to komponenter.

- 1: Effektiv friksjon (mineral på mineral kontakter):

$$f = \sigma' \cdot \tan\varphi_e$$

- 2: Effektiv kohesjon (ikke-mineral kontaktpunkter):

$$c = k \cdot \sigma'_{v0}$$

- Konsept videreutviklet av Athanasiu (1972, 1975 og 1999) for å kunne definere udrenert skjærfasthet på vilkårlig plan som funksjon av hovedspenningenes rotasjon i forhold til in-situ konsolideringsspenninger.

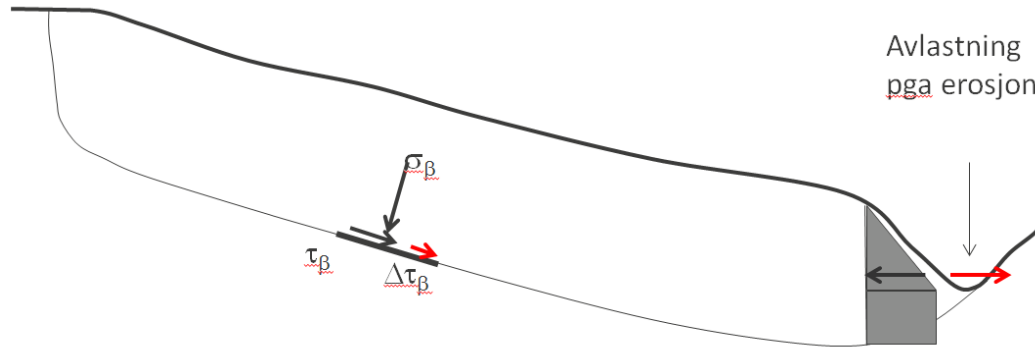


## ■ Anbefalinger for videre arbeider

- Konsept/metode for stabilitetsberegninger i bløt leire
  - Videre innsamling av data mht. skjærfasthetsparametere for anisotrop modell
  - Tilpasning av modellparametere til målte verdier av udrenert skjærfasthet.
  - Vurdering av «rate-effect», prøveforstyrrelse, etc.
  - Supplerende spesielle laboratorieforsøk
  - Programmering av stabilitetsanalyseprogram
  - Etterberegning av publiserte ras av naturlige skrånninger i kvikk leire

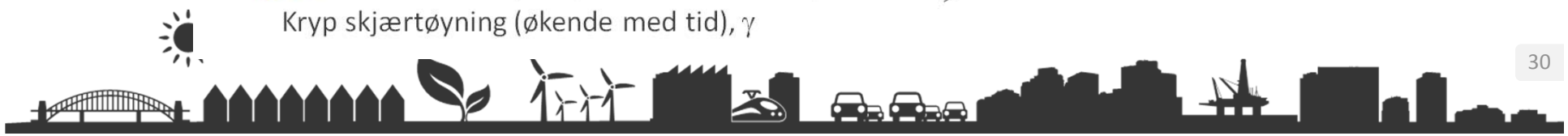
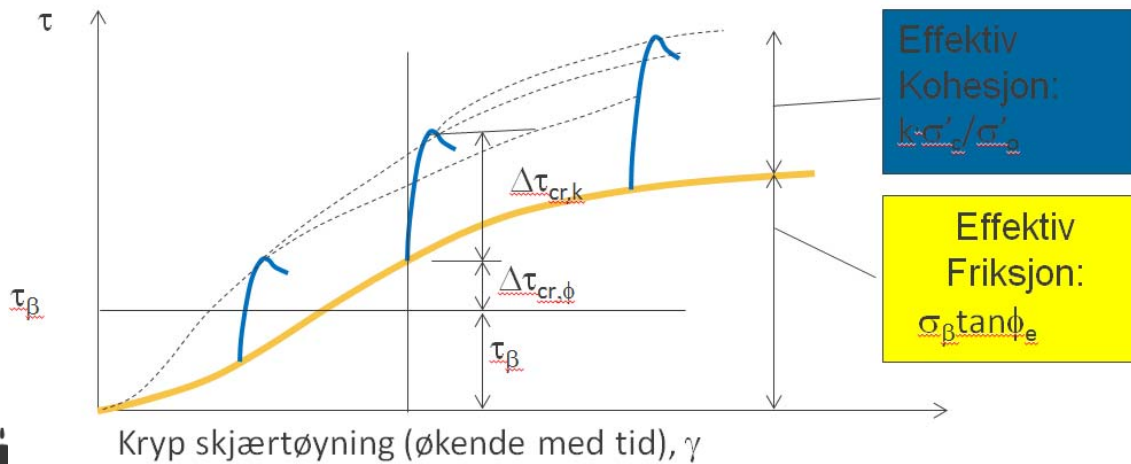
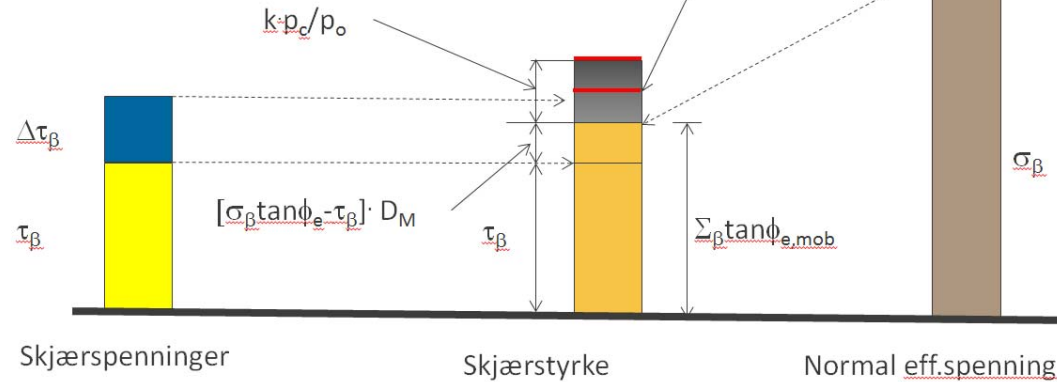






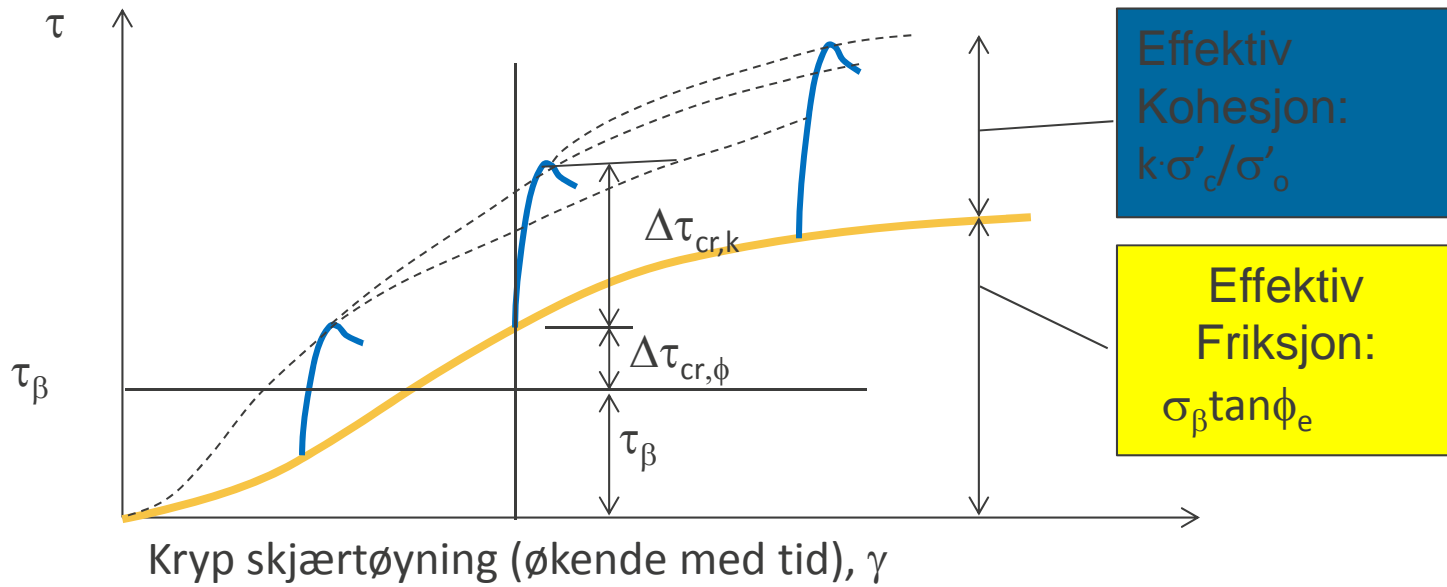
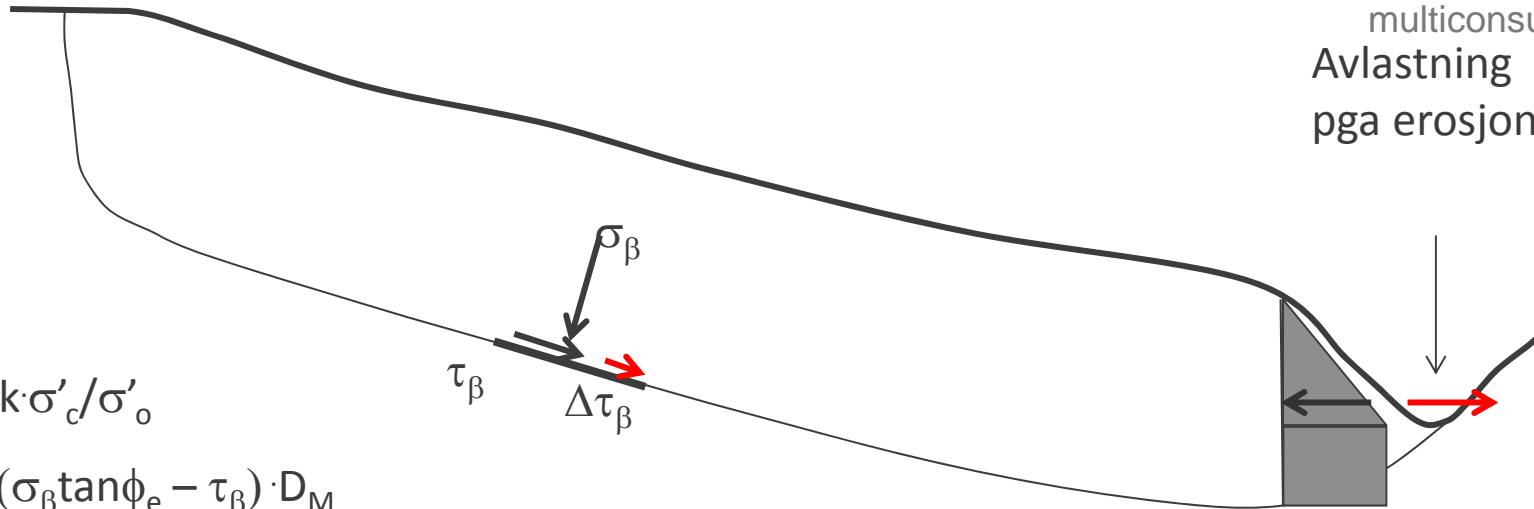
$$\Delta\tau_{cr,k} = k \cdot \sigma'_c / \sigma'_o$$

$$\Delta\tau_{cr,\phi} = (\sigma_\beta \tan\phi_e - \tau_\beta) \cdot D_M$$



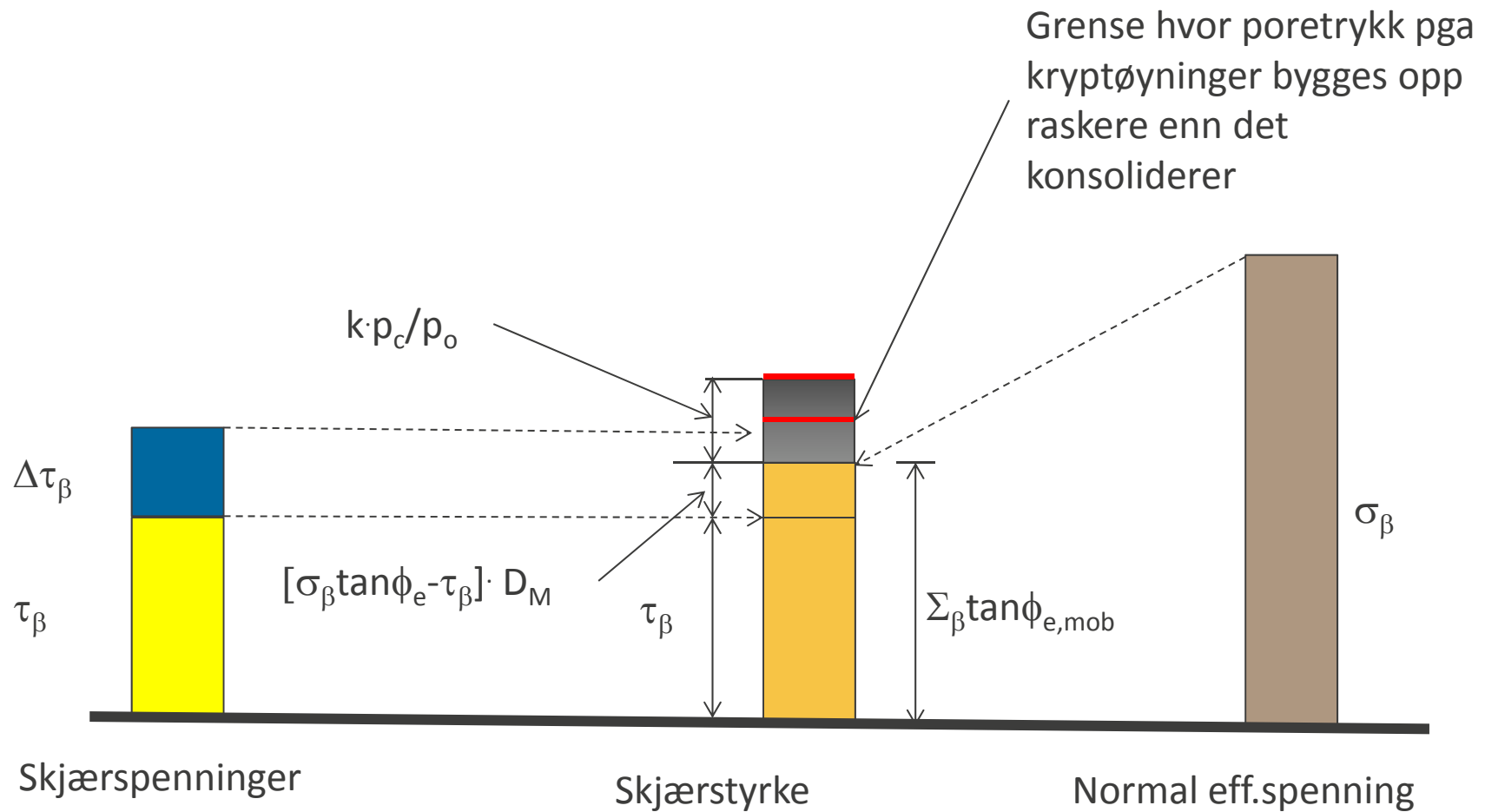
$$\Delta\tau_{cr,k} = k \cdot \sigma'_c / \sigma'_o$$

$$\Delta\tau_{cr,\phi} = (\sigma_\beta \tan\phi_e - \tau_\beta) \cdot D_M$$



$F_s = [\tau_\beta + (\sigma_\beta \tan\phi_e - \tau_\beta) \cdot D_M + \mu \cdot k \cdot \sigma'_c / \sigma'_o] / [\tau_\beta + \Delta\tau_\beta]$  – stabil sikkerhet (reduseres ikke over tid)

**■**  $F_s = [\tau_\beta + (\sigma_\beta \tan\phi_e - \tau_\beta) \cdot D_M + k \cdot \sigma'_c / \sigma'_o] / [\tau_\beta + \Delta\tau_\beta]$  – ustabil sikkerhet (reduseres over tid)



■ Takk for oppmerksomheten!



## Vedlegg 2

Presentasjon fra NGI v/Lars Andresen

# NIFS Workshop Anisotropiforhold

## NGIs anbefalinger

Lars Andresen  
Vidar Gjelsvik  
Kjell Karlsrud  
Knut Andersen  
Jean-Sebastien L'heureux  
Hans Petter Jostad



# NIFS DP 6: Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire

## HOVEDMÅL:

- Etablere et forbedret grunnlag for valg av sikkerhetsfaktorer og prosedyrer for prosjektering av bygg, anlegg og samferdsel i områder med kvikkleire eller meget sensitive leirer

## NGIs tre hovedbudskap:

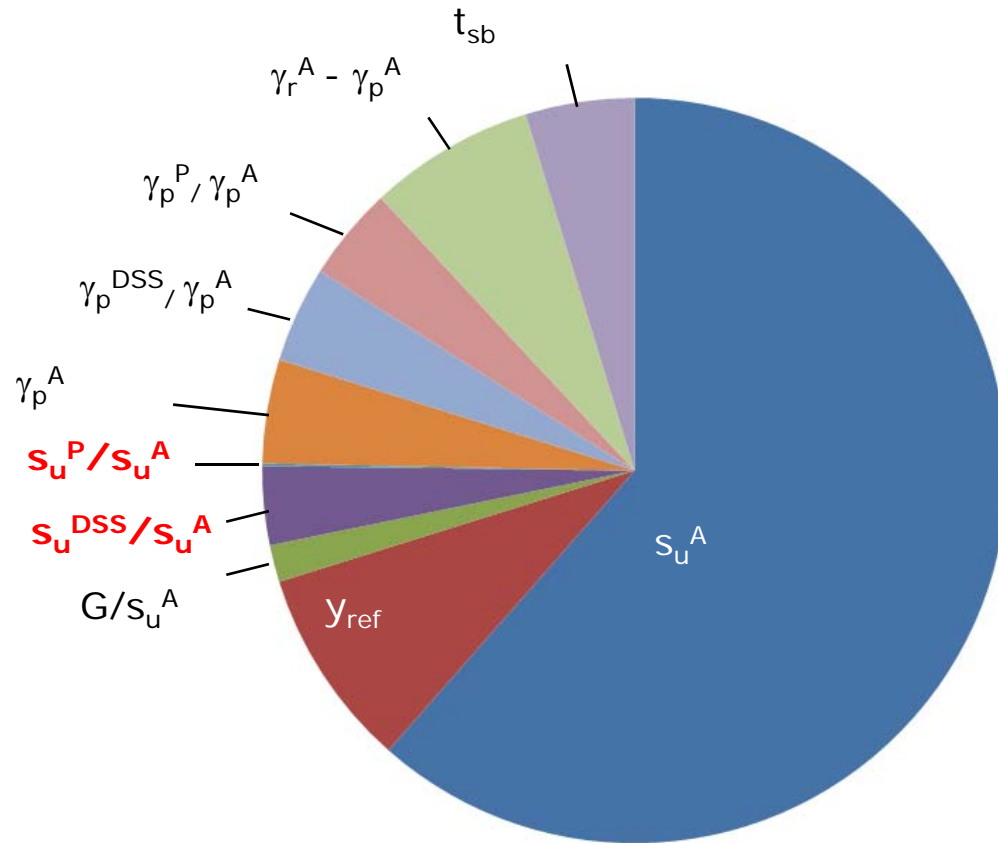
1. Betydningen av anisotropiforhold er ikke veldig stor
2. Fordel hvis bransjen kan samle seg om en metodikk
3. Vi bør bygge på det som er utviklet de siste 20 årene og som er anerkjent og publisert



# Anisotropiforhold er ikke det viktigste

- For bruddlast av fylling i skråning med sprøbruddmateriale er relativ betydning av 10 ulike inputparametre kartlagt (NGI - NIFS 20092128)
- $s_u^A$  profil betyr klart mest (70 % relativ betydning)
- $s_u^{DSS}/s_u^A$  rangeres som nr. 8 (3.4 % relativt)
- $s_u^P/s_u^A$  betydning er lavest og nesten ubetydelig (0.1 %)

# Anisotropiforhold er ikke det vigtigste



Relative importance of 10 input parameters:

Rank 8 (3.4%):  $s_u^{DSS}/s_u^A$

Rank 10 (0.1%):  $s_u^P/s_u^{DSS}$

# Valg av anisotropiforhold i prosjektering

- Stedsspesifikke høykvalitetesprøver for bestemmelse av anisotropiforhold kan kun forsvares i store- og/eller høyrisiko prosjekter hvor anisotropi er av vesentlig betydning (kost/nytte vurdering)
- For andre prosjekter: Bygge videre på det vi har dvs. database med korrelasjoner mellom anisotropiforhold og indeksparametre ( $I_p$ ,  $w$  etc.)
- Korrelasjonsdatabasen bør bygges ut og man bør gå tilbake til stedene hvor den viser stor spredning og prøve å finne ut hva dette skyldes (eks. mineralogi, prøve kvalitet etc.)

# Korrelasjonsdatabase

- Vi anbefaler at nye data kvalitetssikres og legges inn av NGI for å sikre enhetlig tolkning
- Database vedlikeholdes et sted, men er selvfølgelig åpen og fritt tilgjengelig for alle
- NGI anbefaler korrelasjon mot vanninnhold, men at betydningen av andre faktorer slik som leirinnhold og mineralogi studeres nærmere

# CPTU vs. vingebor

- CPTU sonderinger har i dag for en stor del erstattet vingebor og NGI anbefaler at det satses videre på CPTU. Vingebor har en del ulemper og usikkerheter som også prosjektgruppen peker på. Database for vingeborkorrelasjon er også tynn.
- Korrelasjoner mellom CPTU data og anisotropiforhold ref. Larsson 2010. Det er interessant, men gir det oss noe mer enn hva vi har i dag?

# Korreksjon for tøyningskompatibilitet

- I rapport NGI - NIFS 20092128 viser FE-analyser at tøyningskompatibilitet ikke er gyldig
- Selv om konseptet med tøyningskompatibilitet korrigerer ned styrken er korreksjonen ikke korrekt: Kan være for høy eller for lav

# Korreksjon for tøyningshastighet

- Forsøk med lav tøyningshastighet viser betydelig mindre sprøbruddsoppførsel enn ved standard hastighet
- Det vil derfor være alt for konservativt å kombinere en korreksjon for sprøbrudd med en korreksjon for tøyningshastighet

# Korreksjon for sprøbruddsoppførsel generelt

- I virkeligheten er korreksjonsfaktoren sterkt problemavhengig. Et grunnlag som dekker typiske problemer bør etableres ved FE-beregninger og statistiske metoder. Det vil si fortsette arbeidet av typen utført av NGI v. Jostad
- Arbeidet til nå viser at en "lump" korreksjon på ca. 20 % er fornuftig



# Konseptmodell for udrenert skjærstyrke

- Modell for udrenert skjærstyrke presentert av Bjerrum (1973) og for elementmetoden av Athanasiou (1991) anbefales ikke som grunnlag benyttet for prosjektering i dag
- Lite (ingen for blokkprøver) data for de nødvendige materialparametre  $D_m$ ,  $\phi_e$  til modellen. Vil ta svært lang tid å bygge opp en erfaringsdatabase.
- Skiller seg fra etablert internasjonal praksis
- Generelt interessant med videre grunnleggende forskning på mobilisering av udrenert styrke på mikroskala (viskositet, elektrokjemiske bindinger, kobling til kryp, mineralogiens betydning etc.) .

# Valg av stabilitetsprogram

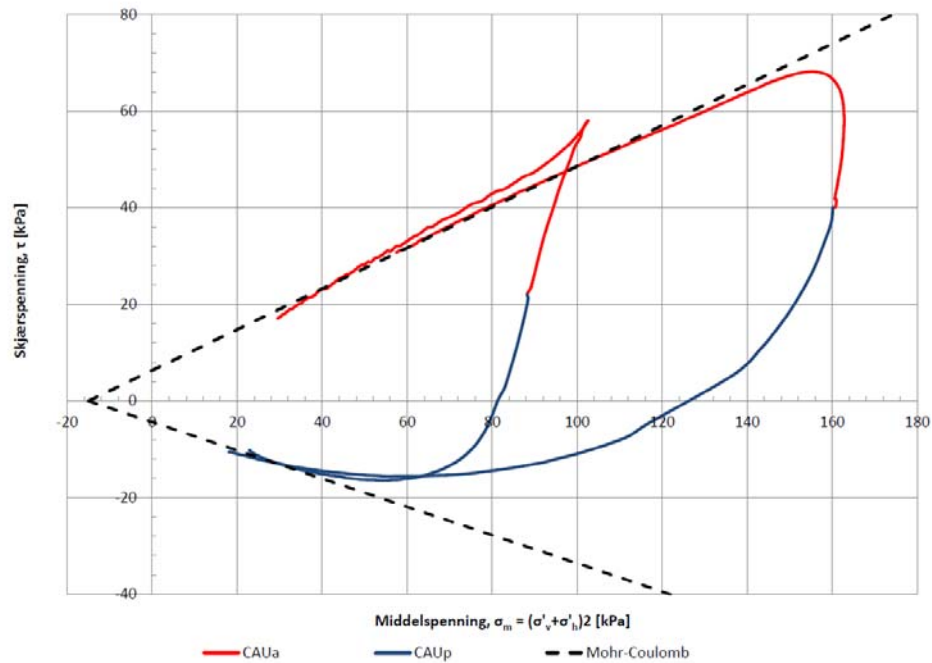
- SINTEF, MC, NGI, NTNU og GeoVita valgte i 2003 å satse på utvikling av **GeoSuite Stabilitet** fremfor egenprodusert kode (slik som STABIL). Utviklingen pågår fortsatt i regi av GeoFuture prosjektet hvor nå stort sett hele bransjen er partnere
- NGI anbefaler at vi samler oss rundt videre utviklingen av GeoSuite stabilitet

# Skjærstyrke basert på konsoliderte hovedspenninger

- Effekt på udrenert styrke av hovedspenningsrotasjoner i skråninger og skråningsfot er ikke tatt inn i dagens metodikk (eks. Rabstad, 2011)
- Er usikker på hvor stor effekt dette egentlig har
- Det er imidlertid svært vanskelig med dagens standard laboratorieforsøk å skille effekt på su gitt av dagens konsolideringsspenning, spenningshistorie og av struktur og lagdeling forårsaket av deponeringsmiljø
- Det anbefales ikke å innføre denne praksis i dag. En god del fundamentalt laboratoriearbeid må gjøres først.

## Vedlegg 3

Presentasjon fra NTNU v/Steinar Nordal

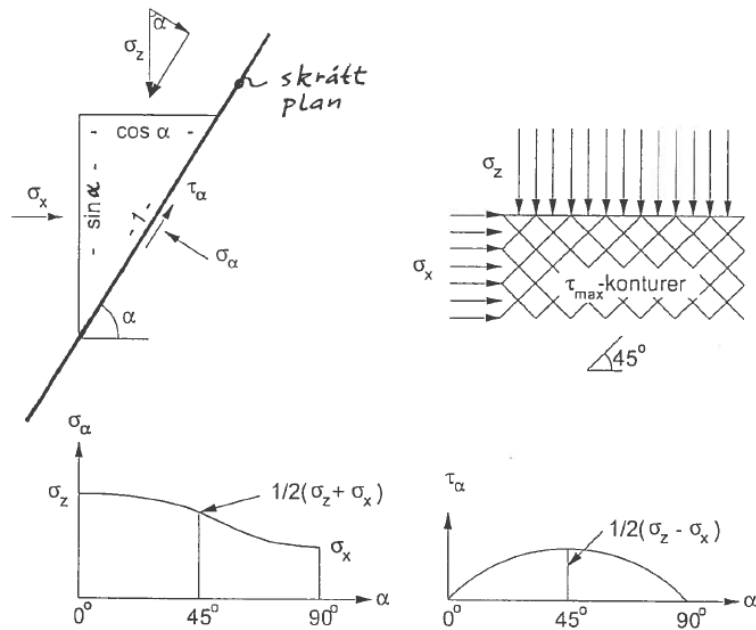


Multiconsult (2007)

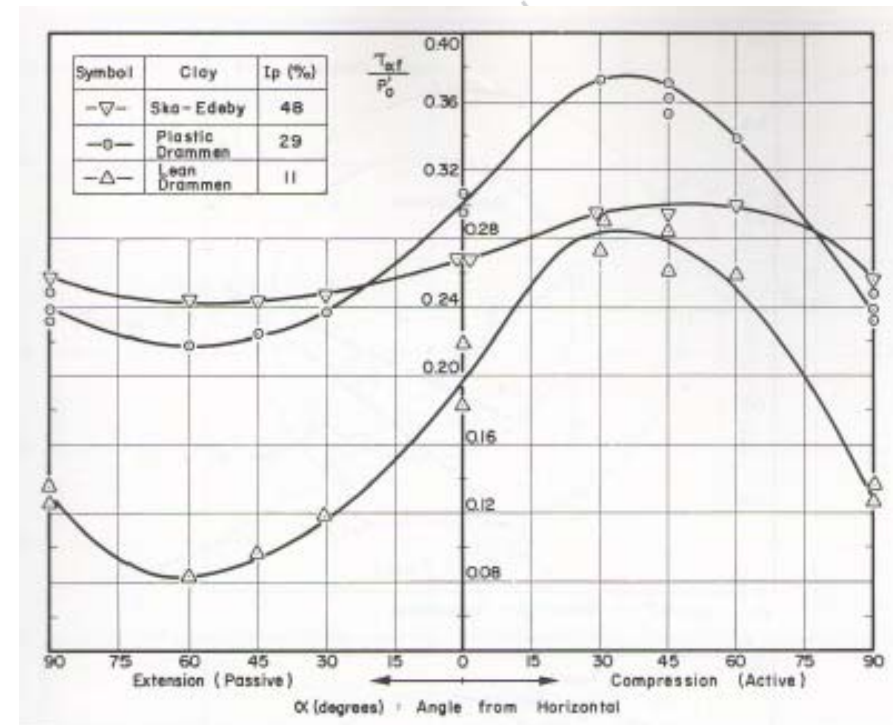
# Anisotropi

Interessant rapport  
Fra Multiconsult og Sintef

Athanasiau (1999): 
$$\frac{\tau_{\beta cr}}{\sigma'_{v0}} = \frac{\tau_{\beta 0}}{\sigma'_{v0}} + \frac{1}{\sigma'_{v0}} (\sigma'_{\beta} \cdot \tan \varphi_e - \tau_{\beta}) \cdot D_M + \kappa \cdot \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v0}} \cdot \mu \quad (3.8)$$



Figur 3.13 Stenninger på vilkårlig plan



Figur 8 Anisotrop jordmodell, fra Soydemir (1976) /9/.

**Skredkommissionen** – en IVA-kommission (Ingenjörsvetenskapsakademien), för forskning, utveckling och information i jordskredsfrågor

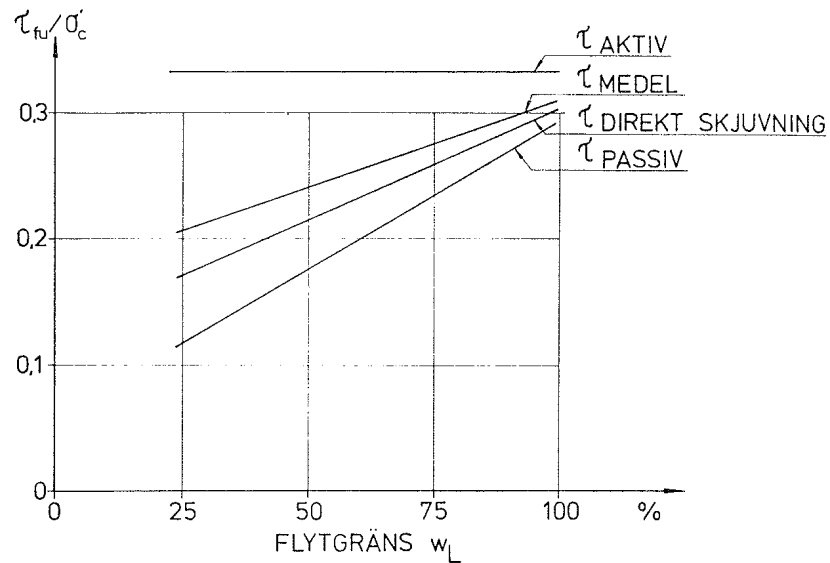
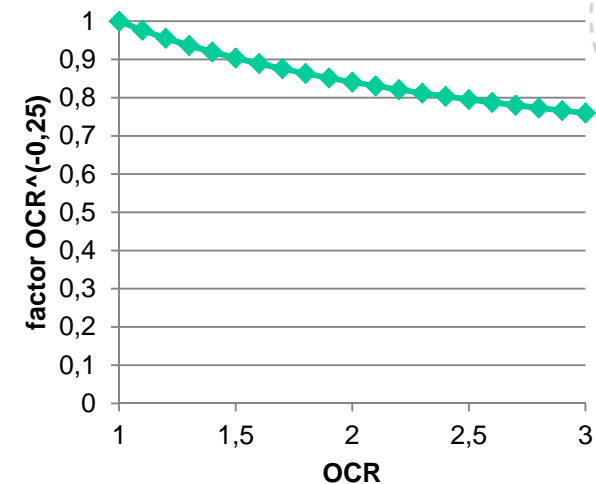


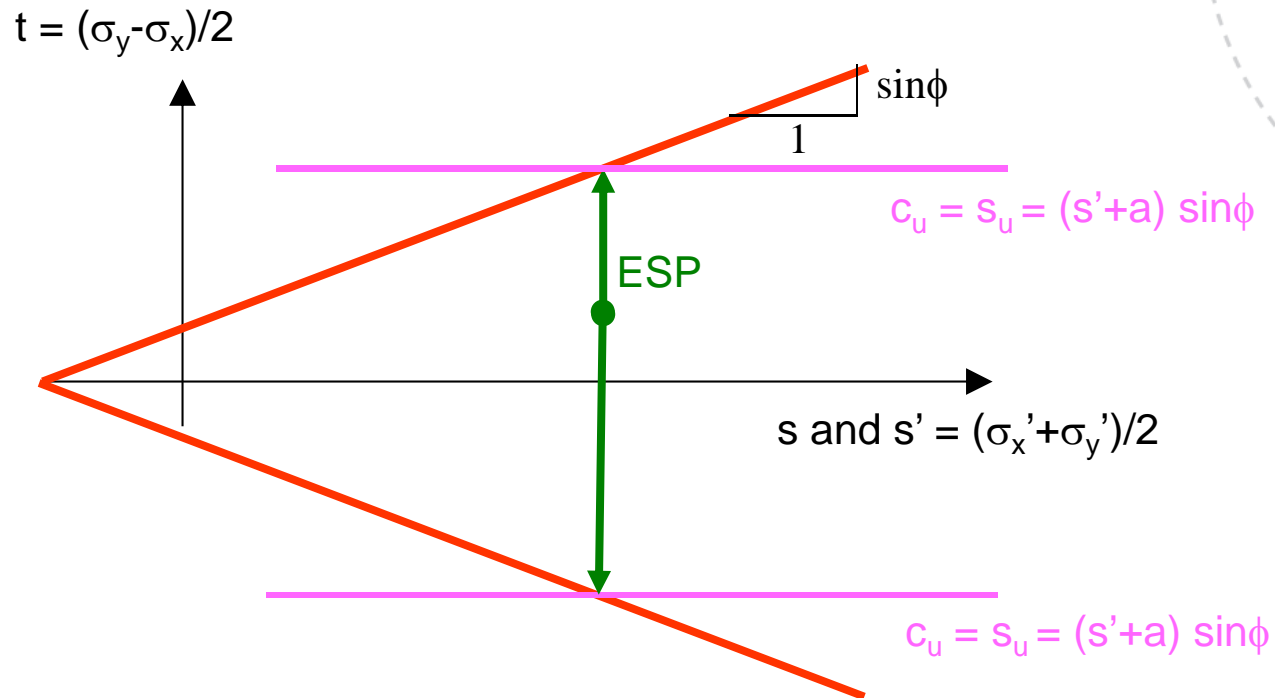
Fig. 20. Empiriska relationer mellan odränerad skjuvhållfasthet och förkonsolideringstryck för normalt konsoliderad och svagt överkonsoliderad jord med avseende på a) flytgräns för oorganiska leror [10]

- [10] Larsson, R., Bergdahl, U. och Eriksson, L. (1984). Utvärdering av skjuvhållfasthet i kohesionsjord. Statens geotekniska institut, Information No. 3, Linköping.

$$\left(\frac{\tau_{fu}}{\sigma'_c}\right)_{OC} \approx \left(\frac{\tau_{fu}}{\sigma'_c}\right)_{NC} OCR^{-0,25}$$



## Linearly elastic perfectly plastic MC model, Plane strain conditions



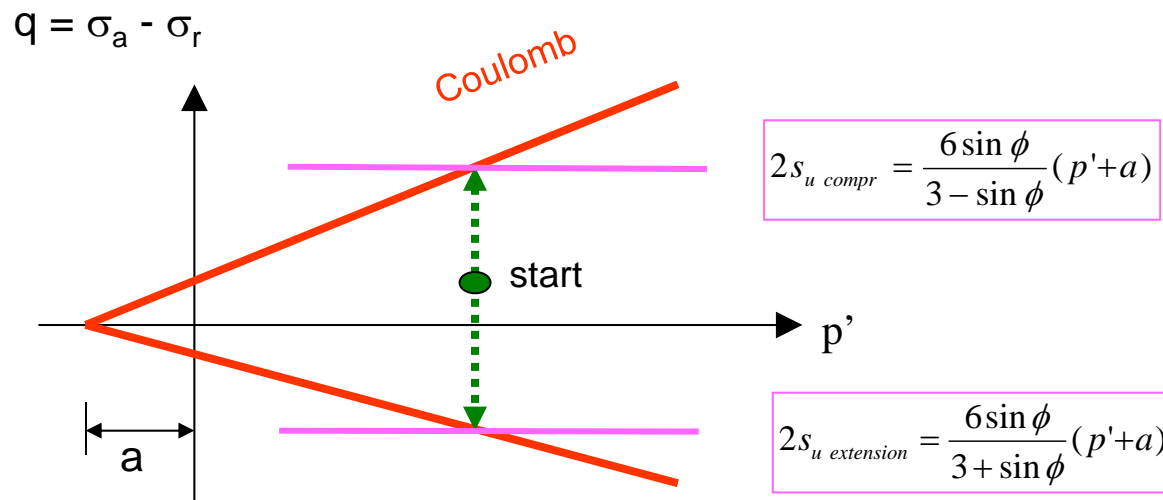
Hence:  $s_u = c' \cos \phi + 0.5(\sigma_x' + \sigma_y') \sin \phi$

(Plane strain:  $s_{u\_A} = s_{u\_P}$ )



## Linearly elastic perfectly plastic MC model, Triaxial conditions, $\psi = 0$

Undrained strength in triaxial test:



$$\frac{s_{u\ compr}}{s_{u\ ext}} = \frac{3 + \sin \phi}{3 - \sin \phi} \approx 0,7 \text{ for } \phi = 30^\circ$$

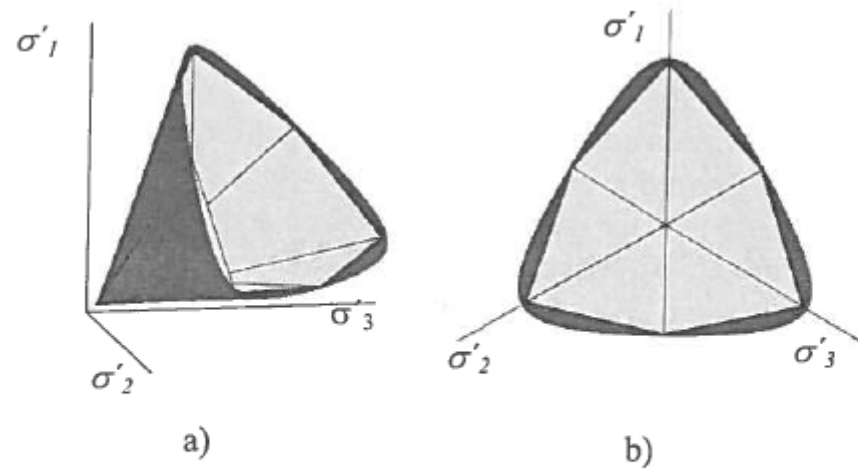


Figure 7.2: Visualisation of the failure surface used in the MIT.S1 model. (Dark grey failure surface in MIT-S1, Light grey failure surface in accordance with Mohr-Coulomb)  
 a) 3D plot  
 b) Deviatoric shear plane

From Anders Kullingsjø (2007)

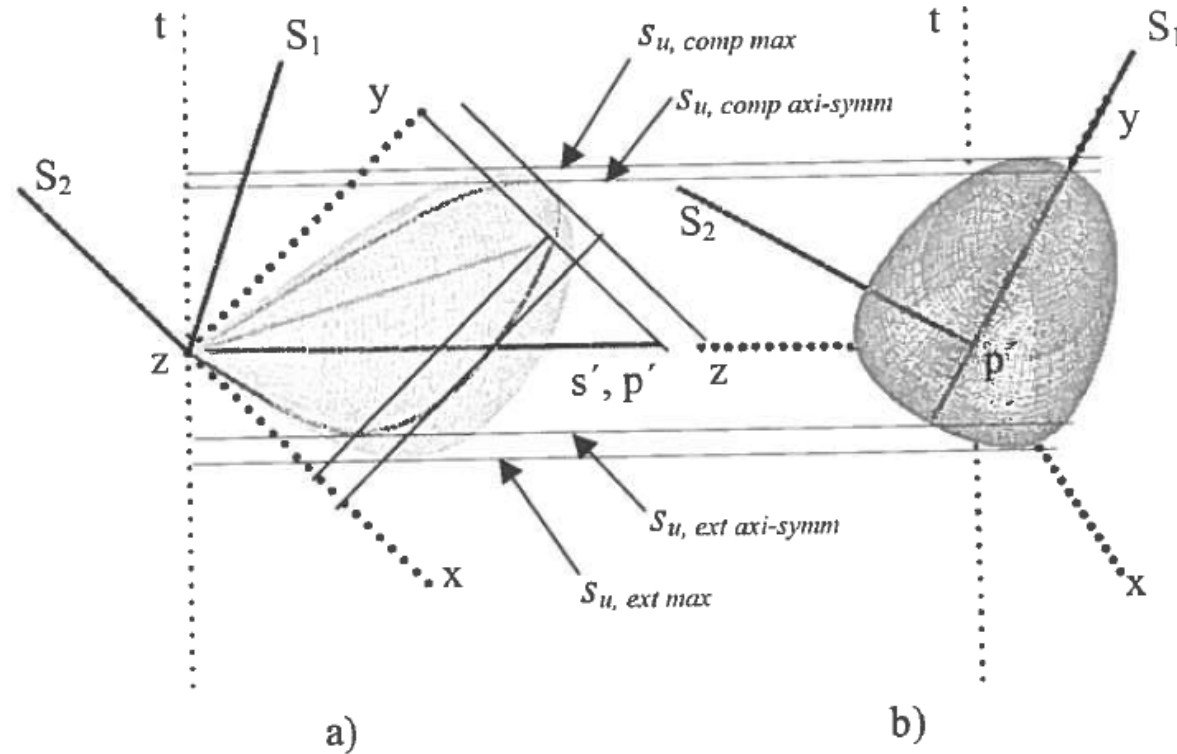


Figure 7.5: Undrained shear strength defined by the bounding surface. The Undrained shear strength from axi-symmetric conditions as well as maximum undrained shear strength dependent on the intermediate principal stress.

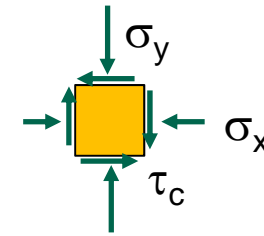
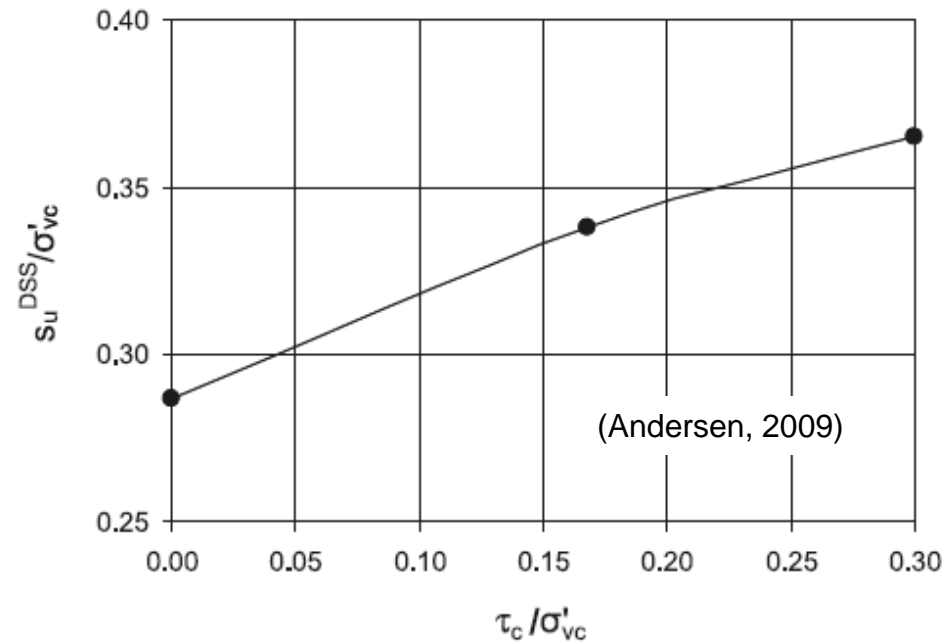
a)  $s'$ - $t$  space

b) view along  $s'$ -axis.

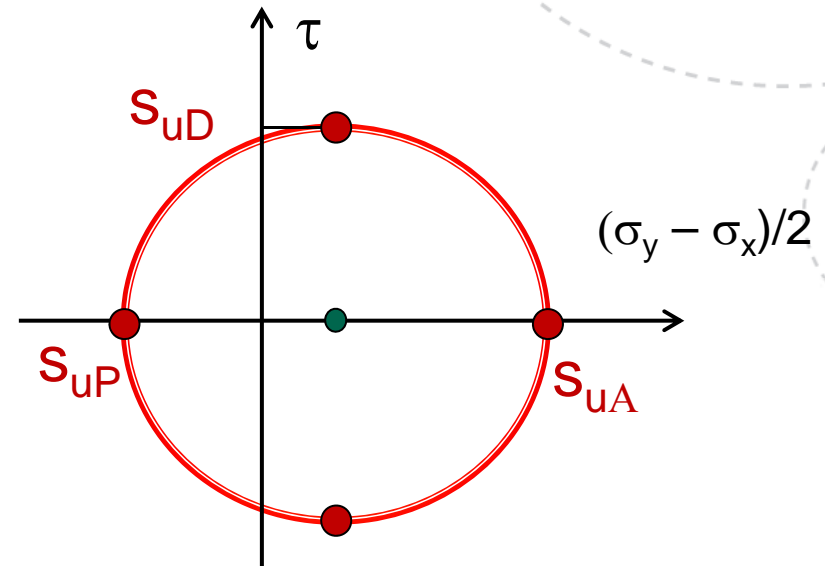
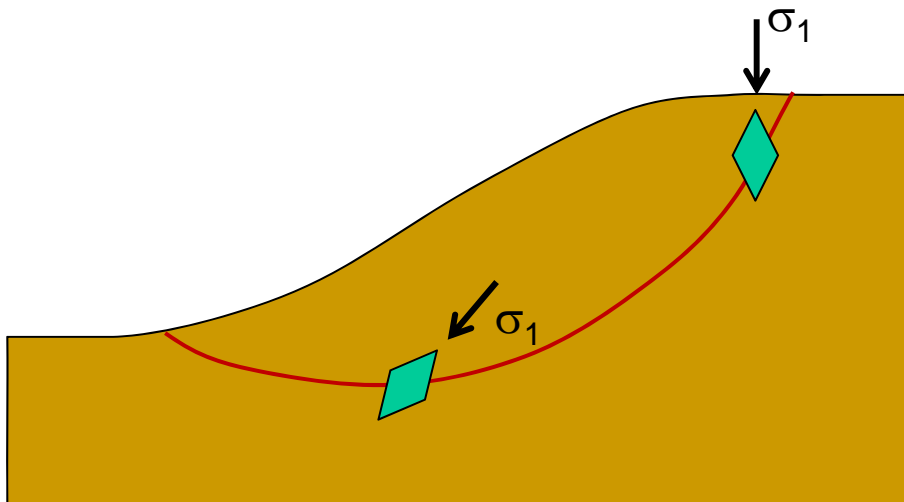
From Anders Kullingsjø (2007)

# ADP – XX MSc thesis Kristoffer Rabstad, spring 2011

Fig. 41. Undrained static DSS shear strength of the quick clay as a function of normalized consolidation shear stress,  $\tau_c/\sigma'_{vc}$ .

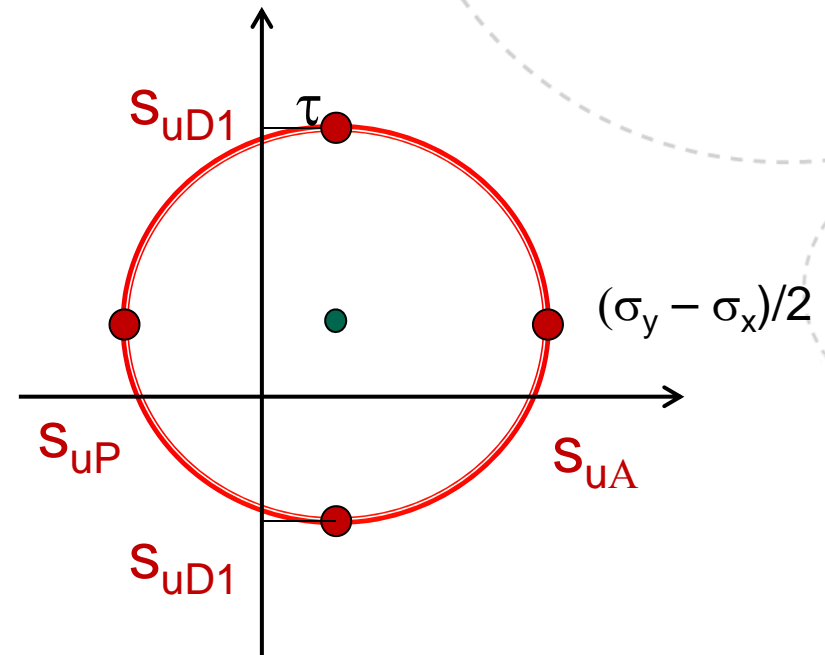
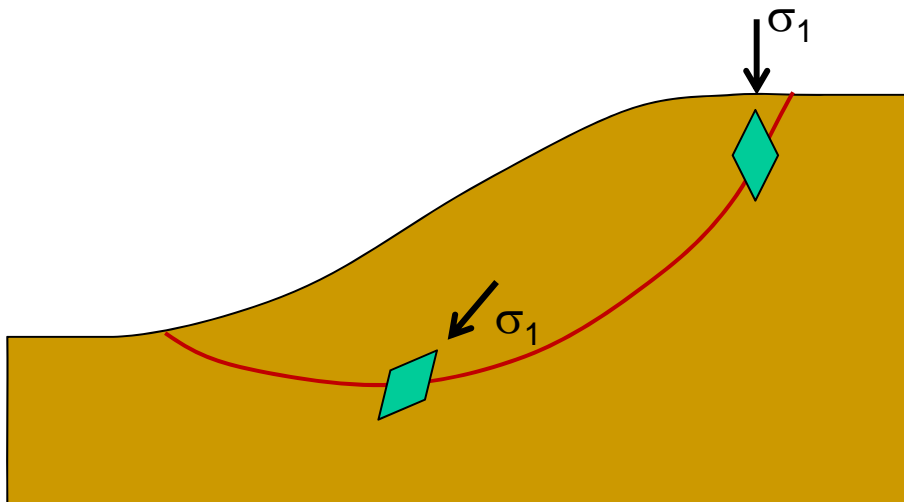


# ADP – XX MSc thesis Kristoffer Rabstad, spring 2011

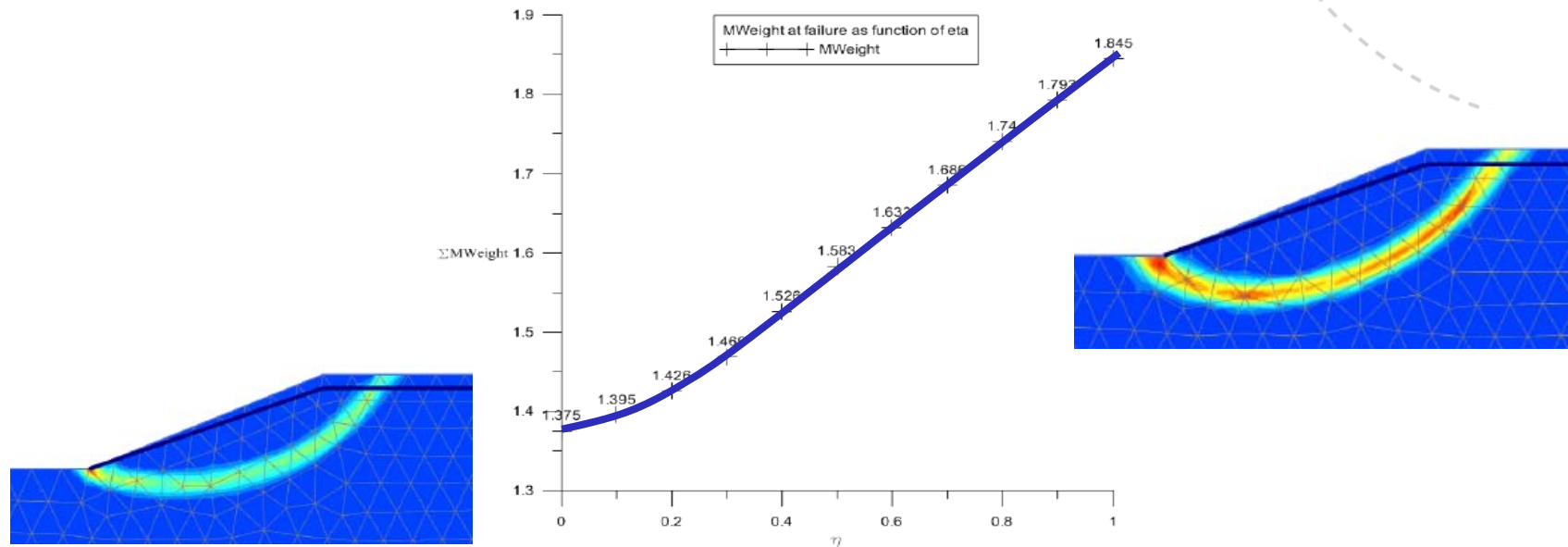


## ADP – XX

MSc thesis Kristoffer Rabstad, spring 2011



# ADP – XX MSc thesis Kristoffer Rabstad, spring 2011



Up to 30 % increase in the safety factor,  
normally significantly less

## Utgitt i Rapportserien i 2013

- Nr. 1 Roller i det nasjonale arbeidet med håndtering av naturfarer for tre samarbeidende direktorat
- Nr. 2 Norwegian Hydrological Reference Dataset for Climate Change Studies. Anne K. Fleig (Ed.)
- Nr. 3 Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed
- Nr. 4 Faresonekart skred Odda kommune
- Nr. 5 Faresonekart skred Årdal kommune
- Nr. 6 Sammenfatning av planlagte investeringer i sentral- og regionalnettet for perioden 2012-2021
- Nr. 7 Vandringshindere i Gaula, Namsen og Stjørdalselva
- Nr. 8 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 9 Energibruk i kontorbygg – trender og drivere
- Nr. 10 Flomsonekart Delprosjekt Levanger. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 11 Årsrapport for tilsyn 2012
- Nr. 12 Report from field trip, Ethiopia. Preparation for ADCP testing (14-21.08.2012)
- Nr. 13 Vindkraft - produksjon i 2012
- Nr. 14 Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2013. Inger Sætrang
- Nr. 15 Klimatilpasning i energiforsyningen- status 2012. Hvor står vi nå?
- Nr. 16 Energy consumption 2012. Household energy consumption
- Nr. 17 Bioenergipotensialet i industrielt avfall
- Nr. 18 Utvikling i nøkkeltall for strømnetselskapene
- Nr. 19 NVEs årsmelding
- Nr. 20 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2012
- Nr. 21 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Forebyggende kartlegging mot skred langs strandsonen i Norge Oppsummering av erfaring og anbefalinger
- Nr. 23 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG) – forundersøkelse
- Nr. 24 Flom og skred i Troms juli 2012. Inger Karin Engen, Graziella Devoli, Knut A. Hoseth, Lars-Evan Pettersson
- Nr. 25 Capacity Building in Hydrological Services. ADCP and Pressure Sensor Training Ministry of Water and Energy, Ethiopia 20th – 28th February 2013
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen
- Nr. 27 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 28 Flomberegninger for Fedaelva, Kvinesdal kommune, Vest-Agder (025.3A1) Per Alve Glad
- Nr. 29 Beregning av energitilsig basert på HBV-modeller. Erik Holmquist
- Nr. 30 De ustabile fjellsidene i Stampa – Flåm, Aurland kommune Sammenstilling, scenario, risiko og anbefalinger. Lars Harald Blikra
- Nr. 31 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 4 Overvåking og varsling Overvåking ved akutte skredhendelser
- Nr. 32 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2012. Jonatan Haga
- Nr. 33 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Saltdiffusjon som grunnforsterking i kvikkleire
- Nr. 34 Kostnadseffektivitet i distribusjonsnettet – En studie av referentene i kostnadsnormmodellen
- Nr. 35 The unstable phyllitic rocks in Stampa – Flåm, western Norway Compilation, scenarios, risk and recommendations. Lars Harald Blikra
- Nr. 36 Flaumsonekart Delprosjekt Årdal i Sogn. Siss-May Edvardsen, Camilla Roald
- Nr. 37 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Skånsomme installasjonsmetoder for kalksementpeler og bruk av slurry
- Nr. 38 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Karakterisering av historiske kvikkleireskred og input parametere for Q-BING
- Nr. 39 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Natural Hazards project: Work Package 6 - Quick clay Characterization of historical quick clay landslides and input parameters for Q-Bing



*Rapportserien i 2013 forts.*

- Nr. 40 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Skred ved Døla i Vefsn. Undersøkelse av materialegenskaper
- Nr. 41 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. State-of-the-art: Blokkprøver
- Nr. 42 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Innspill til "Nasjonal grunnboringsdatabase (NGD) – forundersøkelse"
- Nr. 43 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Styrkeøkning av rekonsolidert kvikkleire etter skred
- Nr. 44 Driften av kraftsystemet 2012. Karstein Brekke (red.)
- Nr. 45 Ny forskrift om energimerking av energirelaterte produkter (energimerkeforskriften for produkter) Oppsummering av høringsuttalelser og endelig forskriftstekst
- Nr. 46 Natural Hazards project: Work Package 6 - Quick clay. Back-analyses of run-out for Norwegian quick-clay landslides
- Nr. 47 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak 2012. Beskrivelse av utførte anlegg
- Nr. 48 Norges hydrologiske stasjonsnett. Ann-Live Øye Leine, Elise Trondsen, Lars-Evan Pettersson
- Nr. 49 Vannkraftkonsesjoner som kan revideres innen 2022. Nasjonal gjennomgang og forslag til prioritering
- Nr. 50 Endring i avregningsforskriften – AMS. Oppsummering av høringsuttalelser og endelig forskriftstekst
- Nr. 51 Filefjell og Anestølen forskningsstasjon. Evaluering av måledata for snø, sesongen 2011/2012  
Hilde Landrø Fjeldheim, Emma Barfod
- Nr. 52 Kulturminner i norsk kraftproduksjon. Elisabeth Bjørsvik, Helena Nynäs, Per Einar Faugli (red.)
- Nr. 53 Øvelser. En veiledning i planlegging og gjennomføring av øvelser i NVE
- Nr. 54 Flom og skred i Nord-Norge mai 2013
- Nr. 55 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Workshop om bruk av anisotropi ved stabilitetsvurdering i sprøbruddmaterialer



Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

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

