



# Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

15  
2016

R  
A  
P  
P  
O  
R  
T



## Rapport nr 15-2016

### Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktør:** Einar Lyche, NVE

**Forfattere:** Stein-Are Strand, NVE, Frode Oset, Hanne Bratlie Ottesen SVV. Margareta Viklund, JBV

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:** P.O.D

**Forsidefoto:** Arkiv NVE

**ISBN** 978-82-410-1205-1

**ISSN** 1501-2832

**Sammendrag:** Rapporten inneholder anbefalinger for hvordan «Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger» kan framstilles i en framtidig utgave av Kvikkleireveilederen. Anbefalingen er en mest mulig kortfattet beskrivelse av vurderinger med krav til sikkerhet og forutsetninger for disse.

**Emneord:** naturlige skråninger, kvikkleire, stabilitet, analyseprinsipper, stabilitetsberegninger, anbefalinger, regelverk

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

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

## **Innledning**

NIFS delprosjekt 6 Kvikkleire har under deltema 6.6 «Sikkerhetsfilosofi», samt workshopen som ble gjennomført i Trondheim 8.12.2014 og dialogmøtet 09.03.2015, reist spørsmål om ikke sikkerheten ved områdestabilitetsvurderinger av naturlige skråninger med sprøbruddmateriale, uten destabiliserende naturlig påvirkning (erosjon), bør kunne anbefales vurdert basert på effektivspenningsanalyse.

Begrepet «naturlige skråninger» omfatter i denne sammenheng også utbygde skråningsområder med påstående bebyggelse og annen arrondering, som kan anses som ferdig konsolidert. Også spørsmål om forutsetninger for ny/videre utbygging i slike skråninger er omfattet av problemstillingen.

## **Arbeidsprosess**

NIFS har med utgangspunkt i problemstillingene ovenfor, ønsket løsninger nærmere utredet og vurdert av en prosjektgruppe (ekstern arbeidsgruppe + NIFS arbeidsgruppe), med anbefalinger om evt. endringer i dagens regelverk for slike områdestabilitetsvurderinger.

Prosjektgruppa har i et forberedende videomøte 28.08.2015 drøftet hvilke deltemaer som bør inngå i den videre prosessen med utredninger og vurderinger, som grunnlag for anbefaling av løsninger som beskrevet ovenfor.

Før det forberedende videomøtet hadde NIFS-gruppa utarbeidet og oversendt en foreløpig oversikt over relevante deltemaer til prosjektgruppa, som møtet skulle bygge videre på.

Proessen er deretter gjennomført som en Workshop i dagene 22. – 24.09.2015, arrangert hos NTNU Trondheim (som praktisk tilrettelegger).

I løpet av denne Workshopen har prosjektgruppa gjennomarbeidet temaet, og utformet et grunnlag for videre bearbeiding for anbefalinger og løsninger som kan legges til grunn for et bedre regelverk.

Workshopen ble gjennomført med assistanse av redaksjonell skrivehjelp, for fortløpende å kunne bearbeide og utforme anbefalinger og konklusjoner som prosjektgruppa ble forent om. Resultater i form av en sammendragsrapport er presentert i Vedlegg A.

Basert på sammendragsrapportens resultater, og videre bearbeiding av disse, har NIFS-gruppa utarbeidet en «Anbefaling» om hvordan temaet videre skal tas inn ved framtidig revisjon av NVEs Veileder nr. 07/2014: «Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper».

## **Innhold**

1	Bakgrunn .....	5
2	Diskusjon av problemstillinger .....	5
3	Sikkerhetsfilosofi for naturlige skråninger .....	6
4	Workshop .....	6
6	Referanser .....	11
	Vedlegg.....	11

## 1 Bakgrunn

Som beskrevet i innledningen, er dagens regelverk NVEs Veileder nr. 07/2014: «SIKKERHET MOT KVIKKLEIRESKRED: Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper» (etterfølgende forkortet KLV) for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger med kvikkleire basert på utførelse med udrenerte stabilitetsanalyser, med kontroll på effektivspenningsbasis. Totalspenningsanalysen blir oftest dimensjonerende for sikkerheten og evt. nødvendige sikringstiltak.

Denne framgangsmåten baserer seg på at stabilitetstilstanden i kvikkleireskråningen påvirkes av udrenerte spenningsendringer forårsaket av ytre påvirkning (tiltak med graving, fylling, vektbelastning, eller naturlig erosjon), og at dette gir en forverret områdestabilitet av den aktuelle kvikkleireskråningen.

Man har sett at dette i visse tilfeller innebærer en svært konservativ forutsetning for mange naturlige kvikkleireskråninger, hvor tiltak ikke vil utsette skråningen for udrenerte spenningsendringer - eller annen stabilitetsforverrende påvirkning.

Dagens konservative forutsetninger gir ofte som resultat – med tanke på gjeldende KLV, en områdesikkerhet lavere enn kravet. Dette igjen medfører behov for gjennomføring av sikringstiltak (som motfylling ved skråningsfot og evt. også behov for avlastning ved skråningstopp).

Slike sikringstiltak er dyre i gjennomføring, særlig når dagens sikkerhetskrav legges til grunn.

Dette gjelder ikke minst i forbindelse med sikring av eksisterende bebyggelse i kvikkleireområder med høy faregrad/høy risikoklasse i hht. KLV.

## 2 Diskusjon av problemstillinger

Problemstillingene som her diskuteres er meget sentrale og aktuelle med tanke på bransjens utfordringer med å vurdere skredsikkerhet. Det er potensiale for store samfunnsmessige besparelser, men samtidig også utfordringer med å se hvilke gyldighetsbegrensninger som ligger i å lempe på sikkerhetskrav, som ligger og venter som gevinst ved riktig anvendt sikkerhetsfilosofi.

Arbeidsgruppen fra NIFS valgte å legge grunnlaget for en anbefaling om evt. endringer/lempninger i dagens sikkerhetskrav i KLV gjennom en bred temadrøfting i form av en Workshop, med inviterte deltagere fra ledende bransjeaktører.

Arbeidet med forberedende møte 28.08.15 og Workshop 22.-24.09.2015 er utført gjennom en arbeidsgruppe med representanter fra NIFS-etatene og eksterne rådgivere fra NGI, Multiconsult NTNU og SINTEF

Eksterne deltagere har vært:

Odd Arne Fauskerud, Multiconsult

Anders Gylland, Multiconsult

Vidar Gjelsvik, NGI

Kjell Karlsrud, NGI

Arnfinn Emdal, NTNU

Steinar Nordal, NTNU

### 3 Sikkerhetsfilosofi for naturlige skråninger

Dette prosjektet er gjennomført ut fra en grunnleggende tanke: En naturlig skråning med kvikkleire innen «påvirkbar» dybde kan «dimensjoneres» sikkerhetsmessig i forhold til områdestabilitet basert på effektivspenningsanalyse med «normale krav» til sikkerhet. En hovedforutsetning er da at skråningen ikke utsettes for udrenerte spenningsendringer.

Samtidig, i erkjennelse av at det i virkeligheten kan opptre uforutsette situasjoner som kan utfordre forutsetningen om ingen negativ områdestabilitetspåvirkning (ingen udrenerte spenningsendringer), har man i anbefalingen innbygd en samtidig forutsetning om at den naturlige skråningen skal ha innebygd en viss robusthet mot slik påvirkning. Denne forutsetningen er representert ved krav om en minimums områdesikkerhet på totalspenningsbasis.

I tillegg skal alltid lokalstabiliteten i forbindelse med et tiltak minimum tilfredsstillende sikkerhetskrav som er bestemt i Eurokode 7.

En annen grunnleggende viktig forutsetning er at skråninger, som kan være utsatt for erosjon (raviner, bekker, elver, bølger), skal sikres mot (naturlig) erosjonspåvirkning. Slik påvirkning gir en ukontrollerbar stabilitetsforverring lokalt, som igjen kan utløse mindre utglidninger/skred (initialskred), som i neste omgang utvikler et brudd i kvikkleira som medfører områdeskred i skråningen med sine omgivelser.

### 4 Workshop

Temaer i og resultat fra Workshopen er sammenfattet i SINTEF-rapport SBF20160044: «Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger på effektivspenningsbasis».

Rapporten ligger som Vedlegg A i nærværende rapport.

I rapporten framgår alle foredrag/innledende presentasjoner, diskuterte deltemaer, samt konklusjoner og anbefalinger (så langt). Rapporten avslutter med temaer for oppfølging, i følgende hovedpunkter:

- Grunnlag for implementering av anbefalinger.
- Konsekvenser av endringer i vurdering av skråningsstabilitet
- Supplerende oppgaver

På bakgrunn av resultatene fra Workshopen har NIFS-arbeidsgruppa og spesielt NVE bearbeidet materialet, med mål om å komme fram til en omforent anbefaling for hvordan temaet/problemstillingene kan framstilles i en framtidig (revidert) utgave av KLV. Anbefalingen er en mest mulig kortfattet beskrivelse av vurderinger med krav til sikkerhet og forutsetninger for disse, i en form som er tilpasset utformingen av KLV.

Anbefalingen, i sin form, favner ikke alle momenter som er relevante for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger. En del av momentene og underliggende vurderingsbehov vil bli omtalt/belyst ny KLV, i aktuell tilknyttet tekst.

Anbefalingen som sådan har blitt til gjennom en kommentarutveksling i 2 runder mellom NIFS-arbeidsgruppa og de eksterne deltakerne i Workshopen. Her er alle synspunkter forsøkt tatt hensyn til og koordinert, slik at resultatet i alt er vesentlig omforent.

I neste omgang vil anbefalingen inngå som grunnlag for revisjon av KLV. Revisjonsutkast til ny KLV vil bli sendt ut på høring bredt i fagmiljøet, som her vil bli gitt anledning til å kommentere resultatet ut fra en helhetsframstilling.

## 5 Anbefaling

### Vurdering av sikkerhet i naturlige skråninger:

Naturlige skråninger i etterfølgende sammenheng omfatter i både jomfruelige, ubebygde skråninger, og naturlige skråninger med eksisterende bebyggelse/inngrep (skjæring/fylling), såfremt tilstanden er ferdig konsolidert/uten pågående spenningsendringer av betydning.

Videre gjelder anvisningene nedenfor kun naturlige skråninger der beregningsmessig kritiske skjærflater kan påvirke kvikkleire/sprøbruddmateriale i skråningen.

#### **1) Effektivspenningsanalyse kan benyttes for å beregne en naturlig skrånings sikkerhet, under forutsetning av:**

- 1.1: At skråningen er i en permanent, dvs.tilnærmet stasjonær spenningstilstand innenfor poretrykkets naturlige variasjon med årstider, herunder også medregnet påregnelig/erfaringsmessig virkning fra langvarig nedbør i hht. KLV <sup>1</sup>
- 1.2: At poretrykksfordelingen er godt undersøkt i skråningen og at det tas hensyn til variasjoner som nevnt ovenfor.
- 1.3: At det ikke er aktiv erosjon i skråningen, eller at skråningen er erosjonssikret (erosjon som potensielt kan medføre fare for udrenerte spenningsendringer, dvs. at fare for lokal undergraving/utglidning i skråningen på forhånd forbygges/erosjonssikres). Det forutsettes at sikringstiltaket lokalt ikke endrer spenningstilstanden negativt.
- 1.4: At lagdeling, effektive styrkeparametere og tyngdetetthet er tilfredsstillende bestemt i hht. KLV <sup>2</sup>

Under disse forutsetninger anses en minste sikkerhet  $F_{c\phi} \geq 1,25$  som tilfredsstillende for skråningen basert på effektivspenningsanalyse.

- 1.5: Dersom  $F_{c\phi} \geq 1,25$  ikke oppnås, skal det gjennomføres stabilitetsforbedrende tiltak. Krav til forbedring vil framgå av KLV <sup>3</sup>.

#### **2) Totalspenningsanalyse kreves i tillegg for å dokumentere tilstrekkelig robusthet mot uforutsette situasjoner.**

Som krav til robusthet av naturlig skråning mot uforutsette situasjoner kreves en minste sikkerhet på  $F_c = 1,20$ , utført ved totalspenningsanalyse.

For totalspenningsanalysen legges da følgende til grunn:

- 2.1: Beregninger og vurderinger av skråningens robusthet forutsettes utført ved totalspenningsanalyse. Middelerverdi for fasthetsparametere og reduksjon av peak fasthet for rate-effekt benyttes i hht. anbefalinger gitt i KLV kap.<sup>4</sup> Se også ref./2/ og /3/.
- 2.2: Kontroll av skråningens områdestabilitet på totalspenningsbasis må oppfylle ett av følgende krav:
  - Sikkerhet  $F_c > 1,20$
  - Hvis  $F_c \geq 1,20$  ikke oppnås, skal det gjennomføres stabilitetsforbedrende tiltak. Krav til forbedring vil framgå av KLV<sup>5</sup> (absolutt eller %-vis modell). Samtidig forutsettes at selve

KLV = «Kvikkleireveilederen» (NVEs Veileder for «Sikkerhet mot kvikkleireskred»). Gjeldende utgave NVE-V07/2014.

<sup>1</sup> Anbefalt standard metode/modell for å estimere ekstremverdier planlegges utredet i 2016. Utrede og Innarbeides i revidert utgave (antatt 2017) av KLV.

<sup>2</sup> I hht anbefalinger i revidert utgave (antatt 2017) av KLV.

<sup>3</sup> Innarbeides i revidert utgave (antatt 2017) av KLV.

<sup>4</sup> Henviing til revidert utgave (antatt 2017) av KLV. I gjeldende KLV: Gitt i kap.7: Stabilitetsvurderinger.

<sup>5</sup> Innarbeides i revidert utgave (antatt 2017) av KLV.



tiltaket har tilfredsstillende lokalstabilitet  $F_c \geq 1,40$ , og at tiltaket ikke på noe tidspunkt under utførelsen forverrer stabiliteten.

#### Eksempler:

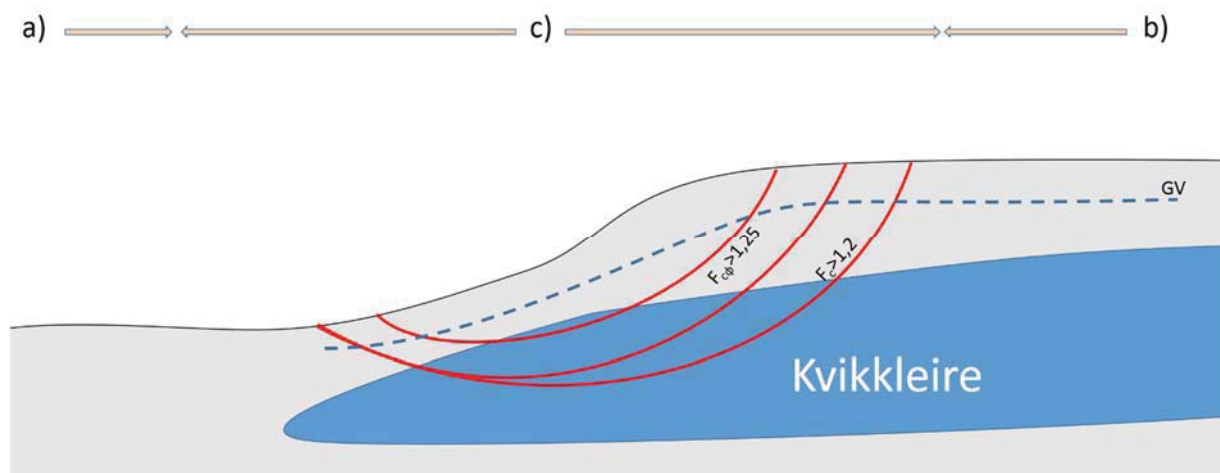
i) Utgjør tiltak med f.eks. stabiliserende fylling langs fot/bunn av ravineskråninger fare for lokale udrenerte spenningsendringer begrenset til skråningsfot lokalt, vurderes tiltakets lokalstabilitet ut fra krav om  $F_c \geq 1,40$ .\*

ii) Tiltak med avlastning på skråningstopp vil vanligvis ikke medføre udrenerte spenningsendringer utover i skråningen. For skjæring innenfor avlastet område på skråningstopp med bakenforliggende terreng kreves lokalstabilitet  $F_c \geq 1,40$ .\*

\*) For lokalstabilitet er kravet  $F_c \geq 1,40$  i hht. Eurokode 7, eller alternativt strengere etter evt. etatsspesifikt strengere regelverk.

2.3: Sikkerhetsprinsippet for naturlige skråninger, som beskrevet foran, forutsetter altså at det ikke gjennomføres tiltak i områdene (a) og (b), se figur 1<sup>6</sup>, som gir negativ påvirkning på dagens skråningsstabilitet innenfor område (c). Se utfyllende figurtekst.

2.4: Dersom det ønskes gjennomført tiltak innenfor område (c), som vil gi direkte negativ påvirkning av skråningens kritiske glideflater, må tiltakets negative virkning oppheves fullt ut ved avlastning (utgraving, kompensert fundamentering o.l.), evt. utførelse av motfylling eller grunnforsterkning – forutsatt at utførelse ikke midlertidig svekker stabiliteten. Dersom slik kompensering ikke gjennomføres, er stabilitetstilstanden i skråningen å betrakte som lokalstabilitet (Eurokode 7), med tilhørende sikkerhetskrav



Figur 1. Påvirkningsområder (a – b – c) for stabilitet i naturlige skråninger.

Figur 1 med områdene a) - b) - c) er ment som en illustrasjon for å skille typiske områder hvor det kan tenkes gjennomført bygge – og anleggstiltak, hvor sikkerheten mot skred må beregnes/vurderes:

<sup>6</sup> Figurnummeret gjelder dette implementeringsnotatet. Rénummereres i revidert utgave (antatt 2017) av KLV

- Område a): Utbyggingstiltak her vil typisk ikke påvirke spenningstilstanden i skråningen. Gjelder også ved utgraving innenfor «rimelighetens grenser». Her er det utløpsproblematikk som er utfordringen knyttet til skred.
- Område b): Utbyggingstiltak i dette området forutsettes avgrenset et stykke bak skråningstoppen, slik at tiltaket ikke vil påvirke spenningstilstanden ut mot skråningen. Her er det fare for å bli rammet av retrogressiv skredutvikling (startet med et initialskred) som er problemstillingen.
- Område c): Utbyggingstiltak her vil direkte kunne påvirke spenningstilstanden i skråningen negativt.

Grensedragningen mellom disse tre typiske områdene vil variere ut fra topografi (type skråning, høydeforskjell osv.), og lagdeling (og skredtype), og mål/bør i hvert enkelt tilfelle vurderes av geoteknisk fagkyndig – gjennom kontroll med stabilitetsberegninger hvis nødvendig.

Det forutsettes utført uavhengig kvalitetssikring av både prosjektering og utførelse i hht. KLV.

**Ved implementering av ovenstående tekst, vil samtidig etterfølgende Tillegg – sammen med andre overordnede/generelle kommentarer, bli innarbeidet i relevant del av revidert KLV.**

## Tillegg:

I revidert utgave (antatt 2017) av KLV, som NVE arbeider med i 2016, vil det innarbeides følgende støttetekst under kapittel om utførelse av stabilitetsvurderinger:

*Ved vurdering av sikkerhet mot skred er det viktig med en helhetlig tilnærming.*

Dette innebærer at:

- Bestemmelse av lagdeling og spesielt kvikkleiras beliggenhet i de aktuelle skråninger må tillegges stor vekt i vurderingene, som grunnlag for vurdering av aktuelle brudd-typer (kritiske glideflater).
- Også anbefalinger som resultat av følgende NIFS-delprosjekter bør legges til grunn for sikkerhetsvurderingene:
  - 6.4: «Detektering av kvikkleire» - NIFS/NVE rapport 126/2015, ref./1/
  - 6.5: «En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer» - NIFS/NVE-rapport 14/2014, ref./2/
  - 6.5: «Valg av karakteristisk cua – profil basert på felt – og laboratorieundersøkelser» - NIFS/NVE-rapport 77/2014, ref./3/
  - 6.7: «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred» - NIFS/NVE-rapport 14/2016, ref./4/
  - 6.1: «Grense mellom lokal- og områdestabilitet» - NIFS/NVE-rapport 08/2016, ref /5/

Økt minstekrav til sikkerhet for effektivspenningsanalyse enn angitt for naturlige skråninger ( **$F_{c\phi} \geq 1,25$** ) kan fritt fastsettes av tiltakshaver (byggherre), basert på egen spesifikk konsekvensbasert risikovurdering.

*Det vil i samme kapittel være naturlig også å vise til grensedragningen mellom hva som definisjonsmessig kan betraktes som henholdsvis lokal – og områdestabilitet, ref. /5/, samt at NIFS/NVE-rapport 14/2016: «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred» kan være et nyttig verktøy i en helhetlig vurdering av problemstillingen.*

## 6 Referanser

(Se også referanselisten i sammendragsrapporten fra SINTEF - Vedlegg A.)

- /1/ «Detektering av kvikkleire» - NIFS/NVE rapport 126/2015.
- /2/ «En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer» - NIFS/NVE-rapport 14/2014,
- /3/ «Valg av karakteristisk cua – profil basert på felt – og laboratorieundersøkelser» - NIFS/NVE-rapport 77/2014
- /4/ «Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred» - NIFS/NVE-rapport 14/2016.
- /5/ «Grense mellom lokal- og områdestabilitet» - NIFS/NVE-rapport 08/2016.
- /6/ Norsk Standard NS-EN 1997-1:2004+NA:2008. Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering Del 1: Allmenne regler.

## Vedlegg

Vedlegg A: SINTEF-rapport SBF20160044: «Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger på effektivspenningsbasis»

SBF20160044 - Åpen

# Rapport

## Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger på effektivspenningsbasis

Sammendragsrapport fra Work-shop

### **Forfatter(e)**

Stein Olav Christensen  
Arnstein Watn



SINTEF Byggforsk

Postadresse:  
Postboks 4760 Sluppen  
7465 TrondheimSentralbord:  
Telefaks: 73595340Foretaksregister:  
NO 948 007 029 MVA

# Rapport

## Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger på effektivspenningsbasis

EMNEORD:  
GeoteknikkVERSJON  
1.0DATO  
2015-10-08FORFATTER(E)  
Stein Olav Christensen  
Arnstein WatnOPPDRAKSGIVER(E)  
NIFS DP6OPPDRAKSGIVERS REF.  
Kristian Aunaas, SVVPROSJEKTNR  
102011822ANTALL SIDER OG VEDLEGG:  
16 + 3 vedlegg

### SAMMENDRAG

#### Overskrift sammendrag

NIFS-prosjektet har arrangert en workshop rettet mot sikkerhetsfilosofi for inngrep i områder med kvikkleire og sprøbruddsmaterialer. Denne rapporten gir en oppsummering av presentasjoner, diskusjoner konklusjoner og tilrådinger i forbindelse med work-shopen.

Det er konkludert med at for naturlig/eksisterende skråninger i en stasjonær tilstand kan vurdering av stabilitet baseres på effektivspenningsanalyse. Det er gitt forslag til kriterier for når slike analyser kan benyttes, prinsipper for sikkerhetsvurderinger, krav til grunnlag, oppfølging og kontroll.

Rapporten inneholder også en tilråding om hva som må suppleres før forslagene kan implementeres, og forslag til videreføring av enkelte tema.

UTARBEIDET AV  
Stein Christensen

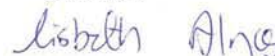
SIGNATUR

KONTROLLERT AV  
Kjell Arne Skoglund

SIGNATUR

GODKJENT AV  
Lisbeth-Ingrid Alnæs

SIGNATUR

RAPPORTNR  
SBF20160044ISBN  
978-82-14-05815-4GRADERING  
ÅpenGRADERING DENNE SIDE  
Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
01	2015-10-08	Høringsutkast

---

1.0	2015-10-08	Endelig
-----	------------	---------

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrunn</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Prosjektgruppen</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Arbeidsform</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Innledende presentasjoner</b> .....	<b>5</b>
5.1	Dagens regelverk .....	5
5.2	Avgrensing mellom lokal/områdestabilitet .....	6
5.3	Betydning progressiv bruddutvikling .....	7
<b>6</b>	<b>Diskuterte tema</b> .....	<b>7</b>
6.1	Avgrensing av begrep "naturlig skråning" .....	7
6.2	Forutsetninger for bruk av effektivspenningsanalyse .....	7
6.3	Rammebetingelser for bruk av effektivspenningsanalyse .....	8
6.4	Sikkerhetsnivå .....	8
6.5	Forutsetninger for stabilitetsvurderingene .....	10
6.6	Andre faktorer .....	12
<b>7</b>	<b>Konklusjoner og anbefalinger</b> .....	<b>13</b>
7.1	Rammebetingelser: .....	13
7.2	Betingelser knyttet til bruk av effektivspenningsanalyser: .....	13
7.3	Sikkerhetsprinsipper .....	13
7.4	Robusthet .....	14
<b>8</b>	<b>Tema for oppfølging:</b> .....	<b>15</b>
8.1	Grunnlag for implementering av anbefalinger .....	15
8.2	Konsekvenser av endringer i vurdering av skråningsstabilitet .....	15
8.3	Supplerende oppgaver .....	15
<b>9</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>16</b>

## BILAG/VEDLEGG

Vedlegg A Deltemaer for diskusjon på Workshop naturlige skråninger

Vedlegg B Dagsprogram

Vedlegg C Innledende presentasjoner

## 1 Innledning

SINTEF, NGI, NTNU, Multiconsult, Jernbaneverket, NVE og SVV har gjennomført en work-shop i tilknytning til etatsprogrammet NIFS (Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skredfare). Work-shopen er knyttet til DP6 (kvikkleire) med oppdragstittel: " Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger<sup>1)</sup> på effektivspenningsbasis". Målsettingen med work-shopen var å komme fram til omforente kriterier for å avklare/konkludere hvilke minimums forutsetninger (felles multiplum) som må ligge til grunn for å anse at en effektivspenningsanalyse av en naturlig skråning<sup>1)</sup> vil gi riktig uttrykk for skråningens dimensjonerende sikkerhet.

## 2 Bakgrunn

Begrepet «naturlige skråninger» omfatter i denne sammenheng også utbygde skråningsområder med eksisterende bebyggelse og arrondering som kan anses som ferdig konsolidert. Evt. videre utbygging med negativ påvirkning for områdestabiliteten i slike skråninger skal kreves vurdert på totalspenningsbasis.

Krav til analyse av områdesikkerhet av naturlige skråninger ved effektivspenningsanalyser skal vurderes, med forslag/anbefalinger til praktisering. Like viktig er det å vurdere/angi nødvendige gyldighetsbegrensninger ved bruk av denne metoden.

Analysemetoden skal gi føring for vurdering av nødvendige sikringstiltak i forhold til både ubebygde skråninger - og skråninger med eksisterende bebyggelse, mens dimensjonering av sikringstiltakene også skal baseres på totalspenningsanalyse (dagens regelverk). Lokal sikkerhet mot totalspenningsbrudd ved skråningsfot skal inkluderes i vurderingene.

I denne sammenheng ønskes også vurdert om det vil være riktig også å legge effektivspenningsanalyse til grunn for områdemessig sikkerhetsvurdering av planlagt bebygde skråninger, der den negative påvirkning på den områdemessige sikkerhetsfaktoren blir liten.

NIFS ønsker problemstillingene ovenfor inkl. løsninger nærmere utredet og vurdert av prosjektgruppen (ekstern arbeidsgruppe + NIFS arbeids-gruppe), med anbefalinger om evt. endringer i dagens regelverk for slike områdestabilitetsvurderinger.

---

<sup>1)</sup> Begrepet «Naturlig skråning» er en arbeidstittel. I utgangspunktet tenkes at begrepet også inkluderer eksisterende skjæringsskråninger og fyllingsskråninger på leire. Felles er at alle disse skråningene i alder er så gamle at de i sin nåværende tilstand mht. poretrykk- og spenninger må kunne anses som tilnærmet fullt ut konsolidert, kjennetegnet ved en stasjonær poretrykk- og spenningstilstand. Kan det for praktiske formål settes en minimums alder (f.eks. 30 år) for å anse slike skråninger som tilstrekkelig konsolidert i denne sammenheng, forutsatt i alt vesentlig uendrede påkjenninger gjennom denne tiden? Dette vil være én vesentlig forutsetning å diskutere, med alle underliggende faktorer som innvirker på denne tilstanden.



### 3 Prosjektgruppen

Det er opprettet en prosjektgruppe bestående av representanter fra de samarbeidende etatene i NIFS-prosjektet sammen med deltakere fra NGI, NTNU, SINTEF og Multiconsult som har vært utførende av deloppgaver i arbeidspakke 6 i NIFS-prosjektet.

Prosjektgruppen består av følgende personer:

<b>Deltaker</b>	<b>Forkortelse</b>	<b>Tilhørighet</b>
Einar Lyche	ELY	NVE
Stein-Are Strand	SAS	NVE
Arnstein Watn	AWA	SINTEF
Stein Olav Christensen	SOC	SINTEF
Steinar Nordal	SNO	NTNU
Arnfinn Emdal	AEM	NTNU
Vidar Gjelsvik	VGJ	NGI
Kjell Karlsrud	KKA	NGI
Anders Gylland	AGY	Multiconsult
Odd-Arne Fauskerud	OAF	Multiconsult
Margaretha Wiklund	MWI	JBV
Frode Oset	FOS	SVV
Hanne Bratlie Otttesen	HBO	SVV
Kristian Aunaas	KAU	SVV

### 4 Arbeidsform

Det ble gjennomført et forberedende møte 2015-08-28 v/NGI i Trondheim. På bakgrunn av dette møtet fikk en mindre komite ansvar for å forberede innhold og oppgaver til en samling over 3 dager som ble avholdt 2015-09-22 – 2015-09-24 v/NTNU i Trondheim. Komiteen utarbeidet dagsprogram for samlingen som er vist i Vedlegg B

Denne rapporten gir et sammendrag av presentasjoner og diskusjoner under work-shopen. Rapporten gir også konklusjoner og tilrådinger i forhold til vurdering av skråningsstabilitet av naturlig/eksisterende skråning i kvikkleireområder, samt forslag til implementering og forslag til oppgaver for videre arbeid.

### 5 Innledende presentasjoner

#### 5.1 Dagens regelverk

Dagens regelverk og praktisering av dette ble presentert av Stein Are Strand (NVE), se vedlegg C. Rammebetingelsene for vurdering av skråningsstabilitet er gitt i Plan og Bygningsloven (PBL §28-1 Byggegrunn, miljøforhold, PBL §29-5. Tekniske krav) og TEK 10, kap. 7. (/ 1/). Sikkerhet mot naturpåkjenninger.

NVEs veileder 7/2014 «Sikkerhet mot kvikkleireskred–vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre sprøbruddegenskaper» (/ 2/) gir retningslinjer for vurdering av skråningsstabilitet i områder med kvikkleire og sprøbrudd. Noen hovedpunkter fra veilederen:

- Sikkerheten mot utglidning av en skråning skal bestemmes både for dagens situasjon med drenert jordoppførsel, og for hendelser som kan medføre udrenert jordoppførsel og bruddutvikling.

- Oppfylling, erosjon eller annen utgraving i skråning samt ekstrem nedbør er eksempler på hendelser som kan medføre udrenert jordoppførsel og bruddutvikling.
- Praksis: både drenerte og udrenerte beregninger legges til grunn alltid, og udrenert oftest som «dimensjonerende».
- §7-3. Sikkerhet mot skred
  - (1) For lokalstabilitet vil forskriftens krav til sikkerhet være oppfylt dersom prosjektering skjer i samsvar med §10-2. Konstruksjonssikkerhet
  - (2) Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot brudd og tilstrekkelig stivhet og stabilitet for laster som kan oppstå under forutsatt bruk. Kravet gjelder byggverk under utførelse og i endelig tilstand.
  - (3) Grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet, herunder grunnforhold og sikringstiltak under utførelse og i endelig tilstand, kan oppfylles ved prosjektering av konstruksjoner etter Norsk Standard NS-EN 1990 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og underliggende standarder i serien NS-EN 1991 til NS-EN 1999, med tilhørende nasjonale tillegg.

Håndbok V220 – geoteknikk i vegbygging (/ 3/)

- SAK 10 §4-3. Unntak fra krav i plan – og bygningsloven for visse tiltak som behandles etter andre lover.
- NIFS DP6 Kvikkleire (/ 4/)
  - Definisjon av lokal- og områdestabilitet.
  - Lokalstabilitet:
    - Praktisk bruk av dette er fortsatt ikke avklart. Betegnelsen på en lokalt avgrenset stabilitetstilstand med mulighet for brudd (utglidning) i grunnen. Bruddet begrenses til det lokale påvirkningsområdet for spenningsendringen som har oppstått i skråningen. Typiske eksempler er lokalt grunnbrudd under fylling eller fundament, lokal utglidning ved graving i skråning i byggegrop eller i skjæring (stabilitetsbrudd), eller lokal utglidning i naturlig skråning som følge av poretrykksendring eller erosjon.
  - Områdestabilitet:
    - En stabilitetstilstand der et initialt brudd kan igangsette en progressiv frem- eller bakoverrettet bruddutvikling i tilstøtende sprøbruddmaterialer, slik som er typisk for kvikkleire. Skredet kan bli omfattende dersom det omrørte sprøbruddmaterialet får fritt utløp i fallende terreng.

## 5.2 Avgrensing mellom lokal/områdestabilitet

NIFS har utført et delprosjekt for å se på grensedragning mellom lokal- og områdestabilitet. Frode Oset (SVV) presenterte en del resultat og konklusjoner fra dette arbeidet. Det ble tatt utgangspunkt i en forutsetning om at avgrensing av "influenssone", dvs område som blir påvirket av et inngrep settes ved at endringen av materialfaktor som følge av tiltaket er mindre enn 5%.

Med denne forutsetning er det gjennomført flere beregninger av SVV, Multiconsult, NGI og SINTEF. Beregningen viser at det er betydelig usikkerhet knyttet til forutsetningen for å legge en betingelse på 5% endring til grunn og at det vil variere hvordan dette blir tolket avhengig av den som gjør beregningene.

### 5.3 Betydning progressiv bruddutvikling

Arbeid utført av NGI vedrørende progressiv bruddutvikling ble presentert av Vidar Gjelsvik (NGI).

- Effekt av prøvetaking på udrenert skjærstyrke (blokkprøver kontra 95/75/54mm, / 5/)
- Hensyn til sprøbruddeffekt
- Økning av sikkerhetsfaktor (lump sum)
- Reduksjon av fasthet i sensitive lag (0-10% i snitt, variasjon innen ADP)

Beregningsmessig effekt av sprøbrudd med softening – case studier utført av NGI i NIFS (/ 6/). Resultatene fra analyser utført av NGI viser en middelværdi ca. 10%, mens verdiene for softeningfaktoren ( $F_{\text{softening}}$ ) varierer fra få prosent til 25%. Analysene er utført med variasjon av styrke ( $s_u^{\text{A}_{\text{ref}}}$ ) og dybde av topplag ( $y_{\text{ref}}$ ), helning av skjærstyrke i underliggende lag ( $1/s_u^{\text{A}_{\text{inc}}}$ ) og skjærtøyningsnivå  $\Delta\gamma_{80}$  som representerer 20% reduksjon av peakstyrke.

## 6 Diskuterte tema

### 6.1 Avgrensing av begrep "naturlig skråning"

#### Naturlige skråninger

Avgrensingen av hva som skulle forstås med begrepet "naturlig" skråning ble diskutert. Enighet om at dette også måtte omfatte skråninger med eksisterende bebyggelse forutsatt at de var i en stasjonær tilstand, enighet om å benytte begrepet naturlig/eksisterende skråning. Avgrensingen av dette er:

- Stabil, stasjonær spenningstilstand.
- Inkluderer naturlige (drenerte) årstidsvariasjoner (modell bør utarbeides). Påvirkes for øvrig ikke av ekstremnedbør. ROS for flomsituasjoner.
- Ikke gyldig hvis pågående spenningsendring, f.eks. fra kraftig erosjon

### 6.2 Forutsetninger for bruk av effektivspenningsanalyse

Forutsetninger for å legge effektivspenningsanalyse til grunn for vurdering av skråningsstabilitet er gitt punktvis under:

#### Lagdeling/morfologi.

- Effektivspenningsanalyse av skråningen kan benyttes dersom initialskred beregningsmessig ikke går ned i sprøbruddmateriale. Det modifiserte L/H kriteriet (som inkluderer lengde og høyde av skråning og lokalisering av kvikkleire) legges til grunn for å vurdere området som berøres av et potensielt kvikkleireras.

#### Spenningstilstand, herunder tidligere opplevd påkjenning

- Spenningsendringer som fører til økt skjærmobilisering i løpet av kort tid (i relasjon til dissipasjonstid) kan ikke behandles med effektivspenningsanalyse.
- Gjelder konsekvens både ved menneskelig aktivitet og naturlige årsaker som erosjon over kort tid (eks. ekstremnedbør som gir økt avrenningserosjon, vann på «ville vegger» (flomløp), avskoging/overflateplanering.
- Tidligere «opplevd ekstrepåkjenning» mht. poretrykk bør inngå i dimensjoneringsgrunnlaget (modelleres) ved effektivspenningsanalyse. Forhøyet romvekt pga. metning av øvre lag kompenseres ved bruk av samme romvekt over som under GV-stand. Robusthet mot andre naturlastvariasjoner må tas høyde for i parametervalg.

### Erosjon

- Erosjonspåvirkede skråninger som vurderes på grunnlag av effektivspenningsanalyse, forutsettes sikret.
- Hvis sterkt utviklet erosjon, må det vurderes om oppståtte spenningsendringer i utgangspunktet bør hensyntas med totalspenningsanalyse.
- Lagdeling/morfologi.
  - Utdyp i stedet hva som er kritisk bruddmekanisme, bruk kombinert analyse med drenerte og udrenerte parametre tilordnet lagene som er implisert.
  - Skråningshelning/skråningshøyde
    - Modifisert L/H inkluderes i vurdering av influenssone.

## 6.3 Rammebetingelser for bruk av effektivspenningsanalyse

### Betingelser for bruk av effektivspenningsanalyse:

- Kriterier for bruk av effektivspenningsanalyser knyttet til utløsende mekanismer.
  - I naturlig skråning knyttet til erosjon.
    - Forutsetter at erosjon kan kontrolleres også i forhold til fremtidig situasjon (klimaendringer).
  - Forutsetter robusthet i tilknytning til menneskelig inngrep (se sikkerhetsnivå).
- Klimaskapte endringer bør betraktes med effektivspenninger (langtids heving av GV, nedbør, oppbygging av poretrykk).
- Poretrykkstilstand – største usikkerhet i forhold til effektivspenningsanalysene.
  - Kontroll over tid – årstidsvariasjoner koblet mot modell for ekstremverdier. En modell for GV-variasjon må lages.
  - Betydningen av nedbør.
    - Ekstrapolering av poretrykkseffekt på grunn av ekstremverdier for nedbør.
- Dersom man vet at leira er overkonsolidert ( $OCR > 6$ ?) og ikke har sprøbruddoppførsel (strain softening) er det riktig å kontrollere stabiliteten med effektivspenningsanalyse.

## 6.4 Sikkerhetsnivå

### Krav til sikkerhetsfaktor:

- Sikkerhet avhengig av faregradsvurdering. Sikkerhetsfaktorer i faregradsevalueringen bør revideres i forhold til dagens regelverk.
- Basis er at stabilitetsberegninger på effektivspenningsbasis oppfyller kriteriene til minimum sikkerhetsfaktor ( $\gamma_M \geq 1,25$ ).
- Nye "kriteriumskurve" må utvikles i forhold til reviderte krav til sikkerhetsnivå. Prinsippet om prosentvis forbedring (på totalspenningsbasis) modifiseres i tråd med  $\gamma_M \geq 1,2$  – rette linjer/eventuelt kurvetilpassing til 10-15% forbedring dersom  $\gamma_M < 1,2$ .

Gjeldende krav til materialfaktor relatert til tiltaksklasse er gitt i TEK 10 og er vist i Tabell 1.

**Tabell 1 Vurdering av sikkerhet og utredning av områdestabilitet ved tiltak i områder med fare for kvikkleireskred (TEK 10).**

Tiltakskategori	Faregrad før utbygging		
	Lav	Middels	Høy
K0	Tiltak må følge anbefalinger i <i>Veiledning ved små inngrep i kvikkleiresoner</i> , (NGI-rapport 2001008-62)		
K1	Tiltaket skal ikke påvirke områdestabiliteten negativt. Ved tvil om dette skal tiltaket flyttes til K2.		
K2	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring*	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring*	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring hvis $F \geq 1,2$ eller forbedring hvis $F < 1,2$
K3	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring*	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring hvis $F \geq 1,2$ eller forbedring hvis $F < 1,2$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller forbedring hvis $F < 1,4$
K4	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller forbedring hvis $F < 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller forbedring hvis $F < 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller vesentlig forbedring hvis $F < 1,4$

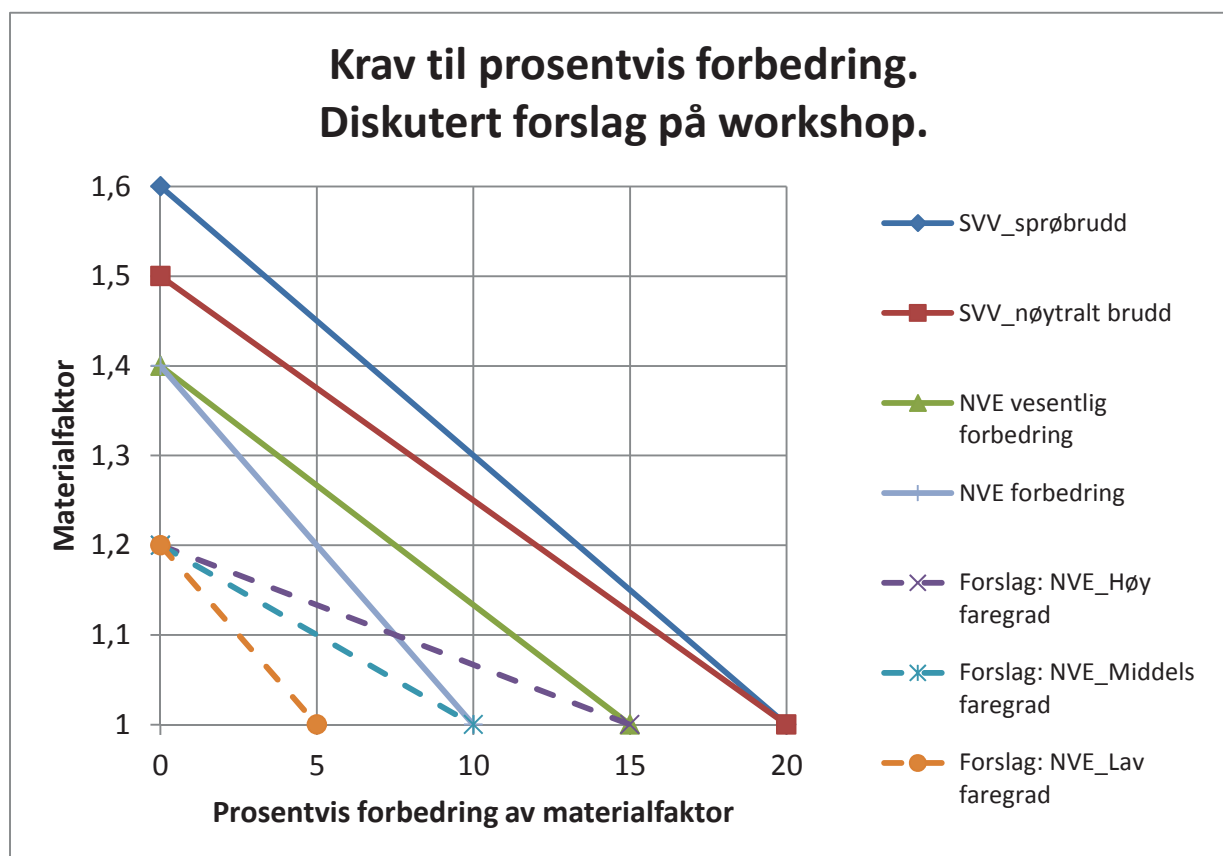
Tabellen må endres med forutsetninger om at det ikke er aktiv erosjon. Kravet på  $\gamma_M \geq 1,25$  for drenert analyse må også tilfredsstilles.

Kravet til materialfaktor på totalspenningsbasis,  $\gamma_M \geq 1,2$ , forutsetter at skjærstyrken i beregninger skal reduseres for sprøbruddsmaterialer for en naturlig skråning uten tiltak.

Det kan være en fare for at prosjekterende kan gjøre inngrep som fører en skråningsstabilitet ned mot  $\gamma_M = 1,2$  på totalspenningsbasis. Prinsippet om at det ikke skal gjennomføres tiltak som forverrer stabiliteten ved materialfaktor  $\gamma_M \leq 1,4$  må derfor være grunnleggende.

Veilederen bør begrenses til å ha én tabell dersom det er klare føringer for bruken. Eurocode 7 legger de grunnleggende forutsetningene for sikkerhetsfilosofi og materialfaktorer uavhengig av valg av beregningsmetodikk.

Gjeldende krav til materialfaktor slik den er gitt i kvikkleireveilederen og HB220 (SVV) sammen med et forslag til reviderte kriterier er vist i Figur 1.



**Figur 1** Krav til materialfaktor – diskuterte endringer på work-shop.

## 6.5 Forutsetninger for stabilitetsvurderingene

### Kriterier for vurdering av stabilitet – sikkerhetsnivå:

- Skråning med minimale effekter av tiltak
  - Kriteriene for vurdering av influenssone mellom lokal og område-stabilitet
    - <5% endring i skjærspenningssendring
    - Minimum 3·B (bredden av tiltak)
    - Behov for konkretisering. En last (q) som fører til >5% spenningsendring krever  $\gamma_M \geq 1,4$ . En last (q) som fører til <5% spenningsendring krever at  $\gamma_M \geq 1,2$  eller prosentvis forbedring dersom  $\gamma_M < 1,2$
- Kriterier:
  - Effektivspenningsanalyse som dimensjonerende (min  $\gamma_M \geq 1,25$ ) dersom naturlig/eksisterende skråning der beregninger på totalspenningsbasis viser minimum materialfaktor  $\gamma_M = 1,2$
  - Prinsippet om prosentvis forbedring (på totalspenningsbasis) modifiseres i tråd med  $\gamma_M \geq 1,2$  – rette linjer/evt kurvetilpassing til 10-15% forbedring
- Sikkerhetsprinsippene kan ikke inkludere sikkerhet mot "ulovlige inngrep" (også kalt idioti), det må tas gjennom regelverk og informasjon.

### Robusthet:

- Spesifikke forhold knyttet til karakterisering for naturlige skråninger
  - Generelt legges anbefalingene for valg av karakteristiske styrkeparametre til grunn (middelverdi)
  - Bestemmelse av karakteristiske verdier for totalspenningsanalyse med reduksjon av ADP-verdier beholdes som før. NVE sier 15% reduksjon på  $s_{uA}$ . Jostad & Fornes (NGI) anbefaler "lump sum" reduksjon på både sensitiv og ikke-sensitiv leire, f.eks 10%. For å ta hensyn til alle typer skråninger (både bratte og langstrakte) vil det være fornuftig å redusere med 15% (10%) i aktiv, 10% (5%) i direkte og 5% (0%) i passiv sone. De eksakte nivåene for reduksjon (gitt i parentes) er grunnlag for videre diskusjon
  - Bestemmelse av poretrykksforhold basert på vurdering av ekstremverdi
    - Metodikk/retningslinjer må utarbeides (arbeidsgruppe) (SGI/Chalmers / 7/)
  - Valg av karakteristisk friksjonsvinkel og attraksjon relateres til erfaringsverdier fra etterberegning av initialskred (fra Kenney / 8/ og Janbu / 9/). Valg av karakteristiske verdier for  $a$  og  $tg\phi$  som ligger utenfor erfaringsverdier skal begrunnes med referanser.
- Naturlige variasjoner i grunnforhold og skråningsgeometri
  - Sikkerhet i tolking av lagdeling-identifisering av (tynne) lag med sprøbruddsmaterialer
- Terrengmodell/skråningsgeometri
  - Usikkerhet i forhold til kartgrunnlag (vegetasjon)
  - Kontrollmåling av skråninger (ikke bare basert på kartdata) dersom usikkerhet i kartgrunnlag eller der det observeres avvik
  - Beregningsmodell
  - Potensiell effekt av 3D-analyse kan tas med i vurderingene – maks grense?
    - Geofuture har en modell for å evaluere 3D-efekt, arbeid pågår med å forbedre denne.
  - Sirkulærsylindrisk flate kontra sammensatt flate vurderes ut fra:
    - Sirkulærsylindrisk på effektivspenningsbasis
    - Sammensatte på totalspenningsbasis
  - "Vannfylt sprekk"
    - Modellert med vannfylt sprekk til HGV
    - Tas for øvrig med at romvekt settes til mettet tilstand

### Krav til grunnundersøkelser og poretrykksmålinger

- CPTU for lagdelingsbestemmelse
- Vingeboringer – måling av moment ved vinge - avventer videre utredning
- Sikker identifisering av kvikkleire/sprøbruddsmaterial baseres på prøvetaking
- Poretrykksmålinger, se punkt under Robusthet
  - Krav til et minimum dekningsgrad mht poretrykksbestemmelse
  - NIFS rapport som referanse (/ 10/)
  - Minimum poretrykksbestemmelse i 2 nivå topp og fot av skråning

### Krav til oppfølging/kontroll:

- Krav til oppfølging/kontroll i tråd med dagens retningslinjer
  - Skal anbefales fra prosjekterende geotekniker
  - Krav settes fra kommunen
  - Hvordan sikrer vi senere aktivitet som kan innebære stabilitetsforverring
  - "hageutfylling" foran hus på topp av skråning
  - Bruk av "hensynssone" (tinglyst som begrensning på tomte)
  - ROS analyse som grunnlag for vurdering av mulige hendelser

#### Ekstrem nedbør:

- Håndtering av overflatevann
- Risikoanalyse for vann på avveier i forhold til potensiale for erosjon
- Vann på ville veier-hvordan ta høyde for konsekvenser
  - Konsekvenser fra landbruk/planering
  - Drensveier pga skogsbilveier
  - Krever vurdering av potensiale for erosjon

## 6.6 Andre faktorer

I tillegg ble det diskutert en del andre tema på work-shopen som er relevant i forhold til hovedtemaet. Disse er opplistet punktvis under:

- Adresserer vi riktig risikoaspekt?
- Lange slake skråninger med lav sikkerhet på totalspenningsbasis utløser krav til forbedring som kanskje er ut av proporsjon i forhold til reell risiko
- Er den lange skjærflaten representativ i forhold til hva som er risikoen for å utløse skred (mindre initialskred i fot)
- Hva er hensiktsmessig utbedringstiltak i forhold til å hindre utløsende årsak?
  - Motfylling i bunn har begrenset innflytelse
  - Avlasting på topp er mer relevant i forhold til risikoreduksjon
- Sikringstiltak for lange slake skråninger må sannsynligvis baseres på andre tiltak enn motfylling i bunn eller avlasting på topp fordi de ikke adresserer det som er kritisk utløsende faktor.
- Jordskjelv som utløsingsfaktor
  - Begrenset effekt i forhold til utløsende årsak - er ikke kritisk faktor
  - Bygg innenfor influenssonen kan utløse krav til vurdering av jordskjelv som utløsende faktor
  - Bør inkludere et krav i kvikkleireveilederen for når det utløses behov for vurdering av jordskjelv som utløsingsfaktor.



## 7 Konklusjoner og anbefalinger

### 7.1 Rammebetingelser:

Effektivspenningsanalyse kan legges til grunn for vurdering av stabilitet av naturlig/eksisterende skråninger i områder med kvikkleire og sprøbruddsmaterialer under følgende forutsetninger:

- Stabil, stasjonær spenningstilstand.
- Inkluderer naturlige (drenerte) årstidsvariasjoner (modell bør utarbeides). Påvirkes for øvrig ikke av ekstremnedbør. ROS for flomsituasjoner.
- Ikke gyldig hvis pågående spenningsendring, f.eks. fra kraftig erosjon
- Leire med høy grad av overkonsolidering ( $OCR > 6$ )

### 7.2 Betingelser knyttet til bruk av effektivspenningsanalyser:

Modifisert L/H kriterium legges til grunn for vurdering av område for potensielt område for kvikkleireskred (arbeid under utførelse av NGI).

Vurdering av poretrykkstilstand er den største utfordringen ved bruk av effektivspenningsanalyse. Effekten av naturlige variasjoner (årstidsvariasjoner, ekstremnedbør) må legges inn i form av at det vurderes mest ugunstige tilstand basert på kontroll over tid med ekstrapolering av effekt på poretrykkstilstand knyttet til ekstremnedbør.

Klimaskapte endringer må tas med i vurderingen i forhold til endringer i framtidig poretrykksnivå.

I naturlige skråninger er erosjon den vanligste utløsningsmekanismen for skred. Det forutsettes at det er sikret mot erosjon også i en framtidig situasjon.

### 7.3 Sikkerhetsprinsipper

Den grunnleggende forutsetningen for å legge effektivspenningsanalyse til grunn for stabilitetsvurdering av en naturlig/eksisterende skråning er at den ikke blir utsatt for tiltak som medfører en forverring av stabiliteten.

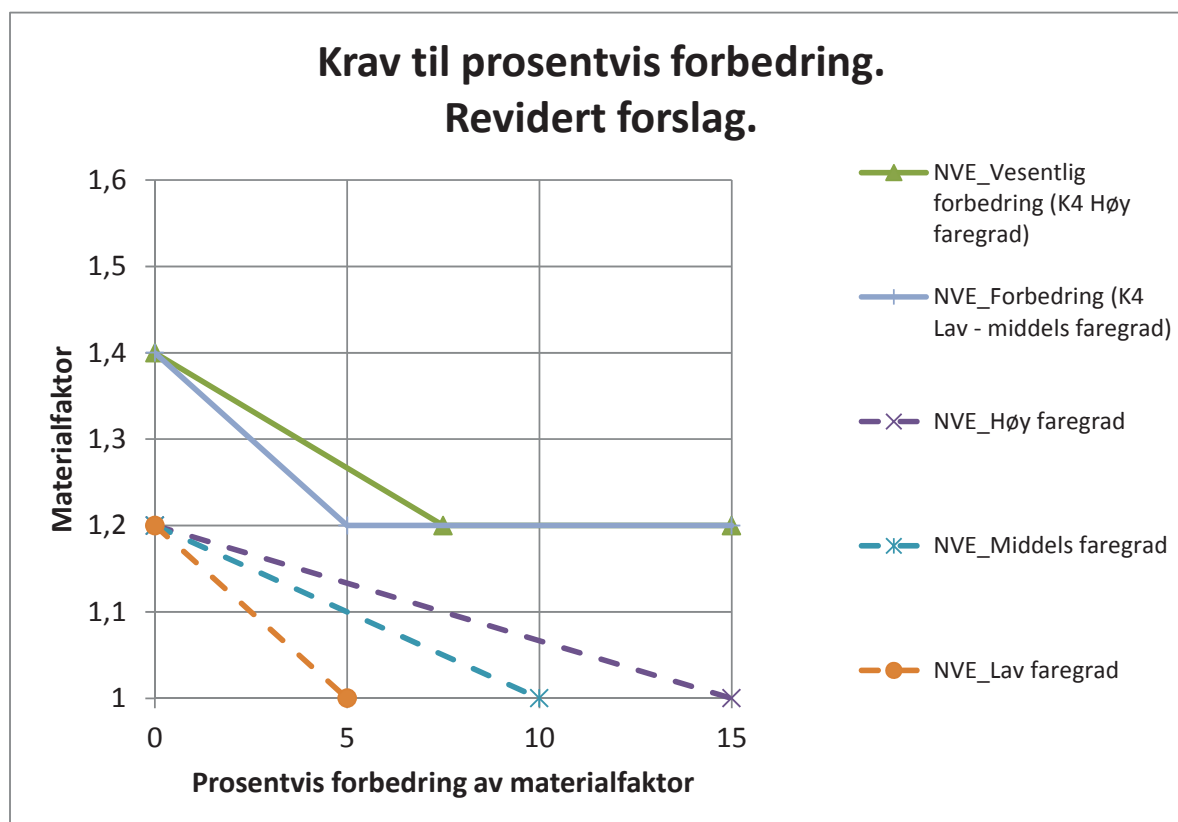
Kriteriet for vurdering av influenssone må vurderes nærmere, men det tas utgangspunkt i at kriteriet kan skille mellom områder som ligger innenfor influenssonen til et tiltak og hvilke områder som ligger utenfor (dvs områder vi betrakter som en naturlig/eksisterende skråning).

Stabilitetsvurdering av en naturlig/eksisterende skråning kan baseres på effektivspenningsbais etter følgende prinsipper:

- Effektivspenningsanalysen må gi en dimensjonerende materialfaktor  $\gamma_M \geq 1,25$
- Skråningsstabilitet på totalspenninganalyse må oppfylle ett av følgende krav
  - Materialfaktorer  $\gamma_M \geq 1,2$
  - Dersom materialfaktor  $\gamma_M < 1,2$  må det gjennomføres forbedringstiltak som angitt i prinsipp i Figur 2

Tiltaksklasse K4 kan eventuelt behandles spesielt med høyere krav til materialfaktor på totalspenningsbasis enn tiltakskategoriene K2 og K3.

- Forslag: For tiltakskategori K4 kreves det at  $\gamma_M \geq 1,4$ , og for materialfaktor  $1,2 \leq \gamma_M \leq 1,4$  må det gjennomføres tiltak som angitt i Figur 2.



**Figur 2**      **Krav til materialfaktor på totalspenningsbasis. Revidert forslag.**

## 7.4 Robusthet

For å oppnå et tilfredsstillende totalt sikkerhetsnivå må det legges vekt på å redusere usikkerheten i grunnlaget for stabilitetsvurderingen, de mest sentrale punktene i dette er:

- Karakteristiske styrkeparametre baseres på "best estimate"- dvs middelveidi.
- Karakteristiske styrkeverdier på totalspenningsbasis utføres med reduksjon av "peak-verdi" ( i samsvar med dagens anbefalinger).
- Bestemmelse av poretrykksforhold må baseres på estimat av ekstremverdi (lokale variasjoner, ekstremnedbør, klimaendringer).
- Karakteristiske effektivspenningsparametre relateres til erfaringsverdier. Valg av karakteristiske parametre utenfor erfaringsverdier må begrunnes faglig med dokumentasjon.
- Usikkerheter i kartgrunnlag må identifiseres, dersom avvik mellom kartdata og enkeltmålinger på mer enn +/-30cm skal terrenget kontrollmåles.
- Det må sette krav til oppfølging av kriteriene.
- Krav til kontroll anbefales fra prosjekterende geotekniker og fastsettes av kommunen.
- Det må gjennomføres ROS – analyse for å vurdere potensielle hendelser som kan endre betingelsene.
- Det skal gjennomføres SJA-analyser for å vurdere risiko og usikkerhet i forbindelse med anleggsaktivitet.
- Vurdering av tiltaksklasse og kvikkleiresone skal være gjenstand for 3. partskontroll.

## 8 Tema for oppfølging:

### 8.1 Grunnlag for implementering av anbefalinger

Det er behov for å gjøre noen supplerende vurderinger som grunnlag for implementering av forslagene til endringer i retningslinjene. De viktigste temaene som må avklares er:

- Kontroll av konsekvenser for endret regelverk må utredes (baseres på noen valgte eksempler).
- Behov for konkretisering av kriteriene for vurdering av influenssone mellom lokal- og område-stabilitet.
- Trenger en gjennomgang" på reglene for når vi behandler det som er "utenfor Eurocode-kriteriene".
  - Vår tilnærming dekkes innenfor de eksisterende NAD, mulig revidering av Eurocode kan forandre rammebetingelsene.
- Krav til et minimum dekningsgrad mht poretrykksbestemmelse.
- Oppfølgingsgruppe for samordning av praktisering for reviderte regler.

### 8.2 Konsekvenser av endringer i vurdering av skråningsstabilitet

De foreslåtte endringene i vurdering av stabilitet for forslaget til nye materialfaktorer vil innebære:

- Større krav til grunnundersøkelser.
- Større robusthet i antagelser – bedre dokumentasjon og begrunnelse for valg.
- Større fokus på sidemannskontroll.
- Mulig endring i krav til 3.parts kontroll i henhold til SVV 220.

Dersom NVE innfører tiltaksklasse K5 (vil gjelde for skoler, sykehus, store offentlige bygg og høyt trafikkerte samferdselsårer) kan det være aktuelt å stille større krav til materialfaktor på totalspenningsbasis f.eks.  $\gamma_M \geq 1,4$ . Dersom kritisk skjærflate viser  $1,2 \leq \gamma_M < 1,4$  kan det åpnes det for prosentvis forbedring. Jamfør tilsvarende forslag under punkt 7.3.

### 8.3 Supplerende oppgaver

Den gjennomførte work-shopen har vist at det er et betydelig potensiale i forhold til forbedring og forenkling av regelverk og retningslinjer ved å bruke en ekspertgruppe som kan gi en samlet vurdering på et vanskelig og sammensatt tema. Vi tror denne metodikken med fordel kan benyttes også i andre sammenhenger der det er faglig utfordrende tema som skal løses.

Noen tema som etter vår vurdering burde være egnet for tilsvarende tilnærming:

- Helhetlig tilnærming for sikkerhetsprinsipper for stabilitet av skråninger (ikke bare naturlig/eksisterende skråninger, men også nyanlegg - målsetting er å få et felles regelverk)
- krav til grunnundersøkelser og valg av karakteristiske egenskaper
- retningslinjer for utførelse av sidemannskontroll og tredjepartskontroll
- vurdering av anlegg for veg og bane sett opp mot tiltaksklasse i TEK10
- mulighet for variasjon av materialfaktor basert på omfang og kvalitet av forundersøkelser og oppfølging under utførelse

## 9 Referanser

- / 1/ DIBK (2010): "Forskrift om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift). TEK 10".
- / 2/ NVE (2014): "Veileder nr. 7- 2014 Sikkerhet mot kvikkleireskred".
- / 3/ SVV (2014); "Geoteknikk i vegbygging. Veiledning". Håndbok V220.
- / 4/ Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire: "Likestilling mellom bruk av absolutt material faktor og av prosentvis forbedring: Bruk av spenningsendring for å definere lokalskred og områdeskred", Rapport 59/2014.
- / 5/ Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire: "State-of-the-art: Blokkprøver", Rapport 41/2013
- / 6/ Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire: "NGIs anbefalinger for krav til effekt av sprøbruddoppførsel", Rapport 88/2014.
- / 7/ SGI (2010): "Släntsäkerhet vid förändrat klimat – prognosmetoder för grundvattentryck och portryck", Slutrapport, Fas 1.
- / 8/ Kenney, T.C. (1967): "The influence of mineralogical composition on the residual strength of natural soils". In Proc. Oslo Geotechnical Conference on the shear strength properties of natural soils & rocks, Vol.1 pp 123-129.
- / 9/ Janbu, N. (1977): "Slopes and excavations", State-of-the-art report IX ICSMFE, Tokyo.
- / 10/ Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire: "Valg av karakteristisk cuA – profil basert på felt – og laboratorieundersøkelser", Rapport 77/2014.

## **Vedlegg A**

### **Deltemaer for diskusjon på Workshop naturlige skråninger**

## **Sikkerhetsfilosofi for vurdering av områdestabilitet i naturlige skråninger<sup>1</sup> på effektivspenningsbasis** Diskusjonstemaer til NIFS-Workshop 22. – 24.09.2015

Hovedmålet med diskusjonene er å avklare/konkludere hvilke minimums forutsetninger (felles multiplum) som må ligge til grunn for å anse at en effektivspenningsanalyse av en naturlig skråning<sup>2</sup>) vil gi riktig uttrykk for skråningens dimensjonerende sikkerhet.

Det foreslås å starte med de ideelle forutsetninger (basispunkter) som kan være er enklest å enes om som grunnleggende for gyldighet av en effektivspenningsanalyse.

For hver av momentene (punktene) som framkommer, diskuteres usikkerheter og konsekvenser av disse. Her evalueres hvilke usikkerheter som har hhvis negativ og positiv betydning for effektivspenningsanalysens gyldighet. Diskusjonen oppsummeres.

De viktigste forutsetningene som bør medtas i diskusjonen er tidligere listet opp tidligere i grunnlaget til det forberedende møtet 28.08.2015. Her følger en noe omredigert utgave:

### **Basispunkter for «Naturlig skråning», hvor effektivspenningsanalyse skal være dimensjonerende:**

- Forutsetter konsolidert/stasjonær spenningstilstand?
- Høy mobilisering innenfor en stasjonær spenningstilstand kan innebære pågående krypeffekt med bruddutvikling. Bør det kreves dokumentasjon av mobiliseringsgraden?
- Bør det settes en grenseverdi for mobiliseringen ved bruk av effektivspenningsanalyse? Tilsvarende f.eks.  $Fa\phi = 1,25$  ( $1/F = 0,8$ )?
- Bør høyere mobilisering utelukke bruk av effektivspenningsanalyse?
- Krav til grunnundersøkelser/poretrykksmåling for å «dokumentere» at skråningen tilfredsstiller definisjonen av «Naturlig skråning»? Varighet og omfang av poretrykksmålinger?
- Behov for kartlegging av skråningens lagdeling/morfologi? Kan kvikkleiras morfologi gi føringer for når drenerte beregninger kan legges til grunn? Dyptliggende kvikkleire, eller kvikkleire som ligger få meter under terreng
- Hva er normalt variabelt og akseptabelt innenfor begrepet «stasjonær spenningstilstand»? (inkl. tidligere «opplevd» poretrykkstilstand).

---

<sup>2</sup>) Begrepet «Naturlig skråning» er en arbeidstittel. I utgangspunktet tenkes at begrepet også inkluderer eksisterende skjæringsskråninger i og fyllingsskråninger på leire. Felles er at alle disse skråningene i alder er så gamle at de i sin nåværende tilstand mht. poretrykk- og spenninger må kunne anses som tilnærmet fullt ut konsolidert, kjennetegnet ved en stasjonær poretrykk- og spenningstilstand. Kan det for praktiske formål settes en minimums alder (f.eks. 30 år) for å anse slike skråninger som tilstrekkelig konsolidert i denne sammenheng, forutsatt i alt vesentlig uendrede påkjenninger gjennom denne tiden? Dette vil være én vesentlig forutsetning å diskutere, med alle underliggende faktorer som innvirker på denne tilstanden.

### **Basispunkter for «Naturlig skråning» (forts. fra s.1)**

- Størrelsesmessig innflytelse av pågående erosjonspåvirkning på skråningens stabilitet? <sup>3)</sup>
- Hvordan vurdere overflatelagets stabilitet i forhold til metning av umettet sone?
- Fare for dårlig overflatestabilitet/glidninger som kan utløse udrenerte spenninger, sett i forhold til skråningsgeometrien? (Lav skråning-større innvirkning enn ved Høy skråning?).

### **Basispunkter for vurdering av akseptable tiltak i «Naturlig skråning» ved effektivspenningsanalyse:**

- Hvordan avgrense utstrekning av «naturlig skråning» i forhold til et planlagt utbyggingstiltak?
  - Hva er akseptabel spenningsendring i «naturlig skråning» hvor det gjennomføres kompenseringstiltak av tilleggslaster, for å unngå udrenert tilstand?
  - Herunder; hvor omfattende kompenseringstiltak kan være akseptable ved utgraving, avlastning på skråningstopp, utslaking av skråningsprofil og ved motfylling ved skråningsfot – før selve utførelsen (anleggsoperasjonen) av kompenseringstiltaket i seg selv må påregnes å skape en (midlertidig) forverring av sikkerheten.

### **Basispunkter – valg av sikkerhet:**

- Hva slags sikkerhet/robusthet<sup>4)</sup> skal den den drenerte materialfaktoren ivareta?
  - Innflytelse fra naturlige variasjoner i grunnforhold og påkjenninger?
  - Usikkerhet i beregningsmodell?
- Skråningens topografi, herunder skråningshelning, har stor betydning for drenert sikkerhet. Kan beregningsmessig sikkerhet for henholdsvis en ravineskråning og en slak skråning sidestilles/sammenlignes?
- Bør krav til sikkerheten  $Fa\phi$  av en naturlig skråning bestemmes på grunnlag av beregnet Faregrad for sonen?
- Bør bruk av effektivspenningsanalyse stille spesielle krav til oppfølging av forutsetninger for analysen?
- Sikkerhetsfaktor  $Fa\phi=1.4$  eller  $1.25$ ? Samme prinsipp for prosentvis forbedring av sikkerhet som for dagens praksis, eller krav til absolutt materialfaktor også når tiltak

---

<sup>3)</sup> Alle «naturlige skråninger» som vurderes i tiltakssammenheng, hvor erosjon er en del av problemstillingen, skal forutsettes sikret mot at erosjonsutvikling kan påvirke dagens sikkerhet. Hvor mye pågående (observert) erosjon allerede har endret den opprinnelig naturlige sikkerheten til skråningen vurderes, inkl. betydningen av evt. udrenert påvirkning.

<sup>4)</sup> Som særskilt tema, kanskje tilslutt, diskuteres i hvilken grad vi i våre anbefalinger om valg av sikkerhet skal inkludere faren for at «ulovlige inngrep» kan utløse skredfare. Robusthet mot slike handlinger vil sende hele idéen om bruk av effektivspenningsanalyse «rett vest». Det er utfordrende, men nødvendig, å gjøre aktuelle samfunnsaktører klar over at slike problemstillinger kan oppstå. Men dette problemet må, som f.eks. ved fare for terrorisme, møtes med økt oppmerksomhet og forbedrede regler for slike tiltak, samt bedre informasjon til involverte etater til forebygging av uønsket aktivitet.

**Vedlegg B**  
**Dagsprogram**



**NIFS-Workshop: Skråningsstabilitet**

NTNU-Geoteknikk-Grunnkurslabben, Høgskoleringen 7A, Trondheim

Dag 1: 22 september (Møteleder: Frode Oset)

**10:00-11:00 Åpning/samling på spiserommet – Høgskoleringen 7A - Kaffe og mingling (kjeks)****11:00-12:00 Forberedte tematiske innlegg (20 minutter på hvert inkl avklaringer og spørsmål)**

- Dagens regelverk – praktisering (**S.A. Strand**)
- Avgrensning mellom lokal- og områdestabilitet (**F.Oset**)
- Betydning progressiv bruddutvikling (**V. Gjelsvik**)

**12:00-12:45 Lunsj – Tapasbuffet på spiserommet****12:45-15:45 Gruppearbeid:**

Kriterier for å benytte/ikke benytte drenert effektivspenningsanalyse for vurdering av skråningsstabilitet.

Forslag til noen basiskriterier (vedlagt):

Stikkord for utfyllende kriterier:

- Lagdeling/morfologi
- Beliggenhet utbyggingsområder ift kritisk skråning
- Lastsituasjoner
  - Spenningstilstand
  - Mobiliseringsgrad (basis)
  - Erosjon (basis)
  - Karakter/størrelse av inngrep

Gruppe A: Hva er kriteriene for når effektivspenningsanalyse kan brukes:

Gruppeleder	Referent	Deltakere
Frode Oset	Arnstein Watn	Arnfinn Emdal, Kjell Karlsrud, Stein Are Strand, Anders Gylland

Gruppe B: Hva er kriteriene for når effektivspenningsanalyse ikke kan benyttes:

Gruppeleder	Referent	Deltakere
Einar Lyche	Stein O Christensen	Steinar Nordal, Vidar Gjelsvik, Margareta Viklund, Odd Arne Fauskerud, Hanne Ottesen

Det blir innlagt pause med frukt, kaffe, vann løpet av ettermiddagen

Det er utarbeidet en enkel presentasjon av 3 utvalgte "Case" (ca 1 side som er lagt ut på egen mappe på e-rommet) Denne presenterer type problemstilling, typiske grunnforhold, et karakteristisk lengdesnitt og 2-3 essensielle problemstillinger for caset. Relevante rapporter med stabilitetsberegninger legges også på e-rommet. Disse casene skal ikke presenteres men brukes som utgangspunkt i gruppearbeidene. Casene er:

- Sund-Bradden (**Ansv Vidar Gjelsvik**)
- Leira (**Ansv V. Gjelsvik**)
- Skjeggstadbrua (**Ansv Stein-Are Strand**)

**15:45-16:15 Pause med lett servering (frukt og kjeks)****16:15-17:45 Presentasjon av gruppearbeid med felles diskusjon**

- Omforening konklusjoner og anbefalinger fra gruppearbeidet

**NIFS-Workshop: Skråningsstabilitet**

**NTNU-Geoteknikk-Grunnkurslabben, Høgskoleringen 7A, Trondheim**  
**Dag 2: 23 september (Møteleder: Margareta Viklund)**

**08:30 Oppsummering fra Dag 1 (Frode Oset/Einar Lyche)**

**09:00 Gruppearbeid:**

Sikkerhetsnivå (Gruppeinndeling vurderes ved oppsummering dag 1)

Stikkord:

- Robusthet – naturlige variasjoner
- Krav til sikkerhetsfaktor
- Relativ forbedring
- Krav til grunnundersøkelser
- Krav til oppfølging
- Faregradsevaluering

Det blir innlagt pause med frukt, kaffe, vann løpet av formiddagen

**12:00 Lunsj – Lasagne på spiserommet**

**12:45-14:00 Presentasjon av gruppearbeid med plenumsdiskusjon**

**14:00-14:30 Pause med frukt, kaffe, vann**

**14:30-17:00 Samkjøring Gruppearbeid 1 og 2**

- Behov for ytterlige avklaringer
- Nye utfordringer – essensielle moment for videre diskusjon

**NIFS-Workshop: Skråningsstabilitet**  
**NTNU-Geoteknikk-Grunnkurslabben, Høgskoleringen 7A, Trondheim**  
**Dag 3: 24 september (Møteleder: Einar Lyche)**

**08:30-12:00 Konklusjoner og anbefalinger fra workshop'en**

- Hva er det enighet om
- Hva må det jobbes videre med?

Det blir innlagt pause med frukt, kaffe, vann løpet av formiddagen

**12:00-12:45 Lunsj – Koldtbord på spiserommet**

**12:45-14:00 Hvordan tar vi resultatene fra workshop'en videre**

- Hva kan implementeres
- Behov for videre arbeid

## **Vedlegg C**

### **Innledende presentasjoner**

**Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)  
Regelverk – dagens praksis**

**Stein-Are Strand (NVE)**

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

### ■ Plan – og bygningsloven og TEK 10

#### ■ PBL § 28-1. Byggegrunn, miljøforhold mv.

Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur – eller miljøforhold. Det samme gjelder for grunn som utsettes av fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltak.

For grunn som ikke er tilstrekkelig sikker, skal kommunen om nødvendig nedlegge forbud mot opprettelse eller endring av eiendom eller oppføring av byggverk, eller stille særlige krav til byggegrunn, bebyggelse og uteareal.

Departementet kan gi nærmere forskrifter om sikkerhetsnivå og krav til undersøkelser, sikringstiltak for person eller eiendom, dokumentasjon av tiltaket og særskilte sikringstiltak.

#### ■ PBL § 29-5. Tekniske krav

Ehvert tiltak skal prosjekteres og utføres slik at det ferdige tiltaket oppfyller krav til sikkerhet, helse, miljø og energi, og slik vern av liv og materielle verdier ivaretas.

1



# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

### ■ Plan – og bygningsloven og TEK 10

#### ■ TEK 10, kap. 7. Sikkerhet mot naturpåkjenninger

Bestemmelsene er hjemlet i PBL § 28-1 og § 29-5. De er videre førende for plan, gjennom kravene som er lagt til grunn for ROS – analyse etter PBL § 4-3. Samfunnsikkerhet og risiko- og sårbarhetsanalyser. § 7-1. Generelle krav om sikkerhet mot naturpåkjenninger

- (1) Byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger.
- (2) Tiltak skal prosjekteres og utføres slik at byggverk, byggegrunn og tilstøtende terreng ikke utsettes for fare for skade eller vesentlig ulempe av tiltaket.

#### § 7-3. Sikkerhet mot skred

- (2) For byggverk i skredfareområde skal sikkerhetsklasse for skred fastsettes. Byggverk og tilhørende uteareal skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot skred, herunder sekundærvirkninger av skred, slik at største nominelle årlige sannsynlighet i tabellen nedenfor ikke overskrides

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

2



# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

- Plan – og bygningsloven og TEK 10
- TEK 10, kap. 7. Sikkerhet mot naturpåkjenninger

### § 7-3. Sikkerhet mot skred

Kvikkleireskred opptrer som en engangshendelse. Krav til sikkerhet gjelder for denne faretypen, men i praksis vil det være umulig å angi sannsynlighet for kvikkleireskred. Derfor er sikkerhetsklassene ikke så godt egnet. Sikkerhetsnivå for en faresone for kvikkleireskred fastsettes derfor ved en sikkerhetsfaktor, F. Sikkerhetsfaktoren angir forholdet mellom stabiliserende krefter og drivende krefter for den skråningen som har lavest stabilitet i faresonen.

Et område der det er fare for kvikkleireskred, en faresone, kan ha betraktelig større utbredelse enn selve tiltaket. For tiltak som kan påvirke områdestabiliteten, medføre fare for menneskeliv eller store materielle skader ved skred, må det kartlegges hvor stort område som kan omfattes av et skred, både løсне- og utløpsområde. Utredning av områdestabilitet (soneutredning) innebærer å vurdere alle skråninger hvor et skred kan utløses og forplante seg inn i tiltaksområdet, samt områder hvor skredmasser ovenfra kan ramme tiltaksområdet.

Behov for utredning og eventuell sikring av områdestabiliteten i faresoner for kvikkleireskred er avhengig av tiltakskategori, og for tiltakskategori K2-K4 også hvilken faregrad sonen har.

Tiltakskategori bestemmes av tiltakets påvirkning på områdestabiliteten og av konsekvensene ved skred. Konsekvensene bestemmes av tiltakets størrelse og verdi samt i hvilken grad tiltaket vil medføre tilflytning av personer



# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

- Plan – og bygningsloven og TEK 10
    - TEK 10, kap. 7. Sikkerhet mot naturpåkjenninger
      - § 7-3. Sikkerhet mot skred
- Preaksepterte ytelser for sikkerhet mot kvikkleireskred (områdestabilitet) er vist i tabell 1.
- § 7-3 Tabell 1: Vurdering av sikkerhet og utredning av områdestabilitet ved tiltak i områder med fare for kvikkleireskred

Tiltakskategori	Faregrad før utbygging		
	Lav	Middels	Høy
K0	Tiltak må følge anbefalinger i <i>Veiledning ved små inngrep i kvikkleiresoner</i> , (NGI-rapport 2001008-62)		
K1	Tiltaket skal ikke påvirke områdestabiliteten negativt. Ved tvil om dette skal tiltaket flyttes til K2.		
K2	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$
	eller ikke forverring*	eller ikke forverring*	eller ikke forverring hvis $F \geq 1,2$ eller forbedring hvis $F < 1,2$
K3	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$
	eller ikke forverring*	eller ikke forverring hvis $F \geq 1,2$ eller forbedring hvis $F < 1,2$	eller forbedring hvis $F < 1,4$
K4	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$
	eller forbedring hvis $F < 1,4$	eller forbedring hvis $F < 1,4$	eller vesentlig forbedring hvis $F < 1,4$

-> NVEs veileder 7/2014

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Reelverk – dagens praksis

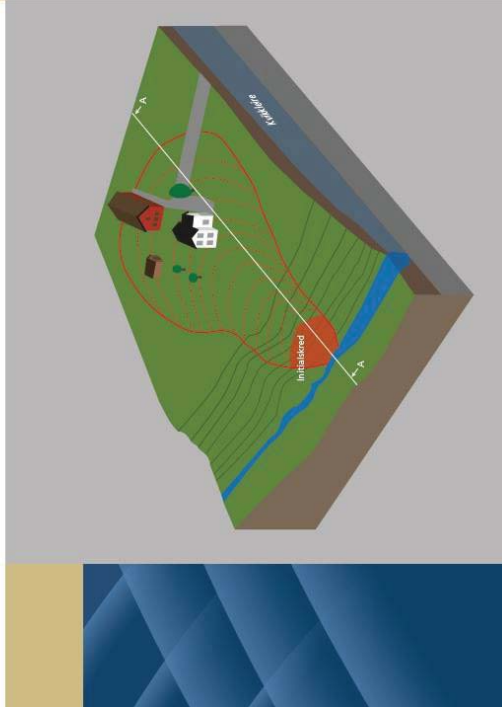


### Sikkerhet mot kvikkleireskred

Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper

7  
2014

VEILEDER



## Innhold

Forord .....	5
1 Innledning - formål og virkeområde .....	7
2 Terminologi .....	8
3 Bruddmekanismer og skredtyper .....	10
3.1 Bruddmekanisme ved sprøbrudd .....	10
3.2 Skredtyper i sprøbruddmaterier (områdeskred) .....	13
3.3 Lokalskred .....	16
4 Geotekniske utredninger i arealplaner og byggesaker .....	17
4.1 Generelt om utredning av områdeskredfare .....	17
4.2 Utredning tilpasset kommuneplannivå .....	17
4.3 Utredning tilpasset reguleringsplaner .....	18
4.4 Utredning tilpasset byggesak .....	19
4.5 Prosedyre for utredning av aktsomhetsområder og faresoner .....	20
4.6 Andre forhold ved utredning av områdestabilitet .....	25
5 Hvordan oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot områdeskred .....	26
5.1 Generelt .....	26
5.2 Krav til utredning og sikkerhet for ulike tiltakskategorier .....	27
5.3 Kvalitetssikring av utredninger .....	30
6 Grunnundersøkelser .....	32
6.1 Omfang og type .....	32
6.2 Kvalitet .....	32
7 Stabilitetsvurderinger .....	33
7.1 Vurdering av skredtyper .....	33
7.2 Materialparametre .....	33
7.3 Analysemetoder .....	34
7.4 Beregninger og resultat .....	35
8 Stabiliserende tiltak .....	35
9 Rapportering av soneutredninger .....	36
10 Tiltak i sikrede soner .....	36
11 Referanser .....	37
Vedlegg 1. Innhold i rapport for utredning av områdestabilitet .....	41
Vedlegg 2. Skjema for innmelding av reviderte/nye faresoner til NVE .....	43

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

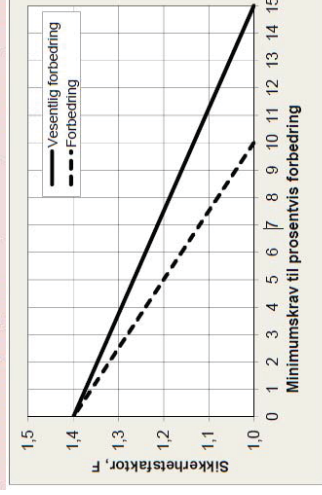
## Regelverk – dagens praksis

- NVEs veileder 7/2014 «Sikkerhet mot kvikkleireskred – vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre sprøbruddegenskaper»

Tiltakssteg	Faregrad for utbygging		
	Lav	Middels	Høy
K0	Tiltak må følge anbefalinger i Veiledering ved små inngrep / kvikkleiresoner, (NGI-rapport 2001008-62)		
K1	Tiltaket skal ikke påvirke områdestabiliteten negativt. Ved tvil om dette skal tiltaket flyttes til K2.		
K2	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring*	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring*	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring hvis $F \geq 1,2$ eller forbedring hvis $F < 1,2$
K3	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring*	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller ikke forverring hvis $F \geq 1,2$ eller forbedring hvis $F < 1,2$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller forbedring hvis $F < 1,4$
K4	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller forbedring hvis $F < 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller forbedring hvis $F < 1,4$	Sikkerhetsfaktor $F \geq 1,4$ eller vesentlig forbedring hvis $F < 1,4$

Tabell for evaluering av faregrad, fra ref. /2./, 0-17 poeng gir lav faregrad, 18-25 poeng gir middels og 26-51 poeng høy faregrad.

Faktorer	Vekttrill	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde, meter	2	>30	20-30	15-20	<15
Tidligere/nåværende terrengeivå (OCR)	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0
Poretrykk, Overtrykk, kPa:	3	> +30	10 – 30	0 – 10	Hydrostatisk
Undertrykk, kPa:	-3	> -50	-(20 – 50)	-(0 – 20)	
Kvikkleiremeknighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20
Erosjon	3	Aktiv/ghldn.	Noe	Lite	Ingen
Inngrep: Forverring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		51	34	17	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

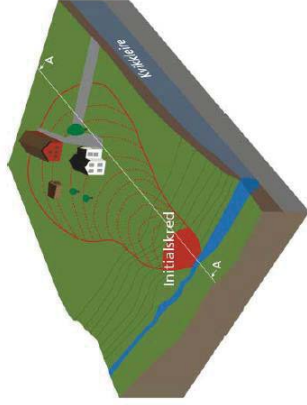


Figur 5.1 Krav til prosentvis forbedring ved topografiske endringer eller bruk av lette masser.

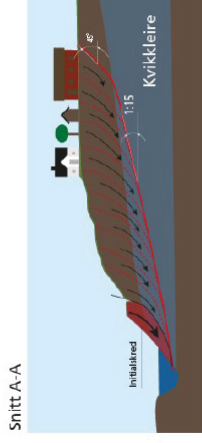
# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

- NVEs veileder 7/2014 «Sikkerhet mot kvikkleireskred – vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre sprøbruddegenskaper»



Figur 3.3 Initialskred og bakoverrettet skalkskred.



Figur 3.4 Snitt som viser initialskred og bakoverrettet skalkskred (retrogressivt skred) med typisk helning på skredgropa.

Figur 3.3 Initialskred og bakoverrettet skalkskred.

«Sikkerheten mot utglidning av en skråning skal bestemmes både for dagens situasjon med drenerert jordoppførsel, og for hendelser som kan medføre udrenert jordoppførsel og bruddutvikling. Oppfylling, erosjon eller annen utgraving i skråning samt ekstrem nedbør er eksempler på hendelser som kan medføre udrenert jordoppførsel og bruddutvikling»

-> Praksis: både drenerte – og udrenerte beregninger legges til grunn alltid, og udrenert oftest som «dimensjonerende».

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

- Plan – og bygningsloven og TEK 10
- TEK 10, kap. 7. Sikkerhet mot naturpåkjenninger

### § 7-3. Sikkerhet mot skred

For lokalstabilitet vil forskriftens krav til sikkerhet være oppfylt dersom prosjektering skjer i samsvar med § 10-2. Konstruksjonssikkerhet

(2) Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot brudd og tilstrekkelig stivhet og stabilitet for laster som kan oppstå under forutsatt bruk. Kravet gjelder byggverk under utførelse og i endelig tilstand.

(3) Grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet, herunder grunnforhold og sikringstiltak under utførelse og i endelig tilstand, kan oppfylles ved prosjektering av konstruksjoner etter Norsk Standard NS-EN 1990 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og underliggende standarder i serien NS-EN 1991 til NS-EN 1999, med tilhørende nasjonale tillegg.

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

### ■ Håndbok V220 – geoteknikk i vegbygging

SAK 10 § 4-3. Unntak fra krav i plan – og bygningsloven for visse tiltak som behandles etter andre lover.

- a) Offentlige veganlegg som anlegges etter bestemmelser gitt i eller med hjemmel i veglov 21. juni 1963 nr. 23 så langt tiltaket er detaljert avklart i gjeldende reguleringsplan etter plan – og bygningsloven.
  - Unntatt fra krav i kap. 28 Krav til byggetomta og ubebygd areal.
  - § 29-5 Tekniske krav så lenge de passer for nevnte tiltak.

### 0.3 SIKKERHETSPRINSIPPER I GEOTEKNIKK

NS 3480:1988 og NS 3480.P296 gir bestemmelser for geoteknisk prosjektering relatert til fundamentering, grunnarbeider og arbeid i berg. Standardiseringsarbeidet med Eurokoder har nå kommet så langt at det foreligger tre nye standarder som har betydning for prosjekteringsarbeider relatert til geoteknikk. Dette gjelder NS-EN 1990:2002+NA:2008 Eurokode: ”Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner” som angir felles bestemmelser for øvrige prosjekteringsstandarder. Videre foreligger to standarder innen geoteknikk NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 Eurokode 7: ”Geoteknisk prosjektering, Del 1: Allmenne regler” (norsk tekst) og NS-EN 1997-2:2007+NA:2008 Eurokode 7: ”Geoteknisk prosjektering, Del 2: Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver” (engelsk tekst). Fra 2010-04-01 vil Eurokodene være eneste gjeldene standarder og NS-serien vil bli trukket tilbake fra samme tidspunkt.

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

### ■ Håndbok V220 – geoteknikk i vegbygging

Konsekvensen av en skade inndeles i tre klasser etter NS-EN 1990:2002+NA:2008. Informativt tillegg B som vist i Figur 0. 1.

Konsekvens-klasse	Beskrivelse	Eksempel på bygg og anlegg
CC3	<b>Stor</b> konsekvens i form av tap av menneskeliv, <b>eller svært store</b> økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser	Tribuner, offentlige bygninger der konsekvensene av brudd er store (f.eks. en konserthall)
CC2	<b>Middels</b> stor konsekvens i form av tap av menneskeliv, <b>betydelige</b> økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser	Boliger og kontorbygg, offentlige bygninger der konsekvensene av brudd er betydelige(f.eks. et kontorbygg)
CC1	<b>liten</b> konsekvens i form av tap av menneskeliv, og <b>små eller uvesentlige</b> økonomiske, sosiale eller miljømessige konsekvenser	Landbruksbygninger der mennesker vanligvis ikke oppholder seg (f.eks. lagerbygninger), drivhus

Figur 0. 1 Definisjon av konsekvensklasser

Standarden definerer også Pålitelighetsklasser RC3 – RC1 som kan knyttes til Konsekvensklasser. Dette har betydning for omfanget av den prosjekteringskontroll og utførelseskontroll som kreves, se kapittel 0.6. Normalt vil de fleste offentlige vegprosjekter komme inn under konsekvensklasse CC2 eller CC3, men for detaljer i et prosjekt kan det være aktuelt å anvende CC1.

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

### ■ Håndbok V220 – geoteknikk i vegbygging

For kontroll av bruddgrensetilstanden er det i NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 Tabell NA.A.4 angitt minimumsverdier for  $\gamma_M$  som vist i Figur 0. 2.

Jordparameter	Symbol	Sett <sup>b,c,d</sup>	
		M1	M2
Friksjonsvinkel <sup>a</sup>	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Effektiv kohesjon	$\gamma_c$	1,0	1,25
Udrenert skjærfasthet	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Enaksial fasthet	$\gamma_{qu}$	1,0	1,4
Tyngdetetthet	$\gamma_f$	1,0	1,0

<sup>a</sup> Denne faktoren gjelder for  $\tan \phi'$   
<sup>b</sup> Hvor det er mer ugunstig skal karakteristisk fasthet av jord multipliseres med partialfaktoren.  
<sup>c</sup> Partialfaktoren økes ut over ovenstående verdier når faren for progressiv bruddutvikling i spribruddsmaterialer ansees å være tilstede og når det kreves for å bringe den i overensstemmelse med anerkjent praksis for den anvendte analysemetoden og den foreliggende problemstilling.  
<sup>d</sup> Ved analyse av områdestabilitet slik forholdende framstår uten prosjekterte tiltak kan det hende at en vil finne en lavere partialfaktor enn ovenstående krav. Slike tilfeller vurderes i forhold til skredfare og områdestabilitet. Det vil normalt forutsettes at det prosjekterte tiltak gjennomføres på en måte som gir uendret eller økt partialfaktor og slik at faktorer som kan utløse brudd eller skred unngås.

Figur 0. 2 Minimumsverdier for  $\gamma_M$  i henhold til NS-EN 1997-1:2004+Na:2008

Konsekvensklasse	Bruddmekanisme		
	Seigt, dilatant brudd	Nøytralt brudd	Sprott, kontraktant brudd
CC1 Mindre alvorlig	1,25 1,3	1,4 * 1,3	1,4 * 1,4
CC2 Alvorlig	1,3	1,4 *	1,4
CC3 Meget alvorlig	1,4	1,5	1,6

\* NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 krever at  $\gamma_M \geq 1,4$  ved totalspenningsanalyser

Figur 0. 3 Partialfaktorer for  $\gamma_M$  ved effektivspennings- og totalspenningsanalyser



# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

### ■ Håndbok V220 – geoteknikk i vegbygging

#### *Stabilitetsanalyser*

Sikkerheten for enhver konstruksjonsdel i et vegprosjekt skal tilfredsstille ovennevnte krav. Dersom en med de valgte karakteristiske materialparametre finner at eksisterende terreng ikke tilfredsstillter kravene i Figur 0. 3 åpner NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 for at et tiltak kan gjennomføres med uendret eller økt partialfaktor (se Figur 0. 2 fotnote d).

For vegprosjekter kan dette prinsippet umtaksvis anvendes dersom det er teknisk umulig å oppfylle kravene i Figur 0. 3 for eksisterende terreng.

Minimumskravene til forbedring av partialfaktoren er avhengig av beregnet initiell partialfaktor på totalspenningsbasis. For glideflater med beregnet initiell partialfaktor lik 1,0 er kravet til forbedring 20 %. Kravet til forbedring reduseres lineært med økende initiell partialfaktor som vist på Figur 0.4.

Når bruk av  $\gamma_M$ -vis forbedring kan anvendes, skal det først vurderes hvilken partialfaktor det er mulig å oppnå. Dersom oppnåelig partialfaktor er  $\gamma_M > 1,4$  kan dette sikkerhetsnivået aksepteres for områdestabiliteten.

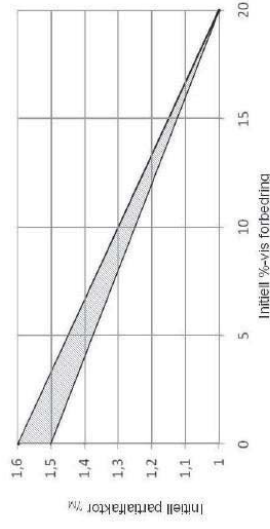
Prosentvis forbedring (eller  $1,4 < \gamma_M < 1,6$  (1,5)) kan ikke benyttes lokalt for konstruksjoner eller konstruktive tiltak. Vegkonstruksjoner inkludert eventuelle motfyllinger er i denne sammenheng å anse som konstruktive tiltak. I slike tilfeller må lokalstabiliteten for motfyllingen eller avlastingen ivaretas med gjeldende krav til partialfaktor for materialfasthet se Figur 0. 3 og illustrasjon i Figur 0. 5. Unntatt er forhold der konstruksjonen (vegfylling og eventuell motfylling) virker stabiliserende, tiltak som kun medfører avlasting av eksisterende

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

### ■ Håndbok V220 – geoteknikk i vegbygging

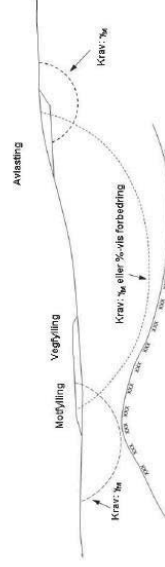
terreng og løsninger med lettere masser som gir full lastkompensasjon eller stabiliserende avlastning.



Figur 0.4 Krav til %-vis forbedring av stabilitetsforhold ved totalspenningsanalyse

Ved bruk av %-vis forbedring må minimumskravene angitt i Figur 0. 5 tilfredstilles for alle potensielle glideflater i det aktuelle området.

#### Krav relatert til bruk av %-vis forbedring



Figur 0.5 Illustrasjon av %-vis forbedring og krav til  $\gamma_m$ .

Når prosentvis forbedring (eller  $\gamma_m > 1.4$ ) benyttes skal mulige uløsende skredårsaker vurderes og sikringstiltak iverksettes (eksempelvis ved erosjonssikring), se fotnote d Figur 0. 2.

På grunn av kompleksitet og konsekvens av skred skal vegprosjekter i kvikkleireområder alltid vurderes klassifisert i Geoteknisk kategori 3 (se kapittel 0.6). Ved anvendelse av %-vis forbedring som vist i Figur 0. 4 ovenfor skal alltid Geoteknisk kategori 3 benyttes. Se også kapittel 4.2.

For eksisterende vegnett med for lavt sikkerhetsnivå, og hvor det i utgangspunktet ikke er planlagt tiltak, vil det ut fra en faglig vurdering og samfunnsøkonomiske hensyn noen ganger måtte aksepteres en lavere sikkerhet enn det som kreves ved ombygging eller ved bygging av ny veg.

Ved effektiviseringsanalyser utgjør poretrykk en viktig faktor. Her forutsettes det at ugunstigste poretrykksforhold legges til grunn ved beregninger ut fra lokalkunnskap og målinger. Der poretrykk kan representere kritiske forhold for prosjektet, bør poretrykket overvåkes i byggefasen og eventuelt senere hvis ugunstig utvikling kan forventes.

# Sikkerhet av naturlige skråninger (områdestabilitet)

## Regelverk – dagens praksis

### ■ Håndbok V220 – geoteknikk i vegbygging

Aktivitet	Namn	Effekt mål
6.1	Definisjon og avgrensning av områdestabilitet	Omførente definisjoner og avgrensninger innarbeidet i etatenes retningslinjer
6.2		tiltakshavere og myndigheter til en hver tid har oppdatert informasjon om grunnforhold og kvikkleiresoner med utredninger og favevurderinger
6.3	Losmasseskred i strandsonen	Tilgjengelig og oppdatert skredrelatert informasjon til alle tiltakshavere, prosjekterende, offentlig myndigheter og kommuner
6.4	Grunnundersøkellesmetoder for kartlegging av kvikkleire	Omførente tolkningsmodeller for dekkering av sprøbruddmateriale fra de anvendte undersøkelsesmetodene
6.5	Beregningsmodeller	Beskrive hvordan beregningsmodeller skal håndtere og ta hensyn til de faktiske bruddforløp i kvikkleire og sprøbruddmaterialer
6.6	Sikkerhetsfilosofi og regelverk	Samordne etatenes regelverk og sikkerhetsfilosofi innenfor tema som områdestabilitet og lokal sikkerhet for tiltak i terreng med forekomst av kvikkleire eller sprøbruddmateriale
6.7	Skredutbredelse og utlopsområder	Videreutvikle empirisk verktøy for modellering av mulig skredutbredelse og utlopsdistanser
6.8	Stabilisering av kvikkleire	Videreutvikle metode for stabilisering av kvikkleire der tradisjonelle arbeidsmetoder kan medføre reduksjon av stabilitet i anleggsfasen og i områder der det ikke kan eller ønskes å utføre topografiske endringer.

**Lokalstabilitet:** Betegnelsen på en lokalt avgrenset stabilitetstilstand med mulighet for brudd (utglidning) i grunnen. Bruddet begrenses til det lokale påvirkningsområdet for spenningsendringen som har oppstått i skråningen. Typiske eksempler er lokalt grunnbrudd under fylling eller fundament, lokal utglidning ved gravning i skråning i byggegrøp eller i skjæring (stabilitetsbrudd), eller lokal utglidning i naturlig skråning som følge av poretrykksendring eller erosjon.

**Områdestabilitet:** En stabilitetstilstand der et initialt brudd kan igangsette en progressiv frem- eller bakoverrettet bruddutvikling i tilstøtende sprøbruddmaterialer, slik som er typisk for kvikkleire. Skredet kan bli omfattende dersom det omrørte sprøbruddmaterialet får fritt utløp i fallende terreng.

## I praktisk bruk? Frode har svaret!

**Betydning av progressiv bruddutvikling**

**Vidar Gjelsvik, NGI**



# NIFS-Workshop skråningsstabilitet

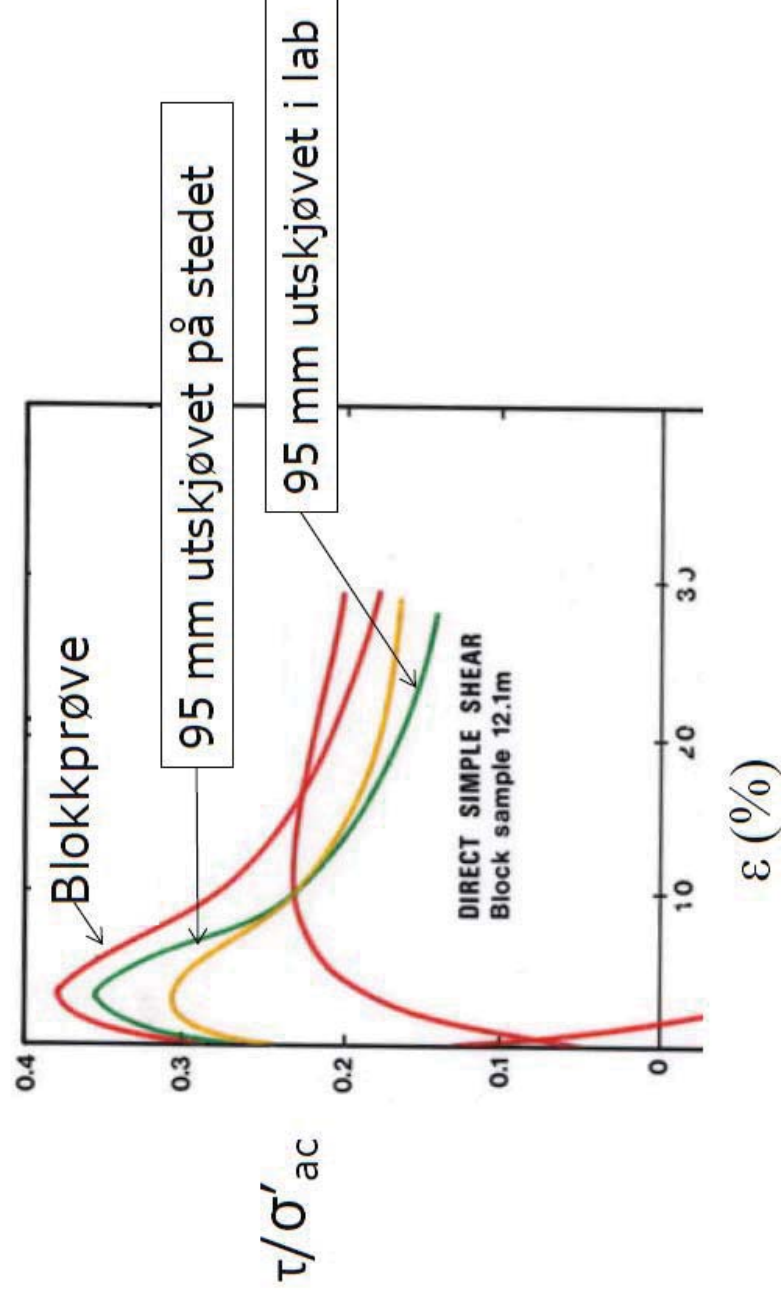
NTNU Grunnkurslab. 22 – 24 september 2015

Betydning av progressiv bruddutvikling

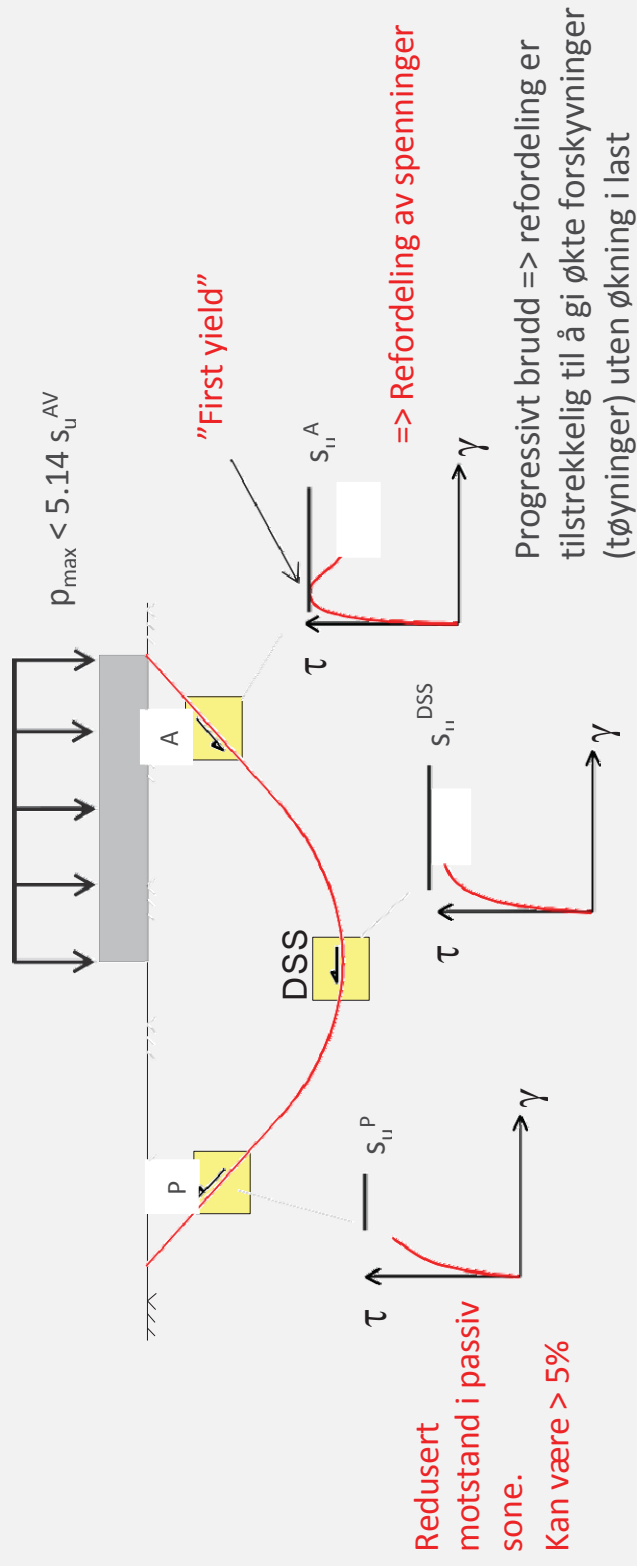
Vida Gjelsvik, NGI

Basert på presentasjoner av Hans Petter Jostad & Petter Fornes, NGI

# Sprøbruddmateriale



# Sprøbruddeffekt $\leftarrow \rightarrow$ Redusert bæreevne



Stivhetshavhengig kapasitet pga instabilitet gir lavere kapasitet en perfekt plastisk oppførsel

## Hensyn til sprøbrudd – metoder

1. Økning av sikkerhetsfaktor, lump sum
2. Reduksjon av fasthet i sensitive lag



# Hensyn til sprøbrudd – økning av $\gamma_M$

- ↗ Janbu 1970, Grunnlag i geoteknikk
  - Teoretisk maksimum for idealiserte tilfeller:  $F_{\text{softening}} = 1,6 - 2,0$
  - Sannsynlig maksimum i praksis:  $F_{\text{softening}} = 1,1 - 1,25$
- ↗ SVV håndbok V220 (tidligere 016)
  - $F_{\text{softening}} = \gamma_{\text{Msprøtt}} / \gamma_{\text{Mnøytralt}} \sim 1,07$

# Hensyn til sprøbrudd – reduksjon av fasthet

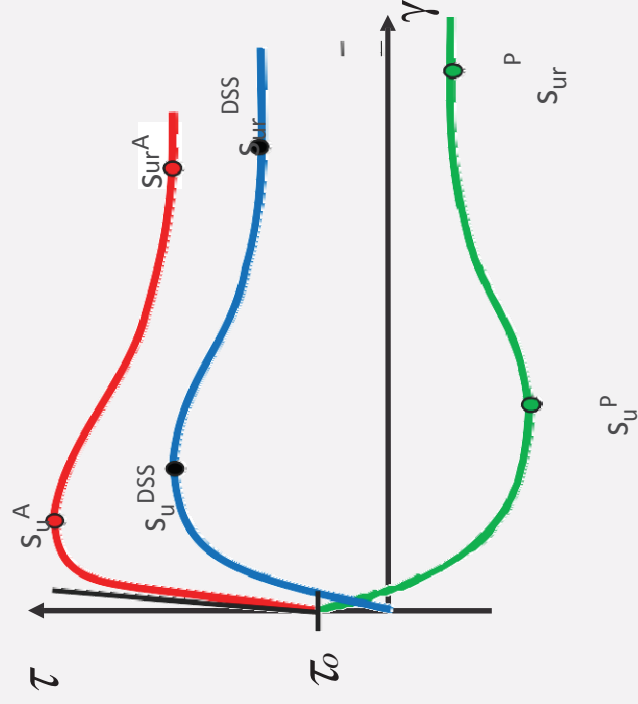
- NVE 7/2014
  - 15% reduksjon av aktiv fasthet i meget sensitive lag
- NGI / Karlsrud
  - 0 – 10 % gjennomsnittlig reduksjon av fasthet i meget sensitive lag

Type forsøk	Kvikk/meget sensitiv, $S_t > 15$	Lite/middels sensitiv leire, $S_t < 15$
Aktivt	10 – 15%	0 – 10%
DSS	5 – 10%	0 - 5 %
Passivt	0 – 5%	0

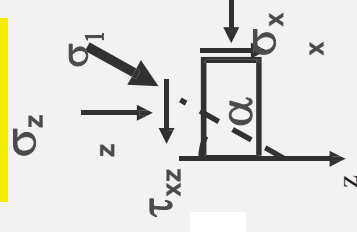
# Grunnlag for nye anbefalinger

↗ Anisotrop materialmodell med «softening»

NGI-ADP\_Soft

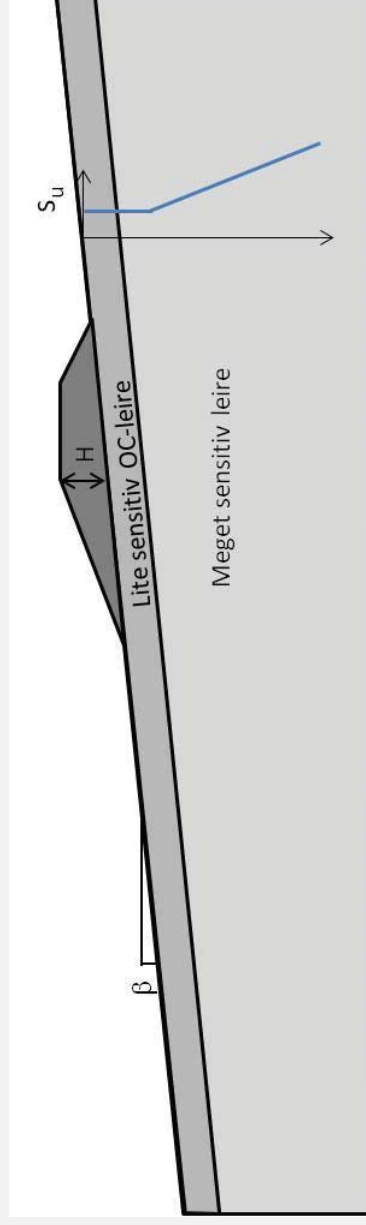


$$s_u(\alpha, \gamma)$$



# Beregninger – case studier

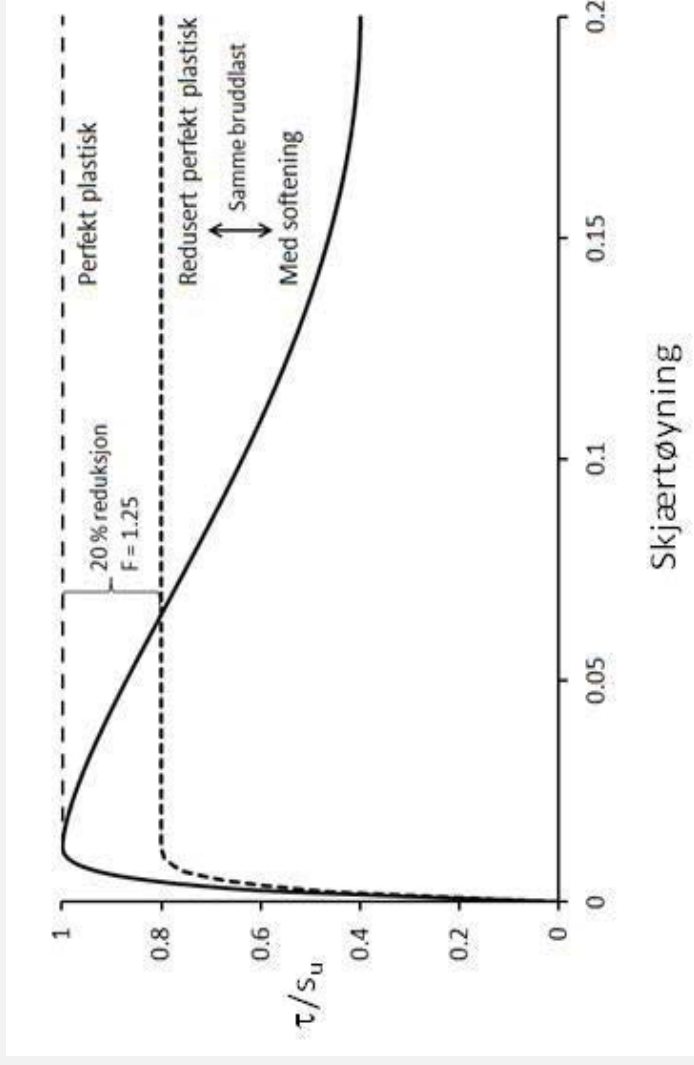
Analyser med og uten softening (sprøbrudd)



- Helning,  $\beta$
  - Skjærstyrke profil,  $s_u^c$
  - Stivhet ( $\tau$ - $\gamma$  kurve)
  - Anisotropi (styrke og stivhet)
  - Sprøhet (softening og skjærbåndtykkelse)
  - Initialspenning ( $K_0$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ )
- NGIs blokkprøvedatabase

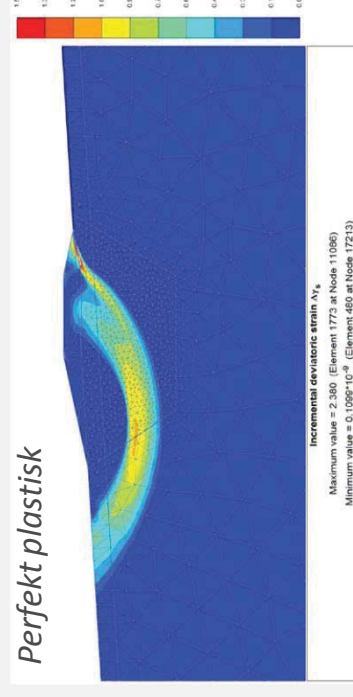
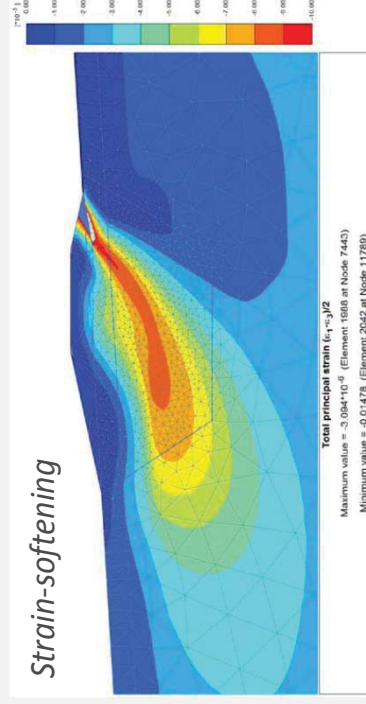
# Prosedyre

1. Beregner kapasiteten vha FEM med "softening"
2. Finner reduksjon i maks udrenert skjærstyrke  $s_u/F_{\text{softening}}$  som gir samme kapasitet i en analyse uten "softening"

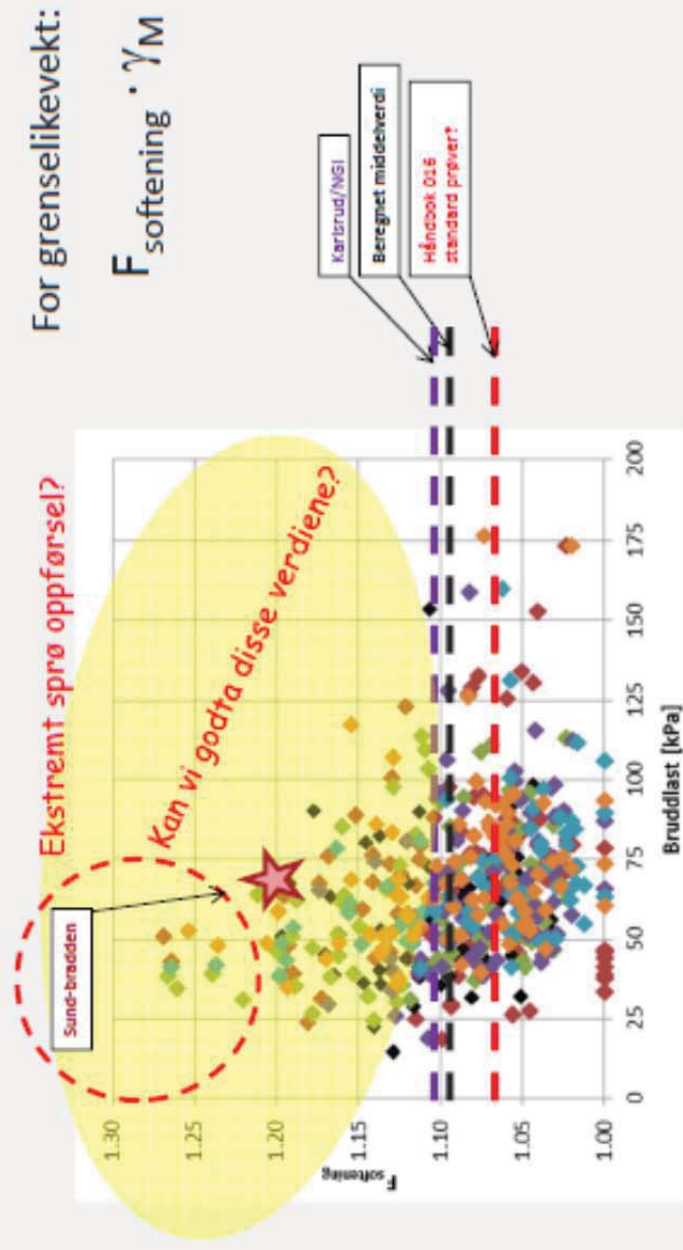


# Progressiv bruddutvikling

- ↪ Ikke fullt utviklet bruddmekanisme ved brudd, passiv sone ikke fullt mobilisert ennå
- ↪ Mobilisering av sensitiv leire – effekt av sprøbruddoppførsel NB!  
Ikke bare kvikleire som er sprø
- ↪ Kan ikke bruke grenselikevektsmetoden for å finne kritisk mekanisme
- ↪ Ikke tøyingskompatibilitet ved maks last (instabilitet)!

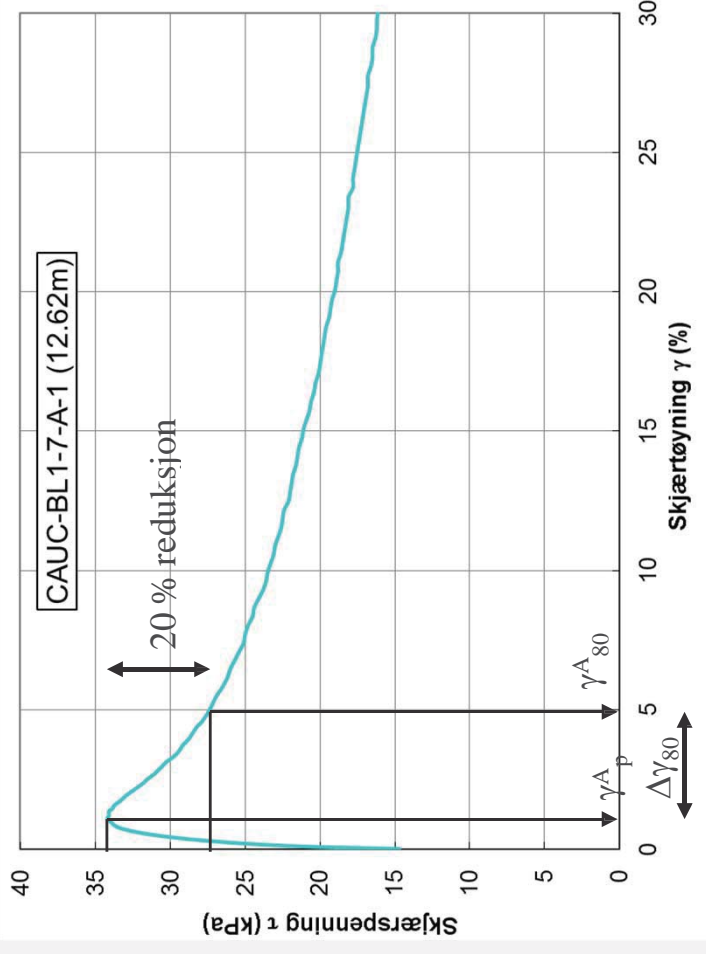
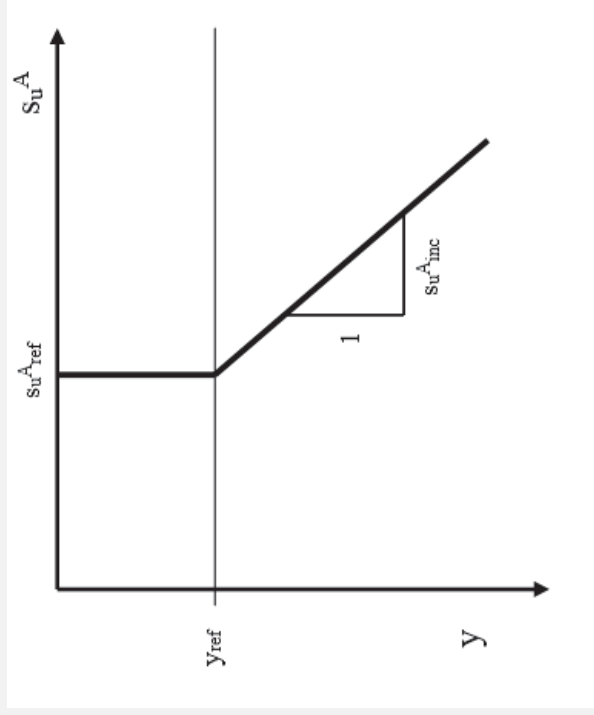


# Beregningsresultat



# Hva styrer sprøheten?

- Post peak sprøhet,  $\Delta\gamma_{80}$
- Fasthetsprofil





# Hva styrer sprøheten?

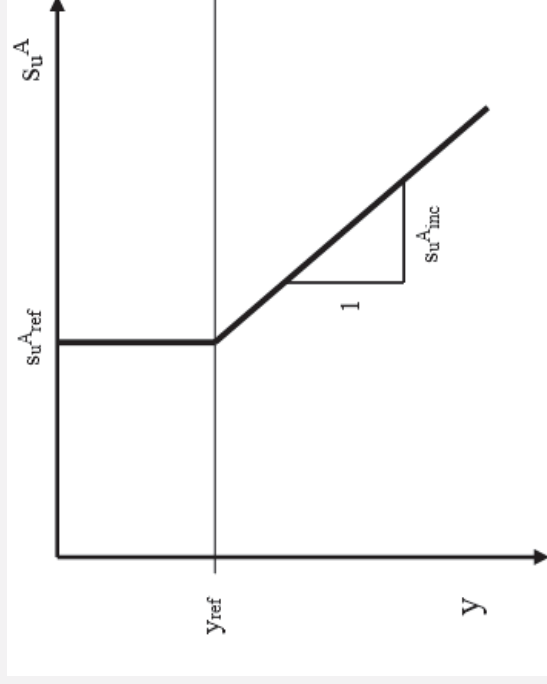
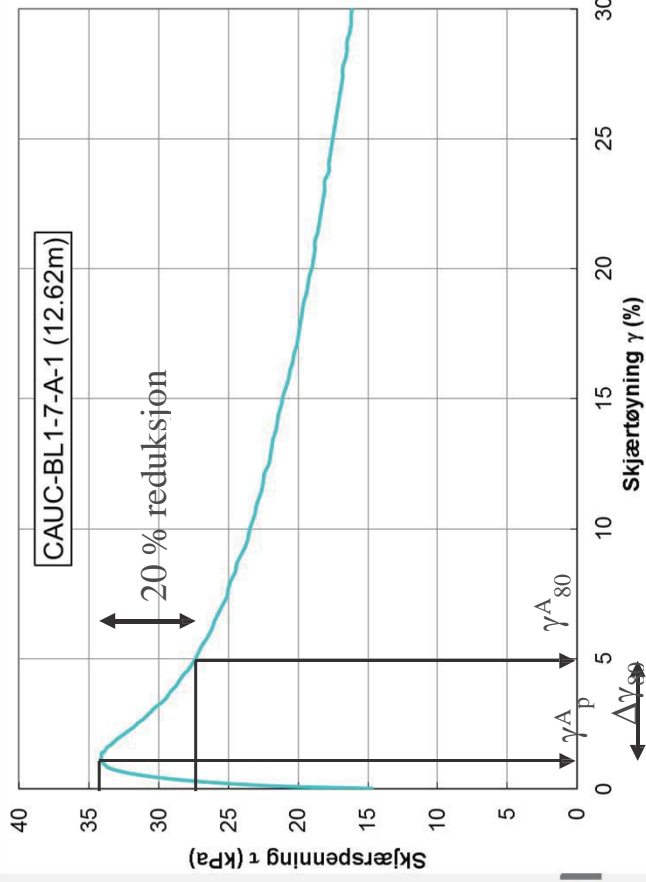
## ↪ Belastningssituasjonen

1. Definert stabilitetsforverrende belastning, pålastning eller avlastning
  1. Korreksjonsfaktor differensieres mhp. Post peak sprøhet og fasthetsprofil
  2. CAUA legges til grunn for aktiv pålastning
  3. CAUP legges til grunn for passiv avlastning
2. Ingen definert endring, ev. liten spenningsendring eller forbedring
  1. Ingen korreksjon for sprøbrudd
  2. Tiltak må tilfredsstillende lokal stabilitet

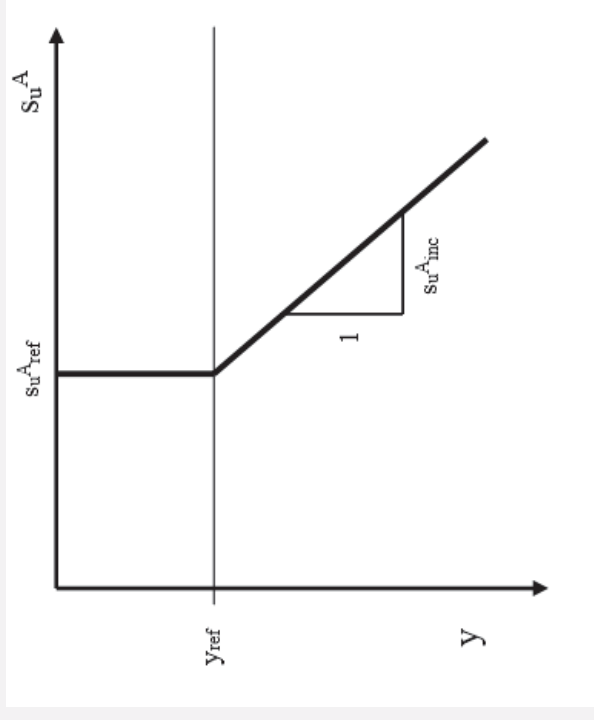
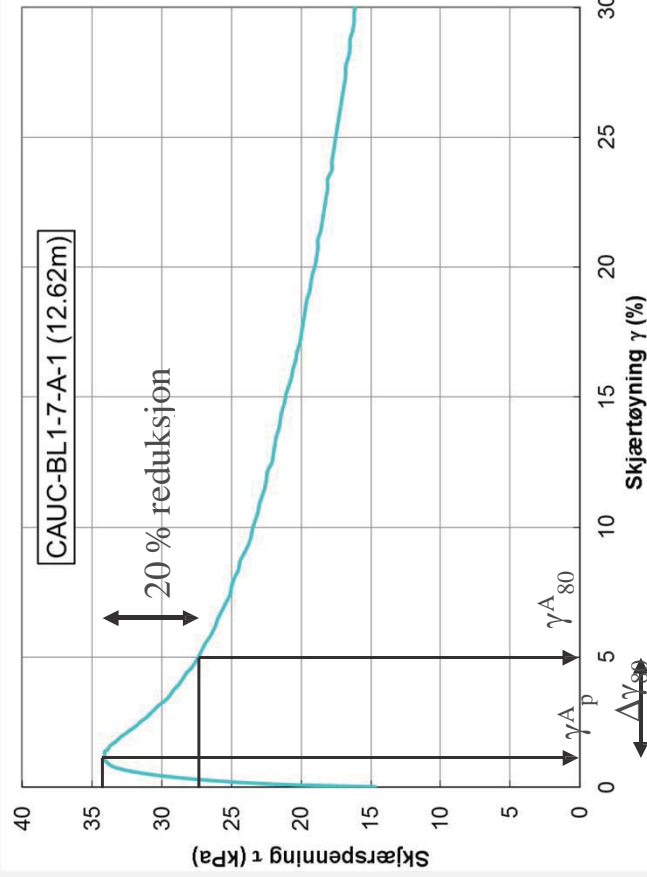
$\Delta\gamma_{80} = 0-5^* \%$	Relativ $F_{softering}$ for høy og middels sprøhet		
	$y_{ref} = 0-2 \text{ m}$	$y_{ref} = 2-4 \text{ m}$	$y_{ref} > 4 \text{ m}$
$S_{u,inc}^A = 2-3.5 \text{ kPa/m}$	1.10	1.10	1.15 <sup>**</sup>
$S_{u,inc}^A = 3.5-5 \text{ kPa/m}$	1.05	1.10	1.10
$S_{u,inc}^A > 5 \text{ kPa/m}$	1.05	1.05	1.10

\* Antatt variasjonsområde, bør kalibreres for lik bruddsannsynlighet

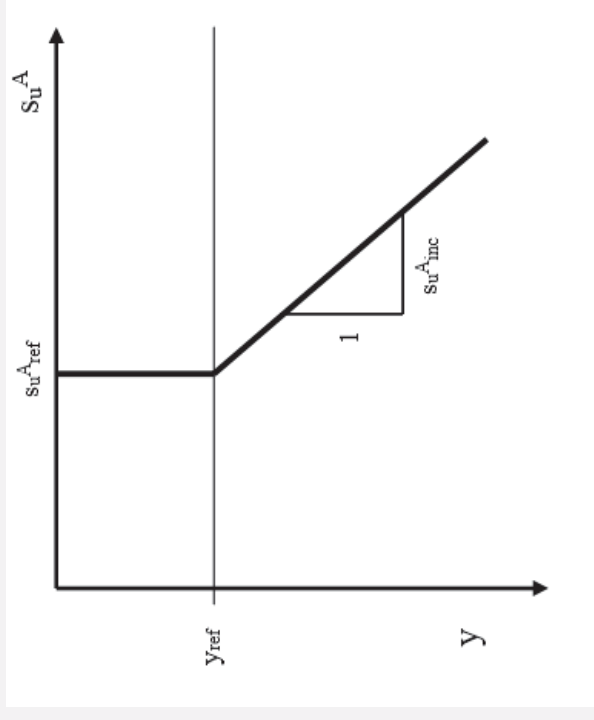
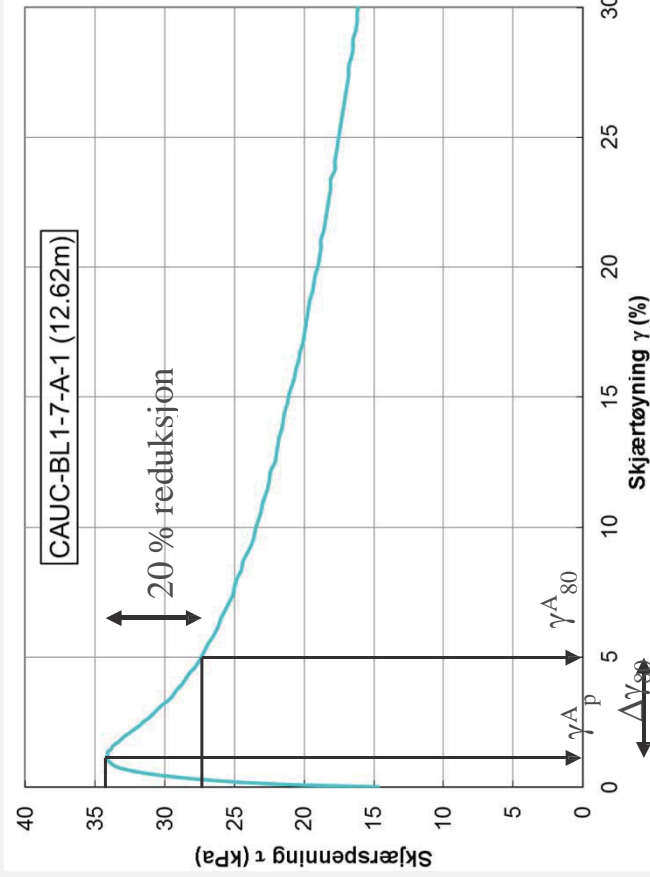
\*\* Justert noe opp for å ta hensyn til trolig høy bruddsannsynlighet i dagens praksis



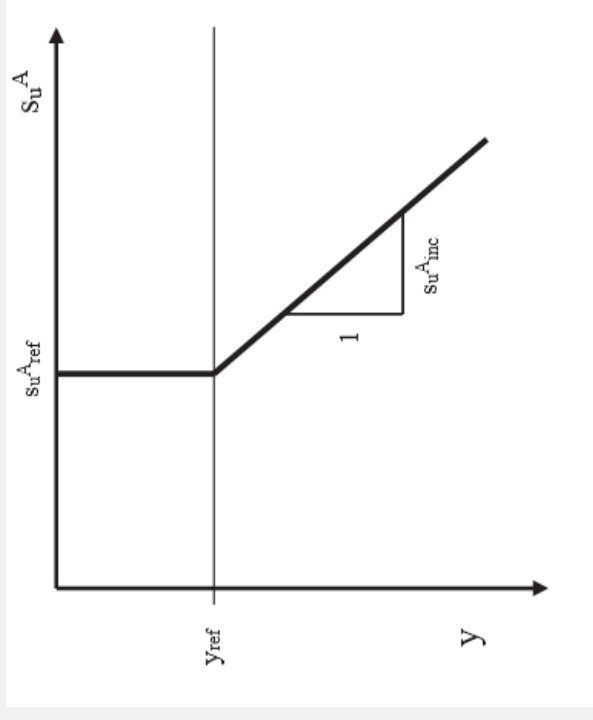
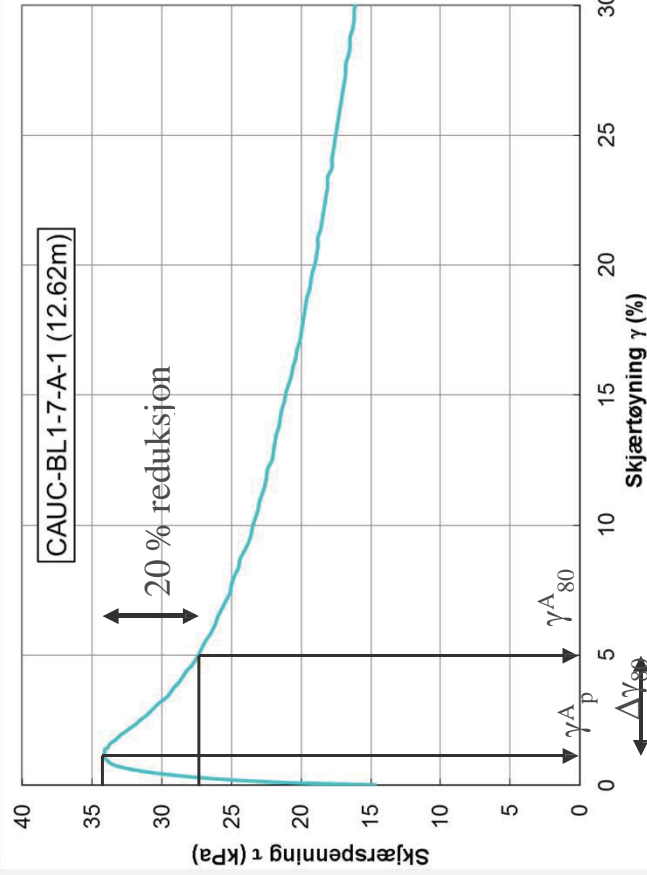
	$F_{\text{softening for høy sprøhet}}$		
	$y_{\text{ref}} = 0-2 \text{ m}$	$y_{\text{ref}} = 2-4 \text{ m}$	$y_{\text{ref}} > 4 \text{ m}$
$\Delta\gamma_{80} = 0-2 \%$			
$s_{U_{\text{inc}}}^A = 2-3.5 \text{ kPa/m}$	1.10	1.20	1.25
$s_{U_{\text{inc}}}^A = 3.5-5 \text{ kPa/m}$	1.10	1.15	1.20
$s_{U_{\text{inc}}}^A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

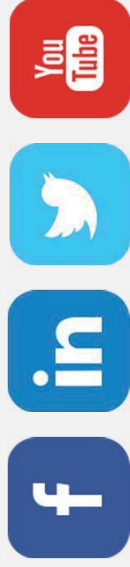


	F <sub>softening</sub> for middels sprøhet		
	y <sub>ref</sub> = 0-2 m	y <sub>ref</sub> = 2-4 m	y <sub>ref</sub> > 4 m
$\Delta\gamma_{80} = 2-5 \%$			
$S_{U_{inc}}^A = 2-3.5 \text{ kPa/m}$	1.10	1.15	1.25
$S_{U_{inc}}^A = 3.5-5 \text{ kPa/m}$	1.10	1.10	1.15
$S_{U_{inc}}^A > 5 \text{ kPa/m}$	1.05	1.10	1.10



$\Delta\gamma_{80} > 5\%$	F <sub>softening</sub> for lav sprøhet		
	$y_{ref} = 0-2\text{ m}$	$y_{ref} = 2-4\text{ m}$	$y_{ref} > 4\text{ m}$
$s_{u,inc}^A = 2-3.5\text{ kPa/m}$	1.05	1.10	1.20
$s_{u,inc}^A = 3.5-5\text{ kPa/m}$	1.05	1.05	1.15
$s_{u,inc}^A > 5\text{ kPa/m}$	1.05	1.05	1.05





@infoNGI

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT  
NGI.NO

## **Lokal- og områdestabilitet**

**Frode Oset, SVV**



**NATURFARE**

INFRASTRUKTUR - FLOM - SKRED

Workshop; skråningsstabilitet på effektivspenningsbasis  
NTNU 22.-24. september 2015

Lokal- og områdestabilitet

Frode Oset



# Hvordan avgrense lokal- og områdestabilitet?

- Definisjoner (NVE veileder 7/2014) :

**Lokalstabilitet:** Betegnelsen på en lokalt avgrenset stabilitetstilstand med mulighet for brudd (utglidning) i grunnen. Bruddet begrenses til det lokale påvirkningsområdet for spenningsendringen som har oppstått i skråningen. Typiske eksempler er lokalt grunnbrudd under fylling eller fundament, lokal utglidning ved graving i skråning i byggegrøp eller i skjæring (stabilitetsbrudd), eller lokal utglidning i naturlig skråning som følge av poretrykksendring eller erosjon.

**Områdestabilitet:** En stabilitetstilstand der et initialt brudd kan igangsette en progressiv frem- eller bakoverrettet bruddutvikling i tilstøtende sprøbruddmaterialer, slik som er typisk for kvikkleire. Skredet kan bli omfattende dersom det omrørte sprøbruddmaterialet får fritt utløp i fallende terreng.

## Utgangspunktet for videre detaljering

Litt høyttenking rundt definisjon av utstrekning for lokalstabilitet:

Hensikten med avgrensningen er i denne sammenhengen å trekke skillet mellom ulike nivåer i regelverket. Ut fra diskusjonene så langt har vi tro på at det kan være godt nok å lage en «administrativ» grense hvor vi sier at påvirkningen fra tiltaket er forholdsvis liten.

Forslaget legger grensen nær det nivået for variasjon i materialfaktor mellom anerkjente modeller for stabilitetsberegning som framkommer i litteraturen. I håndbok V220 kapittel 4 refereres forskjeller på inntil 6 % (Duncan .....).

Videre utredning innebærer at vi ser på utslagene av å sette grensen på 5 % endring av materialfaktor som følge av tiltaket.

Betragtningen gjøres uavhengig av om man benytter drenert eller udrenert analyse.

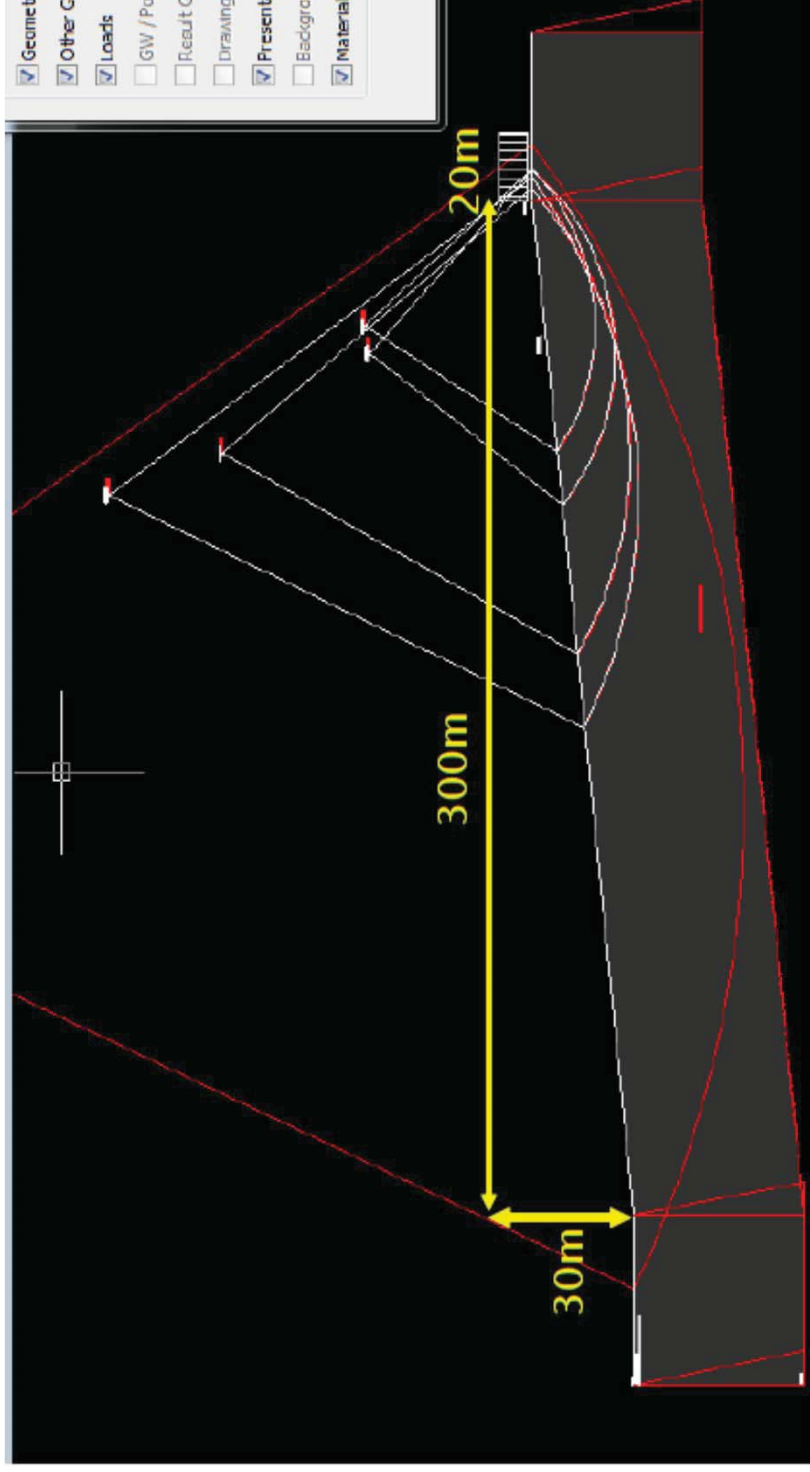
# Formulering av grensen mellom lokal- og områdestabilitet

## Forslag:

Utstrekningen for lokalstabilitet defineres innenfor området hvor det prosjekterte tiltaket gir mer enn 5 % forverring av beregningsmessig materialfaktor ved stabilitetsberegning.

Kravet gjelder samlet for både sirkulære og sammensatte glideflater.

# «Administrativ grense» ved 5% endring av materialfaktor



30 m høy skråning

300 m lengde

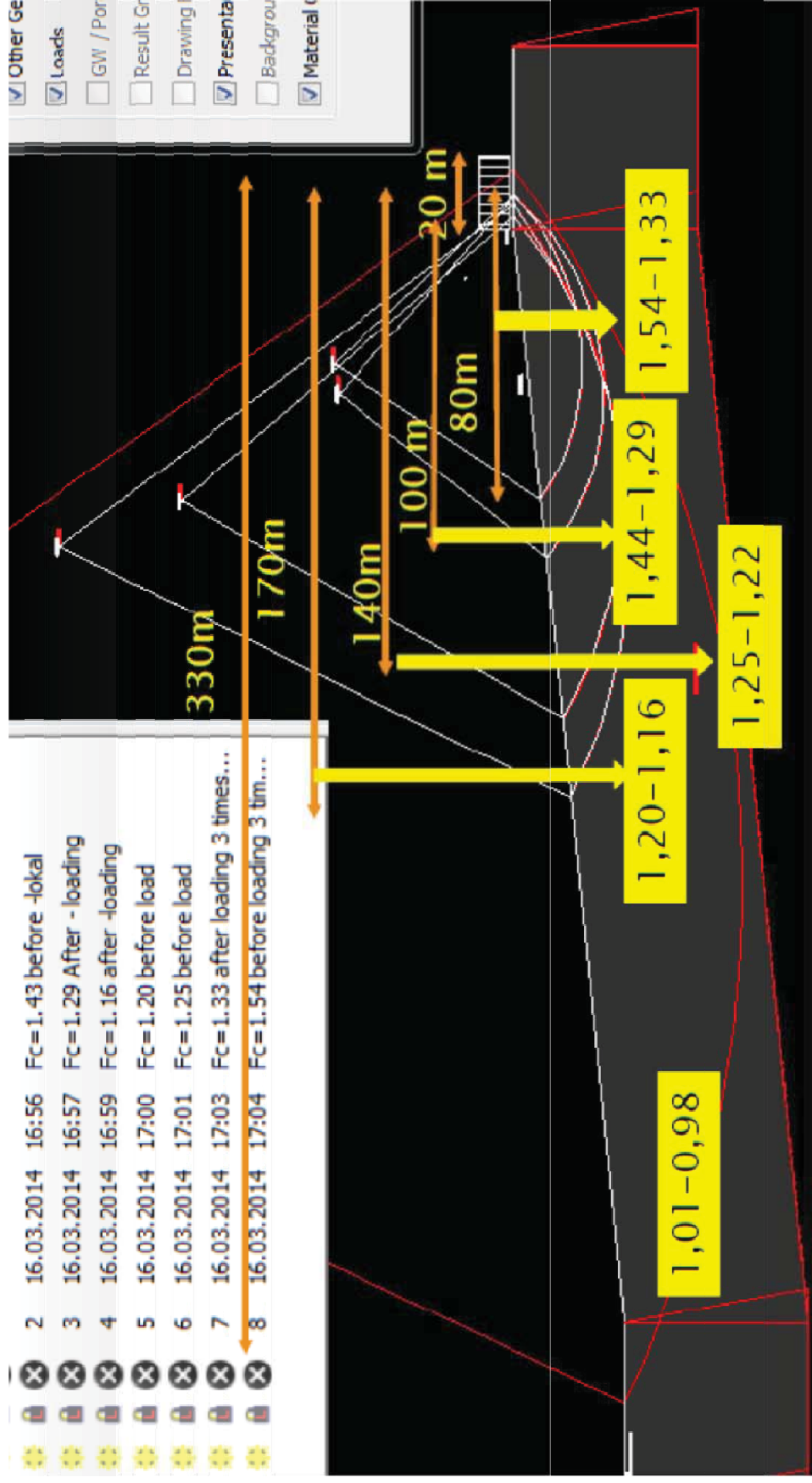
En 20m lang (*B*) og 2 m høy fylling (40 kPa) på topp

$S_u = 10 \text{ kPa} + 2 \text{ kPa/m} \cdot \text{Dybde}$

ADP etter 1, 0,63, 0,35

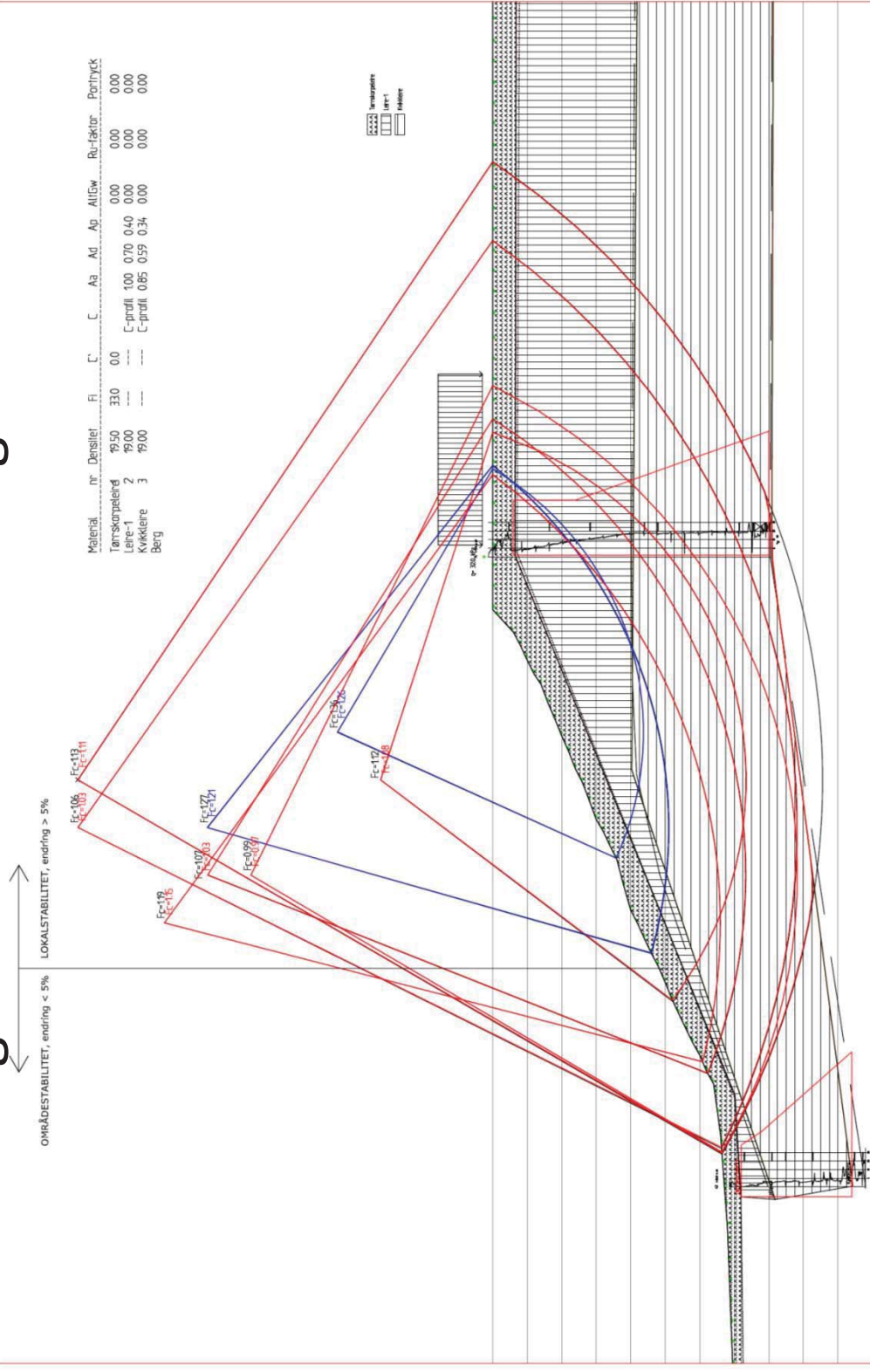
ill: V. Thakur

# «Administrativ grense» ved 5% endring av materialfaktor



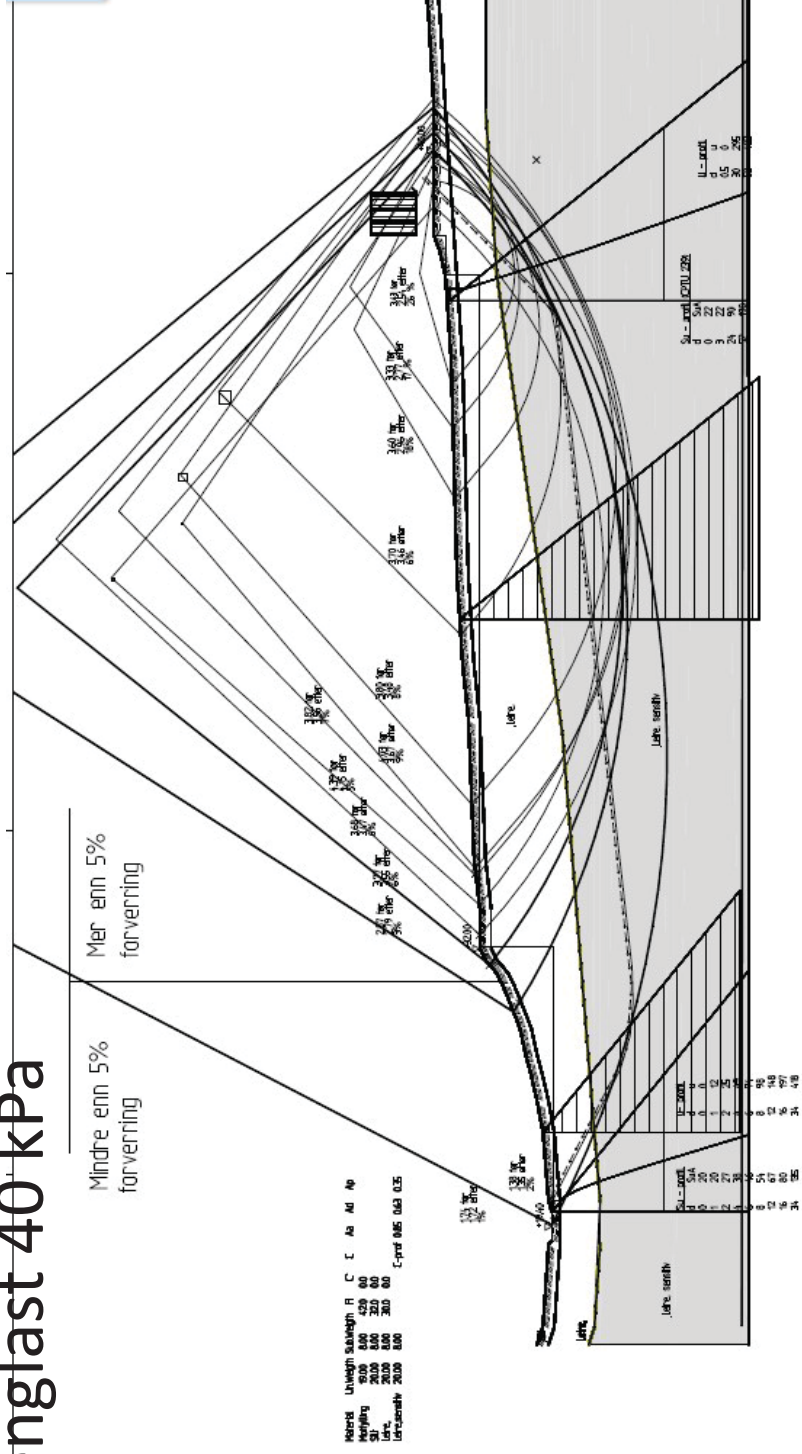
Ill: V. Thakur

# «Administrativ grense» ved 5% endring av materialfaktor

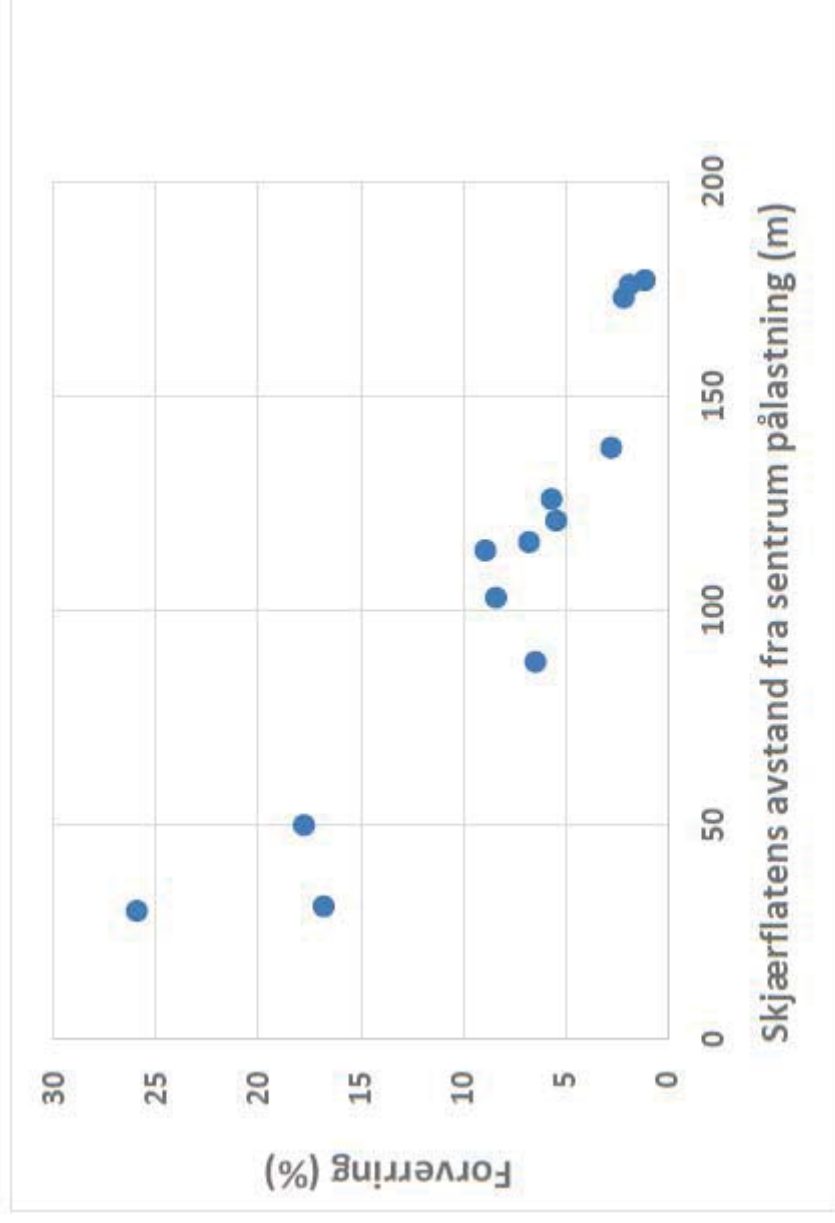


# NGI Beregningseksempel Breivikeidet

- Terrennglast 40 kPa



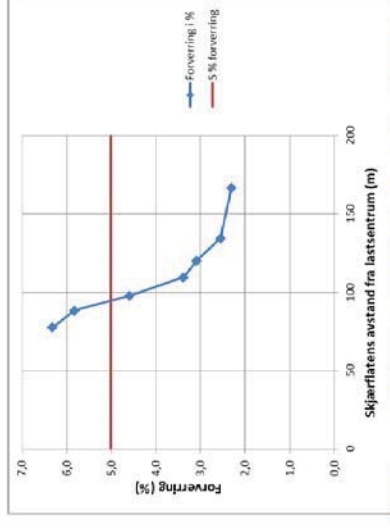
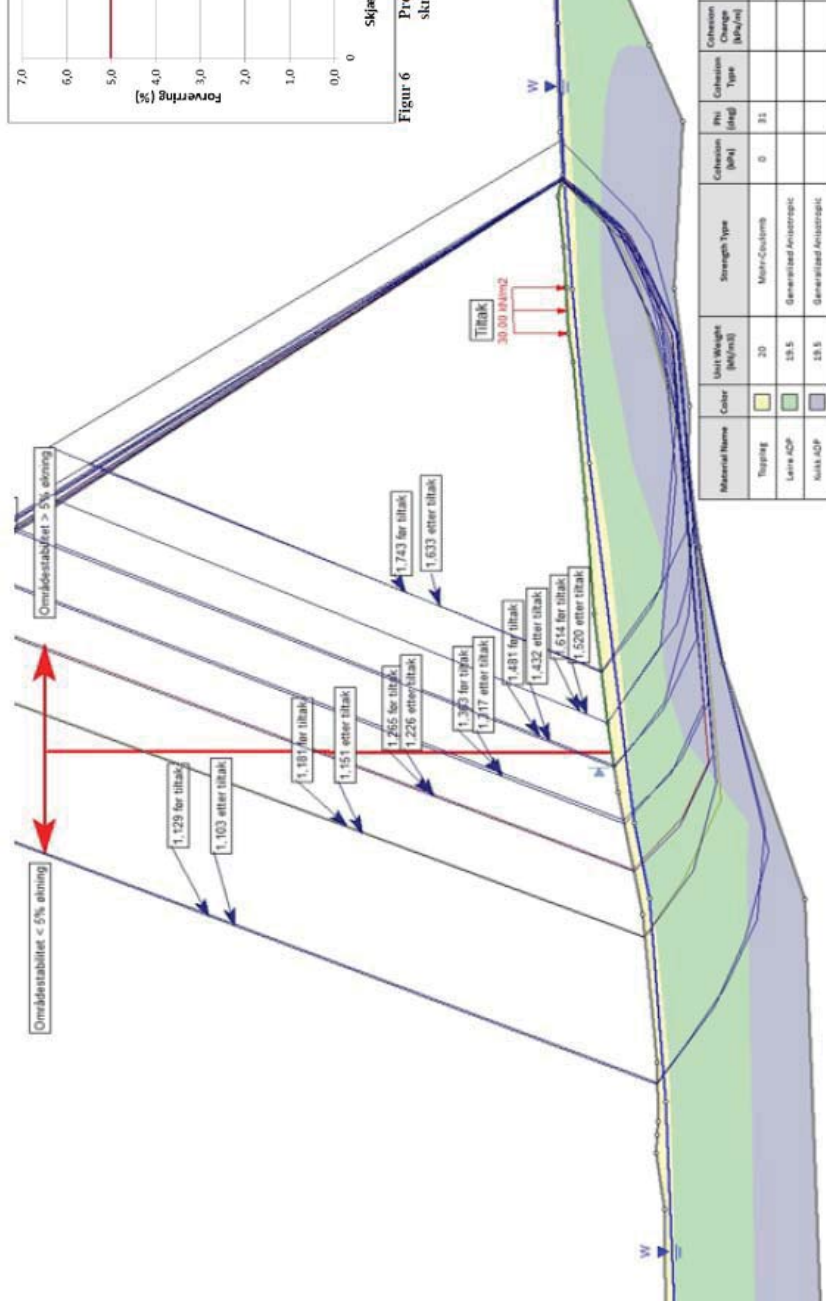
# NGI Beregningseksempel Breivikeidet



Figur 2 Prosentvisforverring vist i forhold til avstand fra last for 40 kPa

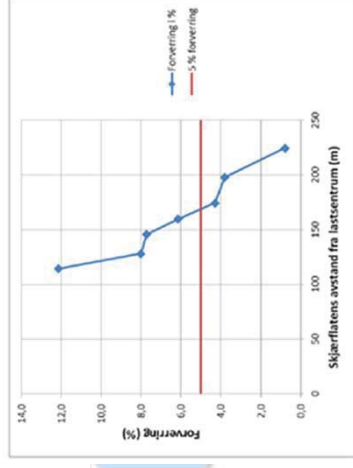


# SINTEF; belastning på topp av skråning

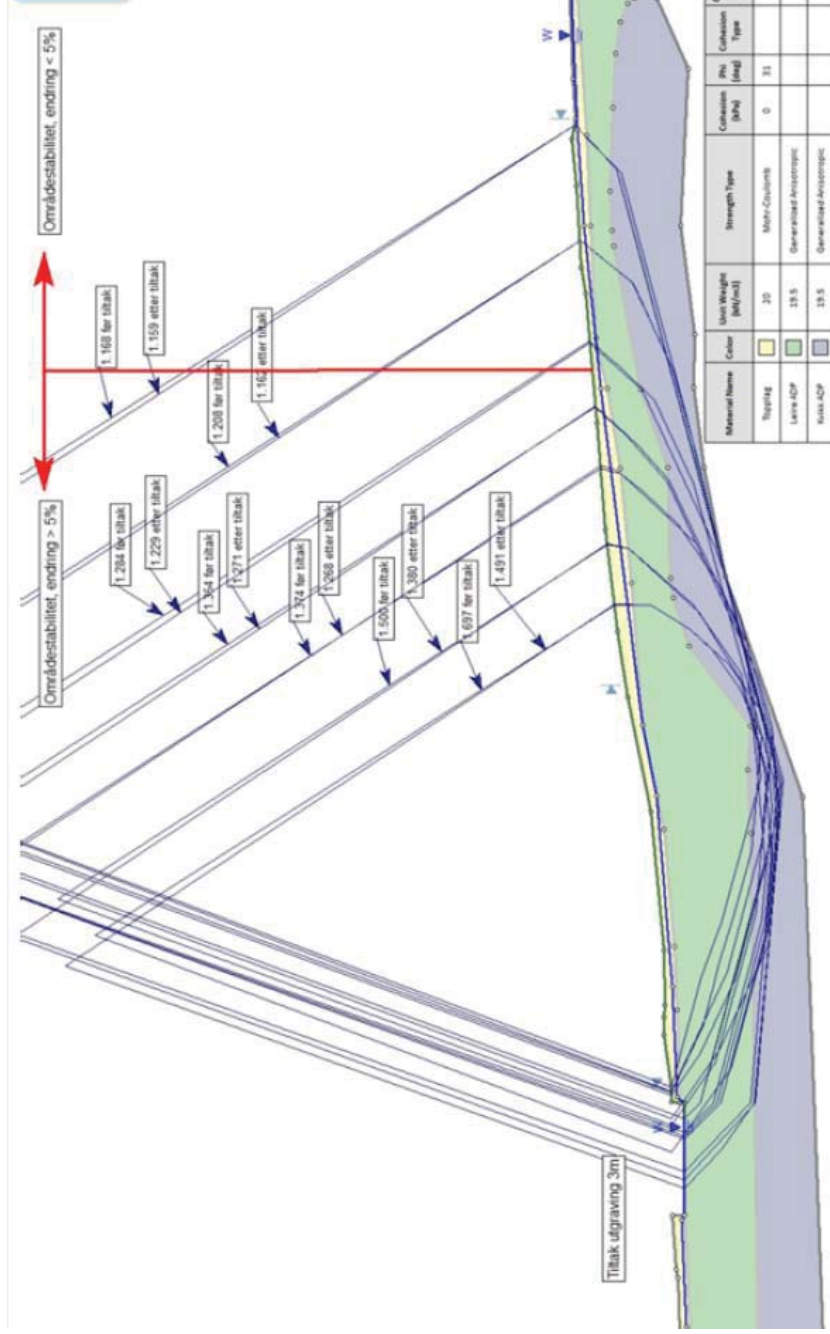


Figur 6 Prosentvis forøring mot avstand fra lastsentrum for last  $q=30$  kPa på topp av skråning.

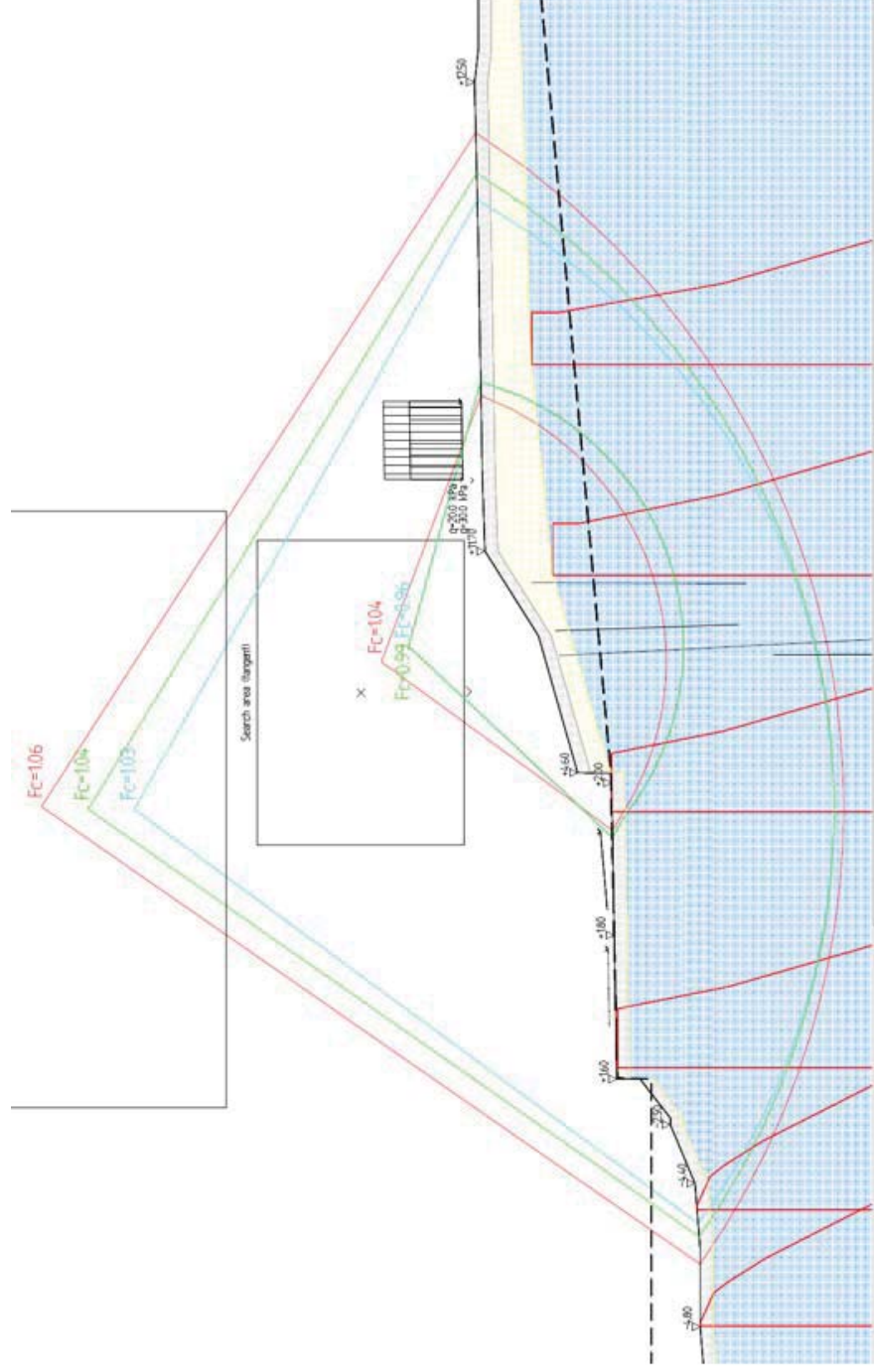
# SINTEF; utgraving ved fot av skråning



Figur 9 Prosentvis forverring mot avstand fra kant utgraving i bunn av skråning.

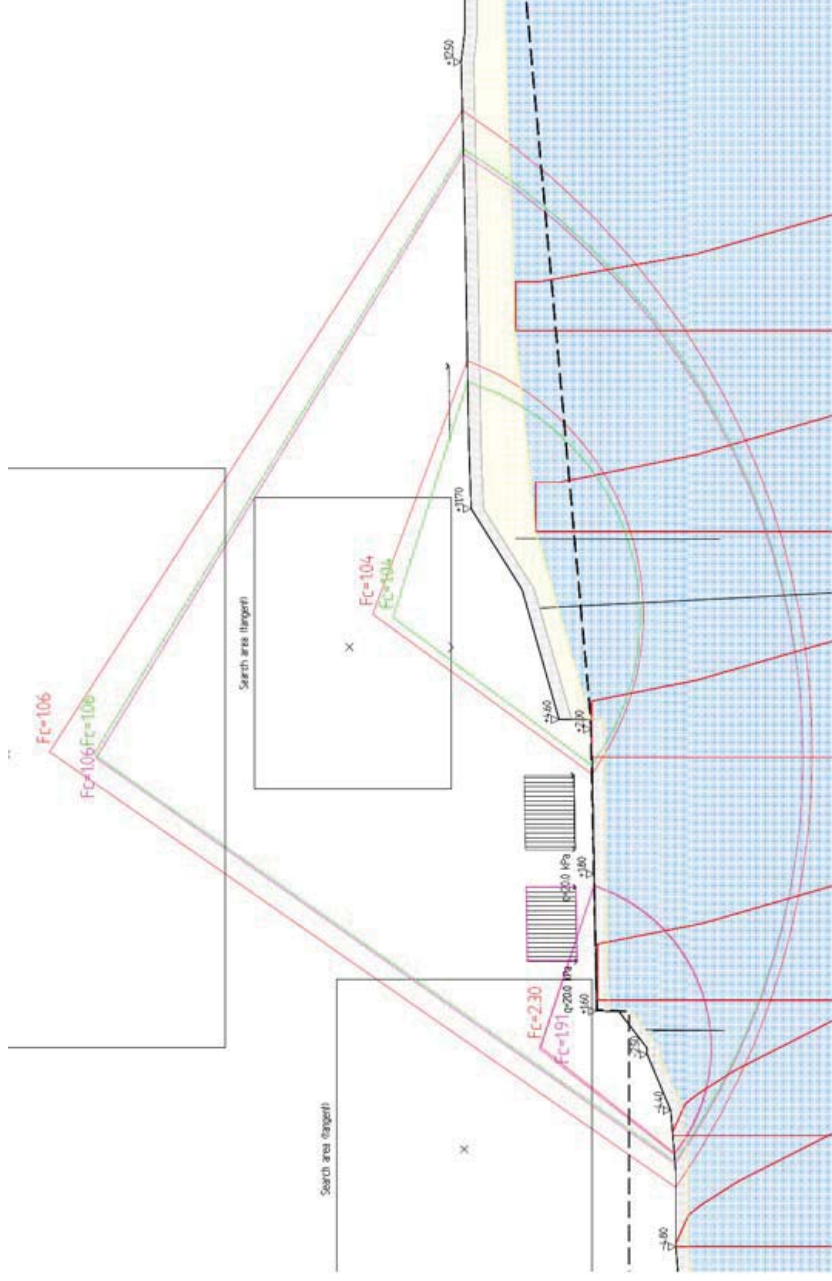


# Multiconsult; belastning på topp av skråning



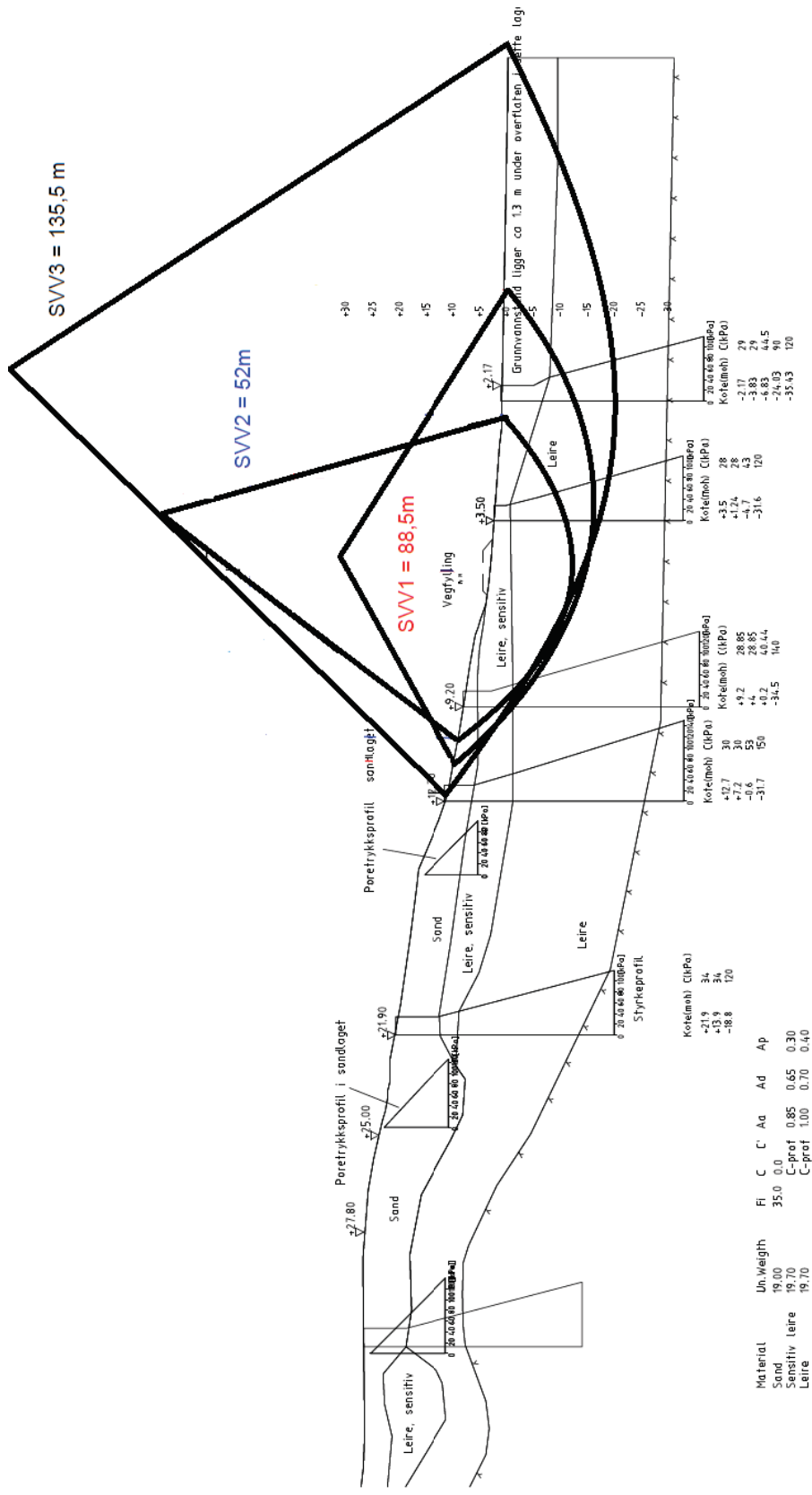
Figur 3-1: Utsnitt fra beregningseksempel for utbygging på oversiden av skråningen (Vedlegg A)

# Multiconsult; belastning på nedre plata



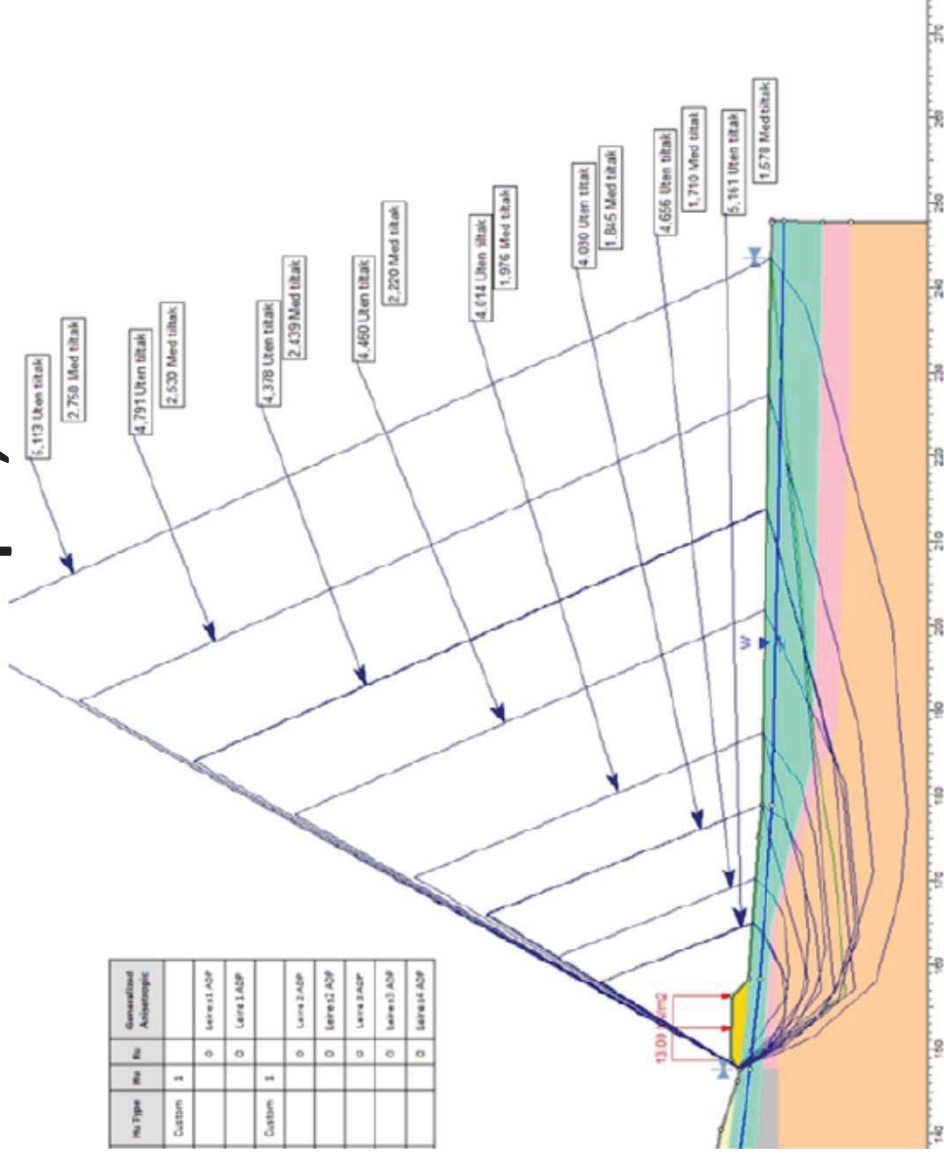
Figur 3-2: Utsnitt fra beregningseksempel for utbygging på nedsiden av skrånningen (Vedlegg B)

# Felleseksempel; SWW



# Felleseksempel; SINTEF

No	Type	No	Generalized Abstraction
1	Custom	1	
		0	SEPP11 ADP
		0	SEPP12 ADP
1	Custom	1	
		0	SEPP13 ADP
		0	SEPP14 ADP



## Videre arbeid/utfordringer

- Behov for tydeligere formulering av kravet?
  - Bruk av skjønner må forutsettes, og det må være tydelig rom for dette
- Tilpasset funksjonalitet i beregningsverktøy vil være en fordel



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)





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)

