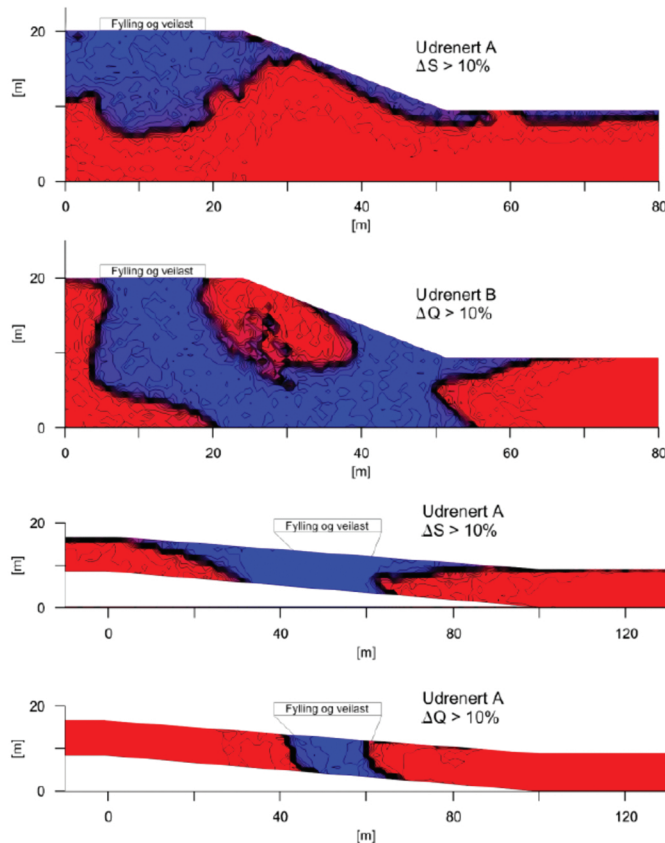




Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire
Likestilling mellom bruk av absolutt material
faktor og av prosentvis forbedring:
Bruk av spenningsendring for å definere
lokalskred og områdeskred

59
2014



R
A
P
P
O
R
T

Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire

Likestilling mellom bruk av absolutt material
faktor og av prosentvis forbedring:
Bruk av spenningsendring for å definere
lokalskred og områdeskred

Rapport nr. 59/2014

Likestilling mellom bruk av absolutt material faktor og av prosentvis forbedring: bruk av spenningsendring for å definere lokalskred og områdeskred

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

Utarbeidet av: Samarbeidsgruppen SINTEF/Multiconsult

Forfattere: Stein Olav Christensen, Anders Samstad Gylland (SINTEF)

Dato: 21.10.2013

Opplag: P.O.D.

ISBN: 978-82-410-1011-8

Avrop:

Med bakgrunn i SINTEF rapport SBF IN F10412 og NIFS- rapport nr. 80/2012 "Likestilling mellom bruk av absolutt materialfaktor og prosentvis forbedring?", utarbeidet av prosjektgruppen Sintef/Multiconsult i 2012, vil NIFS fokusere på å finne et anvendbart skille mellom lokalskred og områdeskred. Sintef/Multiconsult angir i rapport 80/2012, side 27 "... det skal anleggsteknisk mye til å endre likevektspenningene i en stor skråning mens det i et lokalt område er fort gjort å spise opp marginen. Prinsippet om prosentvis forbedring blir derfor "dimensjonsavhengig" og det vil derfor være logisk å heve sikkerhetsnivået for mindre problemstillinger eller lokale deler av et større prosjekt. Det mest rendyrkede vil da være lokalt å øke kravet til materialfaktor og bruke samme prinsipp for valg av karakteristisk verdi som før."

Definisjon av lokalstabilitet og områdestabilitet, som ønsket uttrykket fra NIFS-gruppen: "Lokalskred: Et lokalt rotasjonsskred eller overflateutglidning som kan skje i alle materialtyper. Bruddet (utglidningen) avgrenses innenfor det lokale influensområdet for spenningsendringen som tiltaket fremkaller, eller som har oppstått i skråningen. Områdeskred: Utvikling av "områdeskred" skjer i sprøbruddmaterialer eller kvikk leire, oftest lokalisert i tilstøtende naturlige leirskråninger, med hellende terreng både i skredgropa og skredutløpet. Både lokalskred og områdeskred kan skje ved påvirkning av naturkrefter eller av menneskeskapte tiltak. De kan tilsvarende også skje i naturlige skråninger og menneskeskapte skråninger." Det opplyses om at NIFS-gruppen på nåværende stadium vurderer å foreslå bruk av krav til absolutt materialfaktor for lokalskred. Prosentvis forbedring er foreløpig kun vurdert for bruk ved forbedring av områdestabilitet som følge av topografiske endringer eller lette masser (ikke ved bruk av andre konstruksjonstiltak).

Oppgavebeskrivelse:

Ut ifra prinsippet om "dimensjonsavhengighet" og definisjonene av lokalskred og områdeskred, som beskrevet ovenfor, ønsker NIFS at prosjektgruppen skal vurdere hvordan man ut i fra spenningssteori kan angi et skille mellom lokalskred og områdeskred. Dette skal uttrykkes i form av tallverdier for spenningsendringer (1) og/eller i form av en geometrisk avgrensning (2). Det skal gis en drøftet begrunnelse av tallverdiene og/eller den geometriske avgrensningen som foreslås. Forslaget skal

angis i en praktisk anvendbar bruksanvisning. Løsningen skal ikke kreve bruk av spesifikke beregningsprogram.

Ved bruk av kun tallfestede anslag for spenningsendringer skal disse angis som intervall (eksempelvis 2-5 %) eller som en øvre grense. Uansett hvordan tallverdiene velges å oppgis så skal man etterstrebe konservative anslåtte verdier, og det skal gis en beskrivelse av hvordan disse tallene skal brukes ved vurdering av spenningsverdier.

Ved bruk av geometriske avgrensninger skal dette angis som en geometrisk figur eller som en avlesningstabell med utgangspunkt i helning, høydeforskjell eller lignende.

Oppgavens mål: Finne en praktisk anvendbar løsning for bruk av spenningsendringer som avgrensning for å skille lokalskred og områdeskred. Dersom ikke dette målet anses å være realistisk å kunne oppgi, må i tilfelle også dette drøftes og begrunnes.

Emneord: lokalskred, områdeskred, spenningsendringer, sprøbruddsmateriale, skråningsstabilitet

SBF2013A0274 - Åpen

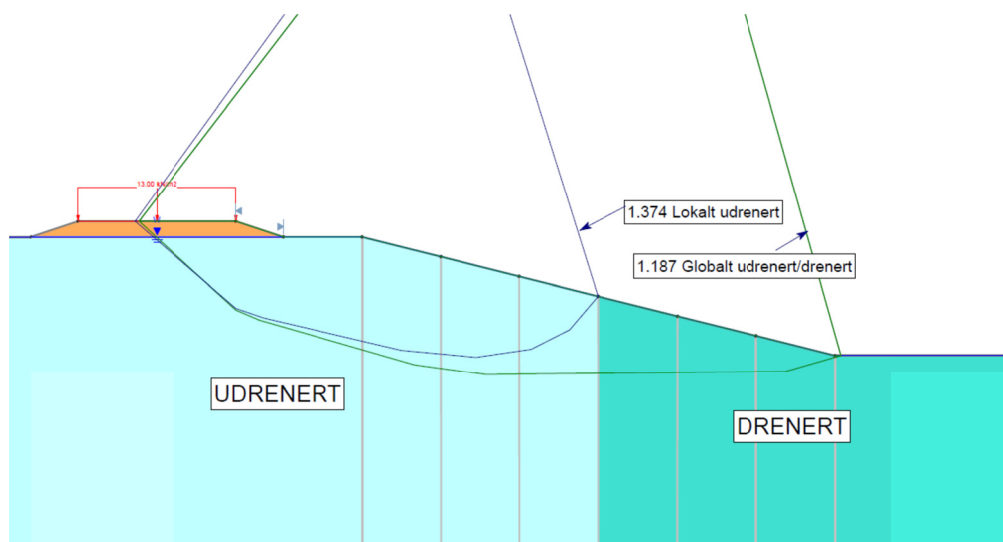
Rapport

Vegfyllinger og skråningsstabilitet

Evaluering av spenningsendring som kriterium for å vurdere lokal og global bruddmode

Forfatter(e)

Stein Olav Christensen, SINTEF
Anders Samstad Gylland, SINTEF



SINTEF Byggforsk

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73593000
Telefaks: 73595340byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Rapport

Vegfyllinger og skråningsstabilitet

Evaluering av spenningsendring som kriterium for å vurdere lokal og global bruddmode

EMNEORD:
Geoteknikk
SkråningsstabilitetVERSJON
Rev.01DATO
2013-10-21FORFATTER(E)
Stein Olav Christensen, SINTEF
Anders Samstad Gylland, SINTEFOPPDRAGSGIVER(E)
NIFSOPPDRAGSGIVERS REF.
Vikas ThakurPROSJEKTNR
102004772ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
44 + vedlegg

SAMMENDRAG

Overskrift sammendrag

Foreliggende rapport er en leveranse i etatsprogrammet Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS), delpakke 6 som går på Kvikkleire. Rapporten er utarbeidet i samarbeid mellom SINTEF og Multiconsult.

Rapporten beskriver muligheter og begrensninger for bruk av spenningsendringer som kriterium for å skille mellom lokalskred og områdeskred. Analysene er utført ved å regne udrenert i et lokalt nærfelt under en veifylling i en skråning, og drenert utenfor. Aspekter ved denne beregningsfilosofien er belyst både med tanke på materialfaktorer og utbredelse av nærfeltet basert på spenningsendringer. En beregningsmetodikk, med lokal udrenert sone og global drenert sone, vil som oftest gi høyere materialfaktor sammenlignet med en tradisjonell ren udrenert beregning.

Resultatene fra denne studien viser at det må gjøres mer arbeid før man kan gå videre i retning av generelle retningslinjer. Det anbefales fullskala instrumentering av ett eller flere representative utbyggingsprosjekt for å få en dypere innsikt i problemstillingen.

UTARBEIDET AV
Stein Christensen, SINTEF

SIGNATUR

KONTROLLERT AV
Håvard Narjord, Multiconsult

SIGNATUR

GODKJENT AV
Maj Gøril Glåmen Bæverfjord, SINTEF

SIGNATUR

RAPPORTNR
SBF2013A0274ISBN
978-82-14-05427-9GRADERING
ÅpenGRADERING DENNE SIDE
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
01	2013-10-21	Prosjektrapport

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	5
2	Oppgaveforståelse	5
3	Spenningsteori	6
4	Modeller og beregningsverktøy	8
4.1	Mobilisering og skjærfasthet	9
4.2	Plaxis	11
5	Betraktninger rundt spenningsendring som kriterium for å definere udrenert nærfelt.....	12
5.1	Relevante spenningsparametere	12
5.2	Angivelse av spenningsendring.....	13
5.3	Modellering (FEM)	13
5.4	Grenseverdi for spenningsendring.....	15
5.5	Kriterier og grenseverdier brukt i beregningene	15
6	Resultat.....	16
6.1	SLIDE.....	16
6.2	Plaxis	23
6.2.1	Udrenert modelleringsprinsipp: udrenert A og udrenert B.....	23
6.2.1	Spenningsendring ΔS og ΔQ	25
6.2.2	Grenseverdi for spenningsendring	26
7	Diskusjon.....	31
7.1	Vurdering av beregningskonsept	31
7.2	Initialspenninger	31
7.3	Spenningskriterie	31
7.4	Grenseverdi for spenningsendring.....	34
7.5	Materialoppførsel	35
7.6	Problemavhengighet.....	35
7.7	Begrensninger	36
8	Konklusjon	37
9	Forslag til videre arbeid	38
10	Referanser.....	39
A	Vedlegg – Avrop fra NIFS	40

B	Vedlegg – Plaxismodell	42
B.1	Geometri	42
B.2	Beregningsfaser	43
B.3	Materialparametere.....	43

1 Introduksjon

Konsortiet SINTEF og Multiconsult har en rammeavtale under etatsatnings-prosjektet Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS), delpakke 6 som går på Kvikkleire. Hovedmålsettingen med NIFS-prosjektet er iht. / 1/ å "Samordne retningslinjer og bedre verktøy for geoteknisk prosjektering i kvikkleireområder". Innenfor denne rammeavtalen ble det i 2012 gjennomført en oppgave med tittelen "Likestilling mellom bruk av absolutt materialfaktor og prosentvis forbedring". Med bakgrunn i denne oppgaven ønsker NIFS at SINTEF/Multiconsult finner en praktisk anvendbar løsning for bruk av spenningsendringer som kriterium for å skille mellom lokalskred og områdeskred. Avropet er gjengitt i Vedlegg A.

2 Oppgaveforståelse

Vi forstår oppgaven slik at det skal vurderes/bestemmes størrelsen på influenssonen for menneskeskapte inngrep i form av udrenert oppførsel og hvordan en oppdeling av lokale udrenerte soner sammen med drenert materialoppførsel i fjernfeltet påvirker stabilitetsbildet.

Fremgangsmåten for å løse denne oppgaven har vært:

- Vurdering av betydning av influenssonens utbredelse for sikkerhetsnivå. Vurderingen er utført ved udrenert betraktning innenfor influenssonen og drenert betraktning utenfor sonen.
- Det er utført analyser med programmet SLIDE for ulik utstrekning av lokale udrenerte soner (nærfelt) med variasjon av skråningshelning og skjærfasthet. Det er i vurderingen antatt kvikkleire med økende skjærfasthet til stor dybde fra terreng.
- Det er utført beregninger med PLAXIS for å vurdere utbredelse av spenningsendring er som kan tenkes å definere den udrenerte nærsone.

Vi har valgt å fokusere på følgende aspekter:

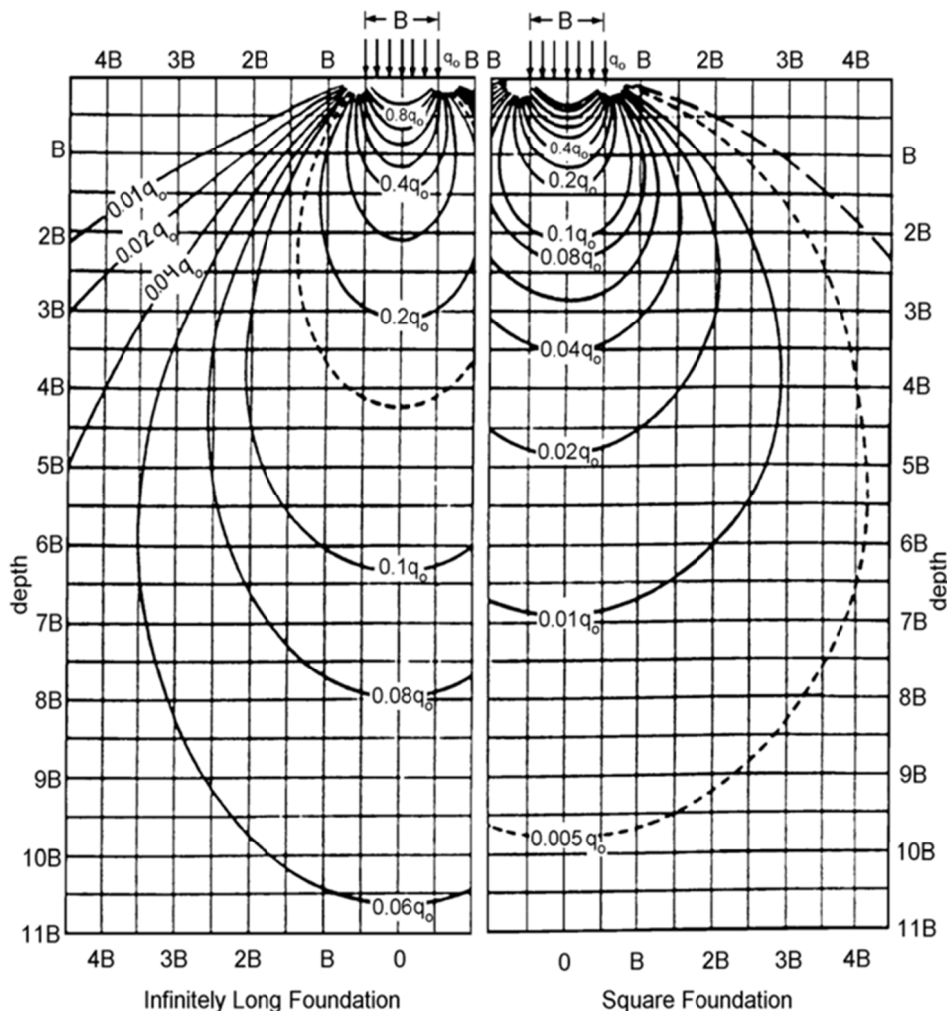
- Kvantifisere effekt av varierende utstrekning av lokal udrenert sone på beregnet materialfaktor (grenselikevekt)
 - Varierende skjærfasthet
 - Varierende skråningsgeometri
- Utbredelse av spenningsendring som følge av lastpåføring i skråning (FEM), det vil si mulig definisjon av "udrenert nærfelt"
- Vurdering av beregningsmetodikk (FEM)
- Evaluering av kriterier for spenningsendring (FEM)
- Evaluering av grenseverdi for spenningsendring (FEM)

Arbeidet omfatter et kort litteraturstudie av løsninger for spenningsfordeling. Videre det sett på relevante masteroppgaver utført ved NTNU.

Rapporten inneholder diagrammer med resultater fra analysene som er utført, og som viser effekt av nærfeltets utbredelse ut fra antagelsene som er gjort. Basert på resultatene i prosjektet er det videre gitt en vurdering av prinsippet om å skille mellom lokal og global stabilitet ved vurdering av skråningsstabilitet.

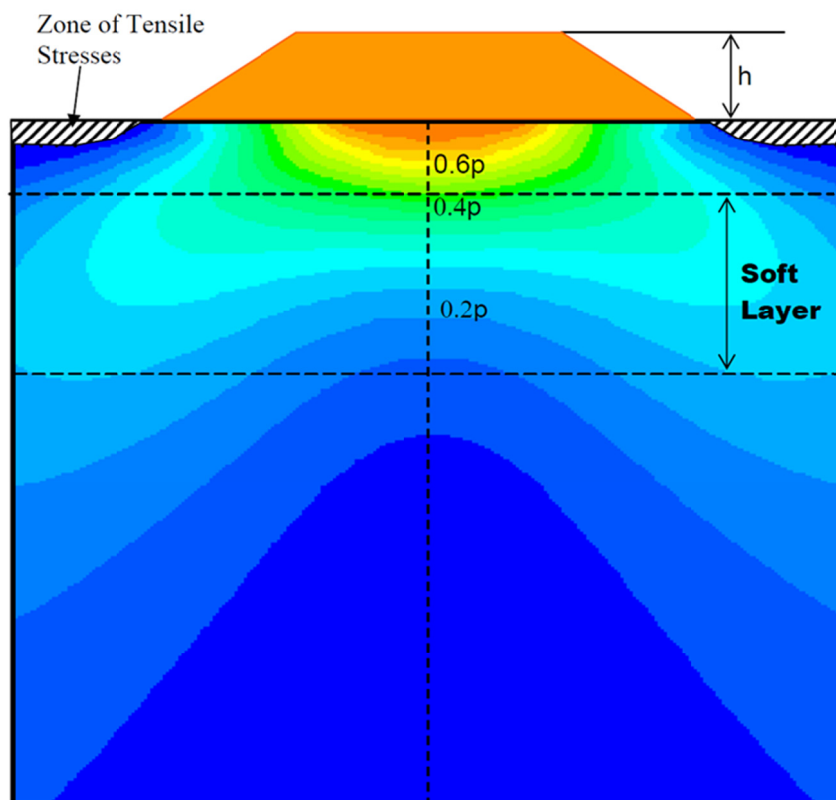
3 Spenningsteori

Ved belastning på et jordlegeme vil de vertikale og horisontale spenningene øke. Spenningsøkningen er størst nærmest lasten og avtar ved økende avstand fra belastet område. Figur 1 viser fordeling av spenninger under et belastet område ut fra elastisk teori (Boussinesq-løsning). Figur 1 viser isobarer eller spenningsbobler for både langstrakte ($L/B > 10$) og kvadratiske lastfundament ($L/B = 1$). Størrelsen av spenningsboblen er proporsjonal med lastbredden. Dybde og avstand til spenningsendringer som ikke representerer vesentlige tøyningseendringer på grunn av lasten må vurderes i det enkelte tilfellet. Typisk gir områder med spenningsendringer mindre enn 10-15% små tøyninger og vil ha liten betydning for setninger. Når det gjelder kriterier for spenningsendringer som kan influere på bæreevne og skråningsstabilitet kan dette være mindre enn kriteriet som gir små tøyninger i setningssammenheng, og dette kriteriet for skråningsstabilitet er vurdert nærmere med FEM-analyser i denne rapporten. Fra Figur 1 ser man at spenningsendring på 2-4% har en utbredelse på ca 1:1 fra lastkanten og er proporsjonal med fyllingsbredden. For en 1m høy vegfylling (stamveg med ÅDT 4000-8000) vil lastbredden (B) være ca. 10m. Eksempelvis er spenningsendringen 2-4% i en avstand 10m fra fyllingsfot i en dybde på 10m.



Figur 1 Vertikale spenningskonturer (isobarer) basert på Boussinesq's teori for langstrakte og kvadratiske belastningsflater ($L/B \geq 4$).

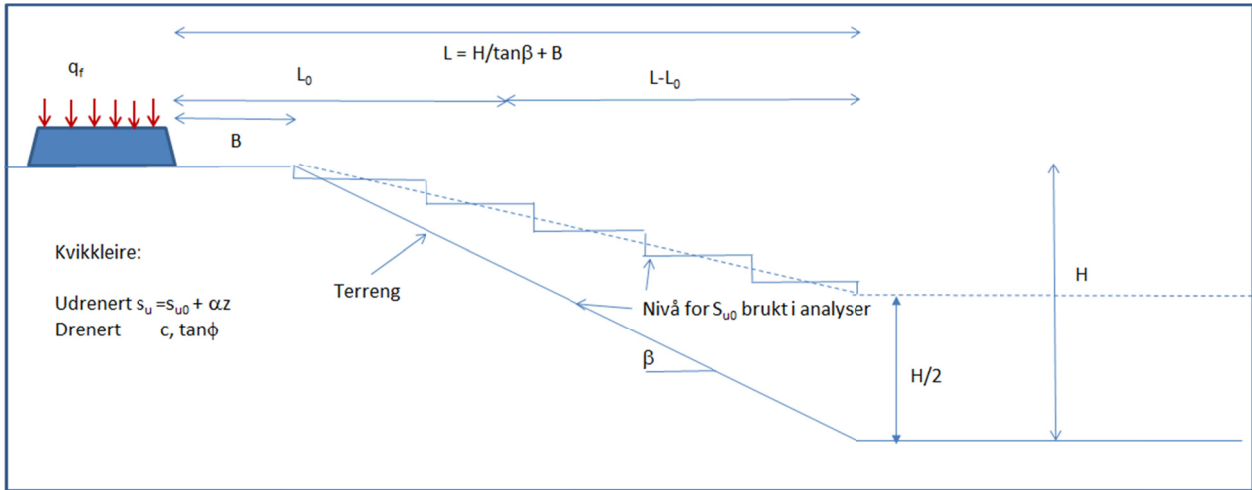
Dersom undergrunnen er lagdelt med varierende stivhet i lagene vil dette gi utslag på spenningsendringen i grunnen. Figur 2 viser at spenningsboblen vil ha en betydelig større utbredelse horisontalt dersom et svakt lag introduseres. Det bemerkes også at det vil oppstå soner med strekkspenninger nær overflaten ved siden av fyllingen.



Figur 2 Vertikal spenningsfordeling under vegfylling med svakt lag etter elastisk teori (/ 4/).

4 Modeller og beregningsverktøy

Modellen som har blitt benyttet i dette arbeidet har tatt utgangspunkt i en klassisk skråning med vegfylling på toppen som vist i Figur 3. Det er antatt et absolutt skille mellom udrenert og drenert oppførsel. Det vil si, konsolidering av poreovertrykk er ikke inkludert.



Figur 3 Modell for analyser av udrenert/drenert skråningsstabilitet.

Følgende parametere er variert:

- Skråningshelning, β
- Udrenert skjærfasthet, s_u (datulinje for s_u , initiell s_u og økning Δs_u med dybde)
- Kohesjon, c

Geometri:

Høyde av skråning	H	= 10-7.5-5m (bratt – middels – slak)
Avstand fra fyllingsfot til skråning	B	= 5m
Fyllingshøyde	H_f	= 1m
Skråningsvinkel	β	= $H/(L-B)$
Horisontal utstrekning skråning	$L-B$	= 30 m
Ustrekning av udrenert nærfelt	L_0	= evalueres i analyser

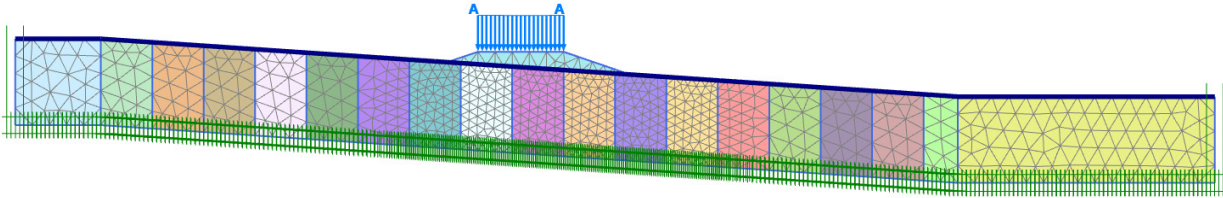
Jordparametere:

Tyngdetetthet kvikkleire	γ_K	= 20 kN/m ³
Tyngdetetthet fylling	γ_F	= 20 kN/m ³
Initiell skjærfasthet kvikkleire	s_u	= 10-20 kN/m ²
Økning i skjærfasthet med dybde	$\alpha (\Delta s_u)$	= 2 kN/m ² /m
Drenert skjærfasthet kvikkleire	ϕ	= 30°
Kohesjon kvikkleire	c	= 0-20 kN/m ²

Grunnvannstanden (GV) er antatt å følge terreng.

Det er antatt trafikklast på vegfylling $q=10$ kN/m² med lastfaktor $\gamma_f=1.3$. Dimensjonerende trafikklast $q_f=13$ kN/m².

I tillegg til disse geometrimodellene er det undersøkt en lang og slak skråning i Plaxis. Denne modellen har veifylling og veilast midt i skråninga som vist i Figur 4. Skråninga er 100 m lang og har en høyde på 6,7 m. Det er benyttet en udrenert skjærfasthet (udrenert B) på $10 \text{ kPa} + 2 \text{ kPa/m} \cdot z$ (referanse i terrengoverflate).



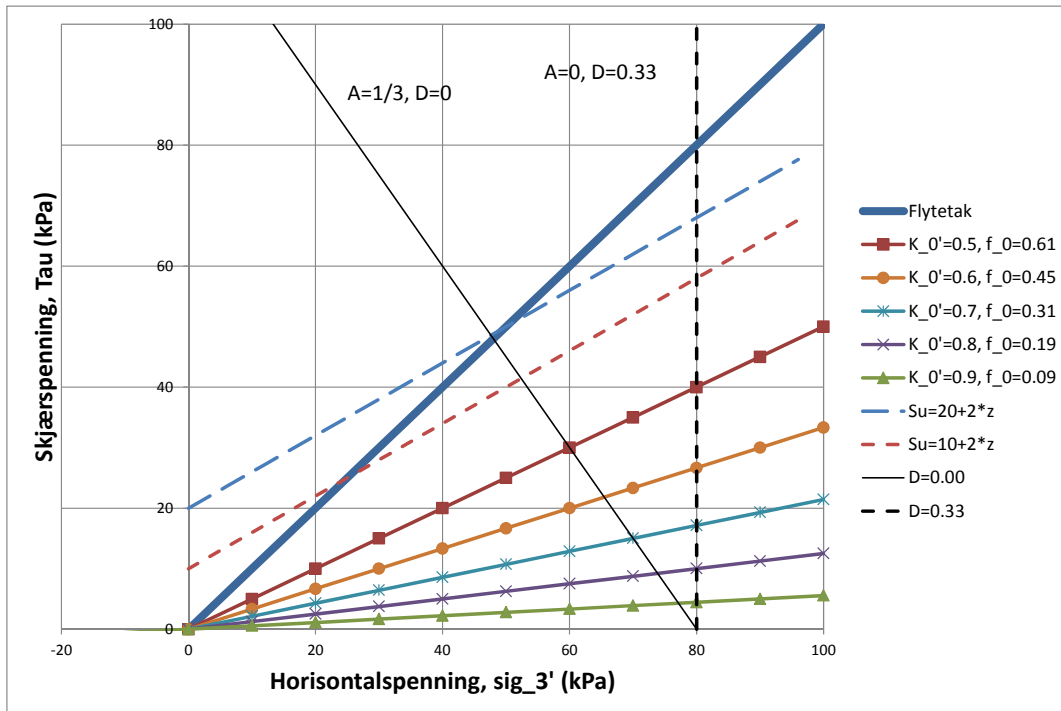
Figur 4 Geotrimmodell, lang og slak skråning.

Materialfaktoren γ_M er et uttrykk for forholdet mellom stabiliserende og drivende krefter for en skjærflate i en skråning. Jordstyrken langs skjærflaten inngår i den stabiliserende kraft, og gravitasjonskraften på jordlegemet med eventuelle ytre krefter (for eksempel vanntrykk, fylling, trafikklast) over skjærflaten skaper de drivende kraftkomponentene.

SINTEF/Multiconsult har utført stabilitetsanalyser med lamellemetode-programmet SLIDE ver. 6 / 1/med metode GLE (General Limit Equilibrium) / Morgenstern for ikke-sirkulære (sammensatte) skjærflater.

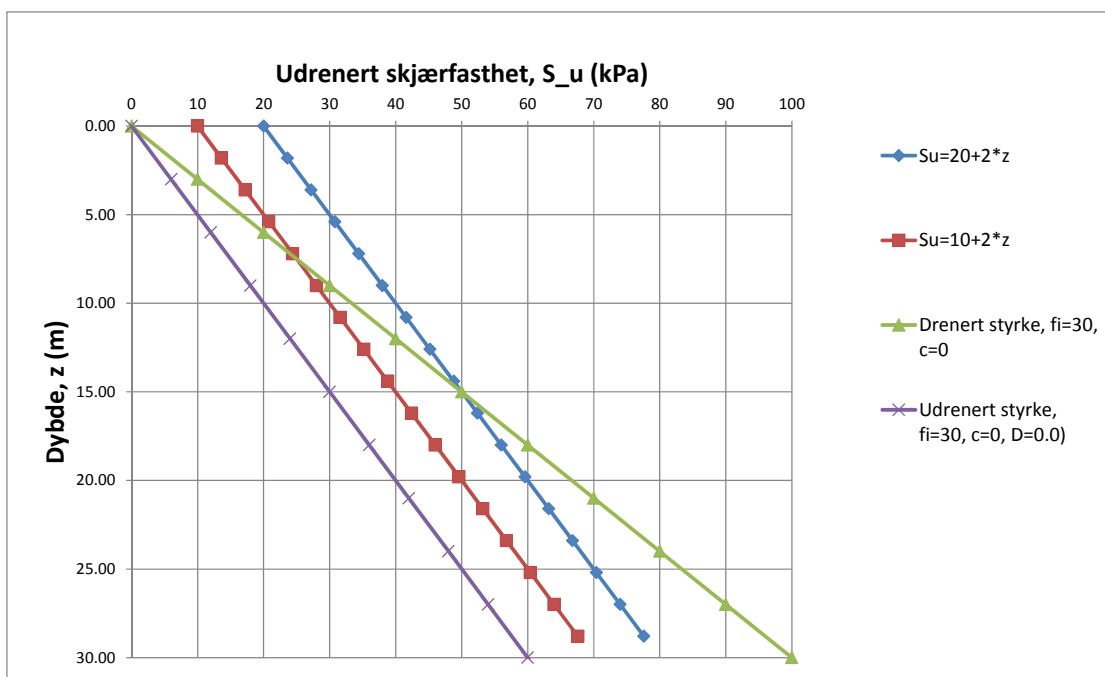
4.1 Mobilisering og skjærfasthet

Det er ofte nyttig å se forskjellene på udrenert og drenert skjærfasthet ved hjelp av spenningsdiagram. For de valgte parametrene s_{u0} og $\tan\phi$ (kohesjon $c=0$) er det mulig å sammenligne udrenert og drenert skjærfasthet i et plott for skjærspenning (τ) og horisontalspenning (σ_3') som vist i Figur 5. For en dilatansparameter $D=0$ (udrenert) vises totalspenningsprofilen for $s_{u0}=10$ og 20 kPa sammen med linjer for K_0' (eller friksjonsmobilisering f) for en drenert skjærfasthet $\phi=30^\circ$.



Figur 5 Spenningsdiagram som viser drenert og udrenert styrke.

Dette kan visualiseres med dybdeplott av udrenert og drenert skjærfasthet som vist i Figur 6. Skjærfasthet for udrenert materiale brukt i analysene er vist som $s_{u0}=10$ og 20 kPa med stigning $\Delta s_u=2*z$ kPa/m. Skjærfasthet for drenert materiale brukt i analysene (kohesjon $c=0$) er vist for $\phi=30^\circ$ med $D=0$ og $D=0.33$. Figur 5 og Figur 6 viser at det vil være forskjell i styrke for udrenert og drenert materiale beregningsmessig for de valgte parameterene i dette studiet.



Figur 6 Dybdeplott av udrenert og drenert skjærfasthet for kohesjon $c=0$.

4.2 Plaxis

Beregningsverktøyet Plaxis v.2011 / 3/er benyttet til å utføre elementmetodeberegninger av spenningsfordeling i grunnen. Beregninger er utført med Mohr-Coulomb materialmodell; drenert, udrenert A og udrenert B. For å tilnærme en økende udrenert skjærfasthet med dybden i udrenert modell B, som har sin referanse i terrengoverflate, er geometrimodellen delt inn i vertikale lameller hvor styrkereferanse er satt til gjennomsnittlig terrenghøyde i hver lamell.

Udrenert A refererer til en situasjon hvor udrenert skjærfasthet bestemmes av effektivspenningsparametere. Dette er en udrenert effektivspenningsanalyse og den resulterende udrenerte skjærfasthet er et resultat av initialspenningene og materialmodellens oppførsel. Man har ikke direkte kontroll på udrenert skjærfasthet i et slikt modelleringsrammeverk og normalt vil s_u overestimeres for norske marine leirer. Udrenert B refererer til en situasjon hvor udrenert skjærfasthet gis direkte som input. Stivhetsparametere gis inn som effektivspenningsparametere og blir justert til en udrenert instilling av programvaren. For flere detaljer henvises det til Plaxis-manualene (/ 3/).

Detaljer rundt modeller og modelleringen er gitt i Vedlegg B.

5 Betraktninger rundt spenningsendring som kriterium for å definere udrenert nærfelt

5.1 Relevante spenningsparametere

Spenningsendring som kriterium for å definere en udrenert lokalsone kan være fornuftig sammenlignet med et tøyningsbasert kriterium. Det tøyningsbaserte kriteriet vil være avhengig av stivhetsparametere, noe som ikke blir like avgjørende i en spenningsbasert vurdering. Man unngår dermed en usikkerhet ved bruk av et spenningsbasert kriterium. Det er også lettere å analysere en spenningsbasert situasjon sett i lys av mobiliseringsgrad, bruddforhold og kryp.

For å analysere en gitt belastning i form av spenningsendringer, og hvor man i jordvolumet kan forvente en udrenert respons, trengs et relevant, robust, enkelt og entydig kriterium. Tveit / 6/ lister opp tre mulige definisjoner av spenningsendringparametre. Disse kan benyttes for å definere kriterier for spenningsendring som vil kunne avgrense drenert oppførsel i grunnen. Spenningskomponentene $\Delta\sigma_{1,2,3}$ refererer til endring i de tre respektive hovedspenningene ($1 \geq 2 \geq 3$).

$$1. \quad \Delta q = \Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$$

Dette kriteriet ser på relativ endring av skjærmobilisering og tilsvarer varianter som endring i maksimal skjærspenning og endring i mobiliseringsgrad på s_u -basis. Et kriterium ut fra denne definisjonen vil kun se på endring i skjærspenning og vil ikke slå ut ved volumetriske endringer. Det er dermed ikke dekkende nok til et generelt formål.

$$2. \quad \Delta p' = 1/3 (\Delta\sigma'_1 + \Delta\sigma'_2 + \Delta\sigma'_3)$$

Kriteriet undersøker kun endring i effektiv middelspenning, endring i skjærspenning vil ikke bli plukket opp systematisk. I en udrenert beregning med null dilatans blir $\Delta p'$ lik null. Tillates drenasje vil endring i $\Delta p'$ bli $1/3 \Delta\sigma'_1$ dersom $\Delta\sigma'_3 = 0$. Dette vil kunne være urealistisk lavt.

$$3. \quad \sqrt{\Delta p'^2 + \Delta q^2}$$

Kriteriet kombinerer de to overnevnte kriteriene og vekter bidragene slik at det som bidrar mest til helheten dominerer. Kriteriet baserer seg på effektivspenninger og drenerte FEM-beregninger, før og etter pålastning for å definere utstrekning av lokal udrenert sone.

Strømme / 7/ jobbet videre med arbeidet til Tveit / 6/ og argumenterer for at to udrenerte beregninger (før og etter belastning) konseptuelt sett er riktigere idet man ser på udrenerte spenningsendringer. Følgende kriterium foreslås.

$$4. \quad \sqrt{\Delta p^2 + \Delta q^2}$$

I stedet for å se på endring i effektiv middelspenning er kriteriet formulert med endring i total middelspenning, $\Delta p = 1/3 (\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3)$. I en materialmodell med null dilatans vil forholdet mellom deviatorisk og middelspenning være $\Delta q / \Delta p = 3$ i et treaksialforsøk.

En annen interessant parameter det kan være aktuelt å definere et kriterium ut fra er endring i poretrykk (Δu). Generering av poreovertrykk kan intuitivt knyttes til en udrenert spennings situasjon. Bakdelen med denne tankegangen er at det kreves en avansert materialmodell i elementmetoden for å fange denne oppførselen

korrekt i norske marine leirer. Typisk oppførsel i et treaksialforsøk på slike leirer er kontraktans og generering av poreovertrykk i fasen før brudd nås. Dette fanges ikke i de enkle materialmodellene i elementmetoden. I disse modellene er poreovertrykk knyttet til middelspenning og endring i volumetrisk tøying. Bidrag fra skjærspenning inkluderes ikke skikkelig.

I denne rapporten foreslås det å undersøke bruk av mobiliseringsgrad (friksjonsmobilisering) som kriterium for spenningsendring.

$$5. f = \frac{\tan \rho}{\tan \varphi}$$

Endring av mobiliseringsgrad kan være en riktig referanse for å angi udrenert oppførsel. Parameteren kan også benyttes direkte inn mot den underliggende jordoppførselen, som poretrykkgenerering og skjærkryp, i valg av grenseverdi for spenningsendring.

5.2 Angivelse av spenningsendring

I det tidligere arbeidet (Tveit / 6/; Strømme / 7/) er det benyttet prosentvis endring relativt til initialtilstanden for å beskrive spenningsendring. Dette gjør at det tillates stor spenningsendring for et materialpunkt som har en høy initiell mobilisering og lav spenningsendring ved lav initiell mobilisering.

En slik formulering stemmer ikke over ens med laboratorieforsøk som viser at høyt mobiliserte prøver kryper udrenert til brudd ved mindre tilleggsbelastning enn prøver ved lavere mobilisering (Christensen / 13/). Det foreslås derfor å formulere spenningsendring med bruddtak som referanse og ikke initialtilstanden. Sammenlignet med det tidligere arbeidet blir dette en invers relasjon hvor et materialpunkt tåler mindre tilleggsbelastning jo høyere initiell mobilisering er, før det kan karakteriseres som udrenert.

Denne fremgangsmåten har også sine begrensninger i og med at høy initiell mobilisering og drenert skjærkryp over lang tid fører til en ekspansjon av flyteflaten og dermed høyere udrenert skjærfasthet og høyere attraksjon. To materialpunkt med ulik initiell mobilisering vil dermed ikke ha samme bruddtak. Likevel, som en pragmatisk tilnærming vurderes et fast bruddtak, som bestemt fra standard treaksialforsøk, å være relevant for en videre evaluering.

5.3 Modellering (FEM)

I et FEM beregningsverktøy kan man velge mellom drenert, udrenert eller konsolideringsanalyse. Med et mål om en enkel metodikk velges i denne sammenhengen konsolideringsanalyser bort. For å definere et lokalt udrenert felt ut fra udrenerte spenningsendringen er det logisk å benytte udrenerte beregninger. Det er i denne rapporten benyttet følgende beregningsforløp i Plaxis.

1. Initialspenninger ved "Gravity loading", drenert materialmodell
2. Bytte til udrenert materialmodell
 - Denne beregningen representerer initialtilstanden
3. Inngrep (lastpåføring), udrenert materialmodell
 - Denne beregningen representerer den udrenerte spenningsendringen

Når det gjelder udrenerte beregninger er det i prinsippet to muligheter:

- A. Udrenert materialoppførsel med effektivspenningsparametere. Udrenert skjærstyrke gis da av initialspenning og bruddtak.
- B. Udrenert skjærstyrke gis direkte som input.

Valg av modelleringsrammeverk har betydning for resultatet. I Figur 7 er det illustrert i et spenningsplott hvordan de ulike beregningsrammeverkene påvirker løsningsrommet til en beregning. Mens en drenert og udrenert A-beregning kan benytte alle spenningstilstander under det drenertes bruddtak, blir en beregning av typen udrenert B begrenset til det skraverete området. Man kan delvis tilpasse en udrenert B-beregning til et drenert handlingsrom ved spesifisere en økning i udrenert skjærstyrke med dybden.

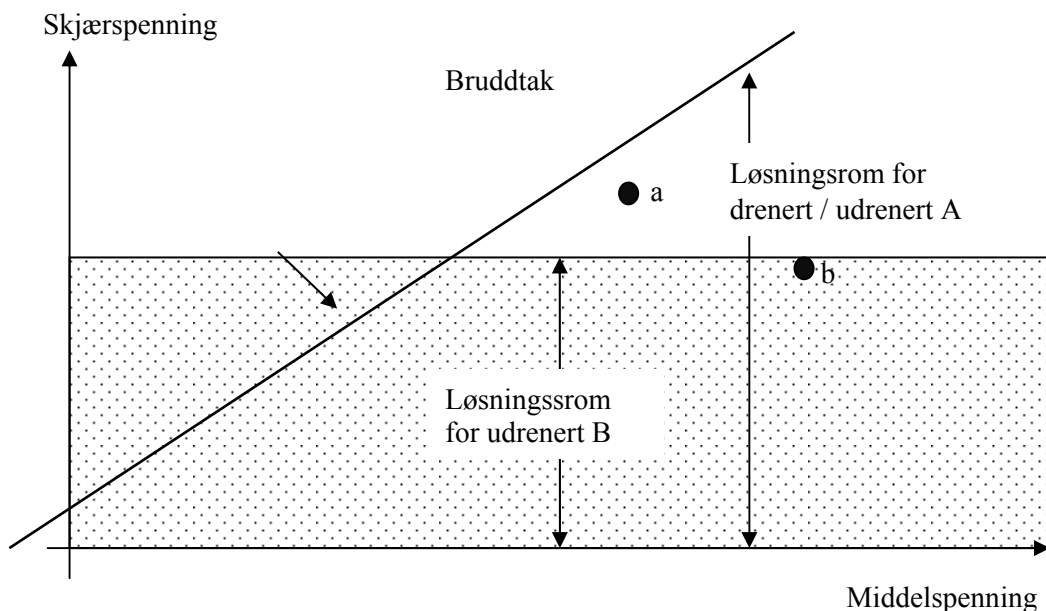
Hvis man kombinerer en drenert og udrenert-B beregningsfase vil materialpunkt som initialt ligger over den udrenerte skjærfastheten som spesifiseres i udrenert-B materialet (punkt *a* i Figur 7) bli flyttet ned til et lavere skjærspenningsnivå. Resultatet kan være en stor omfordeling av skjærspenninger. Et annet aspekt kan belyses ved materialpunkt *b* i Figur 7. Hvis udrenert skjærfasthet i et udrenert-B materiale er urealistisk lav vil et materialpunkt som ligger som punkt *b* ikke kunne få noen vesentlig spenningsendring selv om det 1) ligger i en bruddtilstand og 2) realistisk sett kan ha større skjærfasthet.

Ved bruk av mobiliseringsgrad som parameter for spenningsendring vil f.eks. punkt *b* i Figur 7 ha en lav friksjonsmobilisering, men likevel være i en bruddtilstand beregningsmessig.

Disse eksemplene belyser viktigheten av å ha

- Realistisk materialoppførsel
- Samsvar mellom materialmodell for initialtilstand og endringstilstand

I beregningene som er utført er både udrenert A og udrenert B benyttet. Dette er gjort for å sammenligne og vurdere resultatene og for å gi en anbefaling for videre arbeid på temaet.



Figur 7 Løsningssrom for ulike beregningsrammeverk i et spenningsplott.

5.4 Grenseverdi for spenningsendring

For å definere et lokalfelt med udrenert oppførsel basert på spenningsendringer er det nødvendig å sette en grenseverdi. Det er uklart hvordan dette kan gjøres og temaet behandles videre i rapportens diskusjonsdel. I beregningene er det benyttet ulike grenseverdier for de valgte parameterne for å illustrere effekt av endring.

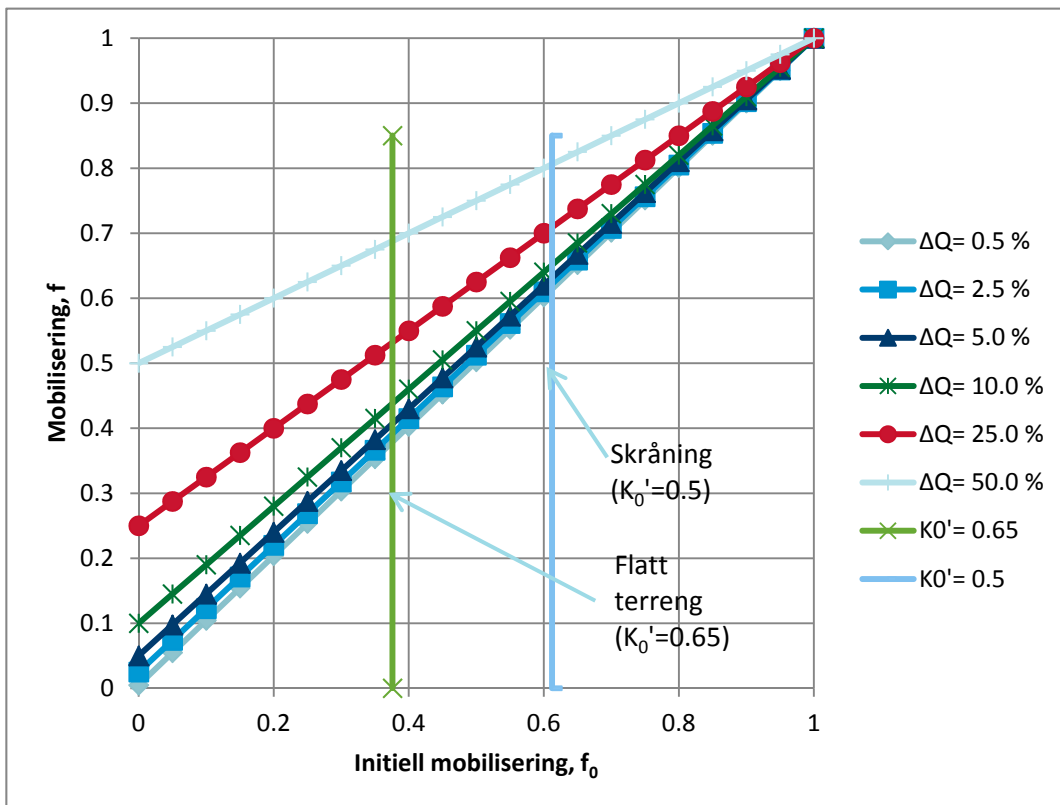
5.5 Kriterier og grenseverdier brukt i beregningene

To parametere for spenningsendring er benyttet i de utførte beregningene. Parameteren ΔS baserer seg direkte på spenningsendring slik foreslått av Strømme / 7/:

$$6. \Delta S = \sqrt{\left(\frac{\Delta p}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta q}{q_0}\right)^2} > X\%$$

Parameteren ΔQ baserer seg på friksjonsmobilisering med referanse i valgt bruddtak. Tillat økning i friksjonsmobilisering, Δf , reduseres for økende initial mobilisering, f_0 . Sammenheng mellom initial mobilisering og endelig mobilisering etter inngrep som en funksjon av ulike grenseverdier for ΔQ er vist i Figur 8.

$$7. \Delta Q = \frac{f - f_0}{f_{brudd} - f_0} = \frac{\Delta f}{1 - f_0} > X\%$$



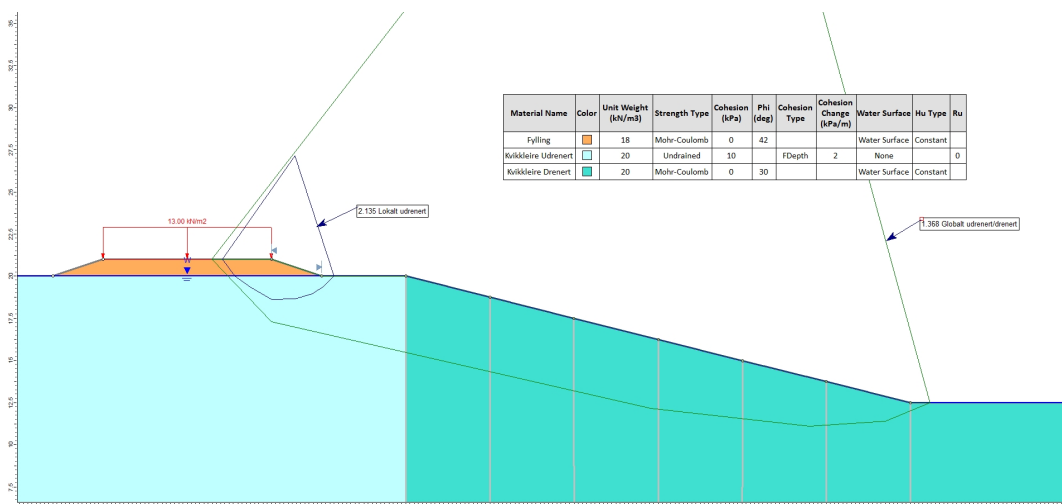
Figur 8 Mobilisering etter inngrep illustrert som en funksjon av initiell mobilisering og tillatt endring i spenningsparameteren ΔQ .

6 Resultat

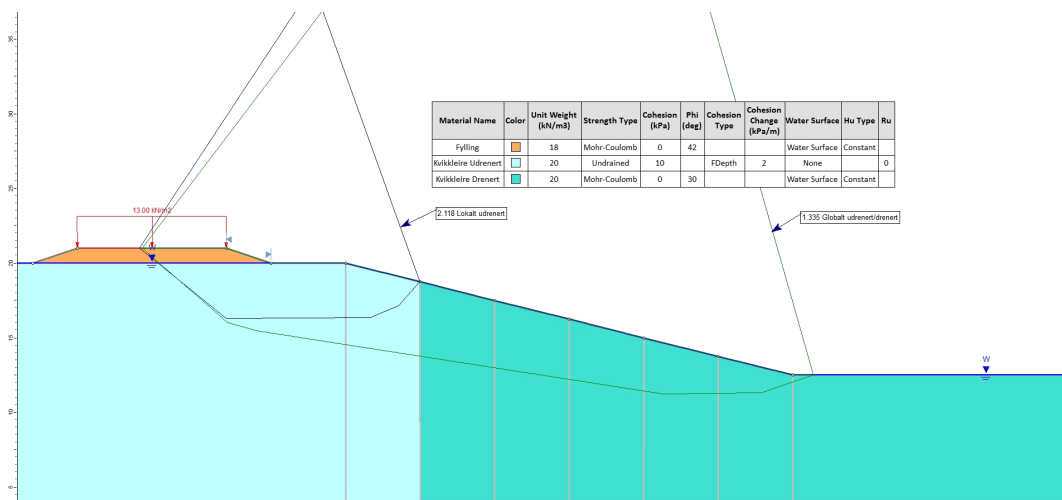
6.1 SLIDE

Analysene er utført på en geometrimodell hvor selve skråningen er delt opp i lameller med 5 m bredde. Udrenerte analyser er utført for lokale skjærflater som starter i fyllingen og som er "tvunget" til å skjære ut i udrenert område. Første skjærflate tvinges til å skjære ut ved foten av veifylling. Andre skjærflate tvinges til å skjære ut ved kant av skråning. Tredje skjærflate tvinges til å skjære ut innenfor enden av første lamell i skråning osv.

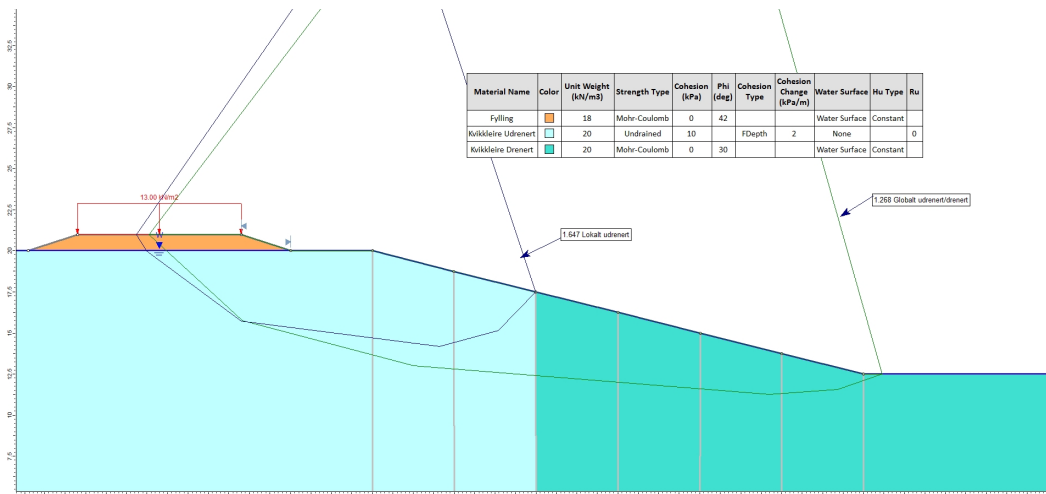
Kombinerte udrenerte/drenerte analyser for globale skjærflater har ingen begrensning på hvor utslaget av skjærflaten kommer. I praksis vil skjærflatene slå ut i skråningsfot. Analysene utføres ved at modellen først er helt udrenert og drenerte felt blir slått på etter hvert fra skråningsfot mot fylling. Eksempel på resultat fra analyser med SLIDE er vist for lokal og global udrenert/drenert analyse i Figur 9 - Figur 12, og for global udrenert analyse i Figur 13. Resultater fra analyser med SLIDE er vist i diagrammer i Figur 14 til Figur 19.



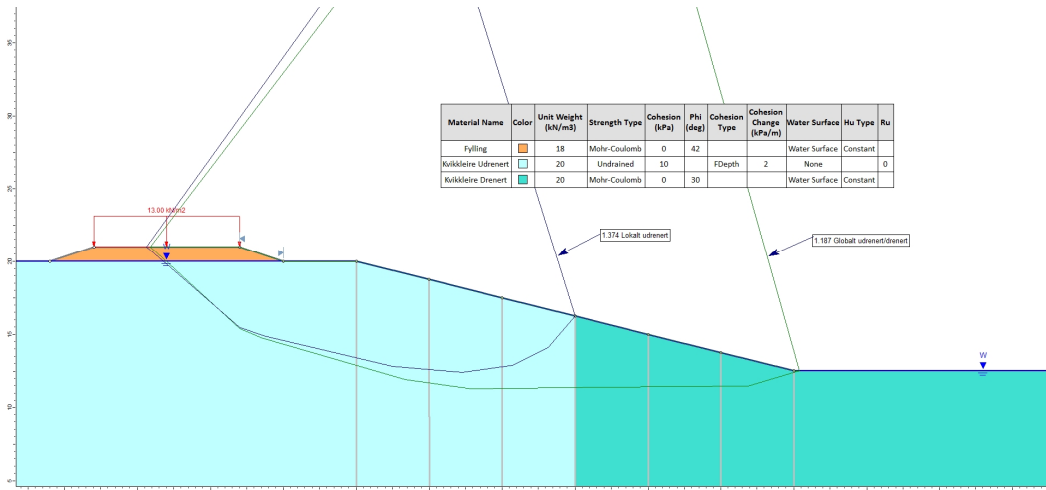
Figur 9 Lokal udrenert og global udrenert/drenert analyse med udrenert tilstand frem til skråningsfot for skråningshøyde 7.5m.



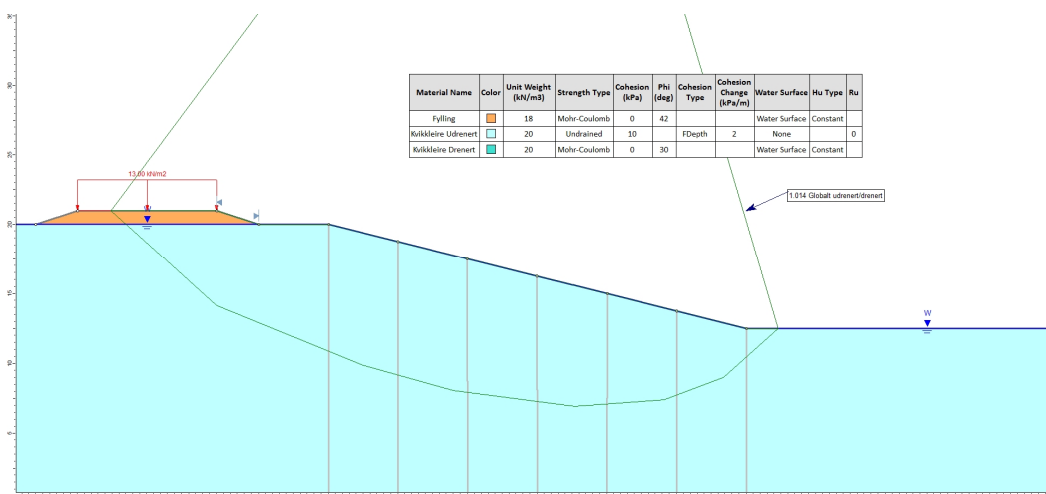
Figur 10 Lokal udrenert og global udrenert/drenert analyse med udrenert tilstand frem til og med 1.lamell i skråning (skråningshøyde 7.5m).



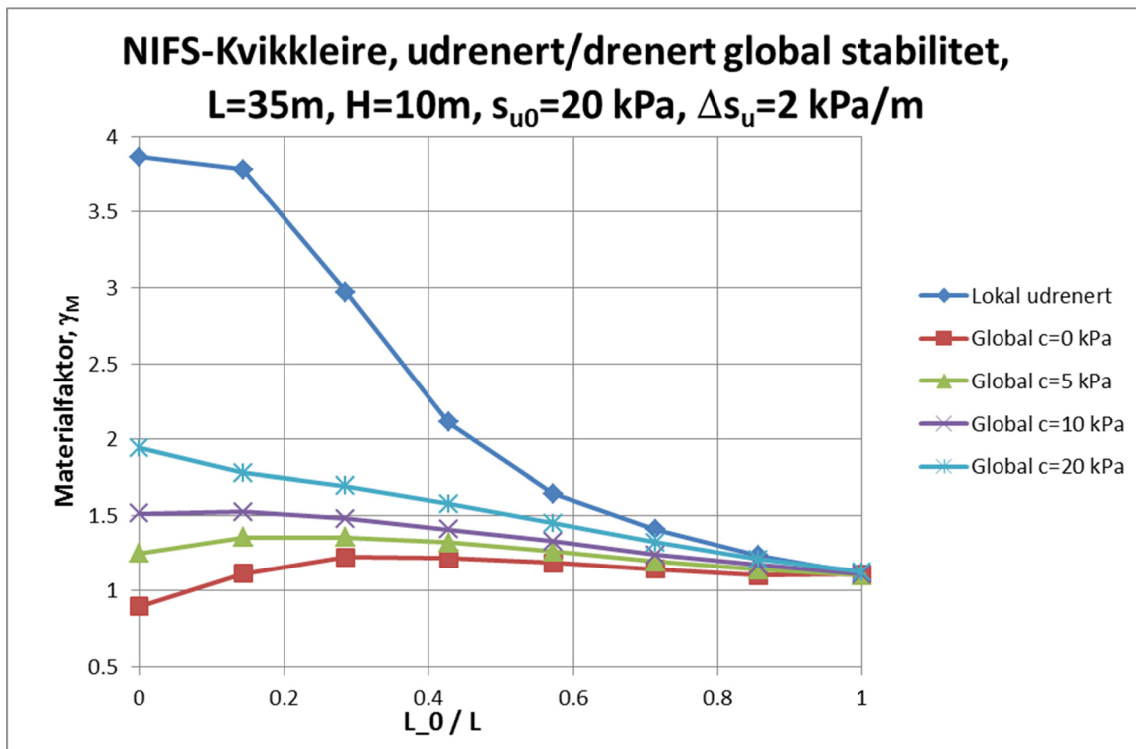
Figur 11 Lokal udrenert og global udrenert/drenert analyse med udrenert tilstand frem til og med 2.lamell i skrånning (skråningshøyde 7.5m).



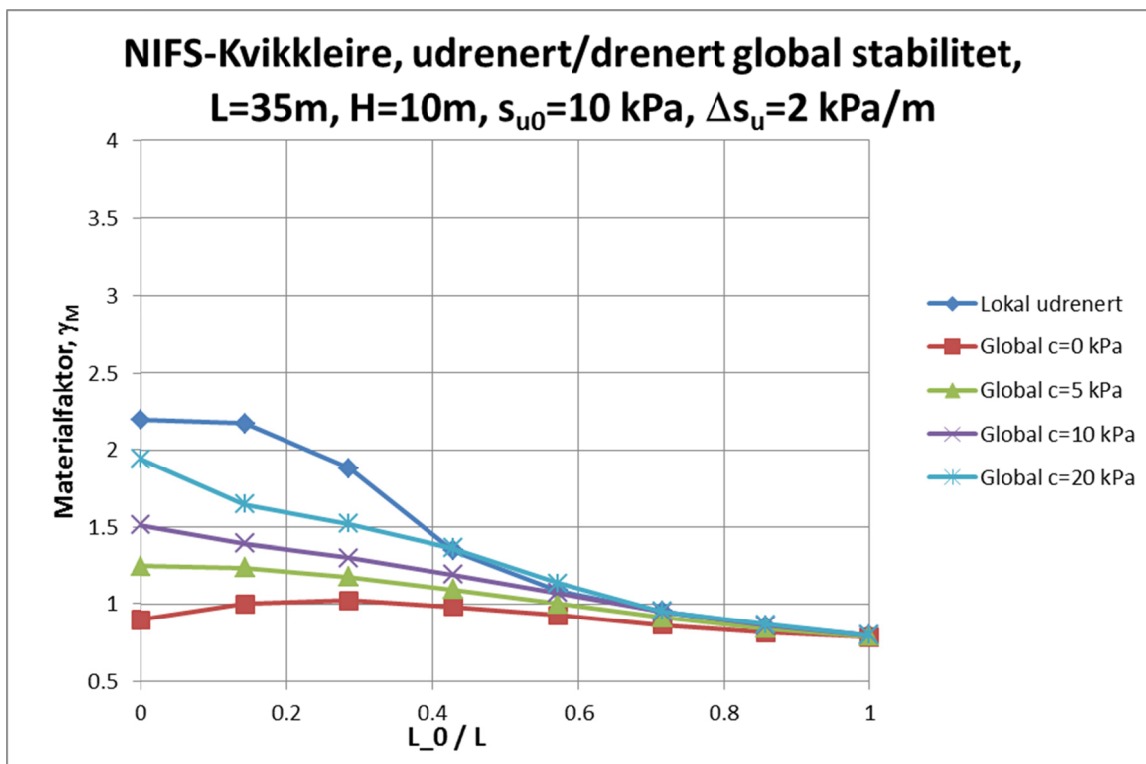
Figur 12 Lokal udrenert og global udrenert/drenert analyse med udrenert tilstand frem til og med 3.lamell i skrånning (skråningshøyde 7.5m).



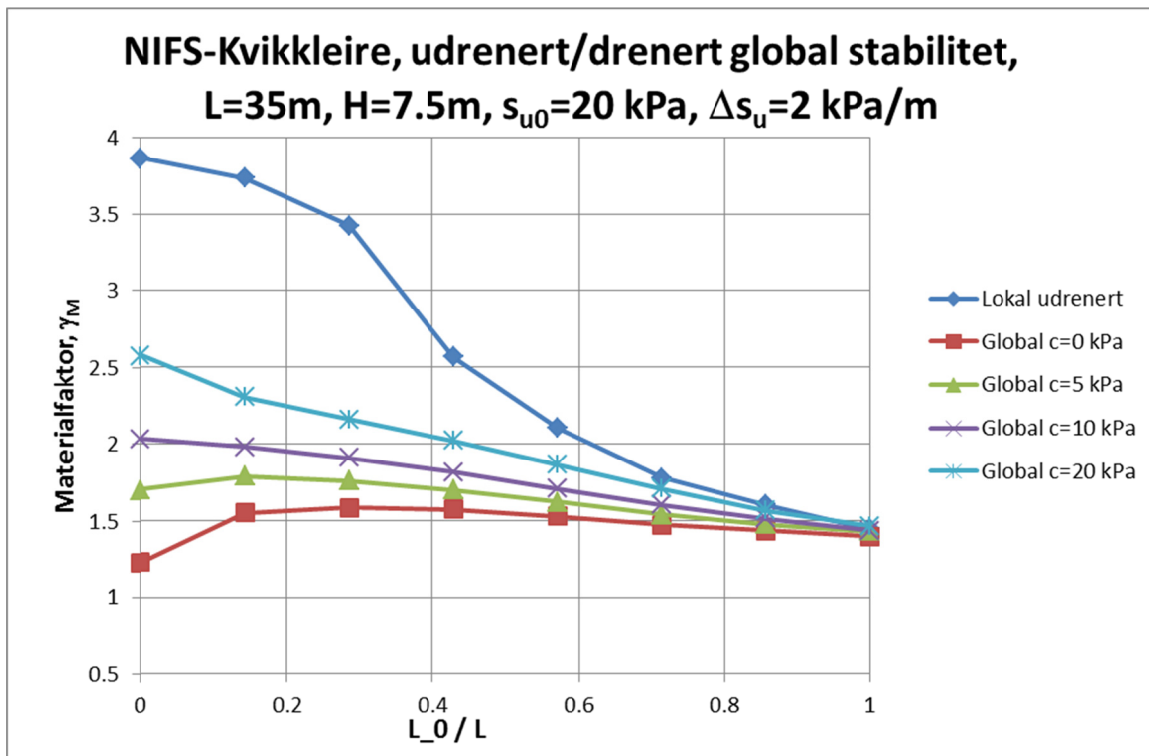
Figur 13 Global udrenert analyse med udrenert tilstand i skrånningen (skråningshøyde 7.5m).



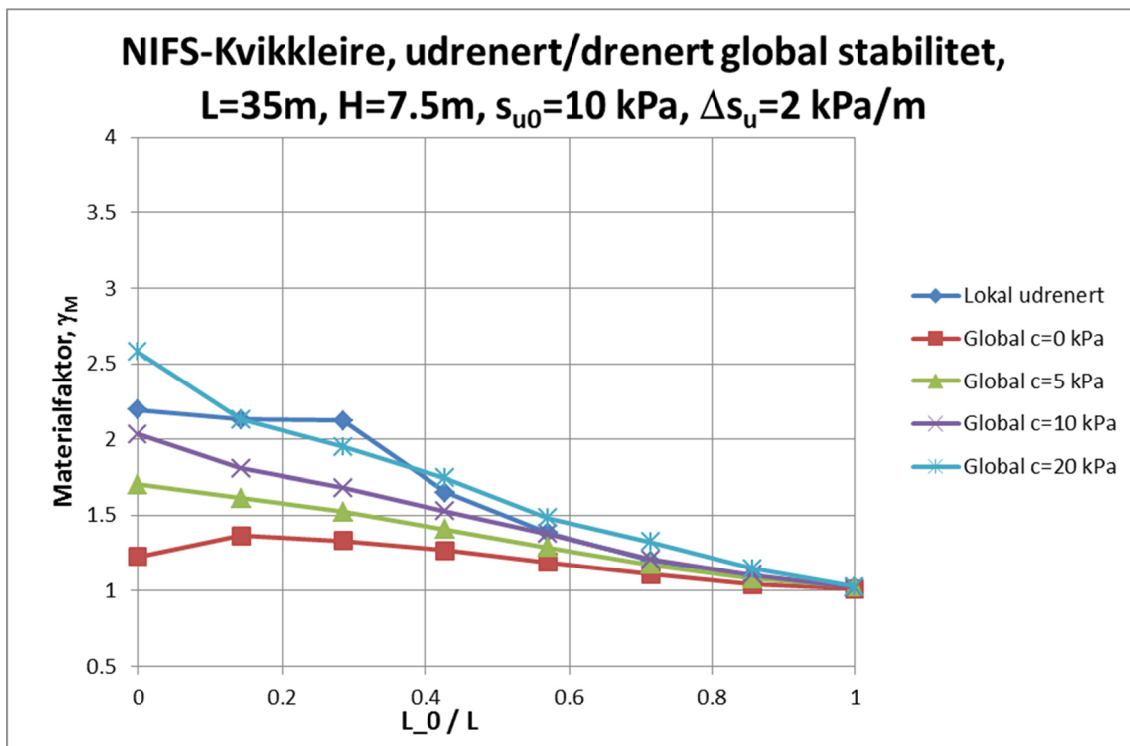
Figur 14 Resultat fra lokale (udrenerte) og globale (udrenerte/drenerte) analyser for $H=10$ m og $s_{u0}=20$ kPa fra terrengnivå.



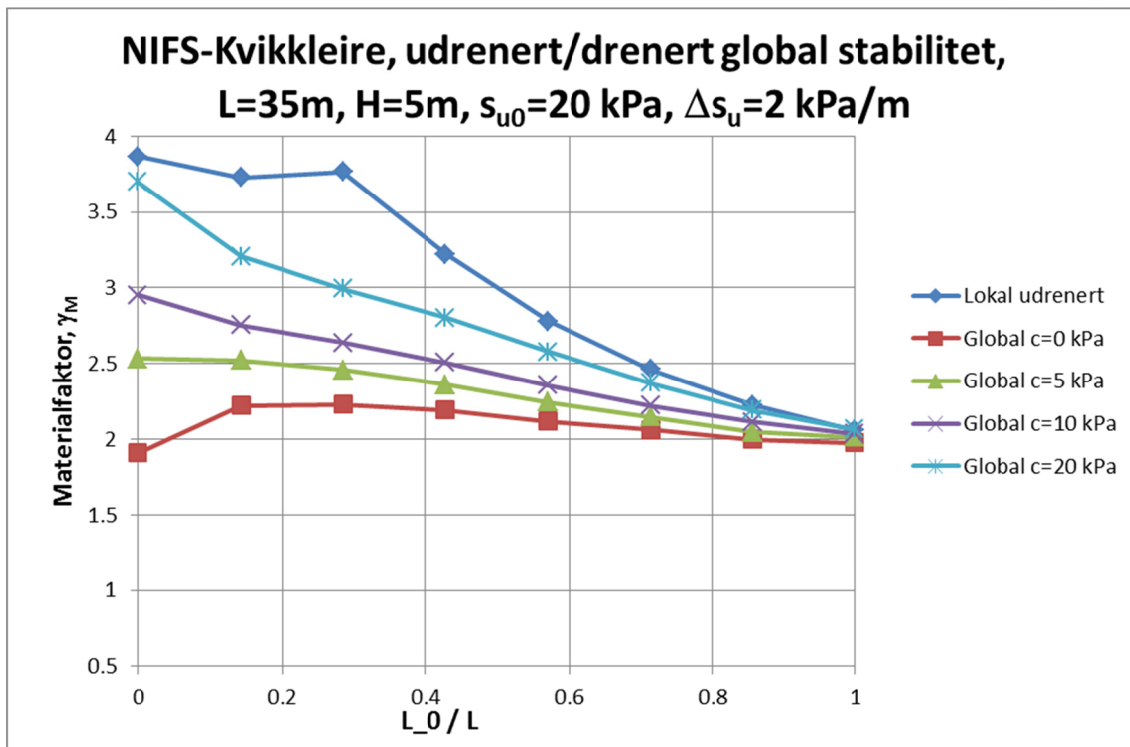
Figur 15 Resultat fra lokale (udrenerte) og globale (udrenerte/drenerte) analyser for $H=10$ m og $s_{u0}=10$ kPa fra terrengnivå.



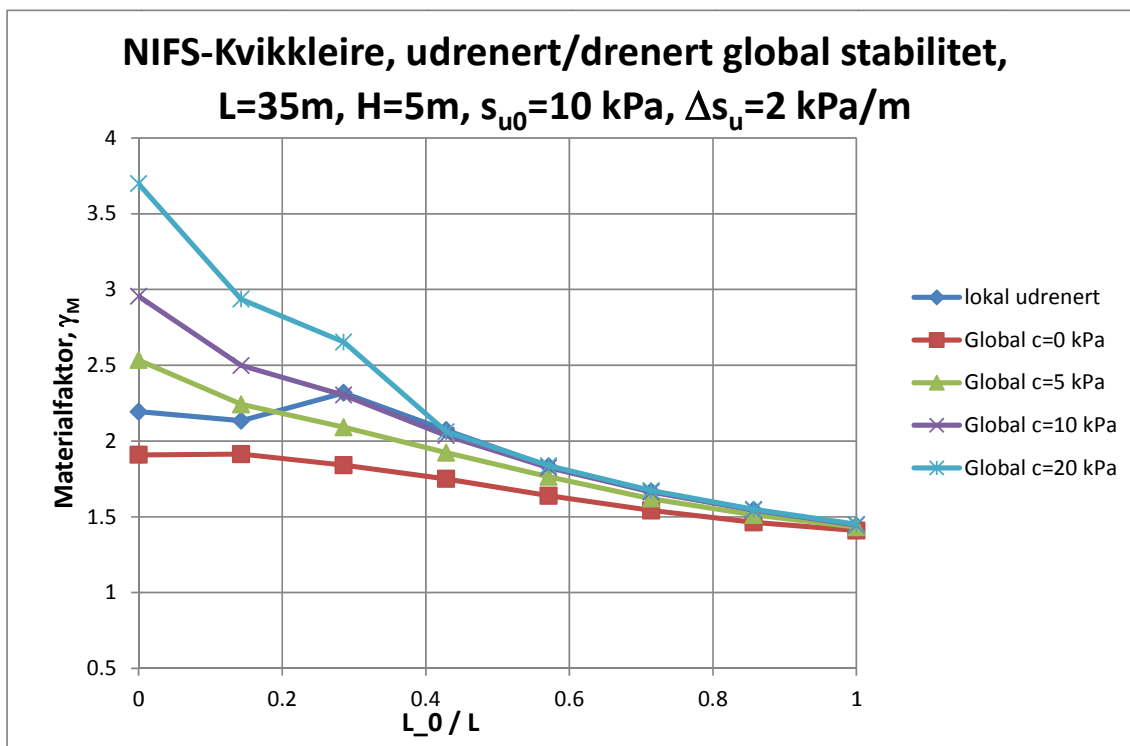
Figur 16 Resultat fra lokale (udrenerte) og globale (udrenerte/drenerte) analyser for $H=7.5m$ og $s_{u0}=20$ kPa fra terrengnivå.



Figur 17 Resultat fra lokale (udrenerte) og globale (udrenerte/drenerte) analyser for $H=7.5m$ og $s_{u0}=10$ kPa fra terrengnivå.



Figur 18 Resultat fra lokale (udrenerte) og globale (udrenerte/drenerte) analyser for $H=5$ m og $s_{u0}=20$ kPa fra terrengnivå.

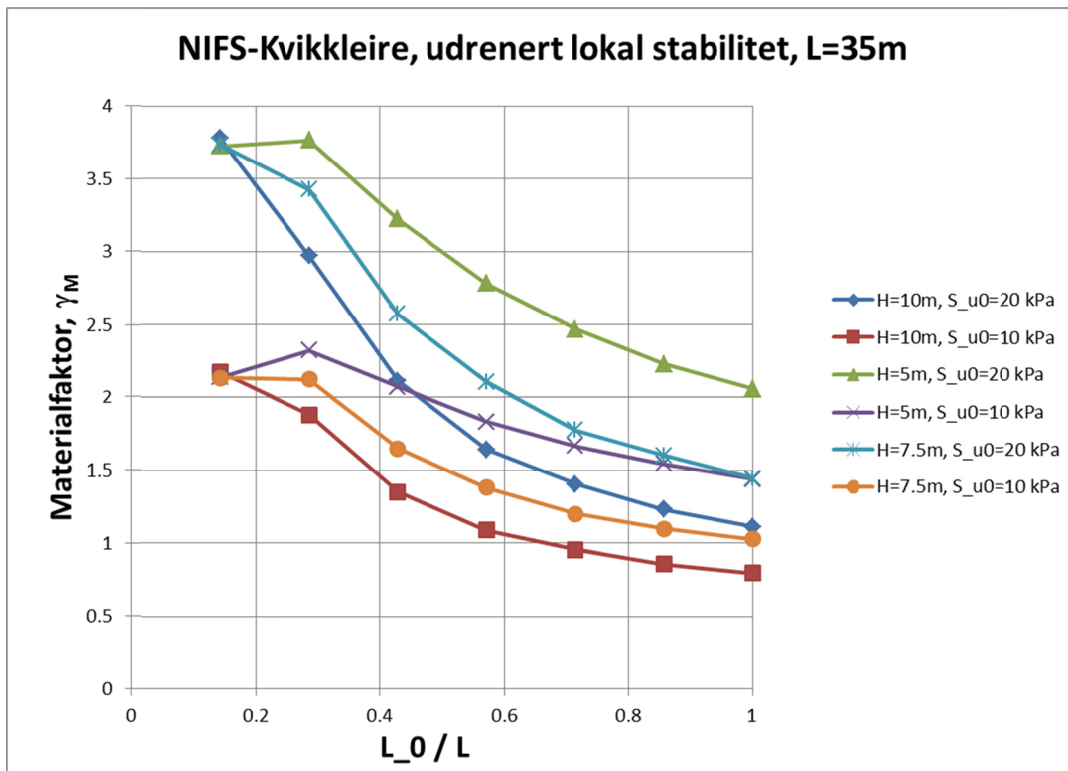


Figur 19 Resultat fra lokale (udrenerte) og globale (udrenerte/drenerte) analyser for $H=5$ m og $s_{u0}=10$ kPa fra terrengnivå.

Resultatene viser at lokale skjærflater for udrenerte tilfeller stort sett gir høyere materialfaktor enn globale udrenerte/drenerte tilfeller. Dette kan sees av kurvene for "lokal udrenert" i Figur 14-Figur 19. Ved høy kohesjon for drenert materiale kan materialfaktoren for global udrenert/drenert være større enn lokale udrenerte skjærflater.

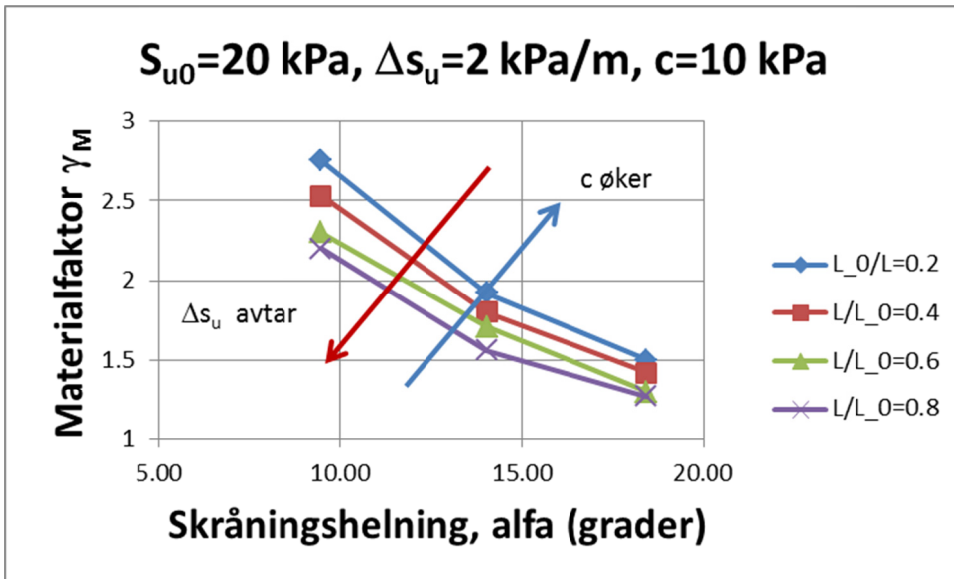
Global skjærflate for modell med bare udrenert materiale vil i tilfellen studert i denne rapporten gi lavest materialfaktor og viser materialfaktor likt for tilfellet med global skjærflate for drenert materiale.

Figur 20 viser materialfaktor (γ_M) som funksjon av avstand fra fyllingsfot for analyser på lokale udrenerte skjærflater med variasjon av skråningshøyde (H) og initiell skjærfasthet (s_{u0}). Økende skråningshøyde reduserer materialfaktoren, og økning i initiell skjærfasthet øker materialfaktoren. Felles er at materialfaktoren reduseres for skjærflater som slår ut i økende avstand fra skråningstopp.

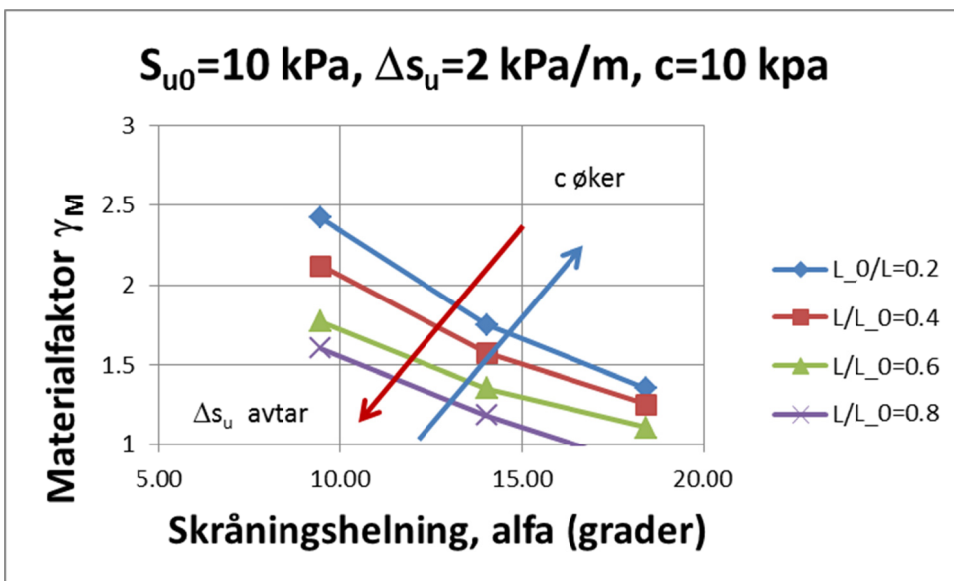


Figur 20 Resultat fra lokale (udrenerte) analyser.

Figur 21 og Figur 22 viser materialfaktor (γ_M) som funksjon av skråningshelning for globale udrenerte/drenerte skjærflater for en kohesjon $c=10$ kPa i drenert område. Figur 21 og Figur 22 viser henholdsvis resultater for initell skjærfasthet $s_{u0}=20$ kPa og 10 kPa. Materialfaktoren reduseres med økende skråningshelning (α) og økes med innslag av udrenert område.



Figur 21 Materialfaktor (γ_M) for globale udrenerte/drenerte skjærflater mot skråningshelning (α) for $s_{u0}=20 \text{ kPa}$ og $c=10 \text{ kPa}$.



Figur 22 Materialfaktor (γ_M) for globale udrenerte/drenerte skjærflater mot skråningshelning (α) for $s_{u0}=10 \text{ kPa}$ og $c=10 \text{ kPa}$.

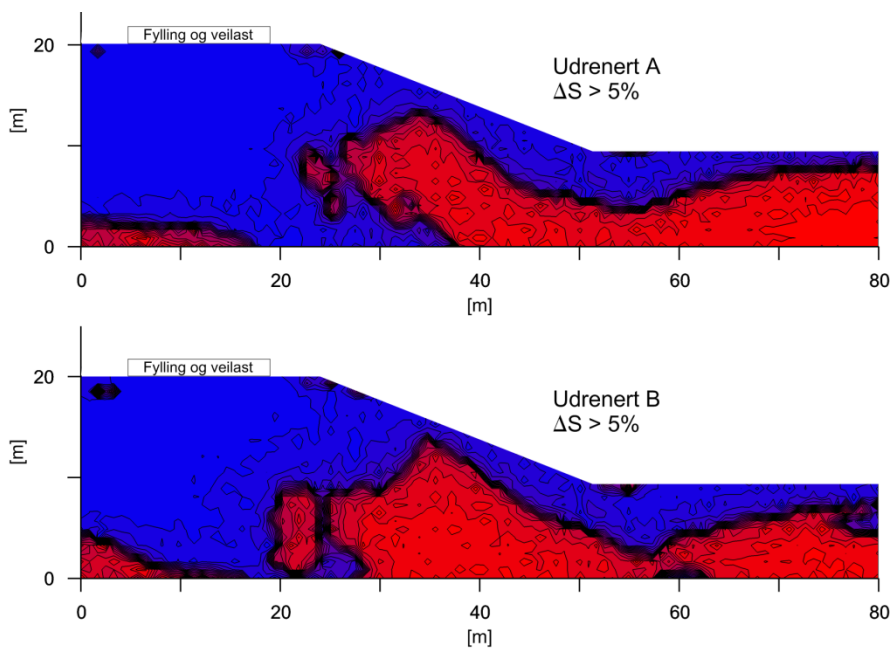
6.2 Plaxis

Dette avsnittet presenterer resultatene fra FEM-beregningene utført med Plaxis. De ulike aspektene ved en slik beregningsfremgangsmåte vurderes tematisk.

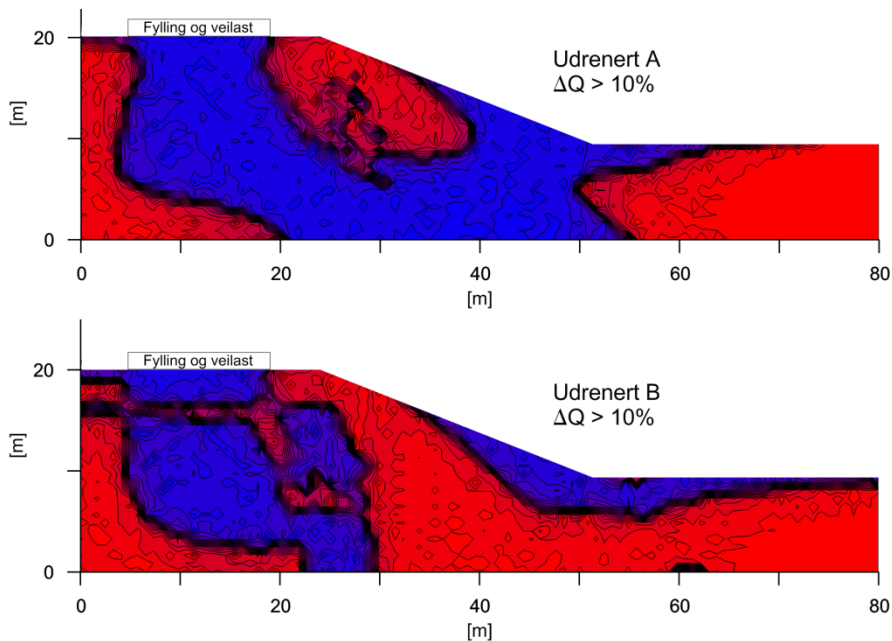
6.2.1 Udrenert modelleringsprinsipp: udrenert A og udrenert B

Som diskutert i avsnitt 5.3 er det to prinsipper for modellering av udrenert oppførsel og skjærfasthet i en FEM-beregning. Her sammenstilles resultater fra udrenert A- og udrenert B-beregninger.

Figur 23 sammenligner det beregnede udrenerte lokalfeltet for en udrenert A- og udrenert B-beregning. Det er benyttet bratt skråningsgeometri og et ΔS spenningskriterium. I dette tilfellet gir udrenert A-beregningen etter valgt definisjon et noe større udrenert nærfelt, men forskjellen er liten. Figur 24 viser samme beregning som i Figur 23, men med et ΔQ spenningsendringskriterium. I dette tilfellet gir udrenert A-beregningen større utstrekning av det udrenerte nærfeltet, spesielt i området under skråningas tå. Sammenstilles de to grenseverdiene for hver spenningsendringsparameter, $\Delta S > 5\%$ og $\Delta Q > 10\%$, gir $\Delta S > 5\%$ et noe større udrenert nærfelt.

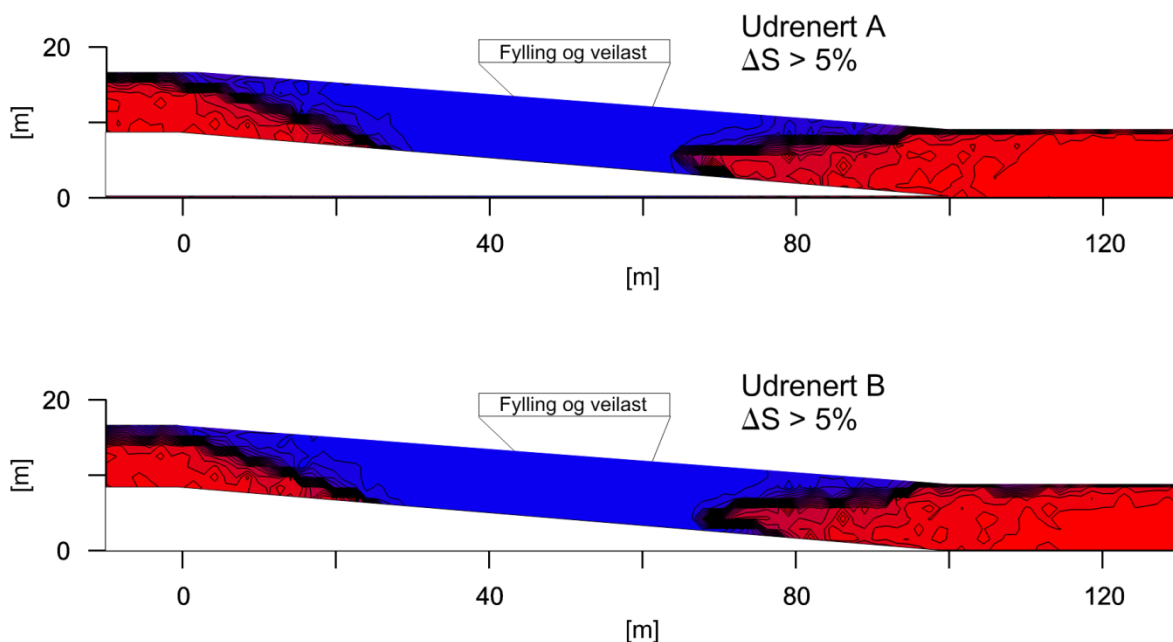


Figur 23 Sammenligning av udrenert felt (blått) for en udrenert A- og udrenert B-beregning. Bratt geometrimodell, ΔS spenningskriterium.

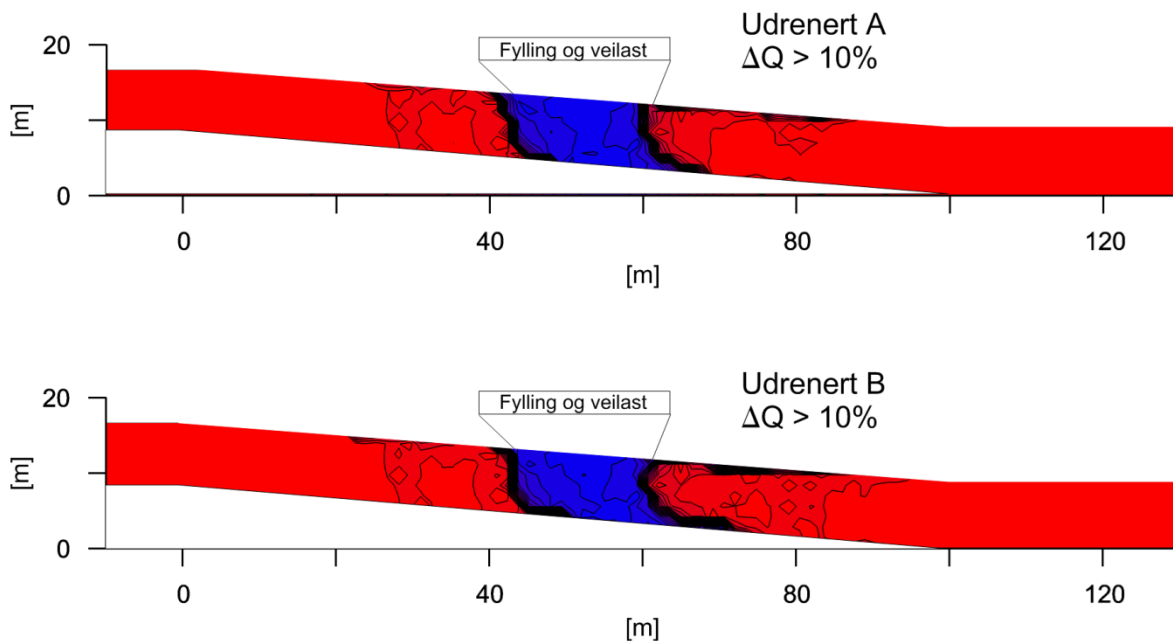


Figur 24 Sammenligning av udrenert felt (blått) for en udrenert A- og udrenert B-beregning. Bratt geometrimodell, ΔQ spenningskriterium

For å undersøke effekt av rammeverk for modellering av udrenert materialoppførsel videre er det i Figur 25 sammenstilt to beregninger med lang, slak geometrimodell. I dette tilfellet er det liten forskjell mellom de to udrenerte modene (udrenert A og B) for spenningskriterium ΔS . For kriterium ΔQ (Figur 26) er det også liten forskjell i nærfeltets utstrekning når udrenert A og udrenert B sammenlignes. Når de to kriteriene, med valgte grenseverdier, sammenstilles er det vesensforskjell i det udrenerte nærfeltets utstrekning. ΔS gir et vesentlig større nærfelt.



Figur 25 Sammenligning av udrenert felt (blått) for en udrenert A- og udrenert B-beregning. Lang slak geometrimodell, ΔS spenningskriterium.



Figur 26 Sammenligning av udrenert felt (blått) for en udrenert A- og udrenert B-beregning. Lang slak geometrimodell, ΔQ spenningskriterium.

Beregningene med udrenert A-materiale gir høyere styrke enn hva som er tilfelle med s_u -profilet gitt i avsnitt 5.3. For de to geometrimodellene brukt her, gir udrenert A-beregningene henholdsvis sikkerhetsfaktorer på 1,44 for bratt geometri og 1,90 for lang, slak geometri. De tilsvarende sikkerhetsfaktorene for udrenert B-materiale er 1,12 og 1,23.

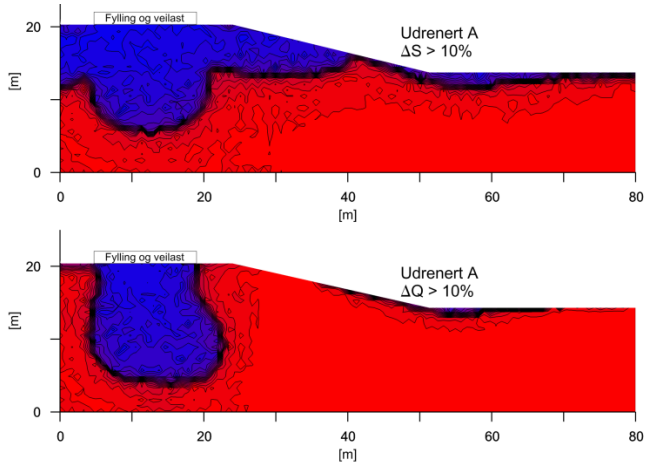
I den videre presentasjon av resultater er det i hovedsak vist resultater fra udrenert A-beregningene. Dette er valgt da denne fremgangsmåten i beregningene gir samme referanseverk for initialspenninger og løsningsrom etter belastning. Dette gir igjen et riktigst bilde av spenningsendring. Når det gjelder opptredende udrenert skjærfasthet i modellen, og gjeldende sikkerhetsfaktor mot brudd, blir disse overestimert.

6.2.1 Spenningsendring ΔS og ΔQ

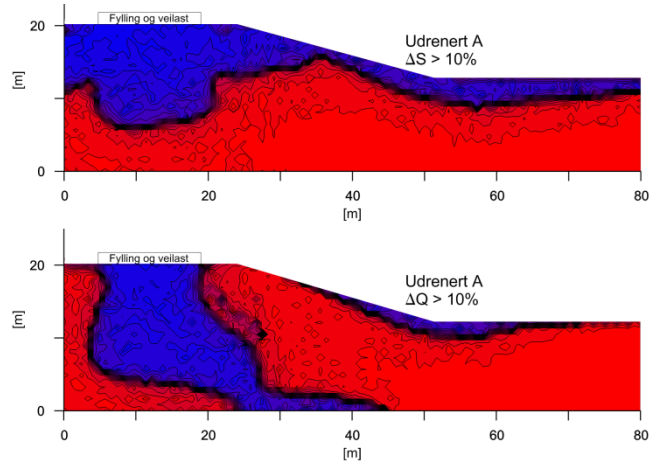
I dette avsnittet sammenlignes geometri av lokal udrenert sone ved bruk av de to spenningsendringskriteriene ΔS og ΔQ . Valgte grenseverdier influerer på størrelsen av det udrenerte nrområdet, men dette er et aspekt som undersøkes i neste avsnitt. Her ses på geometrisk form og involverte soner.

Figur 27-Figur 30 viser en sammenligning av ΔS og ΔQ -kriteriet for alle modeller. Det er valgt en grenseverdi på 10% i begge kriteriene. Med økende skråningshelning er det en klar tendens til at ΔQ inkluderer dypere jordlag i lokalfeltet. For modellen med bratt geometri tilsvare nærfeltet den opptredende udrenerte kritiske skjærflate. En tendens med dypere udrenerte lokalsoner fra ΔQ -kriteriet er funnet i alle modellene. Utbredelse av nærfeltet for ΔS -kriteriet er mindre påvirket av økning i skråningshelning. Begge kriteriene involverer noe av overflata i skråningens tå. Spesielt gjelder dette ΔQ -kriteriet ved bratt skråning. Under lasten gir ΔQ -kriteriet en begrenset spredning av den udrenerte sonen i grunnen sammenlignet med ΔS -kriteriet som involverer materiale langt ut til sidene.

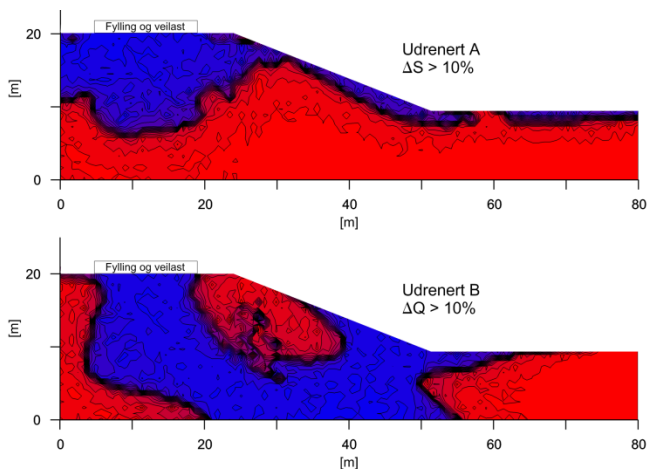
Modellen i Figur 30, som viser en lang slak skråning, viser en vesensforskjell i det udrenerte nærfeltets utstrekning når ΔS - og ΔQ -kriteriet sammenlignes. Det må bemerkes at dette påvirkes av valgte grenseverdier i kriteriene.



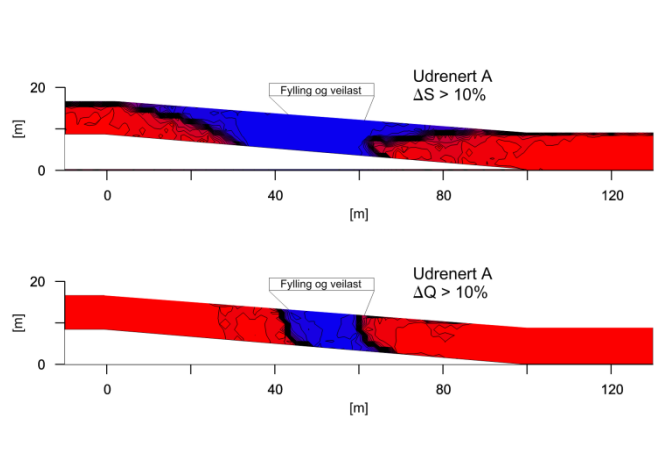
Figur 27 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 10\%$ (over) og $\Delta Q > 10\%$ (under) kriterium. Slak geometri.



Figur 28 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 10\%$ (over) og $\Delta Q > 10\%$ (under) kriterium. Middels bratt geometri.



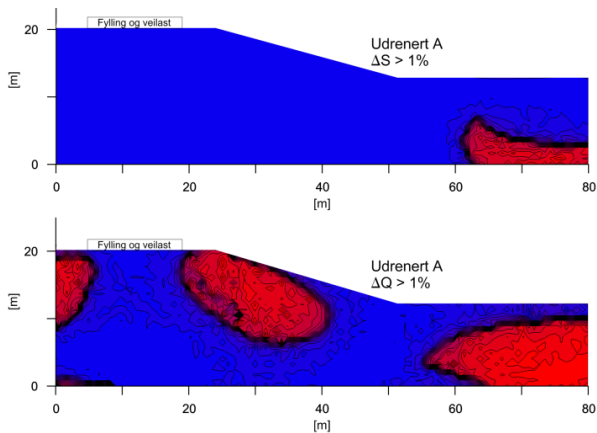
Figur 29 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 10\%$ (over) og $\Delta Q > 10\%$ (under) kriterium. Bratt geometri.



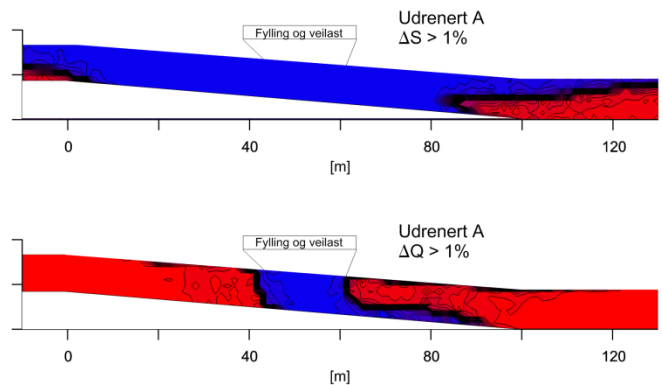
Figur 30 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 10\%$ (over) og $\Delta Q > 10\%$ (under) kriterium. Lang, slak geometri.

6.2.2 Grenseverdi for spenningsendring

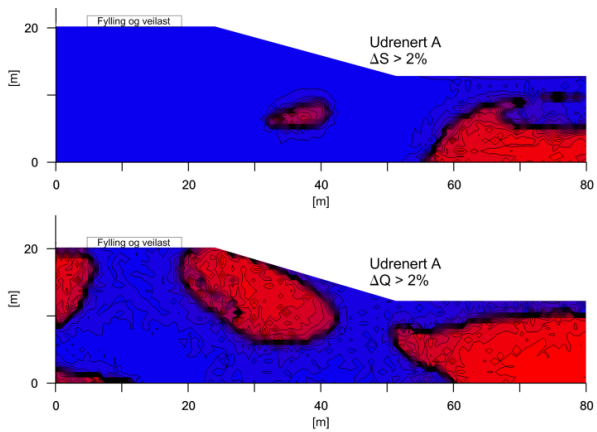
For å definere utstrekning av et lokalt udrenert nærfelt under en fylling er det nødvendig å gi en grenseverdi for valgt spenningsendringskriterium. I Figur 31-Figur 40 er det illustrert hvordan utbredelse av nærfeltet endrer seg med endring i valgt grenseverdi både for ΔS og ΔQ -kriteriet. Resultater for middels bratt- og lang, slak geometri er vist.



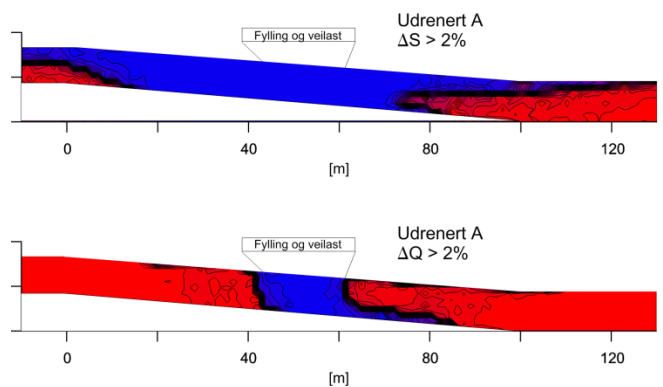
Figur 31 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 1\%$ (over) og $\Delta Q > 1\%$ (under) kriterium. Middels bratt geometri.



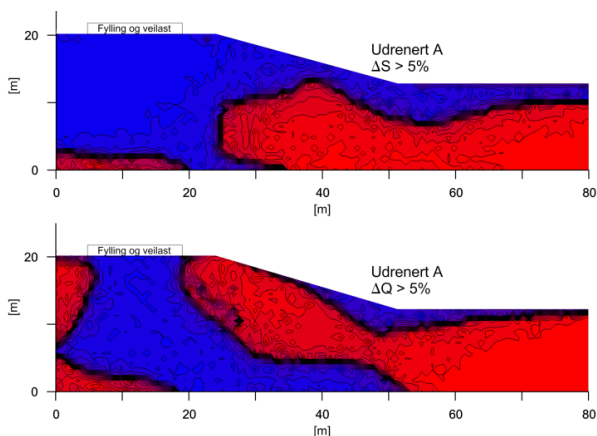
Figur 32 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 1\%$ (over) og $\Delta Q > 1\%$ (under) kriterium. Lang, slak geometri.



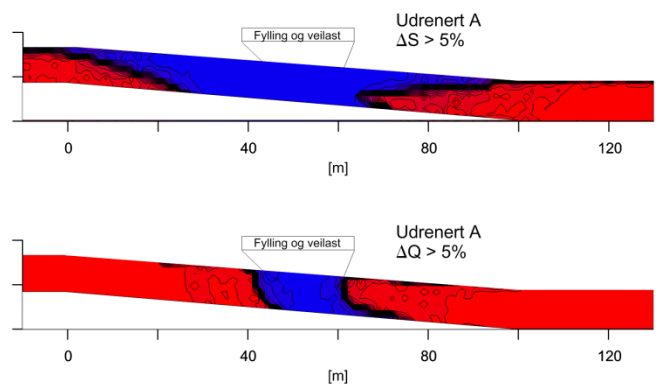
Figur 33 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 2\%$ (over) og $\Delta Q > 2\%$ (under) kriterium. Middels bratt geometri.



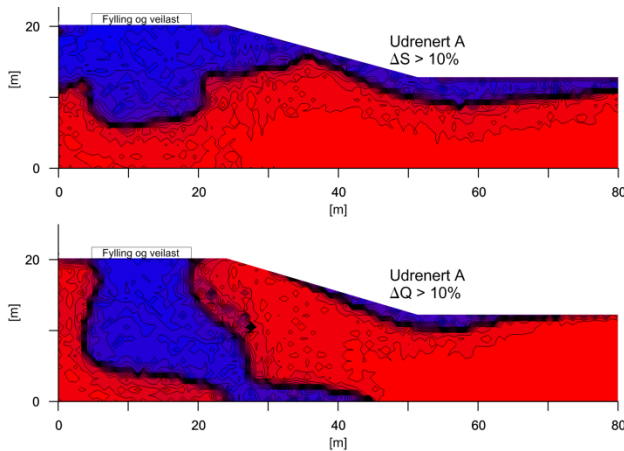
Figur 34 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 2\%$ (over) og $\Delta Q > 2\%$ (under) kriterium. Lang, slak geometri.



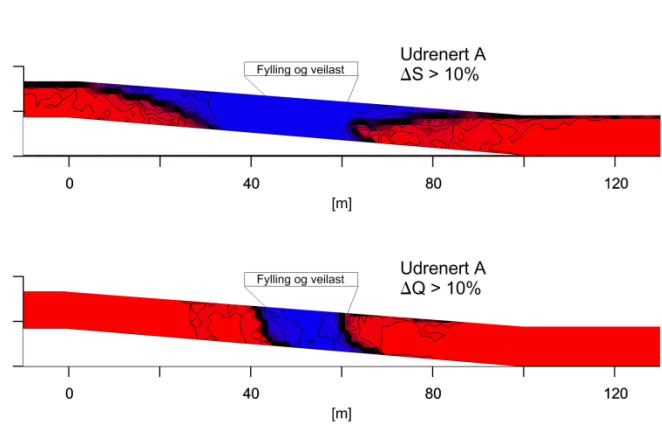
Figur 35 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 5\%$ (over) og $\Delta Q > 5\%$ (under) kriterium. Middels bratt geometri.



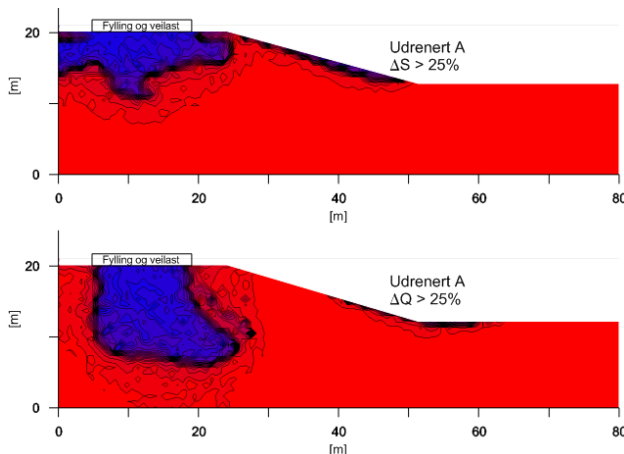
Figur 36 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 5\%$ (over) og $\Delta Q > 5\%$ (under) kriterium. Lang, slak geometri.



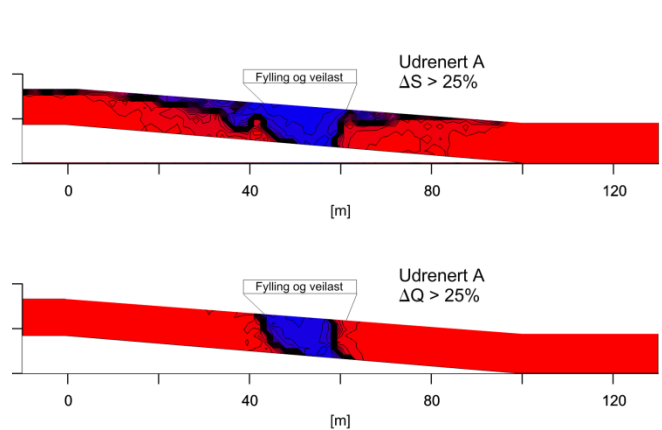
Figur 37 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 10\%$ (over) og $\Delta Q > 10\%$ (under) kriterium. Middels bratt geometri.



Figur 38 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 10\%$ (over) og $\Delta Q > 10\%$ (under) kriterium. Lang, slak geometri.

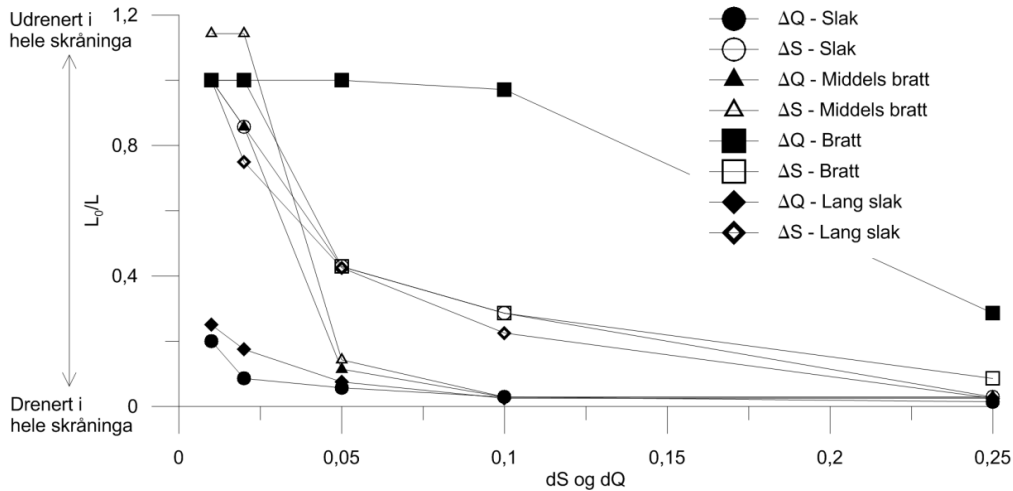


Figur 39 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 25\%$ (over) og $\Delta Q > 25\%$ (under) kriterium. Middels bratt geometri.



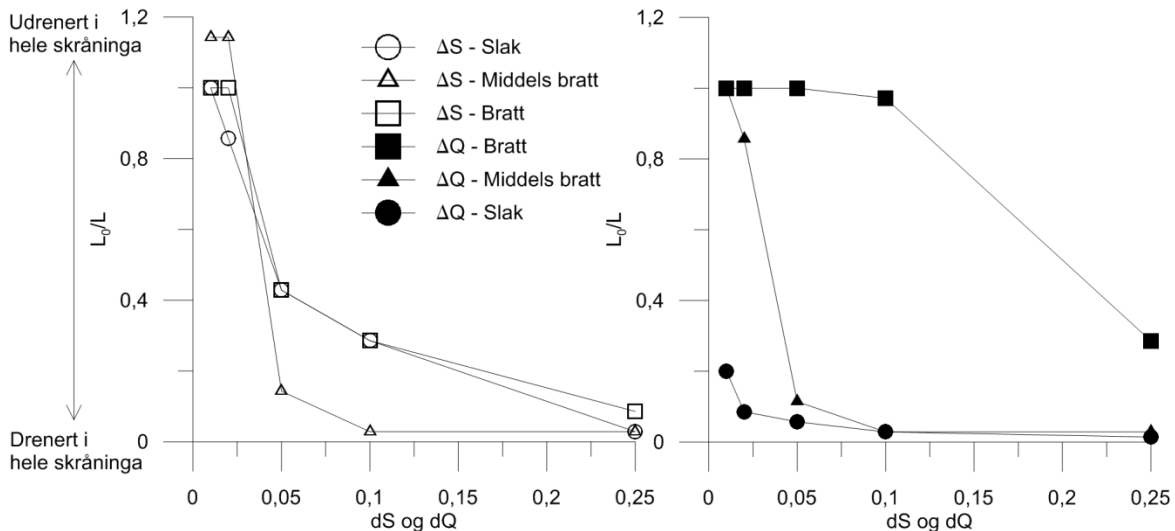
Figur 40 Utbredelse av lokalt udrenert felt (blått) for $\Delta S > 25\%$ (over) og $\Delta Q > 25\%$ (under) kriterium. Lang, slak geometri.

En tolkning av den lokale udrenerte sonens utstrekning, som funksjon av grenseverdi for ΔS og ΔQ -kriteriene, er vist i Figur 41. Dette er en pragmatisk tolkning basert på den udrenerte lokalsonens form sett i sammenheng med kritisk udrenert skjærflate. L er skråningslengden målt fra fyllingen, og L_0 er lengde av udrenert sone. En generell trend med økende udrenert sone ved redusert grenseverdi kommer frem som forventet.



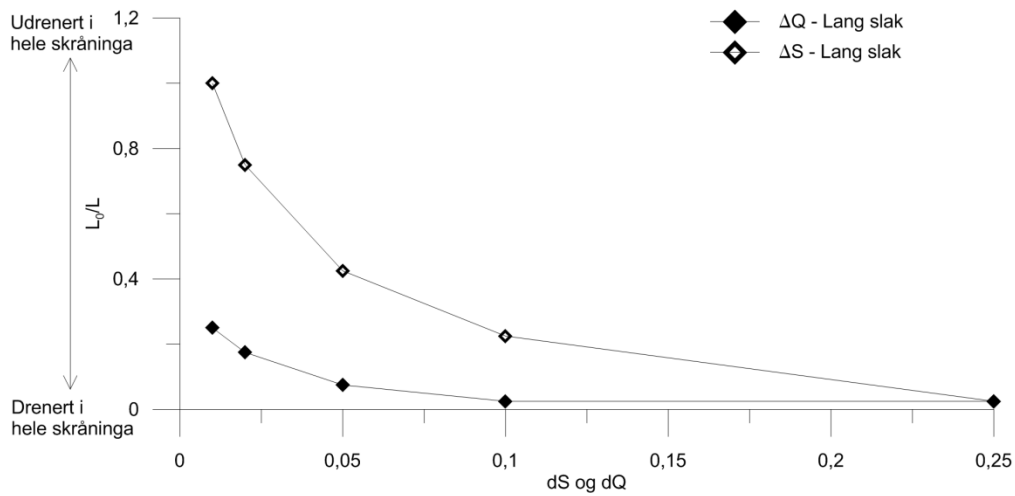
Figur 41 Utstrekning av udrenert lokalområde som en funksjon av grenseverdi for ΔS og ΔQ -kriteriene. Alle modeller.

I Figur 42 er ΔS - og ΔQ -kriteriene vist hver for seg. For ΔS -kriteriet sammenfaller den udrenerte nærsoneens utstrekning for bratt og slak geometri, mens modellen med middels bratt skrånning viser et markant skille når ΔS -kriteriet økes fra 2% (hele skråninga udrenert) til 5% (nesten hele skråninga drenert). For ΔQ -kriteriet ses en markant problemavhengighet. Formen på kurvene er ikke sammenfallende. Bratt skråningsgeometri gir en udrenert sone i hele skråninga for ΔQ -kriteriet opp til 10%. For slak geometri er skråninga drenert ved samme grenseverdi. Middels bratt geometri ligger i mellom disse.



Figur 42 Utstrekning av udrenert lokalområde som en funksjon av grenseverdi for ΔS og ΔQ -kriteriene. ΔS og ΔQ hver for seg.

Geometrimodellen for en lang, slak skrånning illustrerer store forskjeller mellom de to spenningsendningskriteriene, ΔS og ΔQ . Som illustrert gjennom Figur 31-Figur 40 involverer ΔS -kriteriet hele skråninga, fra topp til bunn, mens ΔQ -kriteriet i hovedsak begrenser seg til et lokalt område under fyllinga. Denne forskjellen er illustrert i Figur 43.



Figur 43 Utstrekning av udrenert lokalområde som en funksjon av grenseverdi for ΔS og ΔQ -kriteriene. Lang, slak geometrimodell.

7 Diskusjon

7.1 Vurdering av beregningskonsept

Når et menneskelig inngrep gjøres i en naturlig leirskråning er det i mange tilfeller rimelig å tenke seg at påvirkningen ikke kan karakteriseres som udrenert flere titalls meter fra inngrepet. Likevel gjøres det i dag udrenerte analyser for skråninger med skjærflater som strekker seg over 100 m fra inngrepet. Motivasjonen for et beregningskonsept med lokale udrenerte soner nær lastpåføringen, og drenerte soner utenfor dette, springer ut av denne betraktningen.

Det er vist i denne studien at materialfaktoren for en global skjærflate øker jo mindre den udrenerte sonen er. Drenert oppførsel i hele skråninga gir høyest materialfaktor og udrenert i hele skråninga gir lavest materialfaktor. Ved å benytte en beregning med udrenert oppførsel kun i en lokal del av ei skråning kan eventuelle stabiliserende tiltak reduseres eller unngås. Det ligger dermed en økonomisk og praktisk gevinst i beregningskonseptet.

Beregningskonseptet kan beskrives som relevant, knyttet til faktisk opptredende jordoppførsel og besparende rent økonomisk. Men det er viktig å understreke at en slik tankegang beveger seg i ikke-konservativ retning. Avgrensning av det lokale udrenerte nærfeltets utstrekning har direkte innvirkning på beregnet materialfaktor og er en størrelse som må fastslås basert på et solid fundament.

Videre kan beregningskonseptet feilaktig motivere til kun å regne på udrenerte skjærflater innenfor det lokale udrenerte nærfeltet. Vi vil advare mot en slik tolkning da det er vist at rene lokale udrenerte skjærflater kan vise til dels betydelig høyere materialfaktor sammenlignet med en global skjærflate som går gjennom både lokal udrenert og global drenert sone. Man får da et uriktig bilde av skråningens sikkerhet mot en eventuell utglidning. Ønsker man et bilde av inngrepets, og skråningens, sikkerhetsnivå må det regnes globale skjærflater.

Videre er det viktig å gi tydelige og enkle retningslinjer hvis en slik beregningsmetodikk skal innføres. Konseptet er komplisert og det bør unngås at feil gjøres i utførelse pga. et komplekst regelverk.

7.2 Initialspenninger

I en beregning av et lokalt udrenert nærfelts utstrekning vha. FEM og et kriterium for spenningsendring, blir initialtilstanden viktig. I begge kriteriene som er benyttet her inngår initial spenningstilstand. Dette er vurderingens startpunkt og er et aspekt som involverer store usikkerheter. Det er vist i Mehli / 5/ og Gylland et al. / 8/ hvordan ulike fremgangsmåter i elementmetoden gir ulike initialspenninger for samme geometrimodell og materialparametere. Feltmålinger av initialspenninger er utfordrende og det fins kun et fåtall studier (f.eks. Kenney / 9/, Massarsch et al. / 10/, Rankka / 11/).

7.3 Spenningskriterie

To spenningskriterier er benyttet i denne studien. ΔS er basert på Strømme / 7/ og måler prosentvis og absolutt endring i Δq og Δp relativt til initialtilstanden.

$$8. \quad \Delta S = \sqrt{\left(\frac{\Delta p}{p_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta q}{q_0}\right)^2} > X\%$$

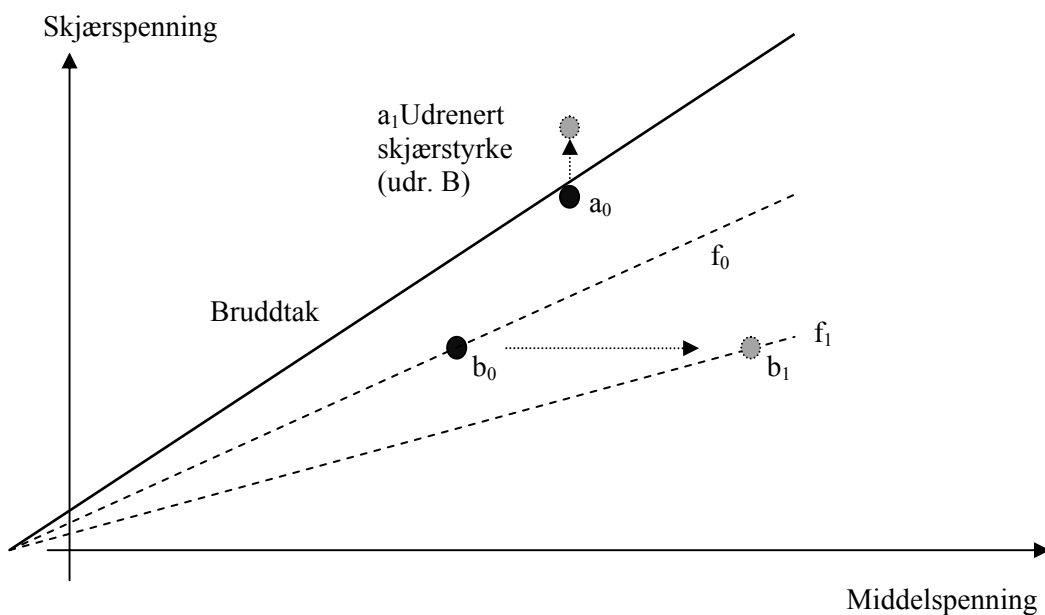
Som et alternativ er ΔQ benyttet. Dette kriteriet bruker friksjonsmobilisering og bruddtak som referanse.

$$9. \Delta Q = \frac{f - f_0}{f_{brudd} - f_0} = \frac{\Delta f}{1 - f_0} > X\%$$

Når disse to kriteriene sammenlignes er det en tendens til at ΔQ involverer dypere jordlag og har en mindre spredning ut fra lasta. ΔS dekker litt bredere ut fra lasta og grunnere jordlag. Denne forskjellen er ikke vesentlig i modellene med bratt, middels bratt og slak geometri. Men i modellen med en lang slak skråning blir forskjellen fremtredende. Mens ΔQ begrenser seg til et lokalt felt i nærhet av lasta, involverer ΔS hele skråninga fra topp til bunn.

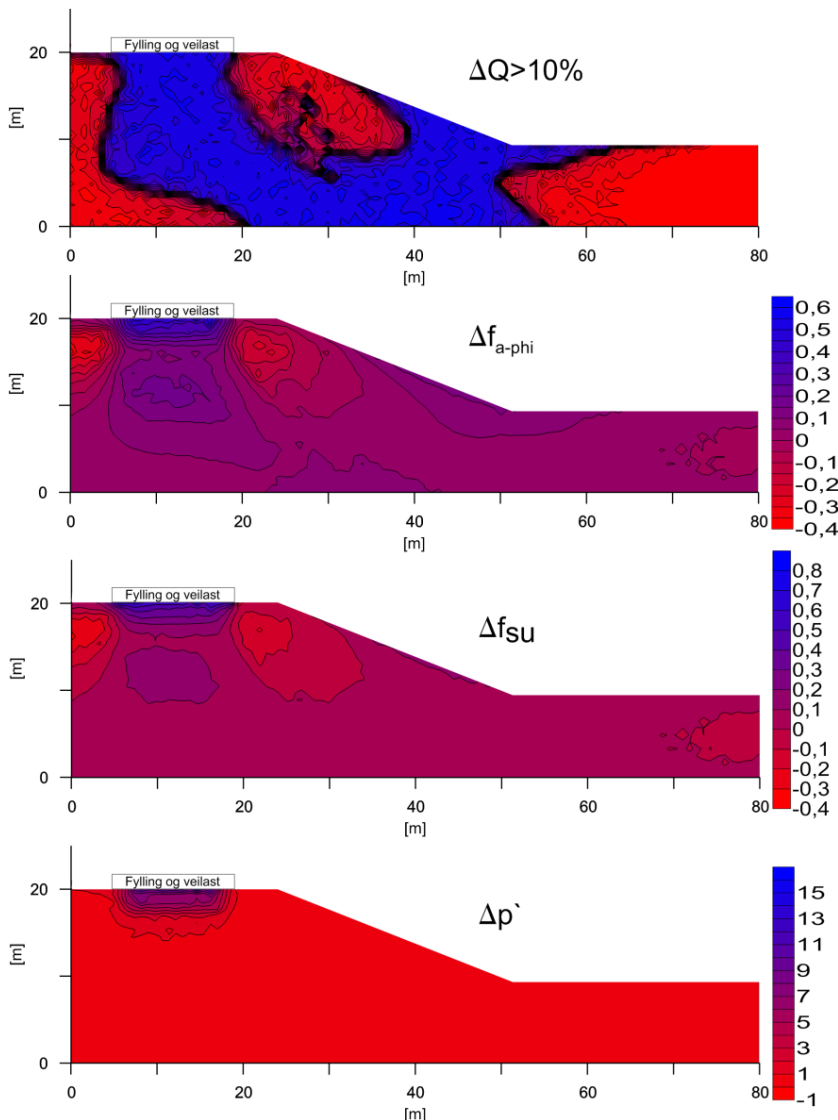
Hovedgrunnen til disse forskjellene ligger i målingen av endring. Mens ΔS i tillater store spenningsendringer i partier som er nært brudd vil ΔQ virke motsatt. Modellen med lang slak skråning er lite mobilisert til å begynne med, det skal dermed små spenningsendringer til før ΔS slår inn. Den samme forklaringsmodellen kan benyttes for å forstå hvorfor ΔQ i modellen med bratt geometri involverer et stort område nær skråningas tå. Dette er fordi dette området står initialt med store skjærspenninger. Det skal dermed en liten spenningsendring til før området faller innenfor kriteriet.

Konseptet med å se endring av henholdsvis parameterne Δq og Δp , samt Δf har utfordringer knyttet til seg. Punkt a_0 i Figur 44 representerer en initialtilstand helt opp mot materialets bruddtak. Selv om dette materialpunktet, ved en belastning, ønsker å øke sin skjærspenning, vil ikke dette tillates. Materialet er i en bruddtilstand og store skjærtøyninger kan forventes, men Δq og Δp blir tilnærmet lik null. ΔS -kriteriet slår ikke inn selv om det er rimelig å anta en udrenert situasjon i denne tilstanden. ΔQ , som ser på mobiliseringsgrad, vil plukke ut denne tilstanden som en udrenert situasjon i og med at det for et materialpunkt nært bruddtaket kreves en svært liten mobiliseringsendring. Utfordringen med ΔQ -kriteriet ligger i middelspenningsendringer uten skjærkomponent. Dette er illustrert i Figur 44 som en spenningsendring fra b_0 til b_1 . Det er en markant økning i middelspenning, og en udrenert situasjon kan forventes, men endringen i mobiliseringsgrad fra f_0 til f_1 er negativ. Dette gjør at ΔQ -kriteriet ikke slår ut.



Figur 44 Illustrasjon av spenningspunkter og utfordringer med spenningskriterier.

Et eksempel for hvordan spenningsendringer slår ut for ΔQ -kriteriet er vist i Figur 45. Figuren viser beregningen for bratt geometri (udrenert A) og resultater for endring i friksjonsmobilisering (Δf_{a-phi}), s_u -mobilisering (Δf_{su}) samt endring i effektiv middelspenning ($\Delta p'$). Den øverste figuren viser udrenert nærfelt (blått) for $\Delta Q > 10\%$. Midt i skråninga er det et område som ikke inkluderes i dette nærfeltet. Endring i friksjons- og s_u -mobilisering viser at dette området opplever en reduksjon i skjærspenninger. Samtidig er det en økning effektiv middelspenning i dette området. ΔQ -kriteriet plukker ikke opp denne endringen i spennings situasjon som udrenert, mens ΔS -kriteriet gjør det (se Figur 23).



Figur 45 Resultater for bratt geometri; $\Delta Q > 10\%$, endring i friksjonsmobilisering (Δf_{a-phi}), s_u -mobilisering (Δf_{su}) samt endring i effektiv middelspenning ($\Delta p'$).

Man kan se for seg modifikasjoner av ΔS og ΔQ -kriteriet som kan forbedre prediksjonen av en udrenert spenningsendring. For en Δq og Δp -basert tolkning kan referansesituasjonen endres til en tilstand langs bruddtaket. Man får da et kriterium som håndterer prosentvis endring på samme måte som ΔQ ; det tillates mindre spenningsendring for å få en udrenert respons jo nærmere bruddtaket man er. Men, det er ikke gitt hvordan dette skal gjøres konsistent. For ΔQ -kriteriet vil man plukke opp spenningsendringen fra b_0 til b_1 i

Figur 44 ved å innføre absoluttverdi av endringen i mobiliseringsgrad. Bakdelen her er at man mister oversikt over hvor man befinner seg i forhold til bruddtaket.

Disse uklarhetene i beskrivelse, kvantifisering og vurdering av hvilken spenningsendring som skal til for systematisk og entydig beskrive en udrenert tilstand bør undersøkes videre med mål om å definere en entydig og enkel parameter. For å komme i mål må mekanismene som skaper en udrenert situasjon, og de tilhørende spenningsendringene, forstås bedre.

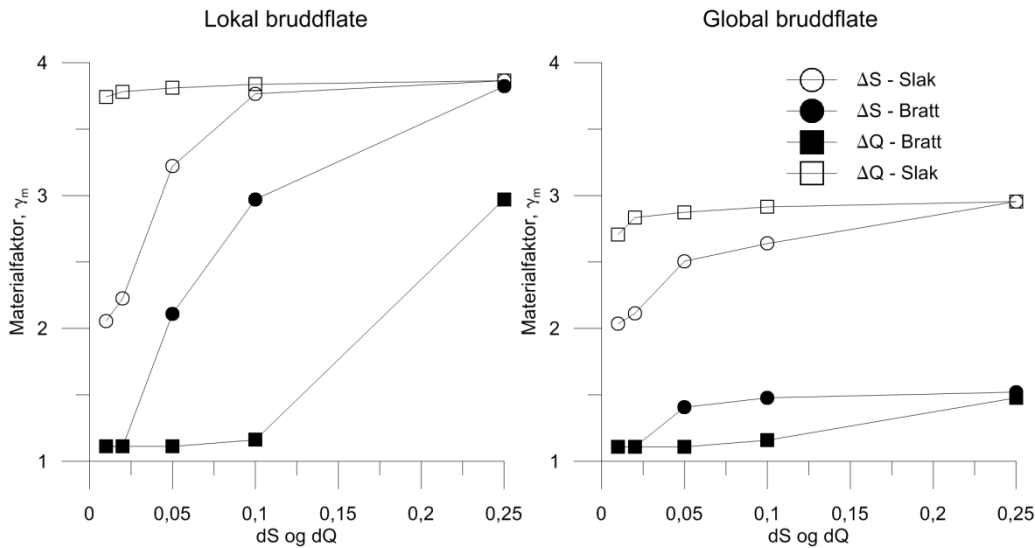
7.4 Grenseverdi for spenningsendring

Valg av grenseverdi for udrenert spenningsendring anses som en av hovedutfordringene innen tankegangen om å definere en lokal udrenert sone. Figur 41 viser utstrekning av lokalt udrenert nærfelt som en funksjon av valgt grenseverdi for spenningsendring. Det er tydelig at valg av grenseverdi har stor innvirkning på størrelsen av nærfeltet. Et konkret valg av en generell grenseverdi er en stor utfordring. Det foreligger ingen direkte angivelse av dette i litteraturen og mange betraktninger blir basert på magefølelse.

En udrenert situasjon kjennetegnes ved at all tilleggslast tas som økning i poretrykk. Det er her mulig å tenke seg at man ser på utvikling av poreovertrykk i en elementmetodeberegning for å definere utstrekning av et udrenert felt. Men, som nevnt i avsnitt 5.1, kan ikke slike poretrykksfelt anses som korrekte uten videre. Resultatet er sterkt avhengig av materialmodellen og per i dag fins få modeller som kan fange den kontraktante oppførselen til norske marine leirer. Materialmodellen n-SAC (Grimstad & Degago / 12/) og videre arbeid innenfor Geo-future ved PhD-stipendiat Jon Rønningen er mulige veier.

Selv i en situasjon hvor man vet fordeling av poreovertrykk må det tas et valg om hvilken poretrykksøkning som kan anses stor nok til å klassifisere til udrenert respons i en grenselikevektsbetraktning. Samtidig må man også vurdere om udrenert skjærkryp er et aspekt som skal inngå som en øvre grense i denne sammenhengen.

Et bilde av betydningen av valgt grenseverdi på skråningens materialfaktor kan fås ved å sammenstille resultatene i Figur 41 med Slide-beregningene. Utstrekning av lokalt nærfelt for gitt grenseverdi kobles mot beregnet materialfaktor for samme nærfeltstørrelse. Resultatet for bratt og slak skråningsgeometri er vist i Figur 46. Lokal bruddflate er tvunget til kun å opptre innen det lokale udrenerte nærfeltet. Global bruddflate involverer både lokal udrenert og global drenert sone. Lavere grenseverdi gir større utstrekning av den udrenerte sonen og lavere materialfaktor. For eksempelet med bratt geometri og ΔS -kriterium varierer materialfaktoren mellom 1,1 og 3,8 for lokal bruddflate og 2,1 og 3,8 for global bruddflate avhengig av valgt grenseverdi.



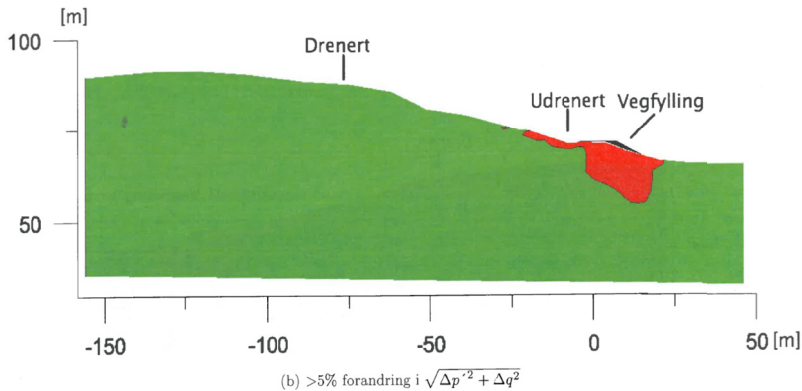
Figur 46 Materialfaktor for lokal og global bruddflate som funksjon av valgt grenseverdi for spenningsendring for både ΔS og ΔQ -kriterium.

7.5 Materialoppførsel

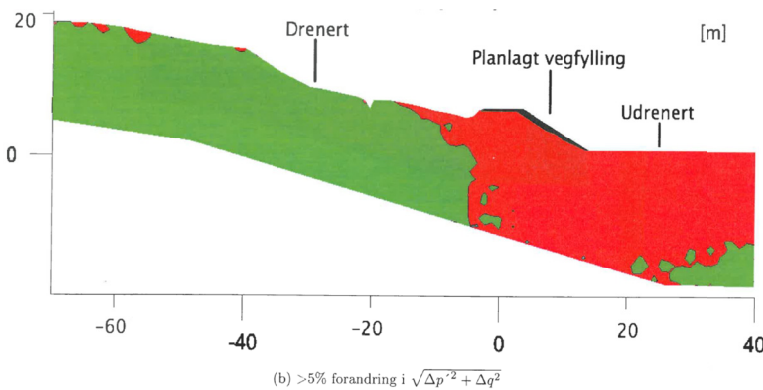
I tillegg til riktig modellering av poretrykksoppbygging i en FEM-analyse er det enda et materialmodelleringsmessig aspekt som er viktig. Studien som er utført her baserer seg på et konstant styrketak. Dette er ikke nødvendigvis riktig. Et materialpunkt i en skråning som er høyt mobilisert vil over tid, pga. spenningssituasjonen alene og drenert skjærkryp, utvide sin flyteflate. I praksis vil det si at prekonsolideringen øker noe som igjen fører til at udrenert skjærstyrke og kryptmotstand øker. For et spenningsendringkriterium som benyttet styrketaket som referanse vil dette bety at styrke for høyt mobiliserte materialpunkter underestimeres og kriteriet slår konservativt ut; man får en større udrenert sone enn man kanskje nødvendigvis har. For korrekt modellering bør styrketaket være en funksjon av initiell spenningstilstand.

7.6 Problemavhengighet

Med problemavhengighet menes løsningens avhengighet av skråningens geometri, materialparametere, lastsituasjon og spenningshistorie. Problemavhengigheten for et nærfelts utstrekning, for samme spenningsendringkriterium og grenseverdi, illustreres godt i Figur 41. For bratt, middels og slak skråningsgeometri er det vesensforskjell i nærfeltets utstrekning og utstrekningens relasjon til valgt grenseverdi. Sammenlignes disse resultatene med modellen for lang slak skråning vises en betydelig økning i nærfeltets størrelse for ΔS -kriteriet og en reduksjon for ΔQ -kriteriet. Nærfeltets problemavhengighet kan belyses videre med to eksempler fra Tveit / 6/ som vist i Figur 47 og Figur 48. Det er beregnet udrenert nærfelt for to skråninger med tilsvarende geometri, materialparametere og inngrep, men med signifikant forskjell i nærfeltets størrelse.



Figur 47 Udrenert nærfelt Heimdal profil 1550 (Tveit / 6/).



Figur 48 Udrenert nærfelt Lenaelva (Tveit / 6/).

Det argumenteres ikke her for at en slik problemavhengighet er gal, men at dette aspektet gjør det utfordrende å definere en generell og enkel regel for utstrekning av et nærfelt.

7.7 Begrensninger

Rapporten har ikke belyst effekten av avstand fra fylling til skråningstopp. Avstand fra skråningstopp mer enn 3 ganger bredden av fyllingen vil ofte være tilstrekkelig for å unngå at et globalt brudd som involverer hele skråningen opptrer. Her vil beliggenheten av svake lag være avgjørende. En annen viktig faktor vil være å sikre seg mot erosjon/utgraving ved skråningsfot.

Analysene som er utført her er gjort uten å gjøre betraktninger rundt drenasje av poreovertrykk relativt til lastpåføringshastighet og jordas konsolideringsegenskaper. Ved å regne rent udrenert/drenert oppnås en øvre grense for nærfeltets utstrekning. For et eventuelt arbeid frem mot retningslinjer kan det være relevant å inkludere materialets konsolideringskoeffisient for å justere nærfeltets utstrekning.

Fordeling av spenninger og spenningsendringer i grunnen avhenger av lagdeling og variasjoner i stivhetsparametere som eksemplifisert i Figur 2. Dette aspektet er ikke undersøkt i denne studien og anbefales inkludert i videre analyser.

8 Konklusjon

I denne rapporten er det undersøkt muligheter og begrensninger som ligger i å regne udrenert i et lokalt nærfelt under en veifylling, og drenert utenfor. Dette for å skille mellom lokalskred og globalskred. Aspekter ved denne beregningsfilosofien er belyst både med tanke på materialfaktorer og utbredelse av nærfeltet basert på spenningsendringer.

I en lang skråning er det i mange tilfeller urimelig å tenke seg at et materialpunkt flere titalls meter fra et inngrep (som en veifylling) kan oppleve en udrenert spenningsendring. Likevel regnes det i dag med lange udrenerte skjærflater for å beregne en skrånings sikkerhetsnivå og for å designe tiltak. Som vist i denne rapporten vil en udrenert beregning for globale skjærflater som oftest gi lavest materialfaktor. Med redusert utstrekning av den udrenerte sonen øker materialfaktoren både for lokale og globale skjærflater. Dermed ligger det et potensiale til mindre og rimeligere inngrep med dette beregningskonseptet. Samtidig er det en fare for et ensidig fokus på lokale skjærflater innenfor det lokale udrenerte nærfeltet. Ønsker man et bilde av skråningens sikkerhetsnivå må det også regnes globale skjærflater.

I avropet fra NIFS skiller det eksplisitt mellom lokalskred og områdeskred. Beregningene gjort i denne studien viser at en slik antagelse generelt ikke er gyldig. Med unntak av situasjoner med høy kohesjon gir den globale skjærflaten, rent udrenert eller drenert/udrenert, lavest materialfaktor. Globalskredet blir dermed dimensjonerende tilfelle i en grenselikevektsbetraktning. Lokalskredet, eller den udrenerte beregningen i nærfeltet, blir da av mindre betydning.

Basert på analysene gjort i denne studien konkluderes det med at beregningskonseptet med lokale udrenerte soner for å skille mellom lokalskred og globalskred har et potensiale, men kan ikke sies å være modent enda. Dette skyldes i hovedsak fire utfordringer som må løses for å komme videre.

- *Etablering av korrekte initialspenninger*
 - Dette er betraktningens utgangspunkt for bestemmelse av spenningsendring samt udrenert skjærstyrke.
- *Etablering av konsistent og representativt kriterium for spenningsendring for udrenert oppførsel*
 - Flere mulige kriterier er diskutert i denne rapporten og to spesifikke er utprøvd. Begge disse har mangler som må utbedres. En utbedring bør gjøres basert på dypere forståelse av hvilke spenningsendringer som fører til en udrenert oppførsel relevant for problemstillingen.
- *Grenseverdi for spenningsendring som fører til udrenert oppførsel*
 - Spenningsendringer i bakken vil avta asymptotisk utover i fjernfeltet. For å definere et lokalfelt må det bestemmes en grenseverdi for hva som er en udrenert spenningsendring. Dette aspektet er en av de største utfordringene i beregningskonseptet og utarbeidelse av en grenseverdi må ses i sammenheng med utvikling av spenningskriterium.
- *Problemvhengighet*
 - Som forventet viser utbredelsen av et lokalt udrenert nærfelt en sterk avhengighet av problemet som undersøkes. Dette gjør det vanskelig å bestemme et generelt kriterium for utbredelse av et nærfelt i form av f.eks. en geometrisk eller regel om 3 ganger veibredde.

Som vist vil en beregningsmetodologi, med lokal udrenert sone og global drenert sone, gå i ikke-konservativ retning sammenlignet med en tradisjonell ren udrenert beregning. Det er derfor viktig å gjøre velbegrunnede valg basert på fakta. Samtidig bør retningslinjer basert på metodikken være enkle og intuitive slik at man unngår uønskede situasjoner pga. feiltolkninger. Resultatene fra denne studien viser at det må gjøres mer arbeid inn mot utfordringene som er listet opp over før man kan gå videre i retning av generelle retningslinjer.

9 Forslag til videre arbeid

Nøkkelutfordringene for å utvikle beregningsmetodologien videre er forståelse av hvilke spenningsendringer som gir udrenert oppførsel, hvordan kvantifisere disse og en definisjon av hva som er stor nok spenningsendring.

For å svare på disse utfordringene anbefales det å utføre fullskala instrumentering av ett eller flere representative utbyggingsprosjekt. Arbeidet og tankeprosessene med å sette opp instrumenteringsprogram, utføre målinger og analysere resultatene vil føre til dypere innsikt i problemstillingen. Sammen med tilbakeberegninger og laboratorieforsøk vil man ha et grunnlag for å besvare hovedutfordringene som er forankret i virkelig opp tredende situasjoner. Dette vil være av betydning for å kunne ta beregningsmetodikken opp på et nivå for utvikling av bedre retningslinjer.

10 Referanser

- / 1/ NIFS rapport (2012). Etatsprogrammet "NATURFARE – Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS). Delprosjekt 6: Kvikkleire". Datert 2012-01-20.
- / 2/ SLIDE Ver.5.042 (2009): "2D Limit Equilibrium Slope Stability Analysis", Rocscience, Canada.
- / 3/ PLAXIS 2D 2011 (2011). FEM code for geotechnical engineering, PLAXIS bv, The Netherlands.
- / 4/ Federal Highway Administration (2006). Publication Nr. FHWA NHI-06-088.

- / 5/ Mehli, M. (2010) Numerical simulation of the initial stress state in two slopes and the effect of initial stresses on the stability. Masteroppgave NTNU.
- / 6/ Tveit, M. (2011) Stabilitet av kvikkleireskråninger med lokale udrenerte- og globale drenerte soner. Masteroppgave NTNU.
- / 7/ Strømme, T. (2011) Kvikkleireskråninger med lokalt udrenerte og globalt drenerte soner. Masteroppgave NTNU.
- / 8/ Gylland, A., Nordal, S., Jostad, H. & Mehli, M. (2011), Pragmatic approach for estimation of slope capacity in soft sensitive clay, *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol 16F, pp 575-590.
- / 9/ Kenney, T. (1967), Field measurement of in situ stresses in quick clays, in 'Proc. Geotech.Conf., Oslo', Vol. 1, pp. 49–55.
- / 10/ Massarsch, K., Holtz, R., Holm, B. & Fredriksson, A. (1975), Measurement of horizontal in situ stresses, in 'Proc. Conf. In-situ Meas. of Soil Prop. Spec. Conf. of the Geotech. Eng. Div. ASCE', Vol. 1, pp. 266–287.
- / 11/ Rankka, K. (1994), In situ stress conditions across clay slopes. A study comprising seventest sites, PhD thesis, Chalmers University of Technology.
- / 12/ Grimstad, Gustav; Degago, Samson Abate. (2010) A non-associated creep model for structured anisotropic clay (n-SAC). *NUMGE 2010, Numerical Methods in Geotechnical Engineering*.
- / 13/ Christensen, S. (1986) Triaxial creep tests on Eberg clay. SINTEF-report STF69 F86016.

A Vedlegg – Avrop fra NIFS

Bakgrunn for oppgaven:

Med bakgrunn i SINTEF rapport SBF IN F10412 og NIFS- rapport nr. 80/2012 ”Likestilling mellom bruk av absolutt materialfaktor og prosentvis forbedring?”, utarbeidet av prosjektgruppen Sintef/Multiconsult i 2012, vil NIFS fokusere på å finne et anvendbart skille mellom lokalskred og områdeskred.

Sintef/Multiconsult angir i rapport 80/2012, side 27 ”... det skal anleggsteknisk mye til å endre likevektsspenningene i en stor skråning mens det i et lokalt område er fort gjort å spise opp marginen. Prinsippet om prosentvis forbedring blir derfor ”dimensjonsavhengig” og det vil derfor være logisk å heve sikkerhetsnivået for mindre problemstillinger eller lokale deler av et større prosjekt. Det mest rendyrkede vil da være lokalt å øke kravet til materialfaktor og bruke samme prinsipp for valg av karakteristisk verdi som før.”

Definisjon av lokalstabilitet og områdestabilitet, som ønsket uttrykket fra NIFS-gruppen:

”Lokalskred: Et lokalt rotasjonsskred eller overflateutglidning som kan skje i alle materialtyper. Bruddet (utglidningen) avgrenses innenfor det lokale influensområdet for spenningsendringen som tiltaket fremkaller, eller som har oppstått i skråningen.

Områdeskred: Utvikling av ”områdeskred” skjer i sprøbruddmaterialer eller kvikk leire, oftest lokalisert i tilstøtende naturlige leirskråninger, med hellende terreng både i skredgropa og skredutløpet.

Både lokalskred og områdeskred kan skje ved påvirkning av naturkrefter eller av menneskeskapte tiltak. De kan tilsvarende også skje i naturlige skråninger og menneskeskapte skråninger.”

Det opplyses om at NIFS-gruppen på nåværende stadium vurderer å foreslå bruk av krav til absolutt materialfaktor for lokalskred. Prosentvis forbedring er foreløpig kun vurdert for bruk ved forbedring av områdestabilitet som følge av topografiske endringer eller lette masser (ikke ved bruk av andre konstruksjonstiltak).

Oppgavebeskrivelse:

Ut ifra prinsippet om ”dimensjonsavhengighet” og definisjonene av lokalskred og områdeskred, som beskrevet ovenfor, ønsker NIFS at prosjektgruppen skal vurdere hvordan man ut i fra spenningsteori kan angi et skille mellom lokalskred og områdeskred. Dette skal uttrykkes i form av tallverdier for spenningsendringer (1) og/eller i form av en geometrisk avgrensning (2). Det skal gis en drøftet begrunnelse av tallverdiene og/eller den geometriske avgrensningen som foreslås. Forslaget skal angis i en praktisk anvendbar bruksanvisning. Løsningen skal ikke kreve bruk av spesifikke beregningsprogram.

1. Ved bruk av kun tallfestede anslag for spenningsendringer skal disse angis som intervall (eksempelvis 2-5 %) eller som en øvre grense. Uansett hvordan tallverdiene velges å oppgis så skal man etterstrebe konservative anslåtte verdier, og det skal gis en beskrivelse av hvordan disse tallene skal brukes ved vurdering av spenningsverdier.
2. Ved bruk av geometriske avgrensninger skal dette angis som en geometrisk figur eller som en avlesningstabell med utgangspunkt i helning, høydeforskjell eller lignende.

Opgavens mål: Finne en praktisk anvendbar løsning for bruk av spenningsendringer som avgrensning for å skille lokalskred og områdeskred. Dersom ikke dette målet anses å være realistisk å kunne oppgi, må i tilfelle også dette drøftes og begrunnes.

Referanse:

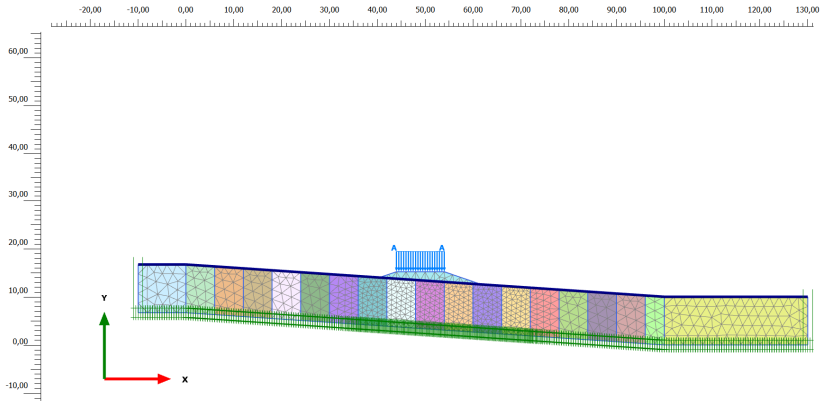
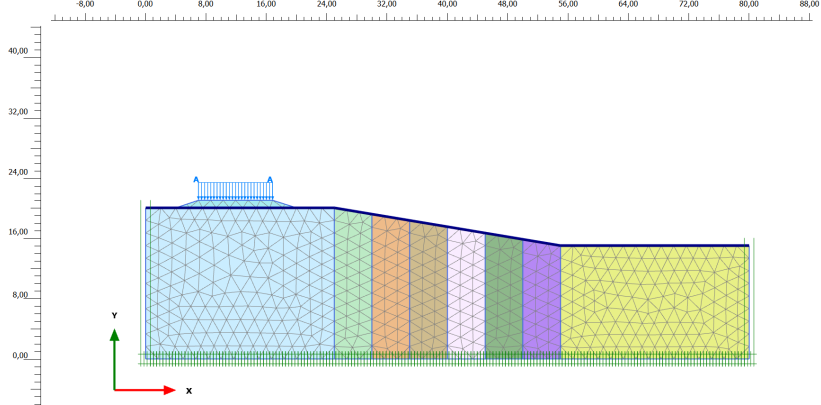
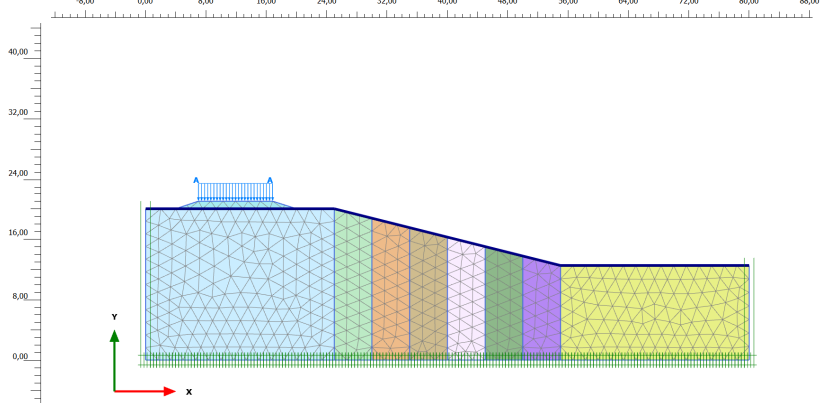
1. Rammeavtale- DP6 kvikkleire til Etatsprogrammet NIFS (Sveis nr. 2012073568)
2. SINTEFs rapport SBF IN F10412

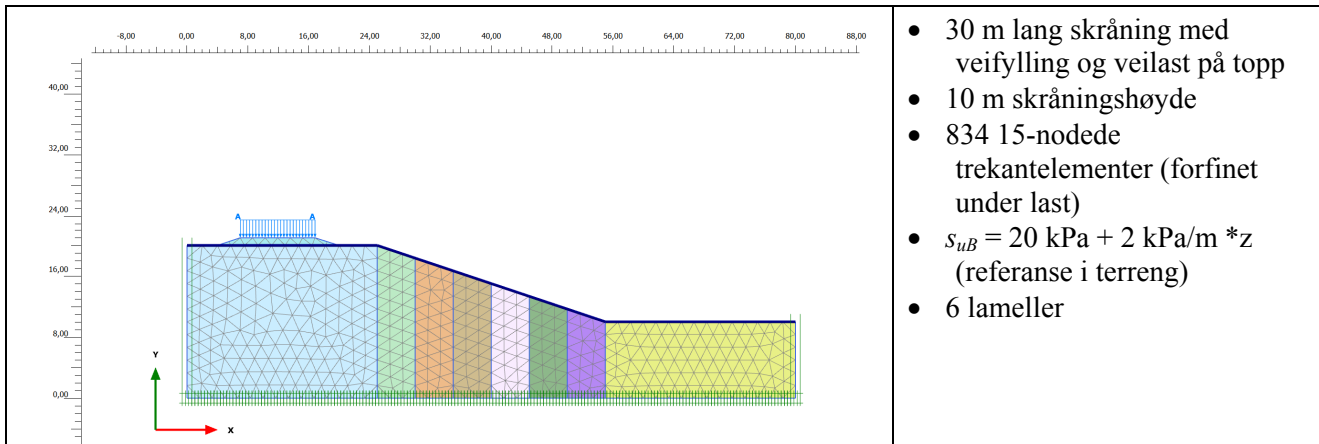
3. NIFS-rapport 80/2012 “Likestilling mellom bruk av absolutt materialfaktor og prosentvis forbedring?”, utarbeidet av Sintef/Multiconsult
4. Epost fra Stein Christensen v/SINTEF den 14.03.2013
5. Møte mellom kvikkleiregruppen og Stein Christensen v/SINTEF den 25.04.2013 i Trondheim

B Vedlegg – Plaxismodell

B.1 Geometri

Geometri og informasjon om elementnett for de ulike plaxismodellene er vist i tabellen under.

	<ul style="list-style-type: none"> • 100 m lang slak idealisert skråning med veifylling og veilast midt i skråning • Middelhøyde på fylling: 1,85 m • 6,7 m skråningshøyde • 1416 15-nodede trekantelementer (forfinet under last) • $s_{uB} = 10 \text{ kPa} + 2 \text{ kPa/m} * z$ (referanse i terreng) • 17 lameller
	<ul style="list-style-type: none"> • 30 m lang skråning med veifylling og veilast på topp • 5 m skråningshøyde • 971 15-nodede trekantelementer (forfinet under last) • $s_{uB} = 20 \text{ kPa} + 2 \text{ kPa/m} * z$ (referanse i terreng) • 6 lameller
	<ul style="list-style-type: none"> • 30 m lang skråning med veifylling og veilast på topp • 7,5 m skråningshøyde • 889 15-nodede trekantelementer (forfinet under last) • $s_{uB} = 20 \text{ kPa} + 2 \text{ kPa/m} * z$ (referanse i terreng) • 6 lameller



- 30 m lang skråning med veifylling og veilast på topp
- 10 m skråningshøyde
- 834 15-nodede trekantelementer (forfinet under last)
- $s_{uB} = 20 \text{ kPa} + 2 \text{ kPa/m} * z$ (referanse i terreng)
- 6 lameller

B.2 Beregningsfaser

Følgende beregningsfaser er benyttet:

Phase	Starts from	Phase no.	Calculation type	Load input
Initial phase	N/A	0	Gravity loading	N/A
Drained fill + load	0	1	Plastic	Staged construction
Undrained material	0	2	Plastic	Staged construction
Undrained fill + load	2	3	Plastic	Staged construction
Safety Initial drained	0	4	Safety	Incremental multipliers
Safety drained + load	1	5	Safety	Incremental multipliers
Safety Undrained initial	2	6	Safety	Incremental multipliers
Safety Undrained load and fill	6	7	Safety	Incremental multipliers

- Først beregnes initialspenninger ved en "gravity loading"-fase med drenert materiale.
- En beregning med drenert materiale sammen med fylling og last kjøres for å ha en referanse mot Slide-beregningene
- Initialspenningene overføres til et udrenert materiale. Enten udrenert A eller udrenert B benyttes her. (initialtilstand for spenningsberegning)
- Vei og veilast aktiveres med udrenert materiale (endringstilstand for spenningsendring)
- Phi-c reduksjoner kjøres for alle situasjoner. Brukes som kontroll og referanse mot Slide-beregningene

B.3 Materialparametere

Styrkeparametere er benyttet for drenert og udrenert material som oppgitt i avsnitt 5.3. I tillegg krever elementmetoden input av stivhets- og dilatansparametere. Disse er listet opp under:

Veifylling

Parameter	Symbol	Verdi
Youngs stivhetsmodul	E'	20 000 kPa
Tverrkontraksjonstall	ν'	0,35
Dilatansvinkel	ψ	0°

Leire

Parameter	Symbol	Verdi
Youngs stivhetsmodul	E'	6 000 kPa
Tverrkontraksjonstall	ν'	0,35
Dilatansvinkel	ψ	0°



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no

Utgitt i Rapportserien i 2014

- Nr. 1 Analyse av energibruk i forretningsbygg. Formålsdeling. Trender og drivere
- Nr. 2 Det høyspente distribusjonsnett. Innsamling av geografiske og tekniske komponentdata
- Nr. 3 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet: Eirik Førland, Jostein Mamen, Karianne Ødemark, Hanne Heiberg, Steinar Myrabø
- Nr. 4 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 7. Skred og flomsikring. Sikringstiltak mot skred og flom Befaring i Troms og Finnmark høst 2013
- Nr. 5 Kontrollstasjon: NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 6 New version (v.1.1.1) of the seNorge snow model and snow maps for Norway. Tuomo Saloranta
- Nr. 7 EBO Evaluering av modeller for klimajustering av energibruk
- Nr. 8 Erfaringer fra ekstremværet Hilde, november 2013
- Nr. 9 Erfaringer fra ekstremværet Ivar, desember 2013
- Nr. 10 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2013. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 11 Energibruksrapporten 2013
- Nr. 12 Fjernvarmens rolle i energisystemet
- Nr. 13 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer. Delprosjekt. 5.1.5
- Nr. 14 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer
- Nr. 15 Tilleggsrapport: Oppsummering av Energimyndighetens og NVEs gjennomgang av elsertifikatordningen
- Nr. 16 Flomberegning for Nesttunvassdraget (056.3Z). Thomas Væringstad
- Nr. 17 Årsrapport for tilsyn
- Nr. 18 Verktøyprosjektet - hydrologi 2010-2013. En oppsummering av aktiviteter og resultater. Erik Holmqvist (red.)
- Nr. 19 Flom og jordskred i Nordland og Trøndelag desember 2013. Elin Langsholt, Erik Holmqvist, Delia Welle Kejo
- Nr. 20 Vindkraft i produksjon i 2013
- Nr. 21 FoU-prosjekt 81072 Pilotstudie: Snøskredfarekartlegging med ATES (Avalanche Terrain Exposure Scale) Klassifisering av snøskredterreng for trygg ferdsel
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 3.1. Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentakintervaller? Manual for å beregne returverdier av nedbør for ulike gjentakintervaller (for ikke-statistikker)
- Nr. 23 Flomsonekart Delprosjekt Tuv. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 24 Summary of the review of the electricity certificates system by the Swedish Energy Agency and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)
- Nr. 25 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga Per Alve Glad
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 1 Naturskadestrategi. Sammenligning av risikoakseptkriterier for skred og flom. Utredning for Naturfareprogrammet (NIFS)
- Nr. 27 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen
- Nr. 28 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. "Kvistdammer" i Slovakia. Små terskler laget av stedegent materiale, erfaringer fra studietur for mulig bruk i Norge
- Nr. 29 Reestablishing vegetation on interventions along rivers. A compilation of methods and experiences from the Tana River valley
- Nr. 30 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer
- Nr. 31 Småkraftverk: Tetthet og reproduksjon av ørret på utbygde strekninger med krav om minstevannføring Svein Jakob Saltveit og Henning Pavels
- Nr. 32 Kanalforvaltningen rundt 1814 – del av en fungerende statsadministrasjon for det norske selvstendighetsprosjektet. Grunnlovsjubileet 2014
- Nr. 33 Museumsordningen 10 år
- Nr. 34 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Skredfarekartlegging i strandsonen -videreføring
- Nr. 35 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Karakterisering av flomregimer Delprosjekt. 5.1.5. Revisjon av rapport 13-2014
- Nr. 36 Kvartalsrapport for kraftmarknaden 1. kvartal 2014. Gudmund Bartnes (red.)

- Nr. 37 Preliminary regionalization and susceptibility analysis for landslide early warning purposes in Norway
- Nr. 38 Driften av kraftsystemet 2013
- Nr. 39 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Effekt av progressivbruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse basert på data fra grunnundersøkelser på vegstrekningen Sund-Bradden i Rissa
- Nr. 40 Naturfareprosjektet DP. 6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Sensitivitetsanalyse-1
- Nr. 41 Bioenergi i Norge
- Nr. 42 Naturfareprosjektet Dp. 5 Flom og vann på avveie. Dimensjonerende korttidsnedbør for Møre og Romsdal, Trøndelag og Nord-Norge. Delprosjekt. 5.1.3
- Nr. 43 Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge. Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013. Søren Boje, Hervé Colleuille og Graziella Devoli
- Nr. 44 Regional varsling av jordskredfare: Analyse av historiske jordskred, flomskred og sørpeskred i Gudbrandsdalen og Ottadalen. Nils Arne K. Walberg, Graziella Devoli
- Nr. 45 Flomsonekart. Delprosjekt Hemsedal. Martin Jespersen, Rengifo Ortega, Julio H. Pereira Sepulveda
- Nr. 46 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Mulighetsstudie om utvikling av en nasjonal blokkprøvedatabase
- Nr. 47 Naturfareprosjektet Dp. 6 Kvikkleire. Detektering av sprøbruddmateriale ved hjelp av R-CPTU
- Nr. 48 En norsk-svensk elsertifikatmarknad. Årsrapport 2013
- Nr. 49 Øvelse Østlandet 2013. Evalueringsrapport
- Nr. 50
- Nr. 51 Forslag til nytt vekstsystem i modellen for å fastsette kostnadsnormer i regionalnettene
- Nr. 52 Jord- og sørpeskred i Sør-Norge mai 2013. Monica Sund
- Nr. 53 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak for 2013
- Nr. 54 Naturfareprosjekt DP. 1 Naturskadestrategi Samarbeid og koordinering vedrørende naturfare. En ministudie av Fellesprosjektet E6-Dovrebanen og Follobanen
- Nr. 55 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Numerisk metode for beregning av udrenert brudd i sensitive materialer
- Nr. 56 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Effekt av progressiv bruddutvikling for utbygging i områder med kvikkleire: Tilbakeregning av Vestfossenskredet
- Nr. 57 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Effekt av progressiv bruddutvikling i raviner
- Nr. 58 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Sikkerhet ifm utbygging i kvikkleireområder: Sannsynlighet for brudd med prosentvis forbedring
- Nr. 59 Naturfareprosjektet DP.6 Kvikkleire. Likestilling mellom bruk av absolutt material faktor og av prosentvis forbedring: bruk av spenningsendring for å definere lokalskred og områdeskred



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

