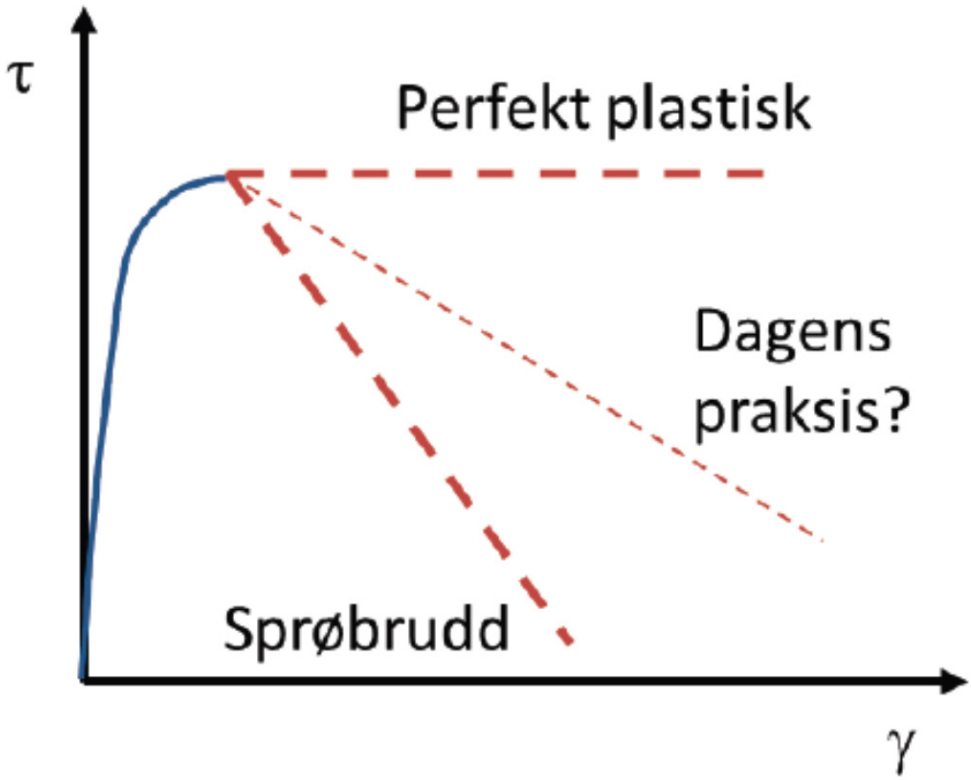
Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire

NGIs anbefalinger for krav til effekt av sprøbruddoppførsel

88
2014

R A P P O R T



NIFS
NATURFARE
INFRASTRUKTUR - FLOM - SKRED

Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire

NGIs anbefalinger for krav til effekt av sprøbruddoppførselr

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

2014

Rapport nr. 88 /2014
NGIs anbefalinger for krav til effekt av sprøbruddoppførsel

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

Utarbeidet av: Petter Fornes

Dato: 19.11.2014
Opplag: P.O.D.
ISBN: 978-82-410-1037-8

Sammendrag

Dette er en rapport med NGIs anbefalinger for krav til effekt av sprøbruddoppførsel, basert på *progressivt brudd*-prosjektene "*Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire*" og "*NIFS N-6.5.2 Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder*". En oppsummering av resultater, forutsetninger og konklusjoner fra disse to prosjektene i inkludert i Vedlegg A.

Rapport / Report

NIFS N-6.5.2 Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder

Oppsummeringsrapport

20140075-01-R
19. november 2014
Rev. nr.: 0

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Sluppen
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Prosjekt

Prosjekt:	NIFS N-6.5.2 Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder
Dokumenttittel:	Oppsummeringsrapport
Dokumentnr.:	20140075-01-R
Dato:	19. november 2014
Rev. nr.:	0

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver:	NIFS
Kontaktperson:	Vikas Thakur
Kontraktreferanse:	NIFS N-6.5.2

For NGI

Prosjektleder:	Petter Fornes
Utarbeidet av:	Petter Fornes
Kontrollert av:	Hans Petter Jostad, Kjell Karlsrud, Suzanne Lacasse

Sammendrag

Dette er en rapport med NGIs anbefalinger for krav til effekt av sprøbruddoppførsel, basert på *progressivt brudd*-prosjektene "*Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire*" og "*NIFS N-6.5.2 Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder*". En oppsummering av resultater, forutsetninger og konklusjoner fra disse to prosjektene i inkludert i Vedlegg A.

Det er i hovedsak metodikken og det etablerte datasettet fra *progressivt brudd*-prosjektene som benyttes som grunnlag for NGIs anbefalinger til krav for effekt av sprøbruddoppførsel. I arbeidet med å lage anbefalinger for konkrete krav er det utført tre nye aktiviteter, presentert i Vedlegg B, Vedlegg C og Vedlegg D.

Datasettet fra sensitivitetsstudiet er delt inn i grupper for å kunne differensiere kravet til korreksjonsfaktor. I tillegg er korrelasjoner fra NGIs blokkprøvedatabase vurdert, uten å finne entydige korrelasjoner mellom sprøhet og indeksparametere.

NGIs anbefalinger til nye krav og retningslinjer for hvordan ta hensyn til effekt av sprøbruddoppførsel ved bruk av styrke fra blokkprøver er presentert i Seksjon 2. For å differensiere kravet er det delt inn i tre klasser av problemtilfeller med forskjellige krav: lokal stabilitet ved pålastning, lokal stabilitet ved avlastning, og områdestabilitet.

En korreksjon av total materialfaktor ved økt mobilisering anbefales som best egnet metode for korreksjon av sprøbruddoppførsel. Korreksjon av materialfaktoren for sprøbruddeffekt skal benyttes når man direkte eller indirekte benytter maks udrenert skjærstyrke fra høykvalitetsprøver i beregninger med perfekt plastisk materialoppførsel. For områdestabilitet er det anbefalt å ikke korrigere for sprøbruddoppførsel ($F_{softening}$ = 1.0).

For lokal stabilitet er korreksjonsfaktoren differensiert ut ifra de tre viktigste parameterne som styrer effekten av sprøbruddoppførsel: Sprøhet (softening) rett etter maks skjærstyrke, gitt ved sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$ (økt tøyning for å redusere maks skjærstyrke med 20 %) og styrkeprofilet, gitt ved parameterne y_{ref} og $s_u{}^A{}_{inc}$ som styrer hvor mye udrenert skjærstyrke øker med dybden. Eksisterende definisjon av sprøbruddmateriale, f.eks. basert på sensitivitet, er lite egnet til å vurdere effekten av sprøbruddoppførsel.

Endelig valg av korreksjonsfaktor må ses i sammenheng med total sikkerhetsfilosofi. Kravet til korreksjonsfaktor bør bestemmes ved å kreve lik bruddsannsynlighet for tilfeller med og uten sprøbruddoppførsel.

Relative korreksjonsfaktorer i tabellen under er etablert ved å anta at leirer som i dagens praksis kan benytte γ_M = 1.4, allerede inkluderer sprøbruddeffekt som tilsvarer sprøhetsgrad $\Delta\gamma_{80}$ > 5 % i gjennomsnitt. Hvorvidt denne antagelsen stemmer har ikke blitt studert. Dersom det ikke er nødvendig å beholde γ_M = 1.4 for nøytrale brudd, hadde det vært mer logisk å redusere γ_M for materialer uten sprøbruddoppførsel og i stedet øke $F_{softening}$ for sprøbruddoppførsel.

$\Delta\gamma_{80}$ = 0-5* %	*Relativ $F_{softening}$ for høy og middels sprøhet*		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u{}^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.10	1.10	1.15**
$s_u{}^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.05	1.10	1.10
$s_u{}^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.05	1.05	1.10

* Antatt variasjonsområde, bør kalibreres for lik bruddsannsynlighet

** Justert noe opp for å ta hensyn til trolig høy bruddsannsynlighet i dagens praksis

hvor $\Delta\gamma_{80}$ er økt skjærtøyning for å redusere skjærstyrke med 20 % fra maks
y_{ref} er dybde hvor det er konstant udrenert skjærstyrke ned til
$s_u{}^A{}_{inc}$ er økning av udrenert skjærstyrke med dybde fra dybden y_{ref}

Det er mulig å benytte lavere korreksjonsfaktor dersom en kan vise ved hjelp av ikke-lineære (ADP) FE-analyser at maks skjærstyrke ikke blir mobilisert i områder med sensitivt materiale.

Innhold

1 Introduksjon 6

2 NGIs anbefaling for krav til effekt av sprøbruddoppførsel 6
2.1 Bakgrunn 8
2.2 Parametere for vurdering av effekt av sprøbruddoppførsel 9
2.3 Klasser av problemtilfeller 11

3 Referanser 15

Vedlegg A – Oppsummering *progressivt brudd*-prosjektene
Vedlegg B – Valg av korreksjonsmetode
Vedlegg C – Differensiering av korreksjonsfaktor
Vedlegg D – Korrelasjoner fra NGIs blokkprøvedatabase

Kontroll- og referanseside

1 Introduksjon

Dette er en rapport med NGIs anbefalinger for krav til effekt av sprøbruddoppførsel, basert på *progressivt brudd*-prosjektene "*Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire*" og "*NIFS N-6.5.2 Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder*". En oppsummering av resultater, forutsetninger og konklusjoner fra disse to prosjektene i inkludert i Vedlegg A.

Det er i hovedsak metodikken og det etablerte datasettet fra *progressivt brudd*-prosjektene som benyttes som grunnlag for NGIs anbefalinger til krav for effekt av sprøbruddoppførsel. I arbeidet med å lage anbefalinger for konkrete krav er i tillegg tre nye aktiviteter utført for å analysere det etablerte datagrunnlaget, inkludert blokkprøvedatabasen:

A1. Vurdere korrelasjoner med sprøhet fra blokkprøvedatabasen
A2. Sortere tilfeller fra sensitivitetsstudiet i grupper avhengig av inputdata
A3. Valg av metode for korreksjon

Resultatene fra aktivitet A1, A2 og A3 er presentert i henholdsvis Vedlegg D, Vedlegg C og Vedlegg B.

2 NGIs anbefaling for krav til effekt av sprøbruddoppførsel

NGIs anbefaling for hvordan man bør ta hensyn til effekt av sprøbruddoppførsel i nye krav og retningslinjer er presentert her. NGI forbeholder seg retten til å på forhånd lese gjennom krav basert på dette forslaget, dersom det brukes i regelverk. Dette for å sikre at anbefalingen blir brukt etter hensikten og at ikke deler av den brukes feil.

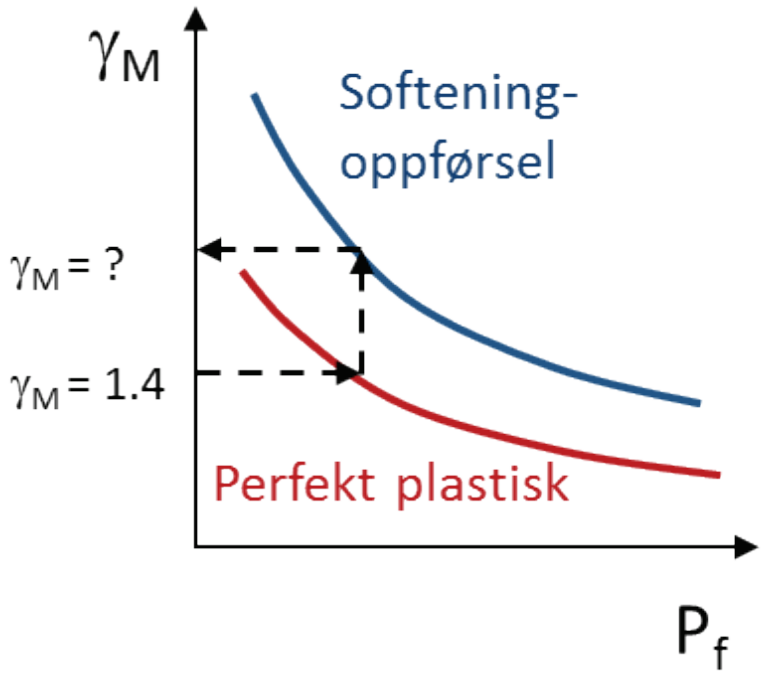
For å kunne differensiere kravet er det delt inn i tre klasser av problemtilfeller med forskjellige krav, og gradering av kravet ut ifra de tre viktigste materialparameterne som styrer effekten av sprøbruddoppførsel, se Vedlegg C.

Forslaget til krav er utarbeidet med tanke på følgende prinsipper:

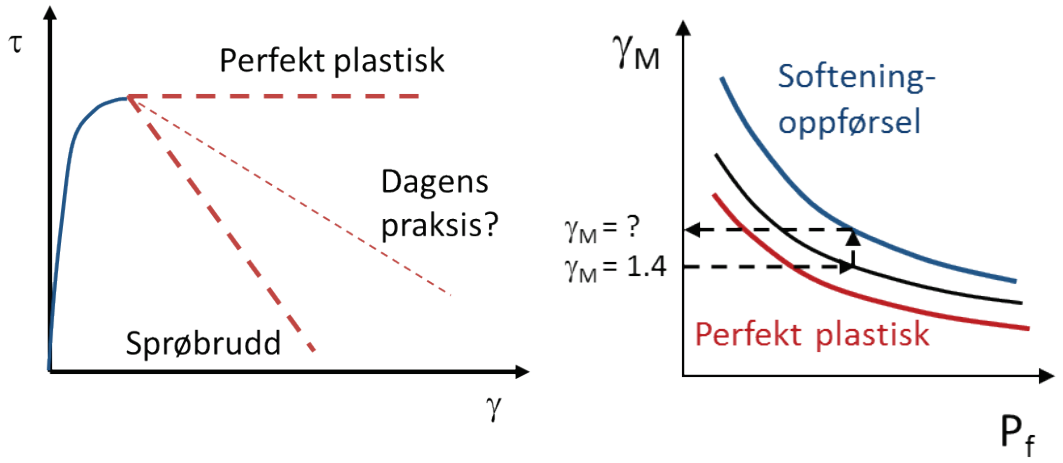
- Overordnet riktig, men ikke nødvendigvis fanger opp alle detaljer
- Effekten av sprøbruddoppførsel dekker ikke konsekvens, kun materialoppførsel
- Korreksjonsfaktoren skal benyttes ved perfekt plastisk modellering av materialer med sprøbruddoppførsel
- Ikke for konservativt krav totalt sett (dette forutsetter at krav uten korreksjon ikke er for konservativt, $\gamma_M = 1.4$ er valgt med maks skjærstyrker fra blokkprøver)
- Ved lite datagrunnlag fra forsøk bør korreksjonsfaktoren være høyere
- Det skal være rom for å gjøre egne vurderinger av nødvendig korreksjonsfaktor, f.eks. ved hjelp av ikke-lineære FE-analyser (ADP)

Endelig valg av korreksjonsfaktor må ses i sammenheng med total sikkerhetsfilosofi. Valg av korreksjonsfaktor bør gjøres ved å kreve lik sannsynlighet for brudd med og uten sprøbruddoppførsel, illustrert på Figur 2.1. Hvis det er meget stor usikkerhet vedrørende valg av karakteristisk maks styrke, vil man kunne bruke en tilnærmet gjennomsnittlig korreksjonsfaktor uten at sannsynlighet for brudd øker. Hvis det derimot er mindre usikkerhet i karakteristisk styrke, bør man velge en mer konservativ korreksjonsfaktor, siden usikkerheten i korreksjonsfaktor da får større betydning.

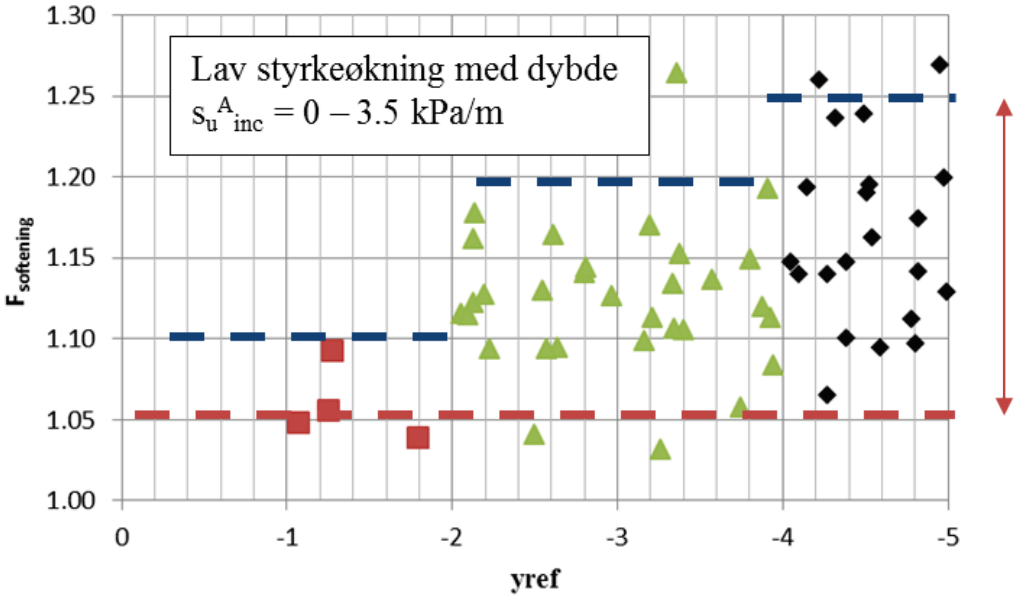
I dagens praksis vil mange leirer som ikke klassifiseres som "sprøbruddmateriale" likevel kunne ha en betydelig sprøbruddoppførsel, se Figur 2.2. For å kunne ha samme sikkerhetsnivå som i dag bør man dermed evaluere graden av sprøbruddoppførsel som har vært inkludert ved bruk av kravet $\gamma_M = 1.4$. Dette er ikke gjort her av NGI, men Figur D1.1 i Vedlegg D viser at selv for leirer med $S_t < 15$ kan sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$ være så lav som 2 %. Figur 2.3 skisserer hvordan en relativ korreksjonsfaktor kan velges lavere hvis man forutsetter at dagens krav $\gamma_M = 1.4$ inkluderer en viss grad av sprøbruddoppførsel.



Figur 2.1 *Valg av materialfaktor ved å kreve lik bruddsannsynlighet P_f med og uten sprøbruddoppførsel*



Figur 2.2 *Perfekt plastisk og strain-softening materialoppførsel. Leirer som ikke regnes som sprøbruddmateriale i dagens praksis kan likevel ha betydelig grad av sprøbruddoppførsel.*



Figur 2.3 *Eksempel for hvordan man kan tenke seg valg av relativ korreksjonsfaktor. Rød stiplet linje illustrerer en mulig sprøbruddeffekt inkludert i dagens praksis (γ_M = 1.4).*

2.1 Bakgrunn

Progressiv bruddoppførsel er en meget komplisert mekanisme som er påvirket av mange parametere. En enkel korrigering av redusert bruddkapasitet (tillatt tilleggslast) oppnådd med grenselikevektsmetoden er derfor vanskelig. Ved kun reduksjon av (aktiv) maks udrenert skjærstyrke i sensitive materialer vil man ikke nødvendigvis fange opp korrekt bruddmekanisme. Derfor anbefales en korreksjon

for sprøbruddeffekt under økt skjærmobilisering ved en økt materialfaktor for alle lag (økt global sikkerhetsfaktor).

Korreksjon av materialfaktoren for sprøbruddeffekt skal benyttes når man direkte eller indirekte benytter maks udrenert skjærstyrke fra høykvalitetsprøver i beregninger med perfekt plastisk materialoppførsel.

I *progressivt brudd*-prosjektet er korreksjonsfaktoren $F_{softening}$ kalibrert basert på en korreksjon av alle lag, også ikke-sensitive. Fordi det er en samlet korreksjon som tar hensyn til hele bruddmekanismen brukes den anbefalte korreksjonen på alle materialer, også ikke-sensitive materialer. For beregningstilfeller med både drenerte og udrenerte materialer, med forskjellige krav til materialfaktor, kan man først redusere styrker i henhold til de forskjellige kravene til materialfaktor (f.eks. 1.25 for drenerte materialer og 1.40 for s_u-materialer), og så korrigere endelig resultat for sprøbruddoppførsel.

2.2 Parametere for vurdering av effekt av sprøbruddoppførsel

Anbefalingene presentert her er basert på NGIs studie av effekt av sprøbruddoppførsel inkludert i spenning-tøyningskurvene i FE-beregninger. I sensitivitetsstudiet er det tre parametere som skiller seg tydeligst ut, og som kan brukes som kriterier for korreksjon:

1. Belastningssituasjon, hvorvidt det sensitive materialet blir mobilisert forbi maks skjærstyrke. Dette tas hensyn til ved inndeling i forskjellige klasser av problemtilfeller.

2. Sprøhet, som angir hvor lite tøyning som skal til for at skjærstyrken reduseres etter maks udrenert skjærstyrke. Lav sprøhet gir liten effekt av sprøbruddoppførsel.

3. Styrkeprofil, som styrer hvordan den kritiske progressive bruddmekanismen vil utvikle seg. Høy økning av styrke med dybde gjør at utvikling av det progressive bruddet møter større motstand ved økt dybde. Reduksjon på grunn av softening i forhold til økt motstand ved videre propagering av bruddmakanismen blir mindre, dvs. mindre effekt av sprøbruddoppførsel.

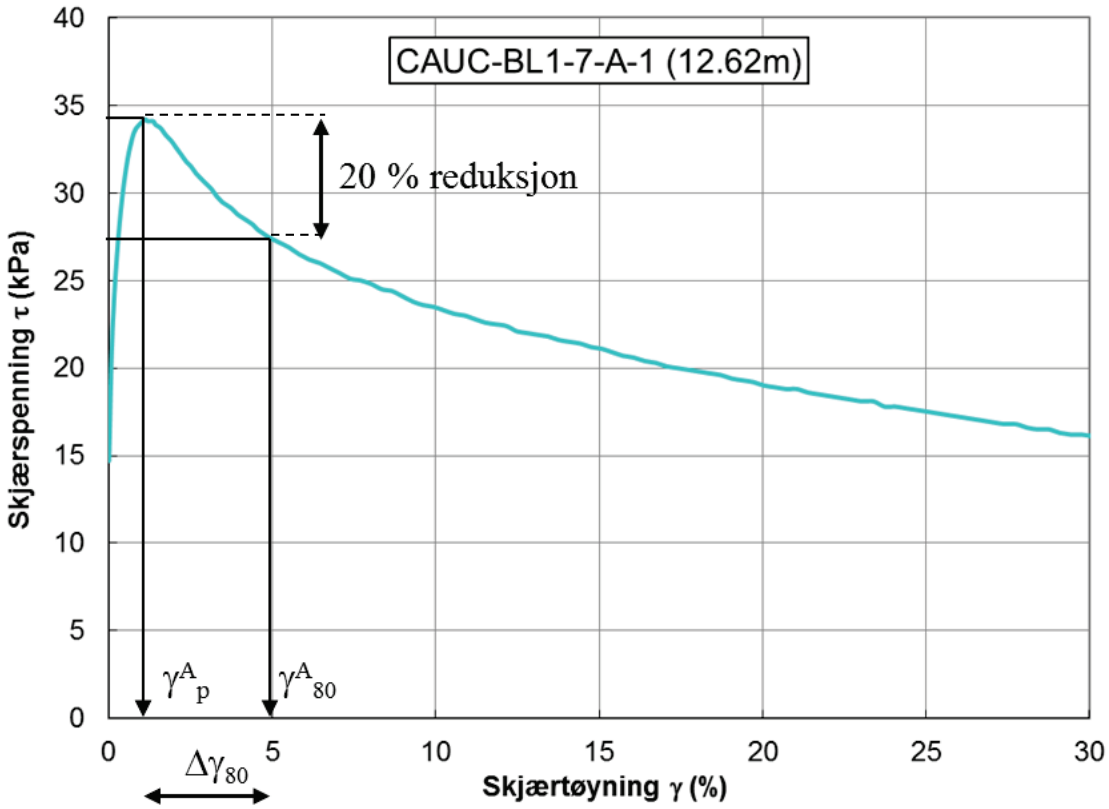
Som mål på sprøhet anbefales sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$, som er økning i skjærtøyningen som reduserer udrenert skjærstyrke fra maks til 80 % i et CAUA-forsøk, illustrert på Figur 2.4. Lav verdi av $\Delta\gamma_{80}$ tilsvarer høy sprøhet siden det da skal lite ekstra tøyning til for at styrken reduseres.

Hvis man skal differensiere korreksjonsfaktoren ut ifra styrkeprofilet, bør styrkeprofilet for bestemmelse av korreksjonsfaktor være for et beste estimat av karakteristisk styrke, ikke forsiktig valgt. Forslaget til korreksjonsfaktorer i Seksjon 2.3.1 er basert på at et styrkeprofil kan tilpasses med konstant styrke ned til en dybde y_{ref}, og derfra øker lineært med styrkeøkning med dybde $s_u{}^A{}_{inc}$, se Figur 2.5. Det er

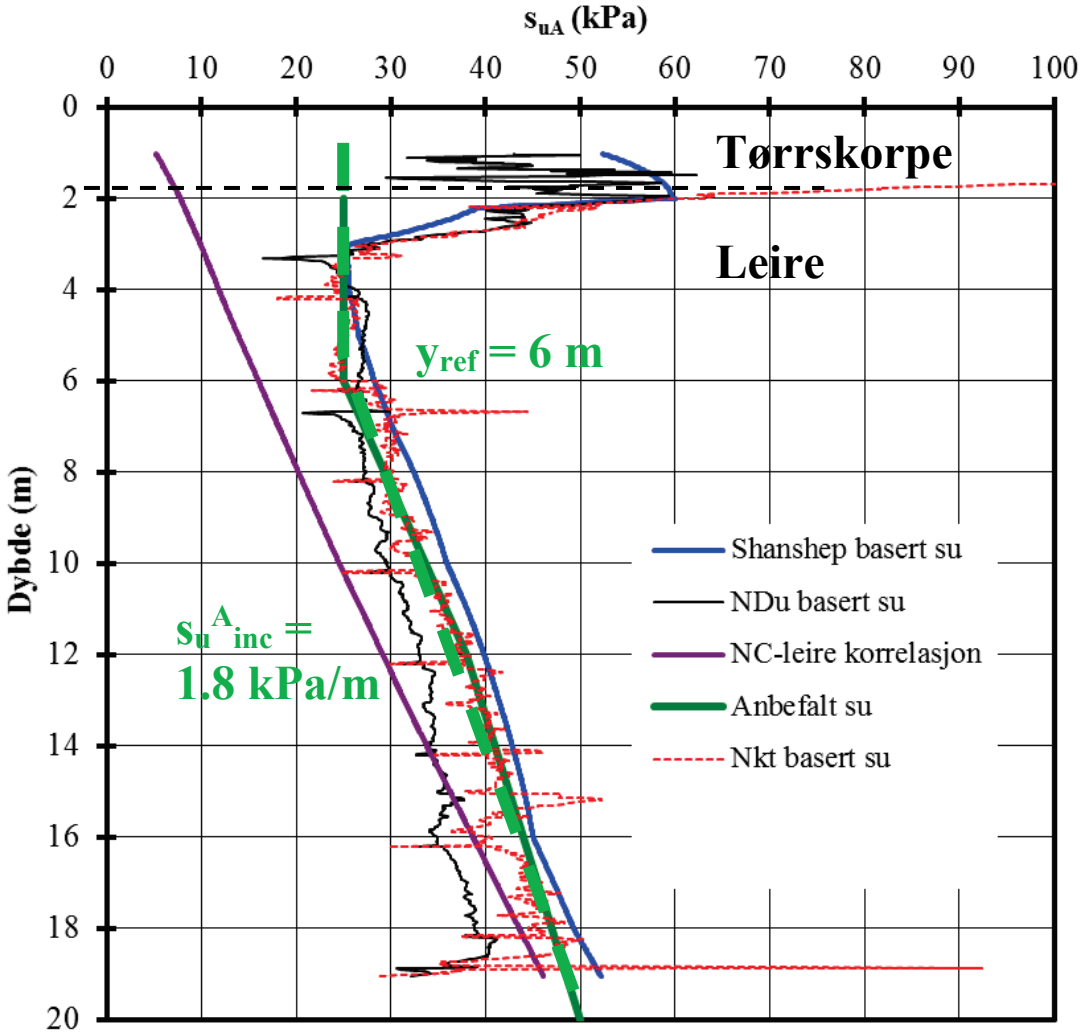
hvordan styrkeprofilet ser ut i toppen som er viktigst for aktiv pålastning, siden det er der bruddet mobiliseres først.

Forstyrrede prøver har redusert sprøhetsoppførsel som vist i laboratorieforsøk. De kan også ha lavere styrke, og kan dermed indirekte ta hensyn til sprøbruddoppførselen. Hvis målt skjærstyrke for en forstyrret prøve (fra 54 mm e.l.) er vesentlig mindre enn maks skjærstyrke fra en tilsvarende leire (samme vanninnhold og OCR) i blokkprøvedatabasen, er det kanskje ikke nødvendig å korrigere materialfaktoren ytterligere. Dette forutsetter at sikkerhetsfaktor med uforstyrret styrke fra blokkprøvedatabasen korrigert for høy sprøhet er høyere enn for styrken fra den forstyrrede prøven.

For tilfeller hvor skjærstyrke kun bestemmes ut ifra CPTU og blokkprøve-korrelasjoner, uten forsøksdata som sier noe om sprøhet, skal korreksjonsfaktor benyttes som for høy sprøhet.



Figur 2.4 *Sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$ er nødvendig skjærtøyning for å redusere udrenert skjærstyrke fra maks til 80 % i et forsøk på høykvalitetsprøver*



Figur 2.5 *Valg av idealisert styrkeprofil for bestemmelse av korreksjonsfaktor for sprøbrudd: Beste estimat fra CPTU med konstant styrke ned til dybde y_{ref} = 6 m, styrkeøkning med dybde $s_u{}^A{}_{inc}$ = 1.8 kPa/m*

2.3 Klasser av problemtilfeller

For å ta hensyn til ulik belastningssituasjon er kravet til effekt av sprøbruddoppførsel inndelt i tre klasser av problemtilfeller med ulike krav til korreksjonsfaktor:

- Klasse 1 – Pålastning (aktiv lokal stabilitet)
- Klasse 2 – Avlastning (passiv lokal stabilitet)
- Klasse 3 – Områdestabilitet

2.3.1 Klasse 1 – Pålastning (aktiv lokal stabilitet)

Klasse 1 – Pålastning dekker både normalkonsolidert flatt/slakt skrånende terreng og raviner (erodert terreng). Raviner er anbefalt å ha samme krav som flatt normalkonsolidert terreng. På grunn av forhold typiske for raviner, kan man derimot

forvente en annen grad av sprøhet og styrkeprofil. Derfor kan korreksjonsfaktoren i praksis bli lavere for raviner, selv om kravene i utgangspunktet er de samme for alle tilfeller.

Korreksjonsfaktoren øker med økt sprøhet, større dybde med konstant (eller avtagende) styrke i toppen og ved lav videre økning av styrke med dybden, i henhold til Tabell 2.1, Tabell 2.2 og Tabell 2.3. Valg av korreksjonsfaktor via disse tabellene skal i stor grad baseres på representative parametere fra området hvor spenningene øker. Det er dette som mobiliseres først (aktiv sone), og som er kilden til effekten av sprøbruddoppførsel.

Kravene til korreksjonsfaktor gitt i Tabell 2.1, Tabell 2.2 og Tabell 2.3 er basert på gjennomsnitt pluss ett standardavvik av $F_{softening}$ for hver gruppe (Tabell C1.2 til Tabell C1.4 i Vedlegg C), avrundet opp til nærmeste inkrement av 0.05 (avrundet ned hvis dette ga avrunding < 0.01). Denne relativt konservative tilnærmingen tar hensyn til en normal eller lognormal sannsynlighetsfordeling for $F_{softning}$ som fanger opp de fleste datapunktene i hver gruppe, men hvor enkelte verdier kan falle utenfor. For svært ugunstige tilfeller med lav styrke og styrkeøkning med dybde, stor andel meget sprø sensitiv leire kan effekten av sprøbruddoppførsel være opptil 1.30.

Det kan være mulighet for å velge korreksjonsfaktorer som er nærmere gjennomsnittene for hver gruppe av datapunkter, og likevel ha lik bruddsannsynlighet som for et perfekt plastisk materiale, dersom usikkerheten i karakteristisk maks skjærstyrke er stor. I Vedlegg B er det presentert et eksempel som viser at usikkerheten i sprøbruddeffekt har liten påvirkning på bruddsannsynligheten for stor usikkerhet i maks skjærstyrke.

Ved å anta at leirer som ikke regnes som "sprøbruddmateriale" i dagens situasjon i gjennomsnitt ligger i den laveste sprøhetsgraden $\Delta\gamma_{80} > 5$ %, kan man vurdere den relative økningen av korreksjonsfaktor $F_{softening}$ til en høyere grad av sprøhet. Relative korreksjonsfaktorer i Tabell 2.4 er summen av gjennomsnitt og ett standardavvik for høy og middels sprøhet fra Tabell C1.2 og Tabell C1.3 i Vedlegg C, minus gjennomsnittet for lav sprøhet i Tabell C1.4 i Vedlegg C. Figur 2.6 illustrerer dette for høy sprøhet og lav styrkeøkning med dybde.

Anbefalte relative korreksjonsfaktorer i Tabell 2.5 er etablert ved å runde opp verdiene i Tabell 2.4 til nærmeste inkrement av 0.05. Verdien for $s_u{}^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m og $y_{ref} > 4$ m er til slutt økt fra 1.10 til 1.15, for å kompensere for at slike styrkeprofil trolig har høyere bruddsannsynlighet enn andre i dagens praksis. Med denne betraktningen blir relativ korreksjonsfaktor 1.05-1.10, avhengig av styrkeprofil. Verdiene i Tabell 2.5 er like for både høy og middels sprøhet, men varierer for andre inndelinger av sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$.

Hvorvidt antagelsen om sprøbruddeffekt inkludert i dagens praksis stemmer har imidlertid ikke blitt studert. Hvilken grad av sprøbruddoppførsel som virkelig er inkludert bør derfor vurderes grundigere. Dersom det ikke er nødvendig å beholde γ_M = 1.4 for nøytrale brudd, hadde det vært mer logisk å redusere γ_M for materialer

uten sprøbruddoppførsel og i stedet øke $F_{softening}$ for sprøbruddoppførsel (i henhold til Tabell 2.1, Tabell 2.2 og Tabell 2.3).

Man kan benytte en mindre korreksjonsfaktor hvis man i en ikke-lineær FE-analyse med materialfaktor kan påvise lav mobilisering (ikke forbi maks skjærstyrke) i områder med sensitiv leire. En slik analyse må ta hensyn til forhold som initialspenninger, anisotropiforhold og ikke-lineær spenningsstiavhengig stivhetsoppførsel, ved bruk av en materialmodell som har oppførsel opp til maks styrke tilsvarende som for NGI-ADP-modellen.

Tabell 2.1 Korreksjonsfaktor $F_{softening}$ for høy sprøhet

$\Delta\gamma_{80}$ = 0-2 %	*$F_{softening}$ for høy sprøhet*		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.10	1.20	1.25
$s_u^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.10	1.15	1.20
$s_u^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.05	1.10	1.15

Tabell 2.2 Korreksjonsfaktor $F_{softening}$ for middels sprøhet

$\Delta\gamma_{80}$ = 2-5 %	$F_{softening}$ for middels sprøhet		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.10	1.15	1.25
$s_u^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.10	1.10	1.15
$s_u^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.05	1.10	1.10

Tabell 2.3 Korreksjonsfaktor $F_{softening}$ for lav sprøhet

$\Delta\gamma_{80}$ > 5 %	$F_{softening}$ for lav sprøhet		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.05	1.10	1.20
$s_u^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.05	1.05	1.15
$s_u^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.05	1.05	1.05

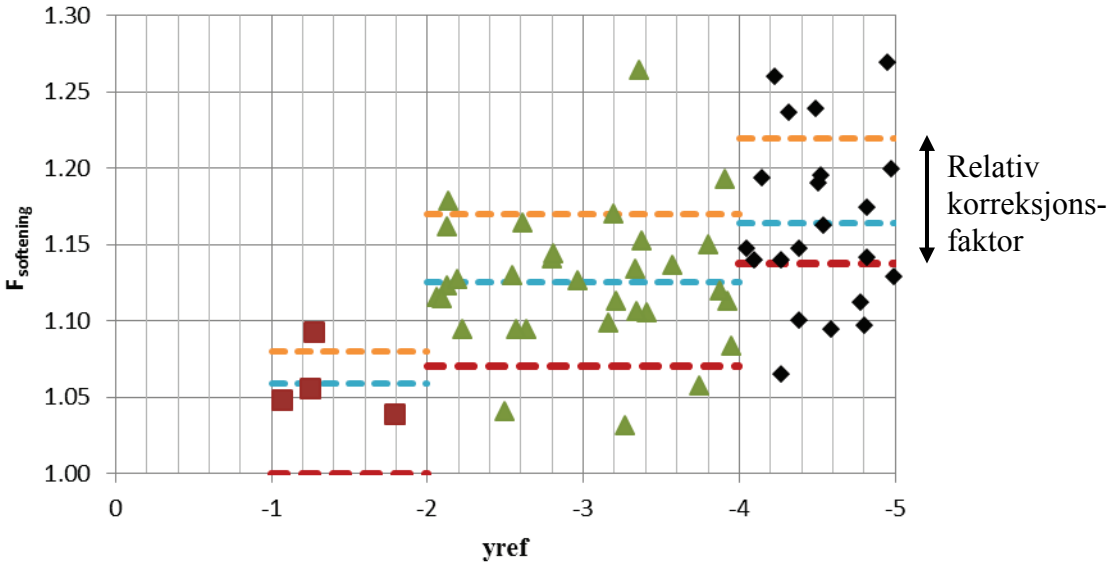
Tabell 2.4 Relativ korreksjonsfaktor $F_{softening}$ for høy / middels sprøhet

$\Delta\gamma_{80}$ = 0-2 % / 2-5 %	*Relativ $F_{softening}$ for høy / middels sprøhet*		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.079 / 1.089	1.099 / 1.082	1.081 / 1.087
$s_u^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.032 / 1.031	1.073 / 1.050	1.072 / 1.046
$s_u^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.025 / 1.011	1.038 / 1.029	1.079 / 1.062

Tabell 2.5 Avrundet relativ korreksjonsfaktor $F_{softening}$ for høy og middels sprøhet

$\Delta\gamma_{80}$ = 0-5 %	*Relativ $F_{softening}$ for høy og middels sprøhet*		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.10	1.10	1.15*
$s_u^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.05	1.10	1.10
$s_u^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.05	1.05	1.10

* Justert noe opp for å ta hensyn til trolig høy bruddsannsynlighet i dagens praksis



Figur 2.6 *Relativ korreksjonsfaktor for høy sprøhet ($\Delta\gamma_{80}$ = 0-2 %) og lav styrkeøkning med dybde ($s_u{}^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m). Blå stiplet linje viser gjennomsnitt for hver gruppe, og oransje stiplet linje viser gjennomsnitt pluss ett standardavvik. Rød stiplet linje viser gjennomsnittlig verdi for tilsvarende gruppe med lav sprøhet (antatt inkludert i dagens praksis)*

2.3.2 Klasse 2 – Avlastning (passiv lokal stabilitet)

Klasse 2 – Avlastning gjelder for skjæringer, hvor belastingssituasjon er en avlastning av dagens terreng, og dermed økt passiv mobilisering.

Samme krav gjelder som for Klasse 1 – Pålastning, men sprøhetsparameteren $\Delta\gamma_{80}$ kan være bestemt fra passive (CAUP) forsøk i stedet for aktive (CAUA). Dette kan gi lavere sprøhetsklasse gitt at softening av passiv styrke er mindre enn for aktiv styrke.

2.3.3 Klasse 3 – Områdestabilitet

Klasse 3 – Områdestabilitet kan benyttes for tiltak:

- Der konstruksjonen virker stabiliserende (gir redusert skjærmobilisering)
- Som kun medfører avlasting av eksisterende terreng (i toppen, ikke skjæringer)
- Som medfører full lastkompensasjon (lette masser)

For Klasse 3 – Områdestabilitet har det ikke blitt funnet noen grunn for korreksjon av materialfaktor for effekt av sprøbruddoppførsel ($F_{softening}$ = 1.0), hvis tiltak i lokal sone fører til "liten" spenningsendring eller redusert skjærmobilisering.

Hva som er tilstrekkelig liten spenningsendring er ikke undersøkt av NGI. Som for Klasse 1 kan FE-analyser benyttes til å vurdere mobilisering av maks skjærstyrke.

Prinsippet prosentvis forbedring kan benyttes for det som går på områdestabilitet. Ved for lav initiell sikkerhet må det gjøres et tiltak som forbedrer sikkerhetsfaktoren prosentvis ut ifra opprinnelig sikkerhetsfaktor. Hvis dette tiltaket fører til betydelig spenningsendring lokalt skal korreksjonsfaktor benyttes som for Klasse 1 for den lokale stabiliteten. Hvis flere tiltak gjøres må spenningsendring vurderes individuelt i stedet for totalt.

NGI anbefaler at man i tillegg til krav om prosentvis forbedring krever tiltak som reduserer sannsynligheten for hendelser som kan forårsake brudd. For eksempel kan man redusere krav til prosentvis forbedring ved forebygging av erosjon og regulering som reduserer mulighet for økt belasting i området.

3 Referanser

Karlsrud, K. og Hernandez-Martinez, F.G. (2013). "Stress-strain-and strength characteristics of clays from high quality block samples". To be published Can. Geot. Journal.

NGI (2011), "Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire, A1 Numerisk metode for beregning av udrenert brudd i sensitive materialer", NGI-rapport 20092128-00-4-R

NGI (2012), "Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire, A2 Tilbakeregning av skred", NGI-rapport 20092128-00-6-R

NGI (2012), "Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire, A3 Sensitivitetsanalyse", NGI-rapport 20092128-00-6-R

NGI (2013), "Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire, A4 Sannsynlighetsanalyse", NGI-rapport 20092128-00-7-R

NGI (2013), "Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire, Oppsummeringsrapport", NGI-rapport 20092128-00-8-R

NGI (2013), "NIFS N-6.5.2 Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder, A1 Effekt av progressiv bruddutvikling i raviner", NGI-rapport 20130275-01-R

NGI (2013), "NIFS N-6.5.2 Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder, A2 Sannsynlighet for brudd med prosentvis forbedring", NGI-rapport 20130275-02-R

Statens Vegvesen (2010), "Håndbok 016 – Geoteknikk i vegbygging", vegvesen.no, 6. utgave

Vedlegg A - Oppsummering *progressivt brudd*-prosjektene

Innhold

A1 Introduksjon **2**
A2 Resultater **2**
A3 Forutsetninger **6**
A4 Konklusjoner **7**
A4.1 Metode for korreksjon av effekt av sprøbruddoppførsel 7
A4.2 Definisjon av sprøbruddmateriale 8
A4.3 Usikkerhet 8

A1 Introduksjon

Dette er en oppsummering av *progressivt brudd*-prosjektene "*Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire*" og "*NIFS N-6.5.2 Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder*".

I det første prosjektet ble det utviklet en materialmodell som inkluderer strain-softening, NGI-ADPSoft, som deretter ble uttestet ved tilbakeregning av Vestfossenskredet i 1984 med Plaxis. Denne modellen ble brukt i et omfattende sensitivitetsstudie og i en sannsynlighetsanalyse for å kvantifisere effekten av sprøbruddoppførsel ved å beregne en korreksjonsfaktor som tar hensyn til effekten av sprøbrudd i standard grenselikevektsmetoder. En fylling i svakt hellende terreng ble studert, dvs. et tilfelle med en betydelig og kjent triggingsmekanisme.

I NIFS-prosjektet ble modellen benyttet for å estimere softeningfaktoren ved Båstadskredet. I tillegg ble sannsynlighet for brudd vurdert ifm prosentvis forbedring av materialfaktoren for naturlige skråninger.

Bakgrunn for anbefalingene i hovedrapporten er resultatene fra *progressivt brudd*-prosjektene. Konklusjoner og forutsetninger fra prosjektene er oppsummert kort i dette vedlegget. NGI-rapport 20092128-00-8-R gir en mer detaljert oppsummering av det første prosjektet. NGIs anbefalinger for valg av sikkerhetsfilosofi ved utbygging i områder med meget sensitiv leire er i hovedsak basert på resultatene i disse to prosjektene.

A2 Resultater

Intensjonen med sensitivitetsanalysen som ble utført i Aktivitet 3 (NGI-rapport 20092128-00-6-R) i det første prosjektet var å finne den største, men fortsatt realistisk, effekten av sprøbruddoppførsel man potensielt kan ha ved dimensjonering av et pålastningstilfelle, dvs. tilfeller hvor mobiliseringen økes på grunn av pålastning. Dette er tilfeller hvor det er absolutt krav til materialfaktor og hvor prosentvis forbedring ikke kan benyttes, se Figur 0.5 i Håndbok 016 (Statens Vegvesen, 2010). For å identifisere ugunstige kombinasjoner av parametere ble bygging av en vegfylling i en slak uendelig skråning undersøkt, et antatt ugunstig tilfelle, med tilfeldige kombinasjoner av realistiske parameterverdier for sensitive leirer gitt i Karlsrud og Hernandez-Martinez (2013). For hver kombinasjon ble softeningfaktoren $F_{softening}$ funnet ved å først beregne maks fyllingslast med softening-oppførsel inkludert i sprøbruddmaterialet, og deretter redusere maks udrenerte skjærstyrker i alle lag (med c/ϕ-reduksjon) inntil samme kapasitet var oppnådd uten softening, se Figur A2.1. En annen hensikt med sensitivitetsanalysen var å se hvilke parametere som har størst betydning for effekten av softening.

Beregnet softeningfaktor varierte mellom 1.0 og 1.30 i dette sensitivitetsstudiet med representative parametere basert på et utvalg av sensitive leirer, se Figur A2.2. Beregnet softeningfaktor har gjennomsnitt 1.09 og standardavvik 0.06, og

spredningen er vist på Figur A2.3, tilpasset med en lognormalfordeling. Det vil si at for et slikt tilfelle må materialfaktor γ_M økes med opptil 30 % for å ta hensyn til effekten av softening (sprøbrudd) i grenselikevektsanalyser basert på maksimalt målte udrenerte skjærstyrker fra lite forstyrrede prøver (blokkprøver).

Basert på sensitivitetsstudiet var det overraskende få entydige korrelasjoner mellom softeningfaktoren og de ulike inputparameterne (Figur 6.16 til Figur 6.31 i NGI-rapport 20092128-00-6-R). Korrelasjonen mellom softeningfaktoren og skjærstyrkeøkning med dybde (ds_u^A/dz og y_{ref}) var den klareste, med en tydelig reduksjon av softeningfaktoren for skjærstyrkeprofiler med stor styrkeøkning med dybden. Effekt av softening var generelt lav for liten grad av sprøhet (helning av spenning-tøyningskurven etter maks skjærstyrke og skjærbåndtykkelsen). For større grad av sprøhet var det derimot overraskende lav korrelasjon. Dette tyder på at når et materiale kan defineres som "sprøtt" er det andre parametere som betyr mer enn selve graden av sprøhet.

I NIFS-prosjektet ble Båstadskredet fra 1974 etterregnet med samme metodikk, og effekt av softening ble estimert til å være 1.0-1.05 (NGI-rapport 20130275-01-R). Dette var et problemtilfelle med mindre andel sprøbruddmateriale og avlastning i bunnen av skråningen, og viser et eksempel på et tilfelle hvor effekten av softening er liten. Det finnes helt opplagt mange problemtilfeller hvor effekten av sprøbruddoppførsel er liten.

Karlsrud og Hernandez-Martinez (2013) foreslår et verdiområde for reduksjon av maks udrenert skjærstyrke for meget sensitive leirer ($S_t > 15$), med opptil 15, 10 og 5 % for henholdsvis aktiv, DSS og passiv styrke. Reduksjon av maks styrke med disse øvre grenseverdiene ga i sensitivitetsstudiet gjennomsnittlig nesten lik kapasitet som med softeningoppførsel inkludert. Ved bruk av en slik metode vil det dermed kunne eksistere tilfeller som har større effekt av softening enn det tas hensyn til, og for enkelttilfeller i beregningene var forskjellen i lastkapasitet opptil 10 %.

Intensjonen med sannsynlighetsanalysen i Aktivitet 4 i det første prosjektet (NGI-rapport 20092128-00-7-R) var å finne nødvendig økning av materialfaktoren for å ta hensyn til softening, hvis man legger til grunn lik bruddsannsynlighet for sprøbruddmateriale og ikke-sensitivt materiale. En forutsetning for dette var at man med materialfaktor på 1.4 har et fornuftig sikkerhetsnivå for et ikke-sensitivt materiale. Det ble valgt samme ugunstige problemtilfelle som i sensitivitetsstudiet; pålastning i en slak uendelig skråning. Usikkerhet i materialparametere ble basert på reelle data fra kvikkleireområdet Sund-Bradden ved Rissa.

I sannsynlighetsanalysen av Sund-Bradden-tilfellet måtte materialfaktor γ_M økes med 20 % for å ta hensyn til effekt av softening i grenselikevektsanalyser basert på maks udrenerte skjærstyrker som er korrigert for eventuell prøveforstyrrelse. Gjennomsnittlig bruddlast med softening inkludert var 75 kPa. Sannsynlighetsstudiet viser at softeningoppførsel helt klart medfører redusert kapasitet, og at man kan forvente opptil 20 % effekt for enkelte reelle, skjønt ugunstige, problemtilfeller som

Sund-Bradden. Økning i 20 % er i tillegg til usikkerheten i maks udrenert skjærstyrke som er dekket av en materialfaktor på 1.4.

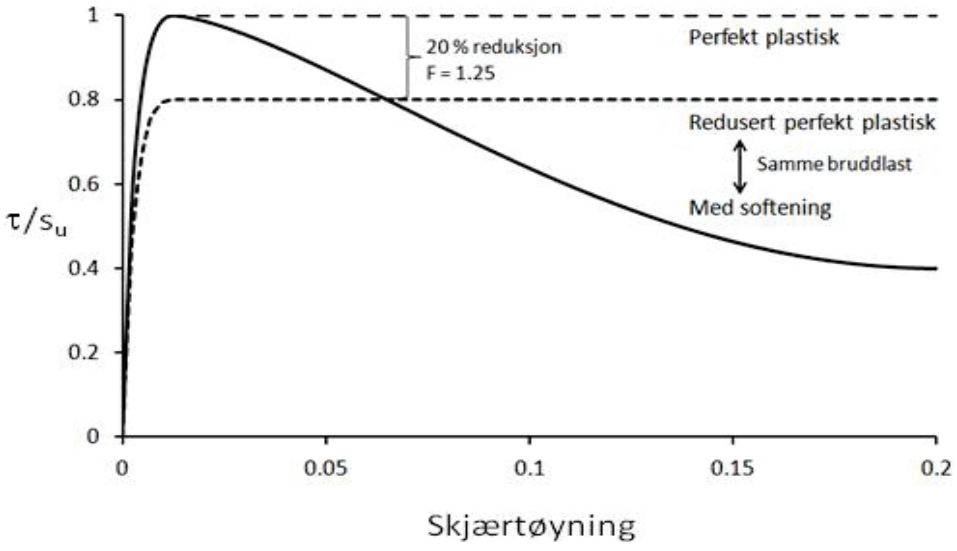
I *progressivt brudd*-prosjektene ble det søkt etter den potensielt største effekten ved dimensjonering av pålastningstilfeller. Vi hadde i utgangspunktet håpet å se klarere korrelasjoner mellom softeningfaktoren og hver inputparameter enn det vi gjorde. Det er f.eks. liten reduksjon i softeningfaktoren på grunn av redusert skråningshelning (8° til 4°) og tørrskorpetykkelse (2 til 4 m ikke-sensitivt materiale i toppen). Parameterne som tydeligst bidrar til lavere softeningfaktor er:

- Økning av skjærstyrken med dybden, stor gradient i s_u-profilet
- Liten sprøhet (stor skjærtøyning før en markert reduksjon i skjærstyrken, dvs. liten helning initielt langs spennings-tøyningskurven)
- Avlastning i stedet for pålastning (f.eks. erosjon i raviner og utgraving i foten av skråninger). Men dette ble ikke undersøkt i detalj.

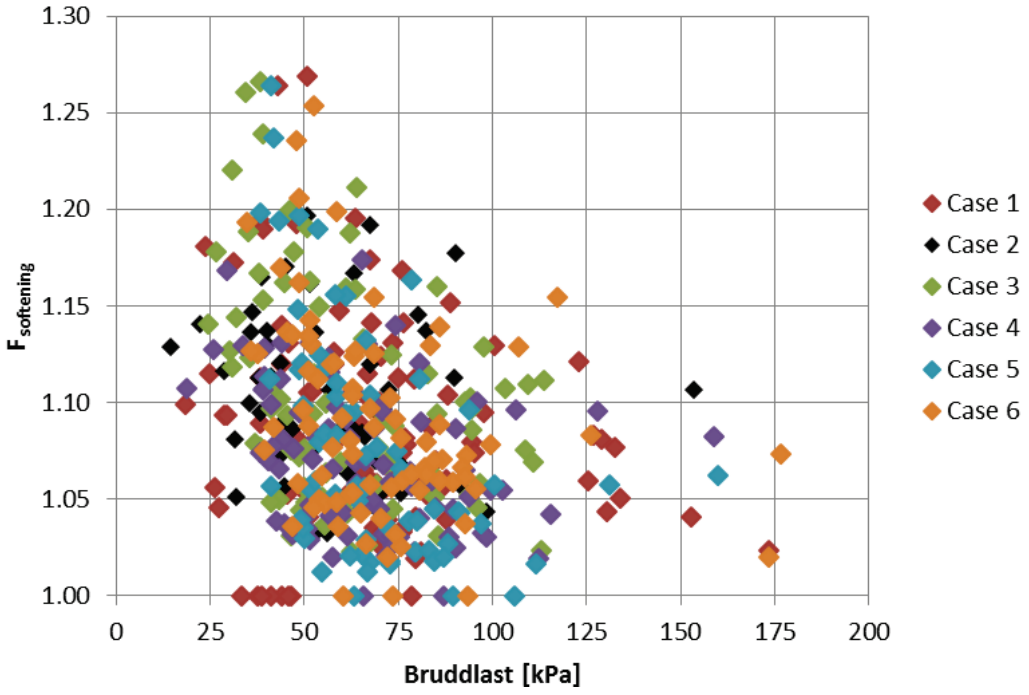
I sensitivitetsstudiet og sannsynlighetsstudiet ble effekten av sprøbruddoppførsel kalibrert som en endring av materialfaktor for alle lag. Basert på disse bør materialfaktor økes opptil 27 % ved dimensjonering for å ta hensyn til effekten av sprøbruddoppførsel for de mest ugunstige problemtilfellene. Det vil imidlertid være meget konservativt å generelt bruke en korreksjon på 27 %, og det er derfor behov for å differensiere kravet til effekt av sprøbruddoppførsel for ulike problemtilfeller.

I NIFS-prosjektet ble prosentvis forbedring av γ_M ved områdestabilitet vurdert med en sannsynlighetsbetraktning (NGI-rapport 20130275-02-R). Sannsynlighet for brudd i en naturlig skråning ble estimert gitt en liten belastning i toppen som utløsningsmekanisme. Basert på dette ble det funnet en tilnærmet lineær sammenheng mellom prosentvis forbedring av γ_M og logaritmen av bruddsannsynligheten (Figur 5.4 i 20130275-02-R). Med dagens krav til regelverk ser det ut som at man ved prosentvis forbedring av en initial beregnet lav materialfaktor aksepterer høyere sannsynlighet for brudd enn for en initial beregnet høy materialfaktor. For andre utløsningsmekanismer, som erosjon i bunnen av skråningen, kan beregnet bruddsannsynlighet bli annerledes.

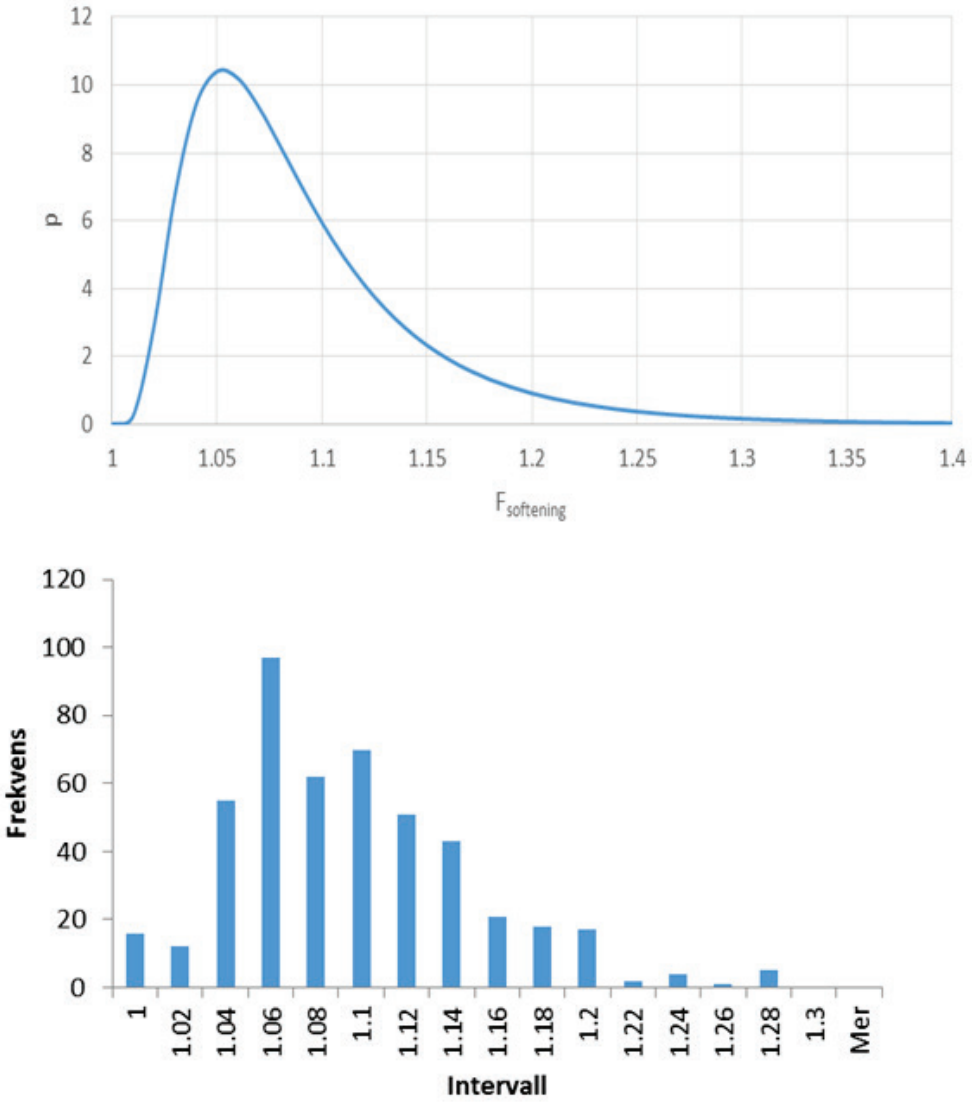
Noe som mangler i sannsynlighetsbetraktningen er sannsynligheten for at en gitt forstyrrelse av dagens tilstand inntreffer. Sannsynlighet for brudd bør reflektere årlig sannsynlighet for hendelser/tilstander som kan utløse brudd. Det er derfor behov for å definere hendelser som kan utløse brudd og hva sannsynligheten er for at disse inntreffer innenfor et gitt tidsrom, og mulige tiltak for å redusere muligheten for at de inntreffer.



Figur A2.1 Effekt av sprøbruddoppførsel, softeningfaktor $F_{softening}$



Figur A2.2 Korrelasjon fra sensitivitetsstudiet mellom softeningfaktor og bruddlast for forskjellige problemtilfeller med ulike kombinasjoner av parametere. Ulike geometriske parametere er variert i Case 1-6



Figur A2.3 Spredning av $F_{softening}$, med forventningsverdi $E(F_{softening}) = 1.091$, standardavvik $std(F_{softening}) = 0.061$

A3 Forutsetninger

Det ligger en del forutsetninger til grunn for konklusjonene over, bl.a.:

- Sensitivitetsstudiet er gjort for en lang, slak skråning med vegfylling som utløser et lokalt brudd. Andre geometrier vil kunne gi andre resultater.

- Materialfaktor $\gamma_M = 1.4$ for ikke-sensitivt materiale skal dekke usikkerhet i maks udrenert styrke, ikke usikkerhet om hvorvidt materialet er sprøtt.

- Maks skjærstyrke og softeningoppførsel benyttet i beregningene er basert på forsøk fra høy-kvalitets blokkprøver, med liten grad av prøveforstyrrelse. Dermed meget sprø oppførsel etter oppnådd maks skjærstyrke.

- Det er kun inkludert sensitive leirer i parametergrunnlaget, med lav OCR (mellom 1 og 2), dvs. leirer som allerede er meget sprø og som har et lavt s_u/p'_0-forhold.

- Sprøhetsparametere er basert på en lineær reduksjon av skjærstyrken fra maks, gyldig inntil 20 % reduksjon (tilfeller med høy softeningfaktor hadde opptil 15 % reduksjon ved maks last).

- Beregnet softeningfaktor er nødvendig reduksjon av maks skjærstyrker i alle lag (også den ikke-sensitive tørrskorpen) for å oppnå samme kapasitet i en perfekt plastisk grenselikevektsanalyse, som i en analyse hvor softeningoppførsel er inkludert. Effekt av reduksjon av maks skjærstyrke kun i lag med sprøbruddmateriale er ikke studert. C-ϕ reduksjonsmetoden i Plaxis åpnet ikke for denne muligheten.

- Tøyningskompatibilitet er ikke gyldig for sprøbruddoppførsel, og passiv skjærstyrke er ikke fullt mobilisert ved maks global pålastning. Passiv skjærstyrke må derfor også reduseres i en grenselikevektsanalyse for å ta hensyn til effekten av sprøbrudd.

- Lav tøyningshastighet under aktuell pålastning er ikke tatt hensyn til, som vil gi reduksjon av maks skjærstyrke og sprøhet (pga mulig lokal drenasje).

- Effekt av redusert softening for leirer med høy permeabilitet, som gir mulighet for lokal drenasje fra skjærsonen, er ikke vurdert.

A4 Konklusjoner

A4.1 Metode for korreksjon av effekt av sprøbruddoppførsel

For å ta hensyn til effekt av sprøbruddoppførsel i stabilitetsanalyser med grenselikevektsmetoder i forbindelse med utbygginger som fører til økt skjærmobilisering kan man øke kravet til materialfaktor. Dette blir i så fall en samlet korreksjon av total materialfaktor. For å ta hensyn til problemavhengighet kan man med en slik metode differensiere kravet til økning av materialfaktoren.

En alternativ metode er reduksjon av maks udrenert skjærstyrke i alle lag med sprøbruddmaterialer. En fordel med denne metoden er at kun materialet med sprøbruddoppførsel reduseres, og man derfor tar hånd om en del av problemavhengigheten. En annen fordel er at man ikke trenger å endre kravet til materialfaktor. En ulempe med denne metoden er at med sprøbruddoppførsel er ikke nødvendigvis maks udrenert skjærstyrke fullt mobilisert i den passive sonen ved

maks global last. Derfor må også passiv styrke reduseres, ikke bare aktiv. Dette gjelder også for tilfeller hvor materialet i den passive sonen er ikke-sensitivt så lenge området som mobiliseres først inneholder sprøbruddmateriale. Fordi den relative korreksjonen varierer mellom problemtilfeller kan det derfor være en fordel å bruke en total materialfaktor uansett.

Ut ifra resultatene i prosjektene ser vi at å benytte styrkereduksjon ikke nødvendigvis er den beste metoden. Ved global maks last med sprøbruddoppførsel har vi et instabilitetsproblem, hvor reduksjonen i stabiliserende krefter (område med softening) er lik økningen i de stabiliserende kreftene (område med hardening). Det eksisterer da ingen kritisk glideflate fra topp til bunn av skråningen slik man vil ha i grenselikevektsmetoden. Med styrkereduksjon og grenselikevektsmetoden vil man derfor ikke fange opp den kritiske bruddmekanismen. Derfor er det mer dekkende å bruke en korreksjonsfaktor på materialfaktoren som (i den grad det er mulig) tar hensyn til ulike problemtilfeller.

A4.2 Definisjon av sprøbruddmateriale

Et skred i kvikkleire som blir fullstendig flytende har vanligvis større konsekvens enn i en mindre sensitiv leire. Parameterne omrørt udrenert skjærstyrke s_{ur} eller sensitivitet S_t kan derfor brukes til å bestemme konsekvensklasse. De er derimot mindre egnet til å vurdere effekten av softeningoppførsel, siden de er mål på skjærstyrke ved stor tøyning. Reduksjonen av skjærstyrken rett etter maks er det som avgjør hvorvidt et materiale har noen effekt av softening, og bør betegnes som sprøtt eller ikke.

Som et mål på grad av sprøhet kan man i stedet definere parameteren $\Delta\gamma_{80}$ som økt skjærtøyning fra maks udrenert skjærstyrke til 80 % av denne. Lav verdi av $\Delta\gamma_{80}$ betyr at skjærstyrken reduseres raskt etter maks og at materialet kan betegnes som sprøtt. Bestemmelse av en slik parameter forutsetter at man har prøver med høy kvalitet. Man kan ikke benytte forstyrrede prøver.

A4.3 Usikkerhet

I *progressivt brudd*-studiene var styrkeprofilet den viktigste parameteren for effekten av softening for et sprøtt materiale, og mye av usikkerheten ligger i bestemmelsen av dette. Praksis i dag er at tolkning av styrkeprofil varierer fra geotekniker til geotekniker. Ved å legge større vekt på forsøk gjort på prøver med høy kvalitet kan man stimulere til økt bruk av f.eks. blokkprøver. På sikt vil dette også kunne forbedre grunnlaget for blokkprøvekorrelasjonene som CPT-resultater kalibreres mot. Hvis man vil redusere usikkerhet kan man premiere større omfang av grunnundersøkelser. Dette kan gjøres enten ved å tillate valg av et mindre konservativt styrkeprofil, eller ved å ha et lavere krav til materialfaktor (uten sprøbruddkorreksjon).

Effekt av sprøbruddoppførsel beregnet i disse studiene forutsetter udrenert skjærstyrke bestemt fra prøver med høy kvalitet. Det er ikke vurdert hvorvidt dagens krav til materialfaktor på 1.4 for ikke-sensitive leirer er basert på forstyrrede prøver,

og om noe av effekten av softening dermed er indirekte tatt hensyn til allerede. For at korreksjonen for sprøbruddeffekt ikke skal bli for konservativ totalt sett, vil det være en fordel om kravet til materialfaktor uten sprøbruddkorreksjon gjelder for et "beste estimat" av styrkeprofilet.

For naturlige skråninger ser det ut til at den største usikkerheten er knyttet til potensielle skredutløsningsmekanismer, fordi initial materialfaktor $\gamma_M > 1.0$. Det må dermed skje en forverring av dagens situasjon for at områdestabilitet skal være et problem. Krav til prosentvis forbedring av materialfaktor for naturlige skråninger må derfor dekke sikkerhet mot alle mulige forverringer, inkludert erosjon og uønskede uforutsette hendelser på toppen av skråningen. Det er derfor et behov for å definere hendelser som kan forverre områdestabiliteten og potensielt utløse skred.

Et alternativ til prosentvis forbedring for å forbedre sikkerheten kan være å utføre tiltak som reduserer sannsynligheten for hendelser som kan forårsake brudd. Man kan f.eks. redusere krav til prosentvis forbedring ved forebygging av erosjon og regulering av området som reduserer mulighet for økt belasting. Konstruktive tiltak som innebærer pålastning, som vegbygging og utlegging av fyllinger, bør fremdeles oppfylle krav til lokal stabilitet.

Vedlegg B - Valg av korreksjonsmetode

Innhold

B1 Valg av korreksjonsmetode **2**
B2 Eksempel **3**

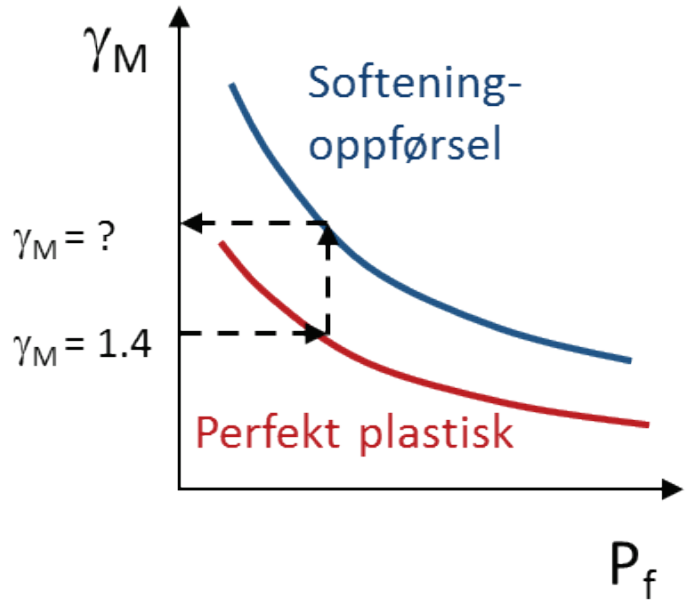
B1 Valg av korreksjonsmetode

Effekten av sprøbruddoppførsel gjør at en leire med sprøbruddoppførsel har lavere kapasitet enn en ikke-sensitiv leire med samme maks udrenert skjærstyrke. For å ta hensyn til dette i grenselikevektsanalyser kan man enten redusere maks skjærstyrke og beholde materialfaktoren, eller man kan ved hjelp av en korreksjonsfaktor øke kravet til materialfaktor (tilsvarende dagens anbefaling i Håndbok 016). Basert på konklusjonene fra *progressivt brudd*-prosjektene i Seksjon A4.1 i Vedlegg A anbefaler NGI å benytte en korreksjonsfaktor på materialfaktoren, $F_{softening}$, som skal ta hensyn til sprøbruddeffekten. Korreksjonsfaktor for materialfaktoren anvendes som følger:

$$\gamma_M^{sprøbrudd} = \gamma_M \cdot F_{softening}$$

En viktig grunn til dette er at skjærstyrken i den passive sonen ikke er fullt mobilisert ved brudd. Dette er en viktig mekanisme ved progressive brudd, og for å fange opp dette med styrkereduksjon må man i så fall redusere passiv styrke uavhengig av om materialene har sprøbruddoppførsel eller ikke. Derfor er korreksjon av materialfaktoren en mer egnet metode.

Kravet til korreksjonsfaktor bør bestemmes ved å kreve lik bruddsannsynlighet for tilfeller med og uten sprøbruddoppførsel. Dersom γ_M = 1.4 har tilstrekkelig sikkerhetsnivå for materialer med perfekt plastisk materialoppførsel, bør en større $\gamma_M^{sprøbrudd}$ ha tilsvarende sikkerhetsnivå for et materiale med sprøbruddoppførsel, se Figur B1.1.



Figur B1.1 Valg av materialfaktor ved å kreve lik bruddsannsynlighet P_f med og uten sprøbruddoppførsel

B2 Eksempel

Eksempel for å illustrere hvordan man kan velge korreksjonsfaktor:

Antar at udrenert skjærstyrke s_u har lognormalfordeling med forventningsverdi $E(s_u)$ = 30 kPa, og standardavvik $std(s_u)$ = 3 kPa eller 6 kPa, vist på Figur B2.1. Et design utføres slik at det oppstår brudd dersom s_u faktisk er lavere enn designstyrken $s_{u,d} = s_{u,k}/\gamma_M$. For et perfekt plastisk materiale er kravet til γ_M = 1.4. Gitt sannsynlighetsfordelingene for s_u kan man velge forskjellig karakteristisk styrke $s_{u,k}$ for å oppnå forskjellig sannsynlighet for brudd $P_f = P(s_u<s_{u,d}) = P(s_u<s_{u,k}/\gamma_M)$, gitt i Tabell B2.1.

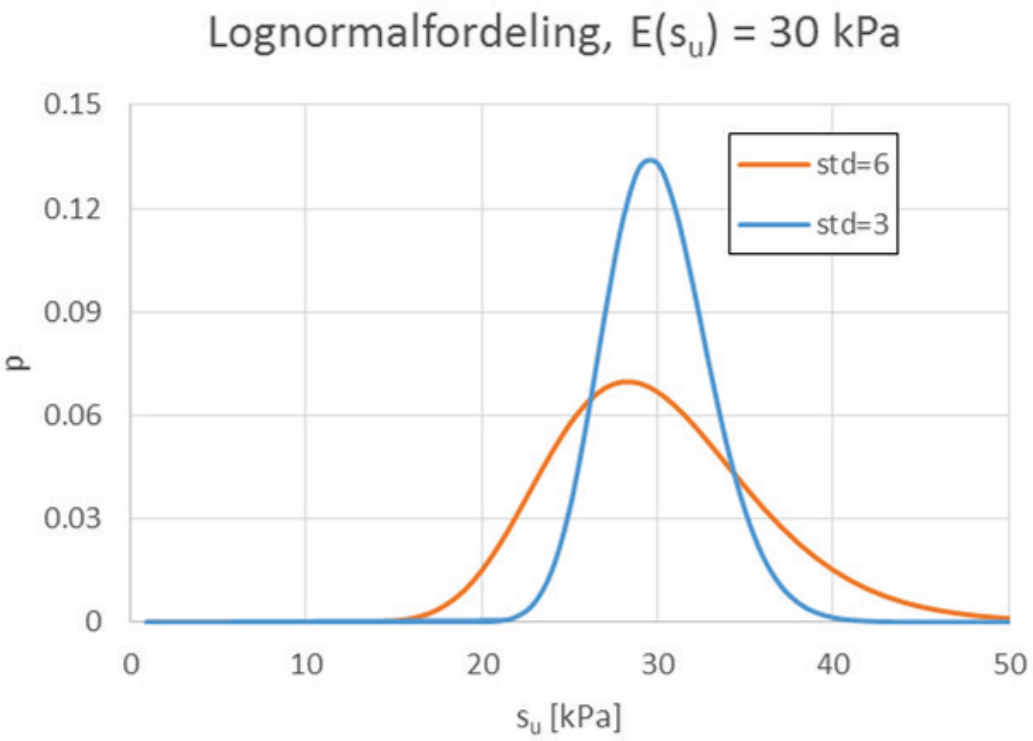
Antar videre at et tilsvarende materiale med sprøbruddoppførsel har "ekvivalent styrke" $s_u^{sprøbrudd} = s_u/F_{softening}$, hvor s_u har samme sannsynlighetsfordelinger som i avsnittet over og $F_{softening}$ har sannsynlighetsfordeling som gitt i Figur A2.3 i Vedlegg A. En oppdatert sannsynlighetsfordeling for $s_u^{sprøbrudd}$ er vist på Figur B2.2 for $std(s_u)$ = 3 kPa. Ved å kreve lik sannsynlighet for brudd $P_f = P(s_u<s_{u,k}/\gamma_M) = P(s_u/F_{softening} < s_{u,k}/\gamma_M^{sprøbrudd})$, må man benytte $\gamma_M^{sprøbrudd} > \gamma_M$, gitt i Tabell B2.1.

Tabell B2.1 viser hvordan karakteristisk styrke $s_{u,k}$ må velges for å ha bruddsannsynlighet fra 10^{-2} til 10^{-4}. Høyere verdi av $s_{u,k}$ kan velges med liten usikkerhet i s_u enn for stor usikkerhet. Hvis man for eksempel velger $s_{u,k} = E(s_u) - 0.5 \cdot std(s_u)$, blir $s_{u,k}$ = 28.5 kPa og 27 kPa for de to fordelingene. For fordelingen med $std(s_u)$ = 3 kPa tilsvarer dette omtrent $P_f = 10^{-4}$, og omtrent 10^{-2} for den med $std(s_u)$ = 6 kPa. På grunn av dette kravet til lavere P_f ved mindre usikkerhet i s_u, må man velge høyere $\gamma_M^{sprøbrudd}$: 1.80 mot 1.56.

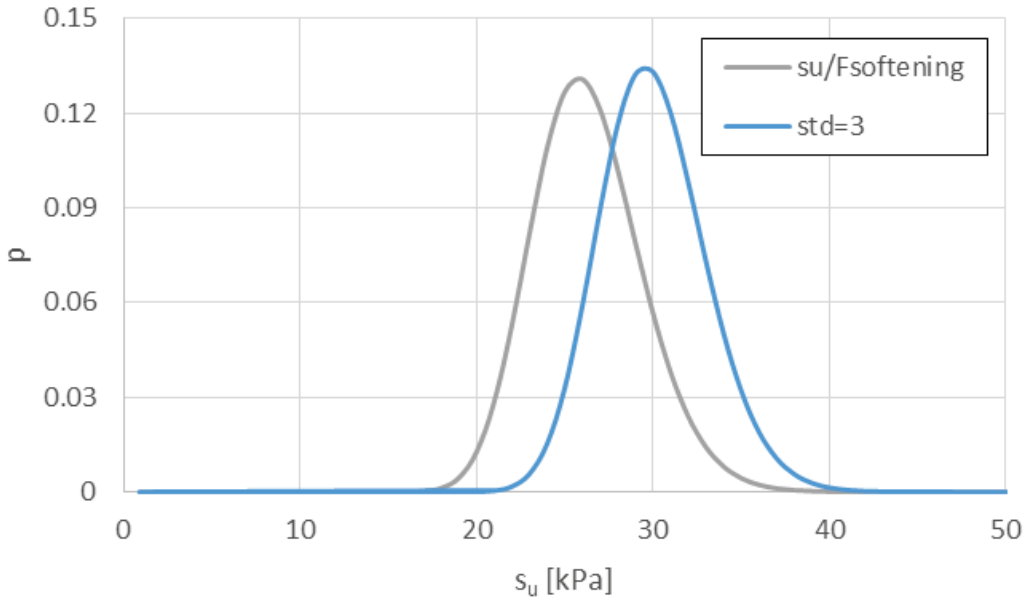
Stort standardavvik for s_u uten sprøbruddoppførsel gjør at usikkerheten i $F_{softening}$ får mindre betydning. For store verdier av $std(s_u)$ går $\gamma_M^{sprøbrudd}$ mot $\gamma_M \cdot E(F_{softening})$ = 1.53.

Tabell B2.1 Eksempel, $s_{u,k}$ og $\gamma_M^{sprøbrudd}$ gitt γ_M = 1.4 for perfekt plastisk, forskjellige sannsynlighetsfordelinger for s_u, sannsynlighet for brudd P_f og sannsynlighetsfordeling for $F_{softening}$ fra Figur A2.3 i Vedlegg A.

Fordeling s_u	$E(s_u)$ = 30 kPa, $std(s_u)$ = 3 kPa		$E(s_u)$ = 30 kPa, $std(s_u)$ = 6 kPa	
P_f	$s_{u,k}$	$\gamma_M^{sprøbrudd}$	$s_{u,k}$	$\gamma_M^{sprøbrudd}$
10^{-2}	33.1	1.60	26.0	1.56
10^{-3}	30.7	1.69	22.3	1.58
10^{-4}	28.8	1.80	19.7	1.61



Figur B2.1 Eksempel, lognormalfordeling av su med $E(s_u)$ = 30 kPa, med enten $std(s_u)$ = 3 kPa eller 6 kPa



Figur B2.2 Eksempel, sannsynlighetsfordeling for $E(s_u)$ = 30 kPa, $Std(s_u)$ = 3 kPa, og oppdatert fordeling for $s_u^{sprøbrudd} = s_u/F_{softening}$

Vedlegg C - Differensiering av korreksjonsfaktor

Innhold

C1 Inndeling i grupper fra sensitivitetsstudiet 2

C1 Inndeling i grupper fra sensitivitetsstudiet

I *progressivt brudd*-prosjektene ble det funnet at parameterne som styrer styrkeprofilet og sprøhet betyr mest for nødvendig korreksjonsfaktor $F_{softening}$. Sprøhet, hvor raskt man mister styrke etter maks, er nødvendig for å kunne ha noen effekt av sprøbruddoppførsel. Skjærstyrkeprofilet hadde mest å si for størrelsen på korreksjonsfaktoren, se Figur C1.1 for hvordan det var idealisert i beregningene. Det som er avgjørende er hvor mye ekstra motstand en propagerende bruddmekanismen møter med dybde. Selv om man har et sprøbruddmateriale vil bruddmekanismen likevel tvinges til å gå grunnere hvis styrken øker mye med dybde. I så fall øker motstanden nok til å kompensere for den reduserte styrken av det materialet som allerede er mobilisert forbi maks skjærstyrke.

Tre parametere fra sensitivitetsstudiet er hovedsakelig studert for å kunne differensiere korreksjonsfaktoren:

- Sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$ (økt skjærtøyning for å redusere udrenert skjærstyrke fra maks til 80% skjærstyrke). Denne parameteren var ikke direkte brukt som inputparametere i beregningene, men er utledet fra andre inputparametere.
- Dybde y_{ref} som styrken er konstant ned til. Dette kan ses på som dybden fra terreng til hvor styrkeøkning med dybde ikke lenger er lik null.
- Styrkeøkning $s_u{}^A{}_{inc}$ med dybden fra dybde y_{ref}. Denne parameteren styrer hvor mye ekstra motstand bruddmekanismen møter jo dypere den går.

Det er ikke valgt å prøve å differensiere kravet med tanke på andre parametere. Det er likevel viktig å være klar over at andre parametere også kan bidra til at nødvendig korreksjonsfaktor kan være større for et gitt problemtilfelle. Andre parametere som i mindre grad gjør at korreksjonsfaktor bør økes er f.eks.:

- Lavt anisotropiforhold ($s_u{}^{DSS}/s_u{}^A$)
- Høye tøyningsverdier ved maks skjærstyrke ($\gamma_P{}^{DSS}/\gamma_P{}^A$)
- Stor skjærbåndtykkelse
- Lavt K_o-forhold
- Stor skråningshelning
- Liten tykkelse tørrskorpe (ikke-sensitivt materiale)

For å kunne differensiere kravet til korreksjonsfaktor ble resultatene fra sensitivitetsstudiet sortert i grupper ut ifra de tre viktigste parameterne $\Delta\gamma_{80}$, y_{ref} og $s_u{}^A{}_{inc}$. Hver parameter ble inndelt i tre intervaller, som ga totalt 27 forskjellige grupper med kombinasjoner av parametere. For å dele inn gruppene ble ulike verdier av parameterne vurdert.

En gruppeinndeling av parameterne er presentert i Tabell C1.1, og hvordan korreksjonsfaktor $F_{softening}$ varierer for de forskjellige gruppene er vist på Figur C1.3, Figur C1.4 og Figur C1.5. Fargene på figurene representerer de forskjellige dybder

med konstant styrke (rødt for 0-2 m; grønn for 2-4 m og sort for dybder større enn 4m. Korreksjonsfaktoren $F_{softening}$ øker med økende dybde med konstant styrke, y_{ref} og minker med økende styrkeøkning med dybde, $s_u{}^A{}_{inc}$. Det er viktig å merke at $F_{softening}$ er veldig lik for middels sprøhet og høy sprøhet, og noe lavere for lav sprøhet. Det er mulig å forenkle tabellene ved å f.eks. kun skille mellom to verdier av sprøhet. Figur C1.2 viser korreksjonsfaktor $F_{softening}$ differensiert på kun forskjellig grad av sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$.

Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$ for hver gruppering av parametere er gitt i Tabell C1.2, Tabell C1.3 og Tabell C1.4. For gruppering med kun ett eller få datapunkter er verdiene usikre. Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$ for differensiering kun ut ifra sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$ er gitt i Tabell C1.5.

Tabell C1.1 Inndeling i grupper

Parameter	Lav	Middels	Høy
Sprøhet, skjærtøyning $\Delta\gamma_{80}$ [%]	> 5	2 – 5	0 – 2
Styrkeøkning med dybde, $s_u{}^A{}_{inc}$ [kPa/m]	2 – 3.5	3.5 – 5	> 5
Dybde med konstant styrke, y_{ref} [m]	0 – 2	2 – 4	> 4

Tabell C1.2 Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$, for høy sprøhet

$\Delta\gamma_{80}$ = 0-2 %	Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u{}^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.059 ± 0.020	1.125 ± 0.044	1.164 ± 0.055
$s_u{}^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.041 ± 0.021	1.083 ± 0.035	1.138 ± 0.038
$s_u{}^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.021 ± 0.023	1.057 ± 0.023	1.107 ± 0.017

Tabell C1.3 Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$, for middels sprøhet

$\Delta\gamma_{80}$ = 2-5 %	Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u{}^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.062 ± 0.027	1.111 ± 0.041	1.167 ± 0.058
$s_u{}^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.041 ± 0.020	1.066 ± 0.029	1.110 ± 0.040
$s_u{}^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.024 ± 0.006	1.046 ± 0.025	1.081 ± 0.026

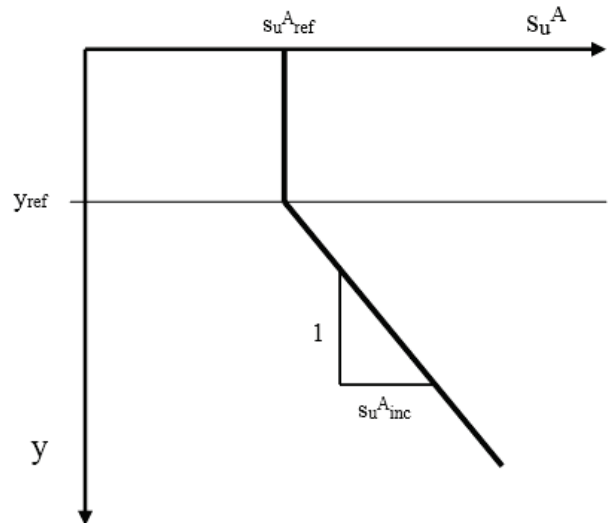
Tabell C1.4 Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$, for lav sprøhet

$\Delta\gamma_{80}$ > 5 %	Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$		
	y_{ref} = 0-2 m	y_{ref} = 2-4 m	y_{ref} > 4 m
$s_u{}^A{}_{inc}$ = 2-3.5 kPa/m	1.000 *	1.070 ± 0.026	1.138 ± 0.046
$s_u{}^A{}_{inc}$ = 3.5-5 kPa/m	1.030 ± 0.021	1.045 ± 0.012	1.104 ± 0.052
$s_u{}^A{}_{inc}$ > 5 kPa/m	1.019 *	1.042 ± 0.013	1.045

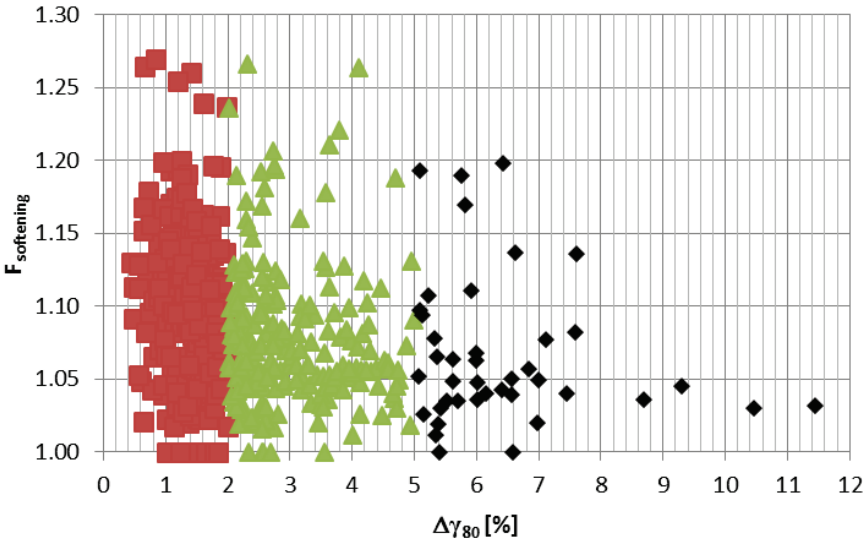
* kun et datapunkt

Tabell C1.5 Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$, kun differensiert for sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$

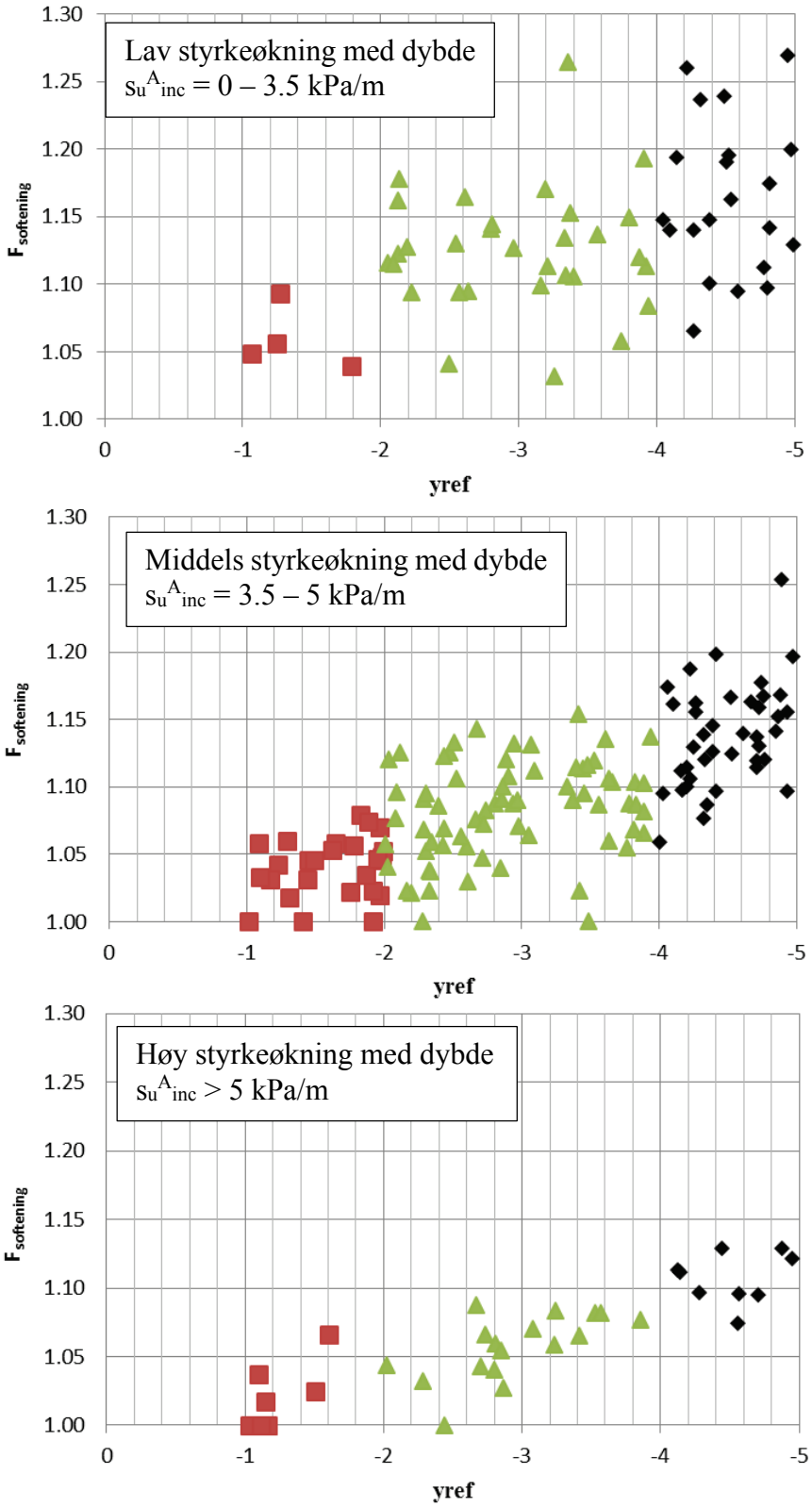
Sprøhetsparameter	Gjennomsnitt og standardavvik av $F_{softening}$
$\Delta\gamma_{80}$ = 0-2 %	1.098 ± 0.054
$\Delta\gamma_{80}$ = 2-5 %	1.078 ± 0.048
$\Delta\gamma_{80}$ > 5 %	1.067 ± 0.051



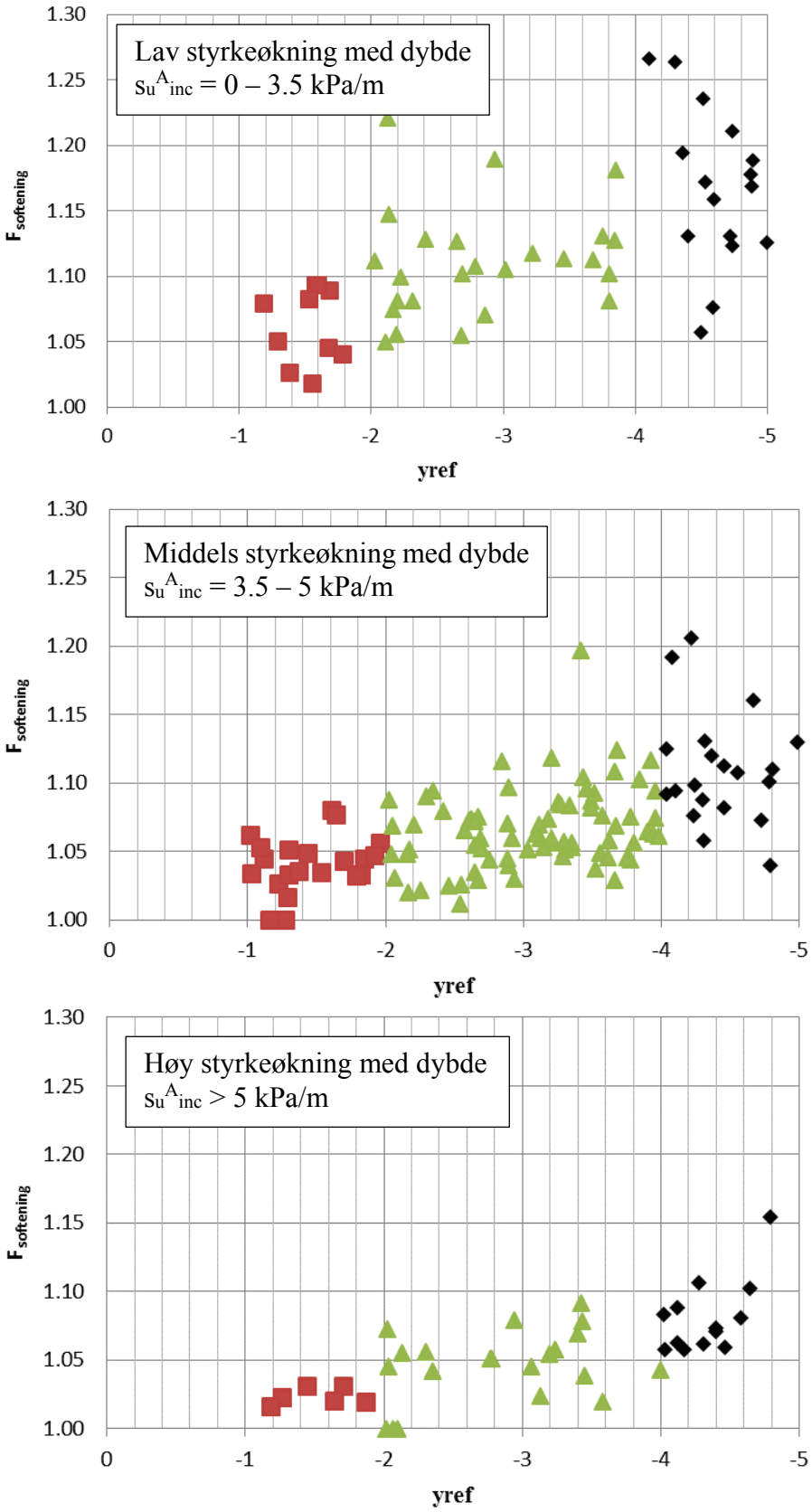
Figur C1.1 Styrkeprofilparameterne y_{ref} og $s_u{}^A{}_{inc}$



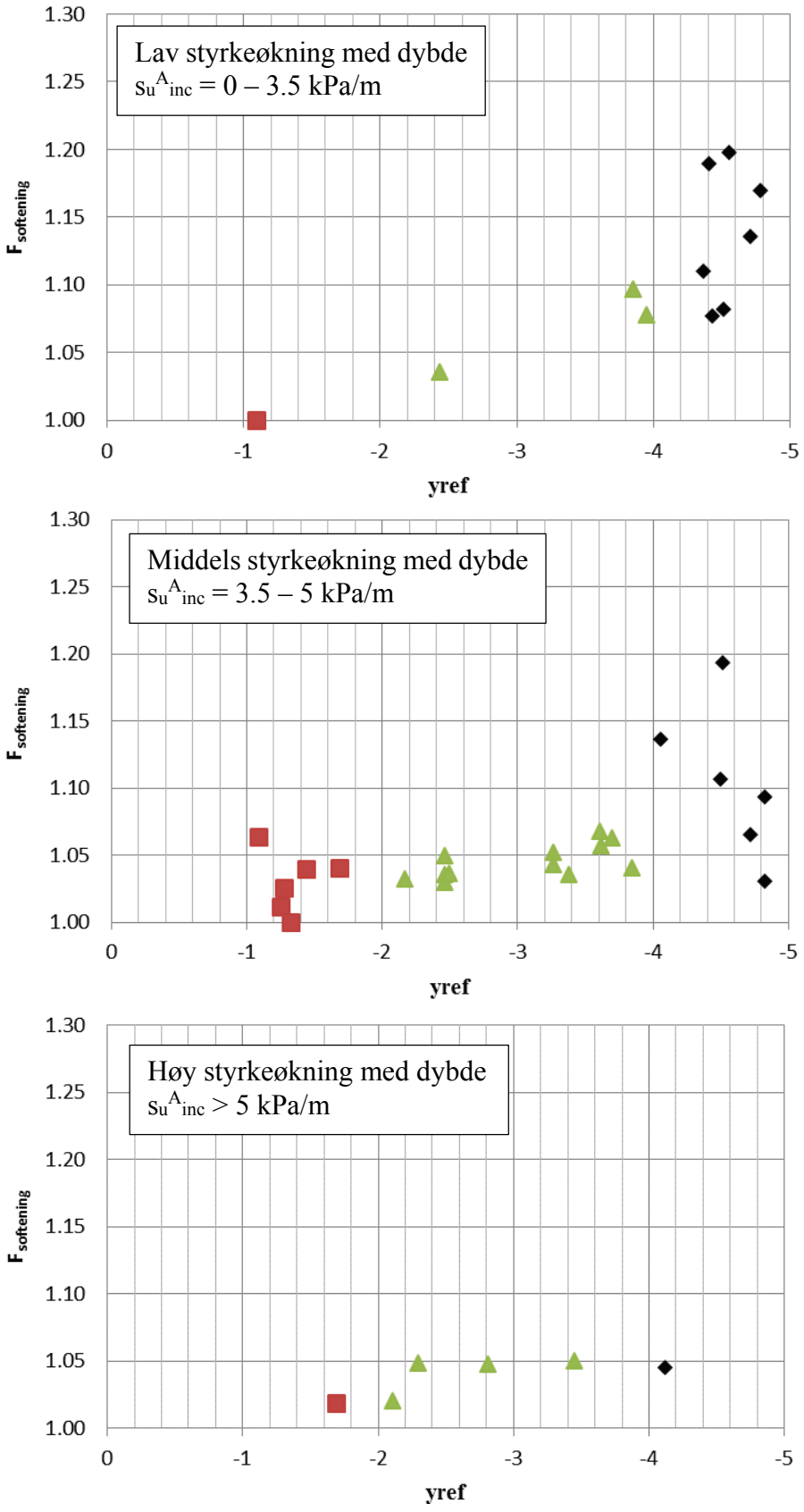
Figur C1.2 $F_{softening}$ mot sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$ = 0-2 %, 2-5 % og >5 %



Figur C1.3 Høy sprøhet, $\Delta\gamma_{80}$ = 0 – 2 %



Figur C1.4 Middels sprøhet, $\Delta\gamma_{80}$ = 2 – 5 %



Figur C1.5 Lav sprøhet, $\Delta\gamma_{80}$ > 5 %

Vedlegg D - Korrelasjoner fra NGIs blokkprøvedatabase

Innhold

D1 Korrelasjoner fra NGIs blokkprøvedatabase 2

D1 Korrelasjoner fra NGIs blokkprøvedatabase

I dette NIFS-prosjektet var den første aktiviteten å studere NGIs blokkprøvedatabase, for å se etter tydelige korrelasjoner med sprøhetsoppførsel. Motivasjonen for dette var å se om parametere fra rutineforsøk kan brukes til å estimere sprøhet rett etter maks styrke. For forsøk med god prøvekvalitet ble korrelasjoner mellom følgende parametere vurdert:

- Sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$ (økt skjærtøyning for å redusere udrenert styrke fra maks til 80 %)
- Dybde under terreng
- Sensitivitet S_t
- OCR
- Indeksparametere (w, I_p, I_L)

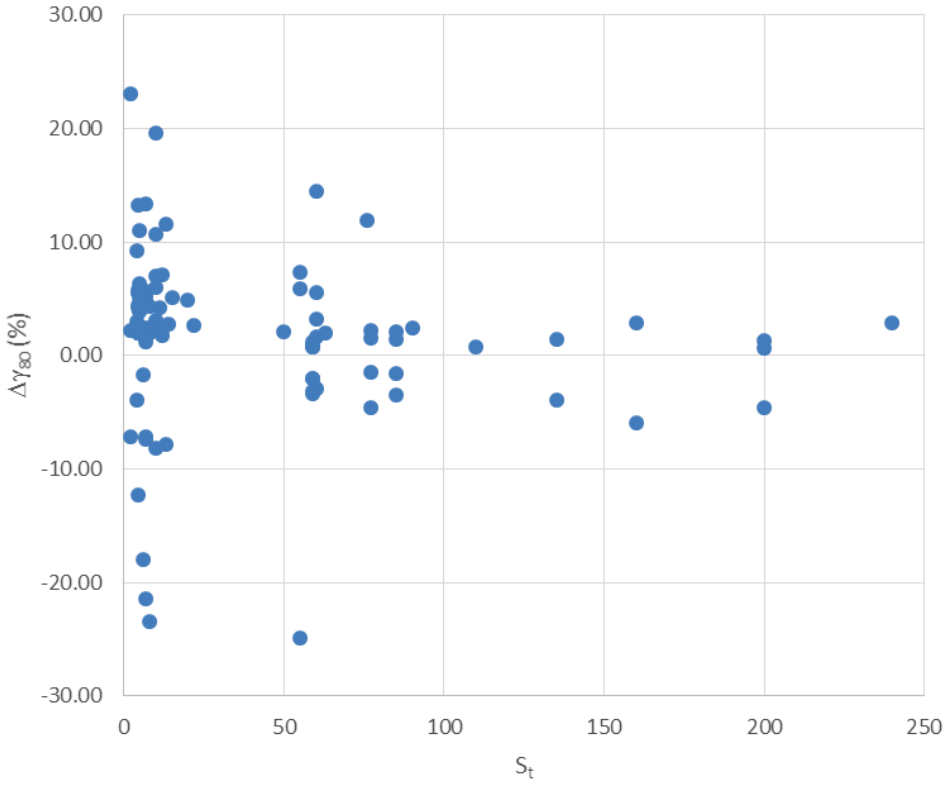
Figur D1.1, Figur D1.2, Figur D1.3, Figur D1.4, Figur D1.5 og Figur D1.6 viser korrelasjoner mellom sprøhetsparameter $\Delta\gamma_{80}$ og henholdsvis sensitivitet S_t, vanninnhold w, plastisitetsindeks I_p, likviditetsindeks I_L, OCR og dybde. Positive verdier av skjærtøyning indikerer CAUA-forsøk, negative verdier indikerer CAUP-forsøk. Generelt sett er passive forsøk noe mindre sprø enn aktive forsøk fra samme sted, men med noen unntak.

I noen av forsøkene ble ikke maks skjærstyrke redusert til 80 % i løpet av forsøket. For disse er skjærtøyningsverdien ved avslutning av forsøket benyttet i figurene. Det betyr at for enkelte punkter i diagrammene med høye skjærtøyningsverdier (lav sprøhet), skulle virkelig verdi ha vært enda større (enda lavere sprøhet).

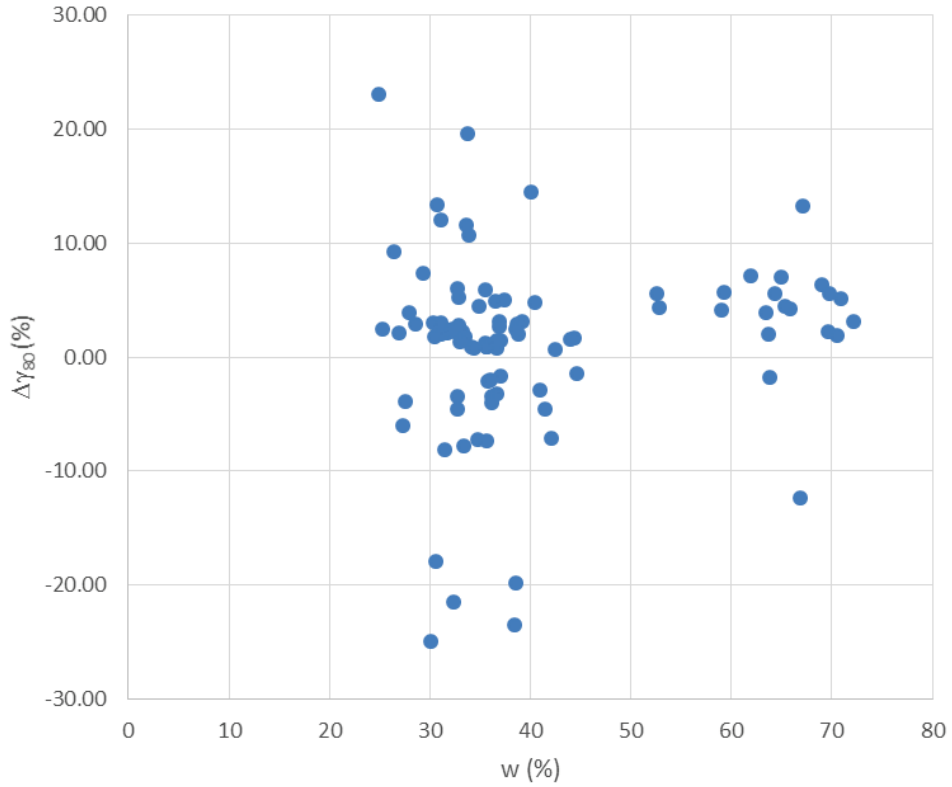
Ut ifra figurene er det ingen tydelig korrelasjon mellom lav sprøhet og indeksparametere. For høye verdier av sensitivitet og likviditetsindeks er det en klar sammenheng med høy sprøhet, men for lave verdier er det ingen klar sammenheng med lav sprøhet. En mulig årsak til dette er inhomogen deformasjon for disse prøvene, det vil si dannelse av skjærbånd som gir lokalt større skjærtøyning og dermed økt softening.

Basert på det grunnlaget som finnes i blokkprøvedatabasen i dag er derfor sensitivitet uegnet til å fastslå sprøhet (rett etter maks skjærstyrke). Med høy sensitivitet må man forvente høy sprøhet, men med lav sensitiv er det også mulig å ha et materiale med høy sprøhet. Man må derfor ha triaksforsøk på høykvalitetsprøver for å kunne fastslå sprøhetsgrad ut ifra spenning-tøyningskurvene.

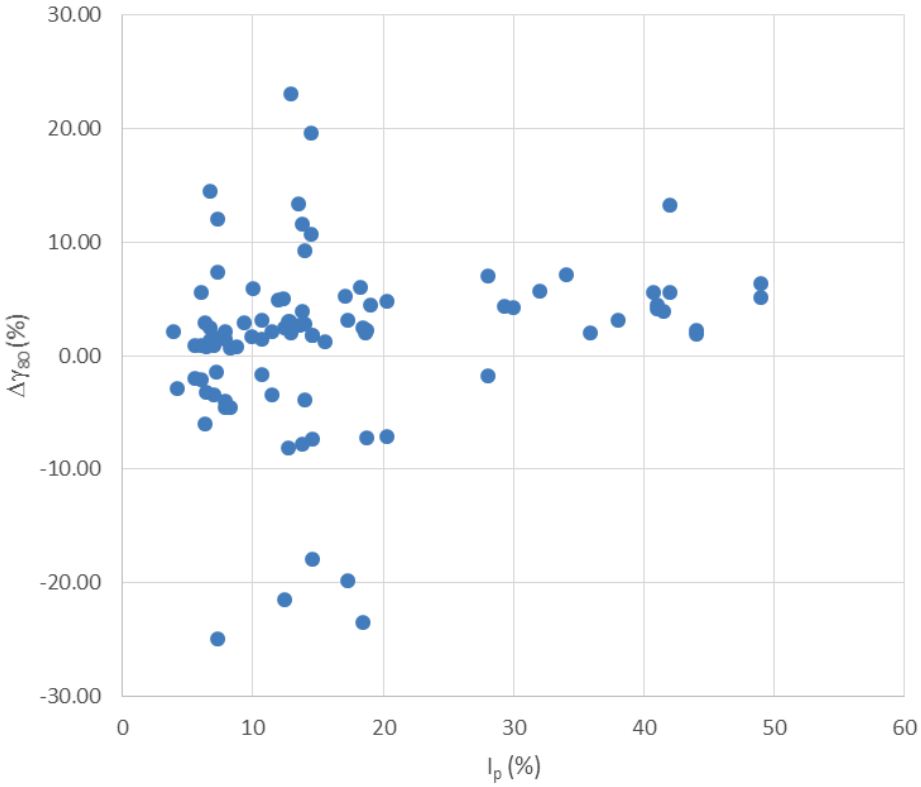
Figur D1.6 viser at sprøhetsgrad kan variere med dybde på samme sted. Det er sprøheten i materialet som er nærmest belastning som er av størst betydning for effekten av sprøbruddoppførsel. Det er der skjærstyrken mobiliseres først. Men dypere lag kan også bli fullt mobiliserte og gi redusert kapasitet på grunn av sprøhet etter maks.



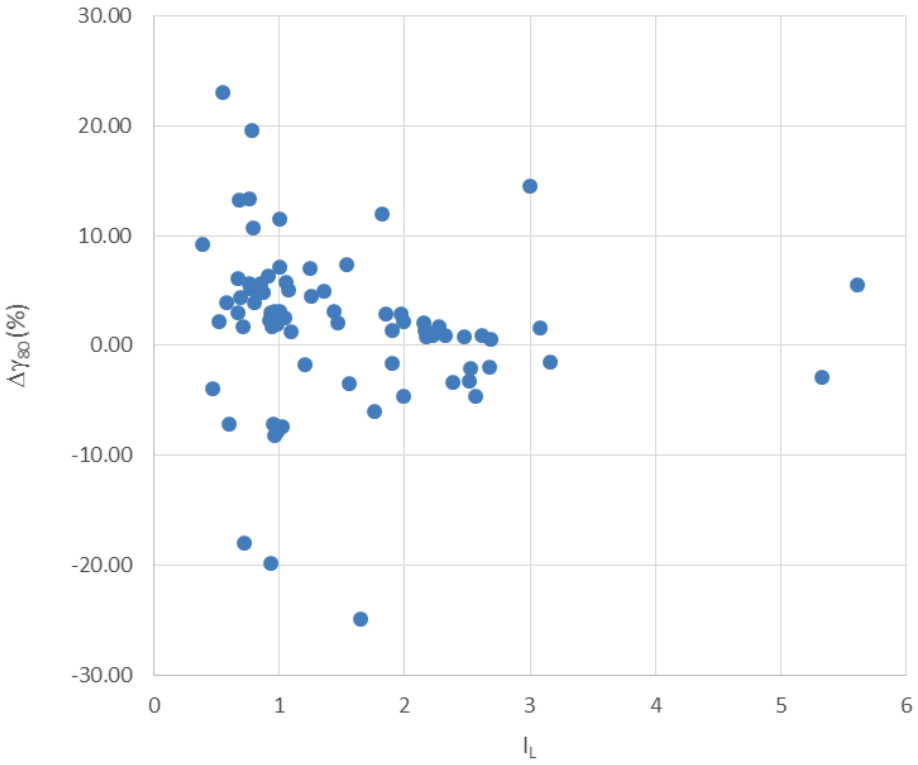
Figur D1.1 Korrelasjon mellom sprøhet $\Delta\gamma_{80}$ og sensitivitet S_t



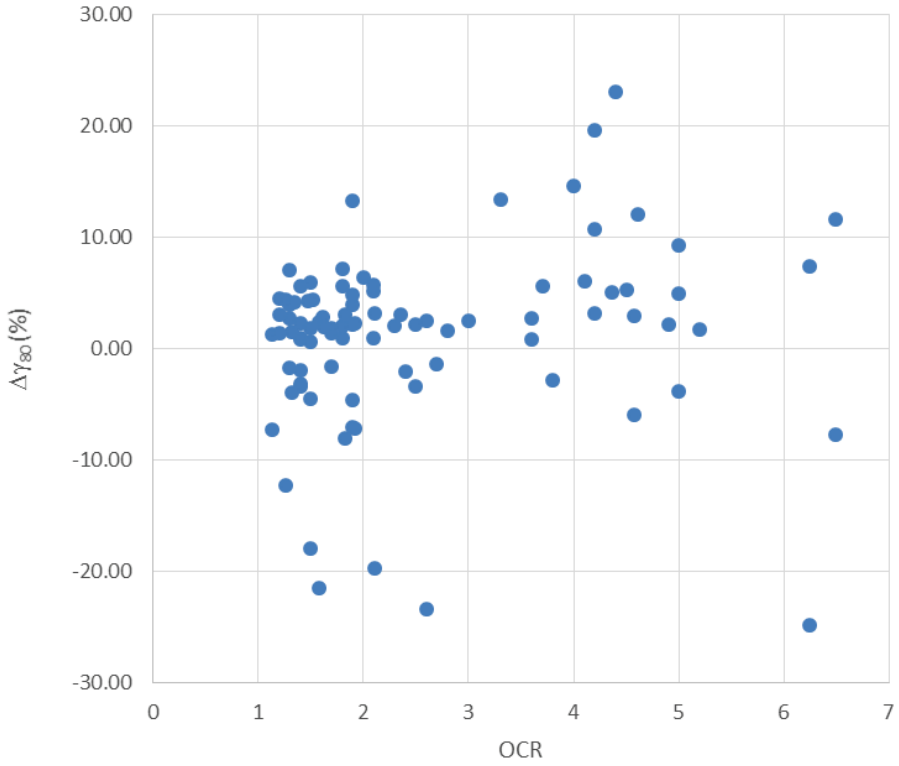
Figur D1.2 Korrelasjon mellom sprøhet $\Delta\gamma_{80}$ og vanninnhold w



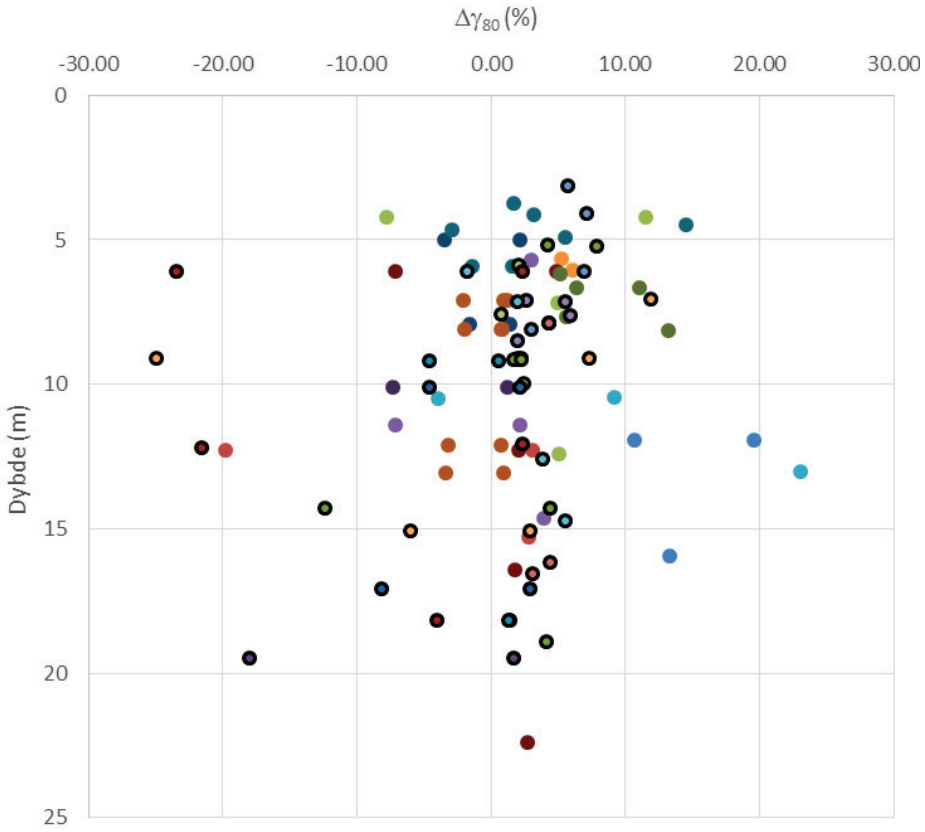
Figur D1.3 Korrelasjon mellom sprøhet $\Delta\gamma_{80}$ og plastisitetsindeks I_p



Figur D1.4 Korrelasjon mellom sprøhet $\Delta\gamma_{80}$ og likviditetsindeks I_L



Figur D1.5 Korrelasjon mellom sprøhet $\Delta\gamma_{80}$ og OCR



Figur D1.6 Korrelasjon mellom sprøhet $\Delta\gamma_{80}$ og prøvedybde

Kontroll- og referanseside/
Review and reference page

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Oppsummeringsrapport		**Dokumentnr./*Document No.*** 20140075-01-R
Dokumenttype/*Type of document* Rapport/Report	**Distribusjon/*Distribution*** Begrenset/Limited	**Dato/*Date*** 19. november 2014 **Rev.nr.&dato/*Rev.No.&date*** 0
Oppdragsgiver/*Client* NIFS		
Emneord/*Keywords* Progressivt brudd, materialfaktor, prosentvis forbedring, softeningfaktor		

Stedfesting/*Geographical information*	
Land, fylke/*Country, County*	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality*	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location*	**Sted/*Location***
Kartblad/*Map*	**Felt, blokknr./*Field, Block No.***
UTM-koordinater/*UTM-coordinates*	

Dokumentkontroll/*Document control*

Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to* NS-EN ISO9001

Rev./ *Rev.*	**Revisjonsgrunnlag/*Reason for revision***	**Egen-kontroll/ *Self review* av/*by:***		**Sidemanns-kontroll/ *Colleague review* av/*by:***		**Uavhengig kontroll/ *Independent review* av/*by*:**		**Tverrfaglig kontroll/ *Inter-disciplinary review* av/*by:***	
0		PFo		HPJ					

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date***	**Sign. Prosjektleder/*Project Manager***
	19. november 2014	Petter Fornes

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje,gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002.

www.ngi.no

Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281/IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr/Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989

Denne rapportserien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

F.o.m 51. utgivelse i 2014.

Nr. 51	Forslag til nytt vektsystem i modellen for kostnadsnormer
Nr. 52	Jord- og sørpeskred i Sør-Norge mai 2013. Monica Sund
Nr. 53	Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak for 2013
Nr. 54	Naturfareprosjekt DP. 1 Naturskadestrategi
Nr. 55	Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv...
Nr. 56	Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv...
Nr. 57	Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging..
Nr. 58	Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging...
Nr. 59	Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Likestilling mellom bruk...
Nr. 60	Skredfarekartlegging i Høyanger kommune
Nr. 61	Flaumsonekart Delprosjekt Førde. Orvedal og Peereboom
Nr. 62	Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie.
Nr. 63	Naturfareprosjektet DP. 3.2 Datasamordning Ministudie av...
Nr. 64	Naturfareprosjektet. Delprosjekt 2. Beredskap og krisehåndtering
Nr. 65	Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med...
Nr. 66	Norges vannbalanse i TWh basert på HBV-modeller.
Nr. 67	Effekt av lagringstid på prøvekvalitet. Marie Haakensen / NIFS.
Nr. 68	Effect of storage time on sample quality.Marie Haakensen / NIFS.
Nr. 69	Flomsonekart. Delprosjekt Fagernes. Ahmed Reza Naserzadeh..
Nr. 70	Status høsten 2014 - resultater og veien videre. Marie Haakense
Nr. 71	Aktive vannføringsstasjoner i Norge, Lars Evan Pettersson.
Nr. 72	Smarte målere (AMS) og feedback. VasaaETT og Heidi Kvalvåg.
Nr. 73	Filefjell og Anestølen. Evaluering av måledata for snø,..
Nr. 74	Avbrotsstatistikk 2013. Astrid Ånestad.
Nr. 75	Energibruk i undervisningsbygg. Langseth og Multiconsult m.fl.
Nr. 76	Naturfareprosjektet: Delprosjekt 2. Beredskap og krisehåndtering
Nr. 77	Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire. Haakensen.
Nr. 78	Status og prognoser for kraftsystemet 2014.Synnøve Lill Paulen
Nr. 79	Snøskredvarslingen. Evaluering av vinteren 2014. NIFS. Barfod.
Nr. 80	Norwegian Avalanche Warning Service. Program Review. NIFS. Gr a
Nr. 81	Oppsummeringsrapporter ifm høring 2-2014. Mi Lagergren.
Nr. 82	Oppsummeringsrapporter ifm høring 2-2014. Mi Lagergren.
Nr. 83	Inventory of glacier-related hazardous events in Norway.Jackson
Nr. 84	Evaluering av flomvarslingas modellverktøy. Ingjerd Haddeland.
Nr. 85	Kartlegging av oppvarmingsutstyr i husholdningene. Magnussen.
Nr. 86	Elsertifikat Årsrapport 2013
Nr. 87	Naturfareprosjektet: Droneteknologi. /NIFS.
Nr. 88	Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire. NGI/NIFS.

g.

ʒ.

en / NIFS.

g. Haakensen.

ı.

ant Statham. Emma Barfod.

ı and Galina Ragulina.

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no