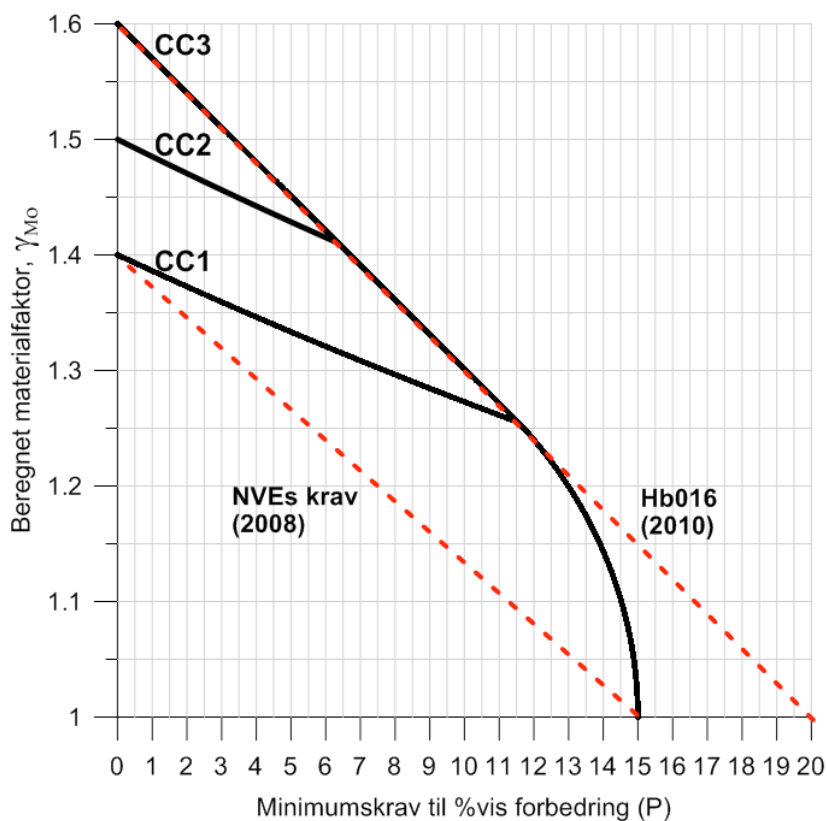




Naturfareprosjektet: Prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer

74
2012



R
A
P
P
O
R
T

Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire

Prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer

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

2012

Rapport nr. 74/2012

Prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer

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

Utarbeidet av: Statens vegvesen

Forfatter: Vikas Thakur og Frode Oset

Dato: 08.01.2013

Opplag: P.O.D.

ISBN: 978-82-410-0862-7

Beskrivelse:

Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen har en ambisjon om å komme med et felles kriterium for prosentvis forbedring av materialfaktor. Statens vegvesen har utarbeidet to nye forslag til prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmateriale. Forslagene er presentert som hoveddokumentet i rapporten.

Samarbeidsgruppen SINTEF/Multiconsult var bedt om en evaluering av disse to forslagene, med hoved fokus på forslag 1, i henhold til dagens krav etter NVEs veileder for utbygging i kvikkleireområder og Statens vegvesens Håndbok 016. Evalueringen er presentert som vedlegg til denne rapporten.

Emneord: sprøbruddmateriale, prosentvisforbedring, usikkerheter, materialfaktor



Statens vegvesen

Notat

Til: Roald Aabø
Fra: Frode Oset og Vikas Thakur

Saksbehandler/innvalgsnr:
Vikas Thakur
Vår dato
24.05.2012
Vår referanse: 2012056523
-

Prosentvisforbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer

Bakgrunn

Bruk av prosentvis forbedring har i Vegvesenets retningslinjer blitt betraktet som en unntaksbestemmelse. Utgangspunktet har i så måte vært publikasjon nr 178 «Sikkerhetsprinsipper i geoteknikk» fra Norges Byggstandardiseringsråd (1979), hvor det i kapittel 5.1.1 er angitt «I noen tilfeller går etablert sikkerhetspraksis i stabilitetsanalyse ut på å treffe tiltak som reduserer den beregnede skjærspenning langs potensielle glideflater med 10-20 %».

Siden introduksjonen av NVEs retningslinje 1/2008 «Planlegging og bygging i fareområder langs vassdrag» med vedlagt teknisk veileder ”Vurdering av områdestabilitet ved utbygging på kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper”, har det vært en utvikling i fagmiljøet i retning av økt bruk av prosentvis forbedring som en likestilt metode i forhold til bruk av absolutt materialfaktor.

Partialfaktorer for materialegenskaper (γ_M) i sprøbruddmateriale ved effektivspennings- og totalspenningsanalyser er foreslått i Hb016 (2010) av Statens vegvesen, NVEs retningslinjer (2011) og Eurokode 7 (NS-EN 1997-1:2004+NA:2008). Tabell 1 nedenfor gir en oversikt over ulike krav til absolutt materialfaktor γ_M i sprøbruddmaterialer.

Eurokode 7 anbefaler at materialfaktor γ_M i udrenert tilstand (γ_{cu}) økes ut over 1,4 når faren for progressiv bruddutvikling i sprøbruddmateriale ansees å være tilstede. Vegvesenets håndbok 016 angir en slik variasjon, mens dette ikke er nærmere spesifisert i NVEs retningslinjer.

Tabell 1: Krav til absolutt γ_M i sprøbruddmaterialer.

Konsekvensklasse (CC)	Krav til absolutt materialfaktor – γ_M (γ_{cu} , $\gamma_{c'}$, $\gamma_{\phi'}$)		
	Hb016 (2010)	NVEs retningslinje (2011)	Eurokode 7 NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 Tabell NA.A.2 og NA.A.4
CC1 – Mindre alvorlig	1,4	$\geq 1,4$	$\gamma_{cu} > 1,4$ $\gamma_{c'} > 1,25$ $\gamma_{\phi'} > 1,25$
CC2 – Alvorlig	1,5		
CC3 – Meget alvorlig	1,6		

* c_u = udrenert fasthet, c' og ϕ' er effektiv kohesjon og friksjonsvinkel

Partialfaktor for materialegenskaper (γ_M) skal ta hensyn til muligheter for at materialegenskapen avviker ugunstig fra den karakteriske verdien og modell usikkerhet. Usikkerheter i geoteknisk prosjektering kan introduseres i fem hovedpunkter:

1. Jordprofilen (terrenghøyde, skråninggeometri, undergrunnen, lag);
2. Grunnvann (grunnvannsstand, grunnvannsspeil, poretrykksprofil og frittstående vannspeil);
3. Jordegenskaper (attraksjon, friksjonsvinkel, udrenert fasthet, plastisitet, vanninnhold, overkonsolideringsgrad, tyngdetetthet);
4. Beregningsmodell (grenselikevektsmetoden, elementmetoden).
5. Utførelsesfeil (rekkefølge, tiltaksmengde)

Tabell 2: Usikkerhetskoeffisienter (COV) til materialegenskaper. (Duncan and Wright, 2009)

Table 13.4 Coefficients of Variation for Geotechnical Properties and In Situ Tests

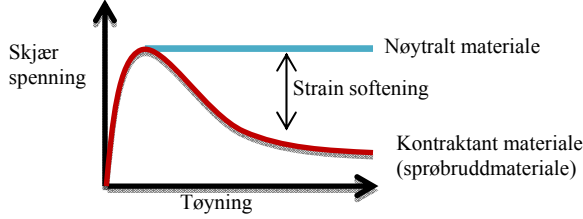
Property or in situ test	COV (%)	References
Unit weight (γ)	3–7	Harr (1987), Kulhawy (1992)
Buoyant unit weight (γ_b)	0–10	Lacasse and Nadim (1997), Duncan (2000)
Effective stress friction angle (ϕ')	2–13	Harr (1987), Kulhawy (1992), Duncan (2000)
Undrained shear strength (S_u)	13–40	Kulhawy (1992), Harr (1987), Lacasse and Nadim (1997)
Undrained strength ratio (s_u/σ'_v)	5–15	Lacasse and Nadim (1997), Duncan (2000)
Standard penetration test blow count (N)	15–45	Harr (1987), Kulhawy (1992)
Electric cone penetration test (q_c)	5–15	Kulhawy (1992)
Mechanical cone penetration test (q_c)	15–37	Harr (1987), Kulhawy (1992)
Dilatometer test tip resistance (q_{DMT})	5–15	Kulhawy (1992)
Vane shear test undrained strength (S_v)	10–20	Kulhawy (1992)

Tabell 2 gir oversikt over usikkerhetene knyttet til jordegenskaper (Duncan og Wright, 2009). I følge tabellen kan normalisert udrenert fasthet (s_u/σ'_v i tabellen) alene ha usikkerhet på opptil 15 %, spissmotstand (q_c) i trykksondring kan gi usikkerheter mellom 15-37 %. I sprøbruddmateriale har prøve kvaliteten betydelig effekt på jordegenskaper. Effekt fra progressiv bruddoppførsel i sprøbruddmateriale er kjent, men vi har ikke et fastsatt tall ennå. Hb016 anbefaler ca. 7 % økning i materialfaktor γ_{cu} fra CC2 til CC3 for å ta hensyn til sprøbruddmekanismen, se tabell 3.

Usikkerhet i materialegenskaper kan medføre både konservative og ikke-konservative vurderinger.

Til sammenligning kan man også se at hvert trinn for økning av materialfaktoren ut over 1,4 i Vegvesenets håndbok er på ca 7 %, se tabell 3 nedenfor.

Tabell 3 Anbefaling fra Hb016 om kravet til absolutt materialfaktor i totalspenningsanalyser γ_{cu} .

Konsekvensklasse (CC)	Krav til absolutt materialfaktor i Hb016 γ_{cu} (totalspenningsanalyser)		
	Nøytralbrudd	Sprøtt, kontraktant brudd	Hensyn til bruddmekanismen (% økning på γ_{cu} fra nøytralt til kontraktantbrudd)
CC1 – Mindre alvorlig	1,4	1,4	--
CC2 – Alvorlig	1,4	1,5	7,1%
CC3 – Meget alvorlig	1,5	1,6	6,7 %
			<p><i>OBS: Sprøbruddmateriale er en type kontraktant materiale. Sprøbruddmateriale har strain softening-oppførsel som kan medføre til progressiv bruddutvikling.</i></p>

Mulig anvendelse av prosentvis forbedring kommer inn som unntaksbestemmelse: Hvis stabiliteten av skråninger er lav og det er teknisk umulig å oppnå det absolutte kravet til materialfaktor i følge Hb016 (2010) kan man benytte prinsippet med prosentvis forbedring.

NVE (2011) likestiller prosentvis forbedring og absolutt materialfaktor, og forutsetter relativ prosentvis forbedring av sikkerheten ved å endre områdets topografi. Kravene til stabilitetsforhold er definert som vesentlig forbedring, alternativt forbedring.

Forslagene til prosentvis forbedring av γ_M ifølge NVEs veileder (2011) og Hb016 (2010) er vist på figur 1.

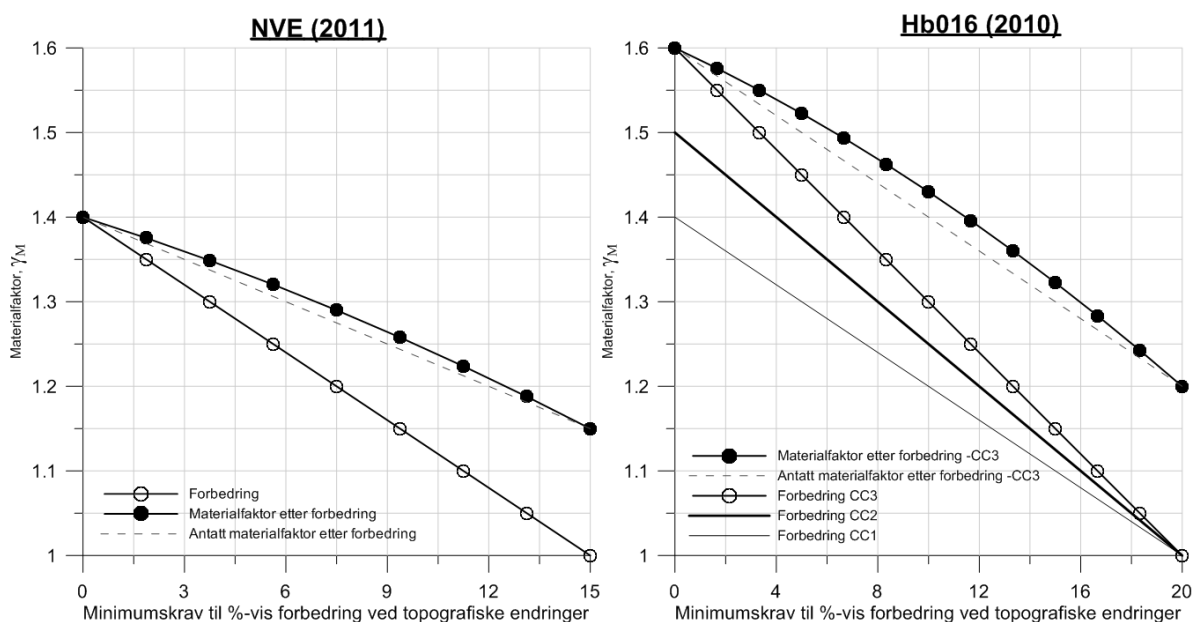
Ifølge NVE (2011), er kravet til forbedring minst 15 % dersom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) i utgangspunktet er 1,0. Kravet avtar lineært fra 15 % ved beregnet materialfaktor (γ_{M0}) 1,0 til 0 % ved beregnet materialfaktor (γ_{M0}) 1,4. Det betyr at den resulterende materialfaktor (γ_{Mf}) øker fra 1,15 til 1,4 som vist på figur 1 (venstre).

Ifølge Hb016, er kravet til forbedring minst 20 % dersom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) i utgangspunktet er 1,0. Kravet avtar lineært fra 20 % ved beregnet materialfaktor (γ_{M0}) 1,0 til

0 % ved beregnet materialfaktor (γ_{M0}) 1,6. Det betyr at den resulterende materialfaktor (γ_{Mf}) øker fra 1,2 til 1,6 som vist på figur 1 (høyre).

Prosentvis forbedring av γ_M er ofte utført ved geometriske endringer (nedplanering og/eller motfylling) på landskapet. Man må være oppmerksom på at prosentvis forbedring av γ_M er brukt i lange skjærflater for å øke områdestabilitet, men absolutt krav til γ_M gjelder for lokal stabilitet hos Statens vegvesen.

NVEs retningslinje (2011) gjelder i utgangspunktet kun for naturlige skåninger. NVEs retningslinje angir «Retningslinjene gjeld i utgangspunktet berre fare knytt til naturlege prosessar og naturleg terreng, og ikkje fare knytt til menneskeskapte inngrep som kulvertar, skjeringar, fyllingar og andre tiltak knytte til byggjetomter.»



Figur 1. Minimumskravene til prosentvis forbedring ifølge NVEs veileder og Hb016 (CC3).

De resulterende materialfaktorene (γ_{Mf}) som er vist i figur 1 er avhengig av mengde prosentvis forbedring (P) som er tatt i bruk. γ_{Mf} kan beregnes fra $\gamma_{Mf} = (1+P/100) \times \gamma_{M0}$. Her følger noen hoved kommentarer knyttet til dagens kriteria til prosentvis forbedring.

1. γ_{Mf} etter prosentvis forbedring er ikke-lineært, se figur 1. Det betyr at prosentvis forbedring har en litt gunstigere effekt enn ofte antatt og som nevnt i Sintefs rapport (SBN IN F10412).
2. Beregnet γ_{M0} kan få negativ påvirkning fra de tidligere nevnte usikkerhetene, se tabell 1. Så bør i virkeligheten mer fokus gis til en riktig beregning av γ_{M0} . Særling når γ_{M0} er rundt 1,0 fordi mengden til prosentvis forbedring er direkte knyttet til γ_{M0} .

Overestimering av γ_{M0} vil redusere effekt av prosentvis forbedringen. Et eksempel er presentert her.

- a. Den resulterende materialfaktor γ_{Mf} kan reduseres betydelig hvis det er 10 - 20 % usikkerheter i beregnet γ_{M0} . For eksempel, $\gamma_{M0} = 1,15$ med 15 % usikkerhet kan virke som 1,0, men ifølge figur 1 trenger man bare 9% (NVE) og 15% (Hb016) forbedring av γ_M . Den resulterende materialfaktor γ_{Mf} i virkeligheten blir 1,09 i følge NVEs krav og 1,15 etter Hb016 istedenfor $\gamma_{Mf} = 1,25$ (NVE) og 1,32 (Hb016). Dette betyr at dagens krav til «lineær» prosentvis forbedrings er ikke så robust. Fokus må gis til et bedre kriterium særlig når γ_{M0} er mellom 1,0 – 1,20.
3. NVEs veileder og Hb016 bør anbefale krav til γ_{Mf} etter kriteriene til prosentvis forbedring og γ_{M0} . Krav til prosentvis terrengforbedring (P i %) bør være bakgrunnsopplysningen
4. Eurokode 7 anbefaler å bruke $\gamma_M > 1,4$ i geoteknisk prosjektering i områder med sprøbruddmateriale, se tabell 1. Basert på konsekvensklassene gir Hb016 en basis på hvordan γ_M bør økes til en høyre verdi som 1,5 (7 % økning fra 1,4) eller 1,6 (14 % økning fra 1,4) for å gi hensyn til effekten fra progressiv brudd i sprøbruddmateriale.

Prosentvis forbedring – Nye forslag

Basert på punktene 1 til 4 som nevnt tidligere, anbefaler denne rapporten to forslag for et felles prosentvis krav som også gir felles resulterende materialfaktor. Se figur 2 og 4. Prinsippet bak de nye forslagene er:

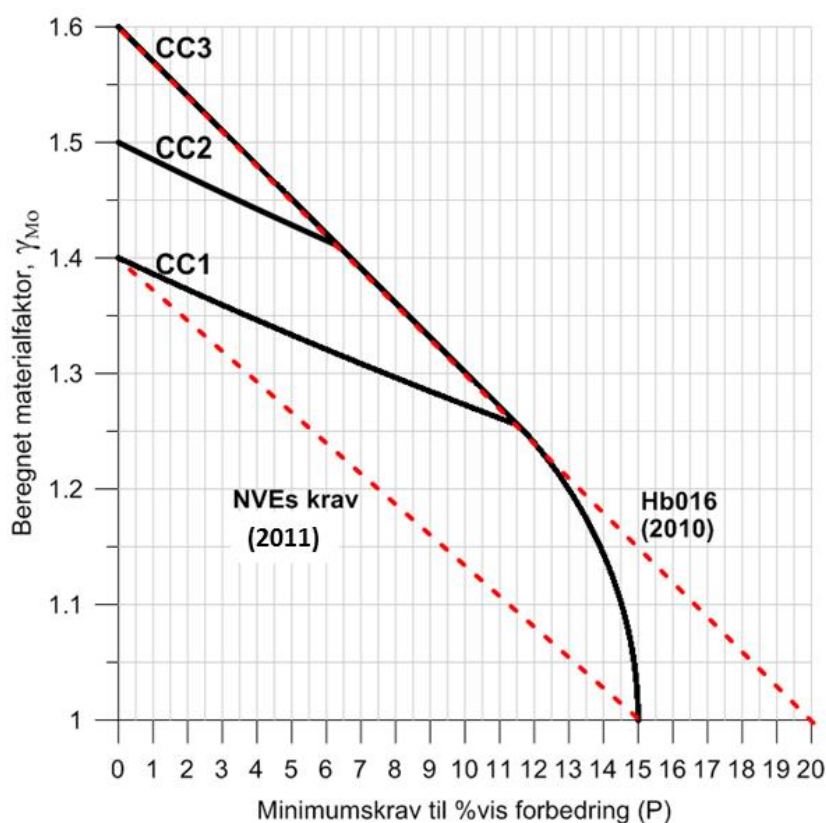
1. Ekstra fokus på $1,2 \geq \gamma_{M0} \geq 1,0$. Ikke-lineær (elliptisk) form til prosentvis forbedring av γ_{M0} er brukt.
2. Et felles krav til prosentvis forbedring hvor γ_{Mf} er avhengig av konsekvensklassene
3. Felles krav etter den resulterende materialfaktor γ_{Mf} for $1,2$ (eller $1,25$) $\geq \gamma_{M0} \geq 1,0$. Her er 1,2 eller 1,25 avhengig av forslagene.
4. $\gamma_{Mf} = 1,4$ kan oppnå når $\gamma_{M0} \geq 1,2$ (eller $1,25$). Her er 1,2 eller 1,25 avhengig av forslagene.

Forslag 1 – Felles krav basert på maksimalt 15 % forbedring av γ_{M0}

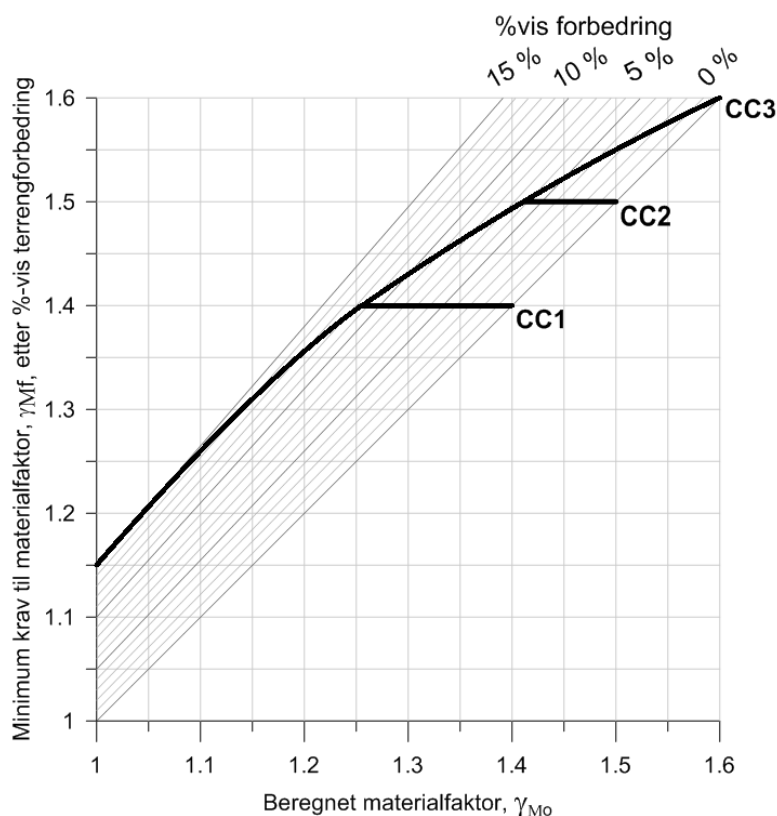
Forslag 1 anbefaler forbedring av γ_M på minst 15 % dersom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) i utgangspunktet er 1,0. Kravet har en elliptisk formel mellom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) 1,0 og 1,25. Deretter er prosentvis forbedringskravet til γ_{M0} lineært mot kravet til absolutt materialfaktor (γ_M) avhengig av konsekvensklasse (CC). Se figur 2 og 3.

Forslag 1 er mindre strengt enn dagens krav i følge Hb016, mens forslaget er strengere enn NVEs krav. De røde stiplede linjene på figur 3 viser dagens krav etter Hb016 og NVEs veileder.

1. Når $\gamma_{M0} \leq 1,25$ har NVE og Hb016 et felles krav til prosentvis forbedring av beregnet γ_{M0} . Den resulterende materialfaktor γ_{Mf} er også felles for $\gamma_{M0} \leq 1,25$.
2. Når $\gamma_{M0} \geq 1,25$ oppnår $\gamma_M = 1,4$ ved bruk av prosentvis forbedringskravet. Dette betyr at alle utbyggingsprosjekter som kommer under kategori CC2 og CC3 og som har $\gamma_{M0} \geq 1,25$ kan oppnå $\gamma_M > 1,4$. Vanligvis er de fleste vegprosjekter på områder med sprøbruddmaterialer klassifisert som CC2 eller CC3.
3. Det foreslås å bruke figur 3 som utgangspunkt i forslag 1. Figur 2 gir bare bakgrunnsopplysningene.



Figur 2. Forslag 1 - Minimumskrav til prosentvis forbedring av γ_{M0} . (De røde stiplede linjene viser dagens krav etter NVE (2011) og Hb016 (2010)).

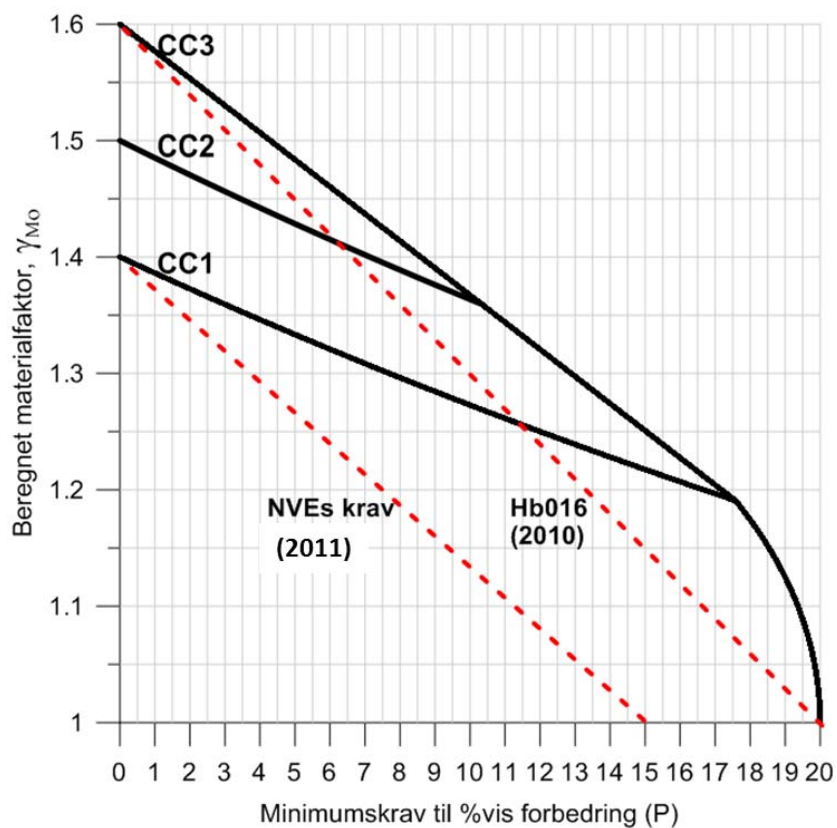


Figur 3. Forslag 1- Krav til materialfaktor γ_{Mf} etter prosentvis forbedring av γ_{M0} .

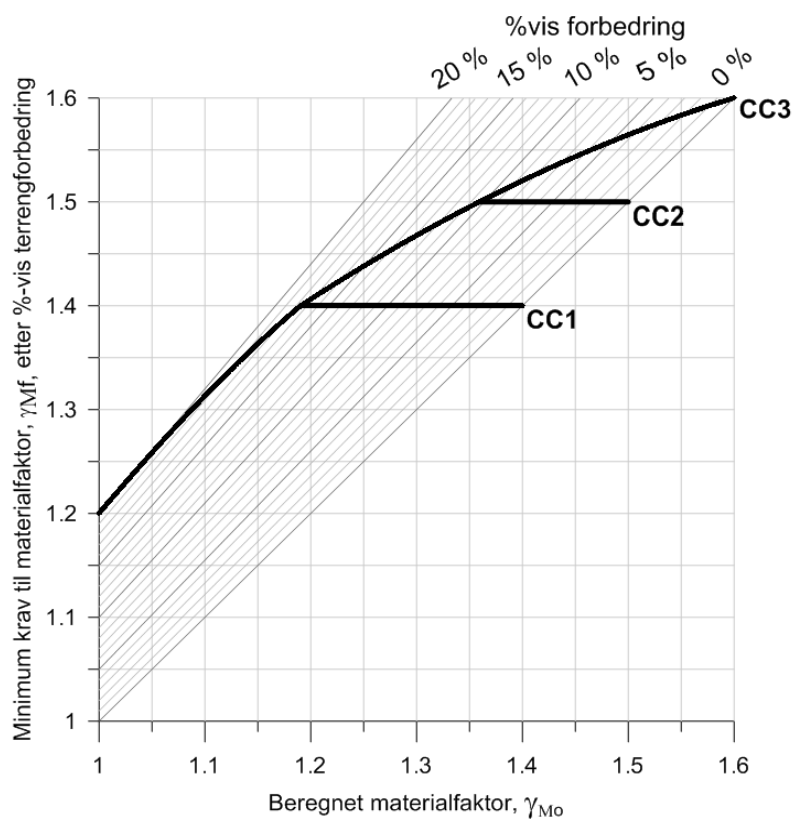
Forslag 2 – Felles krav basert på maksimalt 20 % forbedring av γ_{M0}

Forslag 2 anbefaler forbedring på minst 20 % dersom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) i utgangspunktet er 1,0. Kravet har en elliptisk formel mellom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) 1,0 til 1,20. Deretter er prosentvis forbedringskravet av γ_{M0} lineært mot kravet til absolutt materialfaktor (γ_M) avhengig av konsekvensklasse (CC). Se figur 4 og 5. Forslag 2 er strengere enn dagens krav i følge Hb016 og NVEs krav. Se de røde stiplede linjene på figur 4.

1. Når $\gamma_{M0} \leq 1,2$ har NVE og Hb016 et felles krav til prosentvis forbedring av beregnet γ_{M0} . Den resulterende materialfaktor γ_{Mf} er også felles for $\gamma_{M0} < 1,2$.
2. Når $\gamma_{M0} \geq 1,2$ oppfyller forslaget kravet til absolutt materialfaktor $\gamma_M (= 1,4)$ etter NVEs veileder ved bruk av prosentvis forbedringskravet. Dette betyr at alle utbyggingsprosjekter som kommer under kategori CC2 og CC3 og som har $\gamma_{M0} \geq 1,20$ oppfyller $\gamma_M (= 1,4)$ etter NVEs krav. Vanligvis er de fleste vegprosjekter på områder med sprøbruddmaterialer klassifisert som CC2 eller CC3.
3. Det foreslås å bruke Figur 5 som utgangspunkt i forslag 2. Figur 4 gir bare bakgrunnsopplysningene.



Figur 4. Forslag 2 - Minimumskrav til prosentvis forbedring av γ_M . (De røde stiplede linjene viser dagens krav etter NVE (2011) og Hb016 (2010)).



Figur 5. Forslag 2 - Krav til materialfaktor γ_{Mf} etter prosentvis forbedring av γ_{M0}

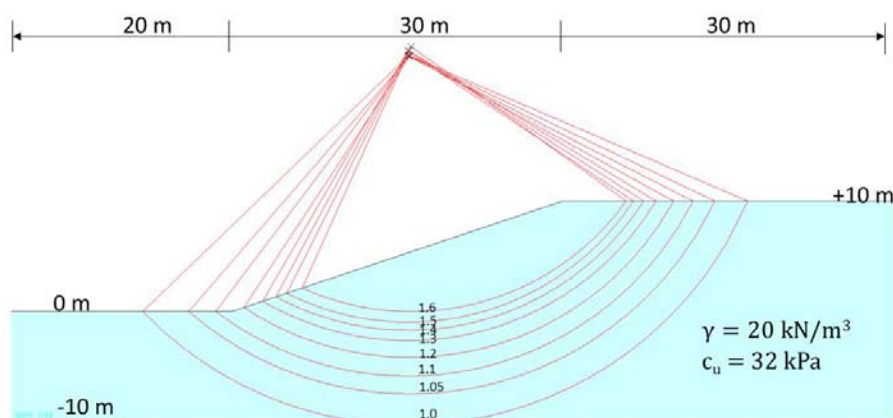
De nye forslagene; forslag 1 og forslag 2 er robust i en forstand at de er strenge på begynnelsen, $\gamma_{M0} = 1,0$ til 1,20 eller 1,25, og derfor vil γ_{Mf} bli mindre påvirket av usikkerhetene.

I følge figur 1 (venstre) er kravet senket til 50% av maksimal prosentvis forbedring når γ_{M0} er 1,2, men de nye forslagene senker kravet til bare mellom 80% - 90% for samme γ_{M0} .

I følge de nye forslagene reduserer kravet til prosentvis forbedring av γ_{M0} når $\gamma_{M0} > 1,2$ eller $> 1,25$. Dette er på grunn av at γ_{M0} rundt 1,3 eller 1,4 ikke er så kritisk som γ_{M0} rundt 1,0.

Det foreslås å bruke γ_{Mf} vs γ_{M0} i håndbøkene (figur 3 eller 5). Disse figurene er lett forståelig og gir et tydelig inntrykk av krav til materialfaktor etter prosentvis forbedring.

En sammenligning mellom de nye forslagene og dagen krav etter NVE og Hb016 er drøftet ved bruk av et enkelt eksempel også. Figur 6 viser en 10 m høy skråning med en gjennomsnittlig c_u lik 32 kPa og γ lik 20 kN/m³. Den laveste γ_{M0} er lik 1,0 basert på totalspenningsanalyse. Figur 7 til 10 viser hvordan dagens krav (Hb016 og NVE) og de nye forslagene anbefaler tiltaksmengde for å oppfylle kravet til prosentvis forbedring av γ_{M0} .



Figur 6. En 10 m høy enkel skråning og skjærflater beregnet etter totalspenningsanalyse.

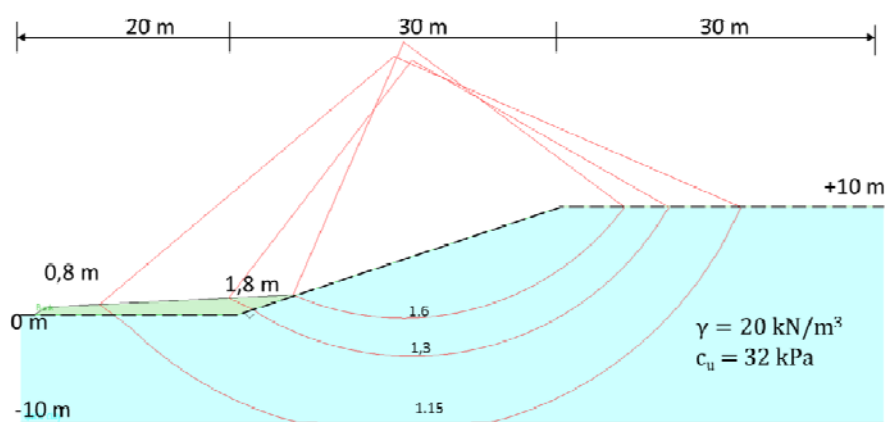


Figure 7. Prosentvis forbedring av γ_{M0} etter NVE (2011).

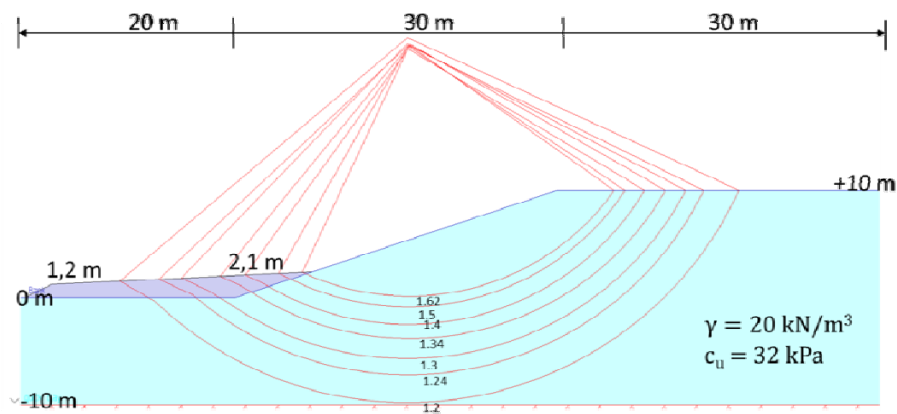


Figure 8. Prosentvis forbedring av γ_{M_0} etter Hb016 (2010).

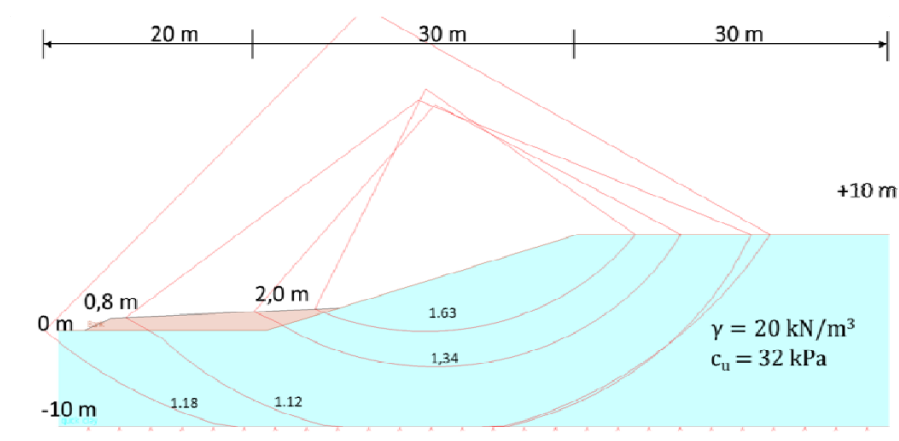


Figure 9. Prosentvis forbedring av γ_{M_0} etter forslag 1.

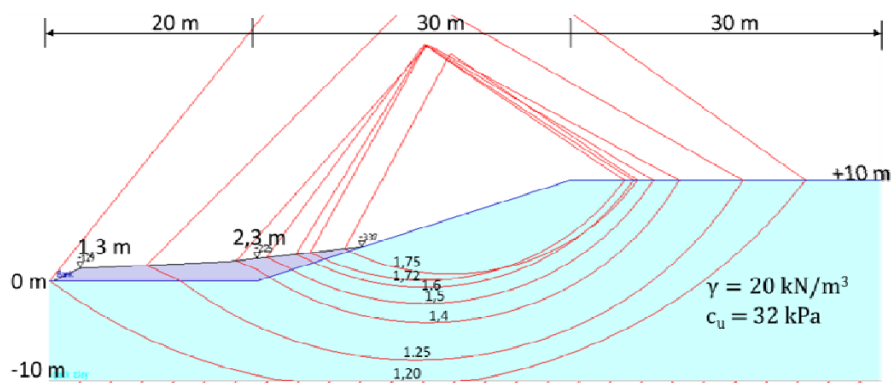


Figure 10. Prosentvis forbedring av γ_{M_0} etter forslag 2.

Tabell 4 gir en oppsummering på tiltaksmengdene etter ulike krav i følge Hb016 og NVE i tillegg til de nye forslagene. Dette tilfellet var motfylling brukt som tiltak. Det trengs 1,4 m høy motfylling etter forslag 1 og 1,8 m høy motfylling etter forslag 2 for å oppfylle kravene. Det er en ubetydelig økning på tiltaksmengden ifølge forslag 1 i forhold til NVE(2011), en så liten økning i tiltaksmengde kan redusere sannsynligheten for brudd i større grad.

Tiltaksmengden er høyest for å oppfylle kravene i følge forslag 2. Vi utarbeider flere eksempler for å drøfte effekten av ulike kravene på tiltaksmengder.

Tabell 4. Oppsummering på tiltaksmengdene etter ulike krav og forslag

Tiltak - Motfylling	NVE (2011)	Hb016(2010)	Forslag 1	Forslag 2	Merknad
Gjennomsnittlig høyde	1,3 m	1,9 m	1,7 m	2,35 m	<i>Forslag 1: Tiltaksmengde ligger mellom dagens krav etter NVE (2011) og Hb016(2010)</i>
Tentativ motfyllingsvolum per 100 m løp	3000 m ³	5100 m ³	4400 m ³	7000 m ³	

Oppsummering

Dette notatet inneholder to nye forslag til prosentvis forbedring av materialfaktor. Forslag 1 er kompromiss mellom dagens krav fra NVE (2011) og Hb016 (2010) og forslag 2 er en utvidet versjon av Hb016 (2010). Både forslag 1 og 2 foreslår ekstra fokus der hvor beregnet materialfaktor er rundt 1,0. Forslagene er ment å være robuste i forhold til å takle usikkerhetene som nevnt i tabell 1.

Referanser

- Dunchan og Wright. Slope stability. John Willy and Sons (2009)
- Eurokode 7. Eurokode 7 NS-EN 1997-1:2004+NA:2008
- Hb016. Geoteknikk i vegbygging. Statens vegvesen (2010)
- Norges Standardiseringsforbund: Sikkerhetsprinsipper i geoteknikk. Veiledning for bruk av grensetilstandsmetoden. P178. Oslo 1979.
- NVE. Veileder til utbygging i sprøbruddmateriale. Norges – vassdrag og energidirektoratet (2008)
- SINTEF Rapport SBF IN F10412. Geotekniske sikkerhetsprinsipper I vegbygging med focus på områdestabilitet I leirområder.

Vedlegg:

**Evaluering fra Samarbeidsgruppen
SINTEF/Multiconsult**

Notat 3C0970-2 Rev. 2

SVV notat "Prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer"

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Erik Tørum¹ & Håvard Narjord²

1 Sintef

2 Multiconsult

BEHANDLING	UTTALELSE	ORIENTERING	ETTER AVTALE
------------	-----------	-------------	--------------

GÅR TIL

Statens vegvesen v/Frode Oset

X

NVE, v/Einar Lyche

X

Statens vegvesen v/ Vikas Thakur

X

PROSJEKTNR / SAK NR

3C0970

DATO

2012-11-30

GRADERING

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	2
2	Nye forslag fra SVV	3
3	Praktisk effekt av nye krav (forslag 1)	7
4	Generelt om mulige felles retningslinjer	8
5	Spesifikke kommentarer til notatet.....	10
6	Konklusjon.....	11
7	Referanser	12

1 Innledning

Etatene Statens vegvesen (SVV), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Jernbaneverket (JBV) har tildelt SINTEF og Multiconsult samlet en rammeavtale under etatsatsningsprosjektet 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 er det gjort avrop på en oppgave med tittelen "Evaluering av de nye forslagene til prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer".

Oppgaven tar utgangspunkt i SVVs notat "Prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer" / 2/ og gir kommentarer til dette nye forslaget. Notatet er leveransen for dette avropet for bruk under SVVs arrangement Teknologidagene med workshopen "En nasjonal satsing på sikkerhet i kvikkleireområder" 10.-11. oktober 2012.

Kommentarene til notatet er utarbeidet ved at hver av deltakerne i prosjektgruppen Sintef-Multiconsult, heretter omtalt som prosjektgruppen, har lest gjennom og kommet med synspunkt. Dette er sammensatt av undertegnede. Følgende personer har bidratt med synspunkter:

Maj Gøril Glåmen Bæverfjord - Sintef
Stein Christensen - Sintef
Arnstein Wåtn - Sintef
Erik Tørum - Sintef

Håvard Nørjord - Multiconsult
Rolf Sandven - Multiconsult
Odd Arne Fauskerud - Multiconsult
Sigbjørn Rønning - Multiconsult
Arne Vik - Multiconsult

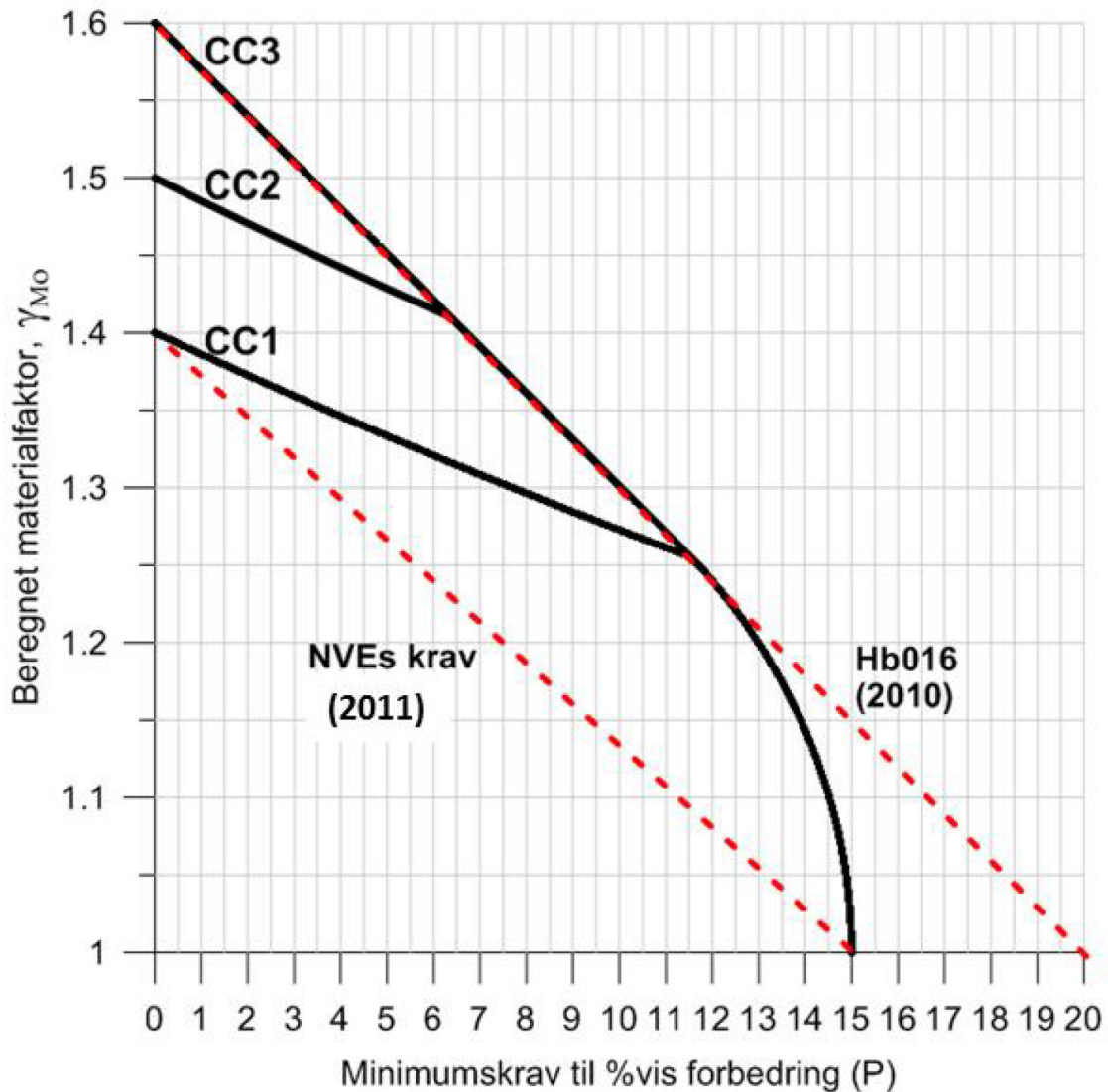
Oppdraget er av begrenset art. Det er derfor ikke mulighet til å gi en full gjennomgang av synspunkter på bruken av sikkerhetsprinsipper i dette notatet. Det henvises imidlertid også til SINTEF rapport SBF IN F10412 "Sikkerhetsprinsipper i vegbygging med fokus på områdestabilitet i leiområder" / 3/ samt SINTEF rapport SBF2012A0309 "Likestilling mellom bruk av absolutt materialfaktor og prosentvis forbedring?" / 4/.

Revisjon 2 av dette notatet er en oppdatert leveranse samtidig med resterende aktiviteter for prosjektgruppen i NIFS-prosjektet 2. halvår 2012. Konklusjonen og anbefalingene er gjort noe tydeligere blant annet basert på de andre del-leveransene for prosjektgruppen i NIFS (/ 4/, / 5/, / 6/ og / 7/).

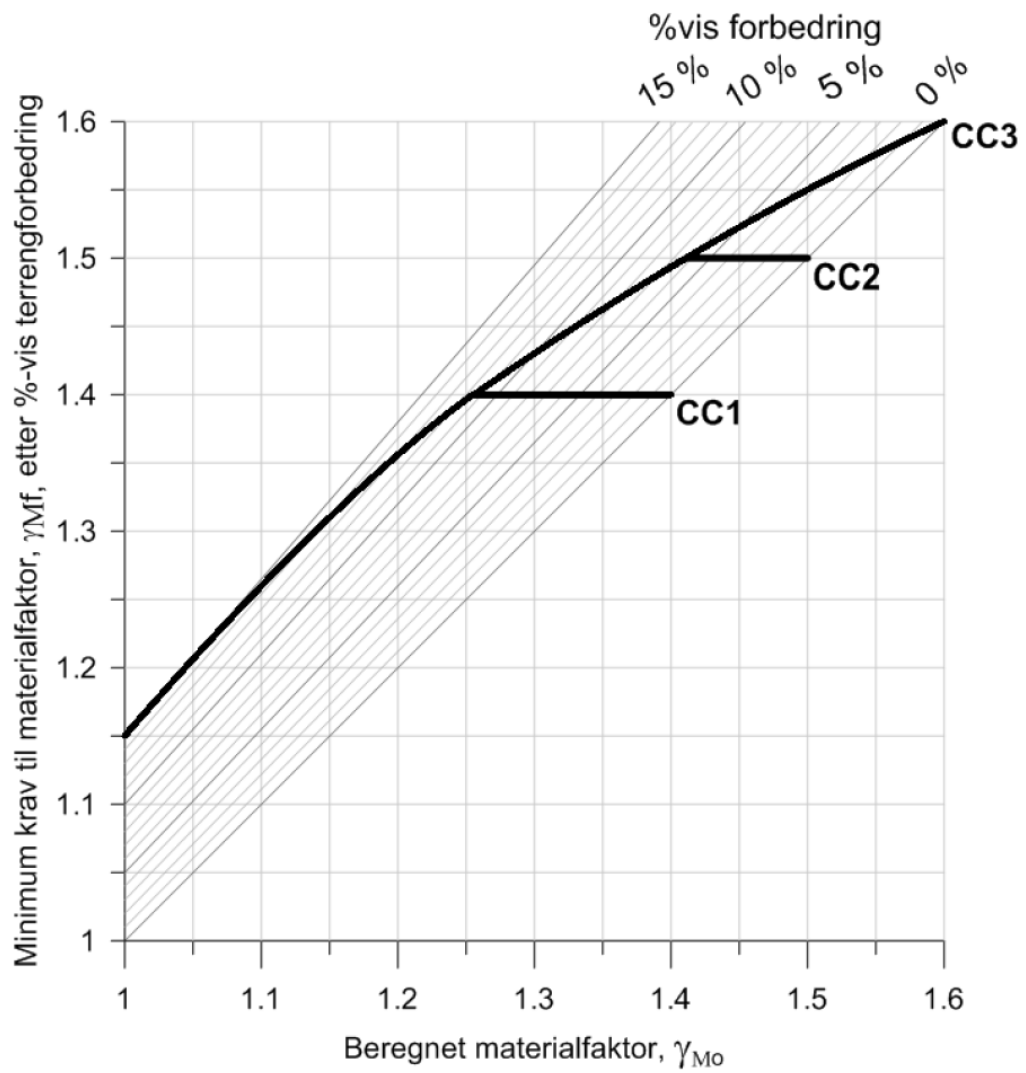
2 Nye forslag fra SVV

Forslag 1

"Forslag 1 anbefaler forbedring av γ_M på minst 15 % dersom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) i utgangspunktet er 1,0. Kravet har en elliptisk formel mellom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) 1,0 og 1,25. Deretter er prosentvis forbedringskravet til γ_{M0} lineært mot kravet til absolutt materialfaktor (γ_M) avhengig av konsekvensklasse (CC)". Se figur 1 og 2. Prosjektgruppen er av oppdragsgiver bedt om å ha hovedfokus på dette forslaget.



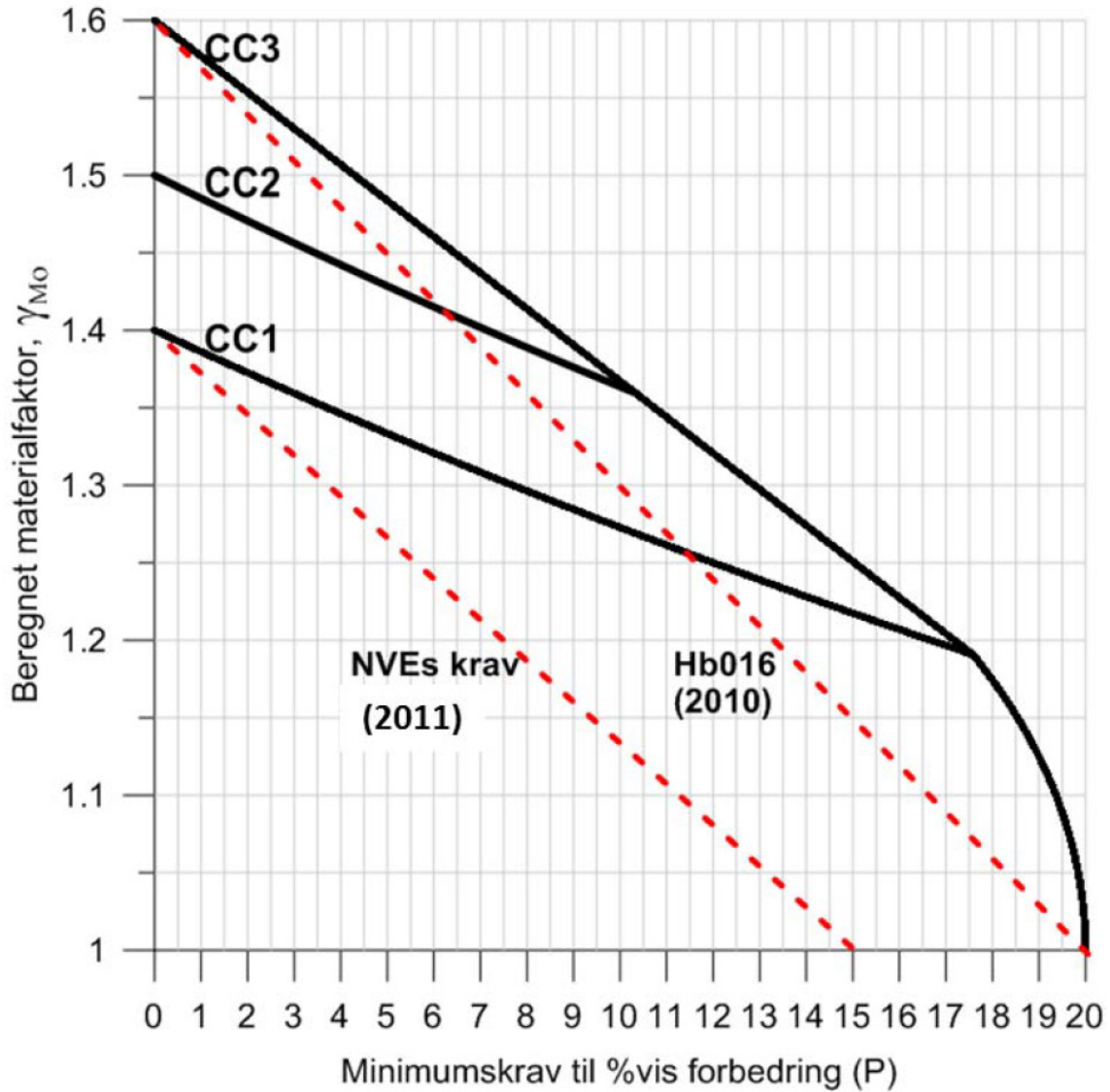
Figur 1 Forslag 1 - Minimumskrav til prosentvis forbedring av $\gamma_{M0} / 2$. (De røde stiplede linjene viser dagens krav etter NVE (2011) og Hb016 (2010)).



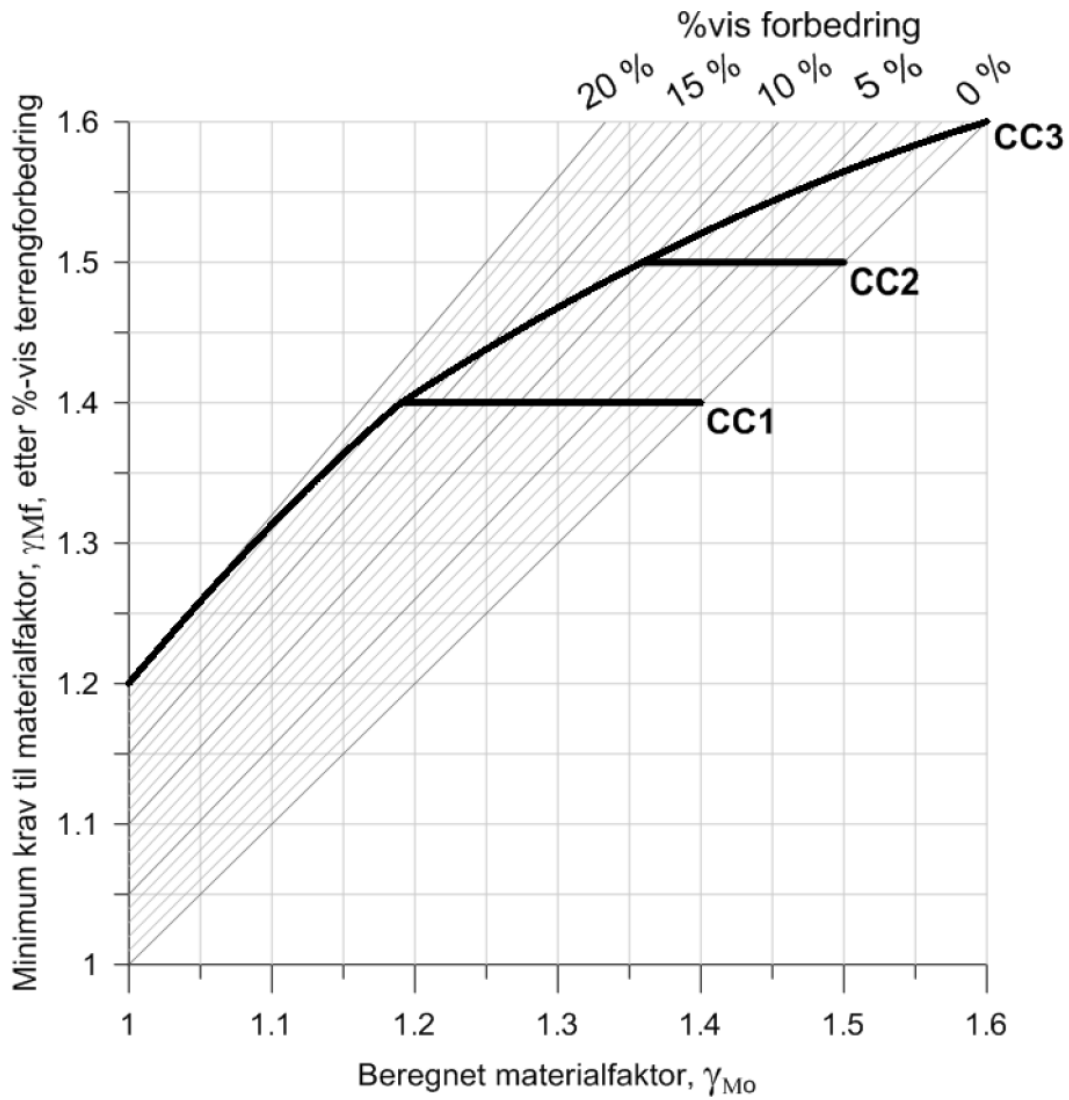
Figur 2 Forslag 1- Krav til materialfaktor γ_{Mf} etter prosentvis forbedring av $\gamma_{M0} / 2$.

Forslag 2

"Forslag 2 anbefaler forbedring på minst 20 % dersom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) i utgangspunktet er 1,0. Kravet har en elliptisk formel mellom beregnet materialfaktor (γ_{M0}) 1,0 til 1,20. Deretter er prosentvis forbedringskravet av γ_{M0} lineært mot kravet til absolutt materialfaktor (γ_M) avhengig av konsekvensklasse (CC)". Se figur 3 og 4.



Figur 3 Forslag 2 - Minimumskrav til prosentvis forbedring av $\gamma_M / 2$. (De røde stiplede linjene viser dagens krav etter NVE (2011) og Hb016 (2010)).



Figur 4 Forslag 2 - Krav til materialfaktor γ_{Mf} etter prosentvis forbedring av $\gamma_{M0} / 2$.

3 Praktisk effekt av nye krav (forslag 1)

Noen praktiske konsekvenser av det foreslåtte forslag 1 er sammenfattet i Tabell 1.

Tabell 1 Noen praktiske konsekvenser av forslag 1

	Prosjektering sammenlignet med dagens retningslinjer fra NVE	Prosjektering sammenlignet med dagens håndbok 016 fra SVV
Størrelse på tiltak	<p>Økt omfang for alle skråninger som krever forbedring/ vesentlig forbedring, bortsett fra beregnet materialfaktor $\gamma_{M0} = 1,00$.</p> <p>I henhold til eksempelet i notatet medfører forslag 1 ca 46% økning i volum tiltak, mens forslag 2 medfører tilsvarende økning på 233 %!</p>	<p>→ Mindre omfang for lavsikkerhetsområde ($\gamma_M < 1,25$).</p> <p>→ Høyere forbedrings% for CC2 i forhold til HB016 for $\gamma_{M0} \geq 1.15$, men lavere enn HB016 i området $1.0 \leq \gamma_{M0} \leq 1.15$. Forslaget er høyere enn NVE.</p> <p>→ Åpner for prosentvis forbedring for CC1. Forslaget er mer omfattende enn hos NVE.</p> <p>Innvendinger kan være mange, og den største innvendingen mot forslaget er at kravet blir redusert fra SVV i lav-materialfaktor-området hvor usikkerheten rundt bestemmelse av dagens materialfaktor γ_{M0} har størst betydning mhp konsekvens av tiltak.</p> <p>I henhold til eksempelet i notatet medfører forslag 1 ca 15% reduksjon i volum tiltak, mens forslag 2 medfører tilsvarende økning på 37 %</p>
Link mot Eurokode	<p>Ikke inkludert i dagens retningslinjer fra NVE. Nye retningslinjer vil skape en link mot Eurokodene.</p> <p>→ Nye retningslinjer fordrer en kobling mellom konsekvensklasser/ pålitelighetsklasser og tiltakskategori.</p>	<p>Oppdatering av sammenhenger blir inkludert.</p>
Unntaksbestemmelse	<p>Notatet tar ikke stilling til om likestillingen som praktiseres iht. NVEs regelverk fortsatt er gjeldende.</p>	<p>Notatet tar ikke stilling til når unntaksbestemmelsen skal benyttes.</p>
Økning i sikkerhet ved bruk av konstruktive tiltak	<p>Notatet tar ikke stilling til når dette evt. kan brukes og om det da stilles krav til absolutt materialfaktor.</p>	<p>Notatet tar ikke stilling til når dette evt. kan brukes og om det da stilles krav til absolutt materialfaktor.</p>

4 Generelt om mulige felles retningslinjer

Tanken om omforente retningslinjer mellom etatene er forlokkende da det i mange prosjekter er behov for felles retningslinjer. De foreslåtte nye retningslinjene har et fokus på et bedre kriterium for skråninger med initiell beregnet materialfaktor på 1,0-1,25. Dette er etter prosjektgruppens syn fornuftig da det er ofte for slike skråninger vi ser at kvikkleireskred utløses. Felles for begge forslagene er at det er økt fokus på å øke sikkerhetsmarginene i de tilfellene der sikkerheten er lav i utgangspunktet. Dette er positivt.

Det forelagte notatet fra SVV diskuterer ikke det faktum at prinsippet med prosentvis forbedring er et unntakstilfelle i SVVs håndbok 016 / 12/ og likestilt med absolutt materialfaktor hos NVEs retningslinjer / 11/. Dette er kanskje det springende punkt som burde fått mer fokus før evt. oppdatering av felles retningslinjer. Prinsippet som ligger til grunn ved prosentvis forbedring av sikkerhet er å redusere opptredende skjærspenninger, dette er noe det også savnes en diskusjon på i notatet. Notatet fra SVV omhandler altså kun en mindre del av en større problemstilling. Se også diskusjon i SINTEF rapport nr. SBF2012A0309 / 4/

De prinsipielle forskjellene i de to retningslinjene/ veiledningene er forsøkt sammenfattet under:

- SVV Prosentvis forbedring er en unntaksbestemmelse (lav initiell materialfaktor – teknisk umulig å oppnå absolutt krav kan føre til at prosentvis forbedring kan benyttes). Kravet til prosentvis forbedring er avhengig av konsekvensklasse, bruddmekanisme samt initiell beregnet materialfaktor.
- NVE Likestiller prosentvis forbedring og absolutt materialfaktor (topografisk endring av området for å oppnå prosentvis forbedring). Kravet til prosentvis forbedring eller krav til ikke forverring er avhengig av tiltakskategori, faregradsklasse før utbygging samt initielt beregnet materialfaktor.

Dersom de forelagte forslagene til prosentvis forbedring også kan være aktuelle krav hvis det går mot en likestilling, er det kanskje mer aktuelt å vurdere noe som ligner på "forslag 2", dvs. strengere krav. Samtidig vil en likestilling i tillegg bringe opp andre problemstillinger, slik som hvilket grunnlagsmateriale er benyttet og hvilket kontrollregime som skal gjelde for byggeprosjektet. Det har vært, og er vel fortsatt, mulig å åpne for reduksjon av kravet til beregningsmessig sikkerhet under forutsetning av økt kontroll under utførelse, og/eller god dokumentert kontroll på topografi og grunnforhold, dvs. relatert til omfang/kvalitet på grunnundersøkelsene. I tillegg må vurdering av bruddmekanisme og utløsende årsak tas med i betraktning i hvordan kravene til prosentvis forbedring stilles. Spesielt prosjekter i allerede bebygde områder krever at det bør åpnes for noe mer faglig skjønn i regelverket. I slike prosjekter er geometriske tiltak som gir tilstrekkelig prosentvis forbedring ofte ikke mulig å gjennomføre. Eksempelvis kan et tilstrekkelig tiltak være å sikre en bekk som utgjør det reelle problemet, mens regelverkets krav til prosentvis forbedring krever store terrengtiltak som bedrer sikkerheten for lange, dype skjærflater som vurderes som usannsynlig skredforløp. Selv om også dagens regelverk legger opp til at skredmekaniske og utløsende årsaker skal vurderes, blir det i praksis ofte slik at det blir beskrevet tiltak som tilfredsstillende krav til prosentvis forbedring for lange dype glideflater. Hvorvidt dette skyldes svakhet ved regelverket eller ved praktiseringen av det, kan riktignok diskuteres.

Dersom prosentvis forbedring fortsatt kun skal gjelde for "områdestabilitet" (dvs. tilsvarende som dagens Håndbok 016, og at veg/konstruktive tiltak skal ha krav om absolutt materialkoeffisient), virker begrunnelsen og vurderingene bak "forslag 1" fornuftig i forhold til hvordan prosentvis forbedring i praksis benyttes i dag. En skjerping av kravet i de tilfeller hvor vi i dagens situasjon har lavest sikkerhet er et steg i riktig retning. En videre diskusjon rundt dette er tatt inn i SINTEF-rapport nr. SBF2012A0309 / 4/. For å kunne konkludere endelig på nødvendig omfang av økning i sikkerhet bør nivået av prosentvis forbedring forankres i et pålitelighetsstudie i bredere kontekst.

For øvrig er SVV-notatet en påminnelse om verdien i å utføre tilstrekkelige grunnundersøkelser og med god kvalitet, for å redusere usikkerhetene til materialegenskapene. Som forsøkt nevnt over, bør dette i større grad "premieres" på et eller annet vis i krav til prosentvis forbedring. Dette er videre diskutert i SINTEF-rapport nr. SBF2012A0309 / 4/.

Prosjektgruppen oppfatter det slik at det på dette tidspunktet ikke er så interessant å diskutere to alternativer som er prinsipielt like. Man bør heller legge et større fokus på den underliggende diskusjonen først. Dette for å hindre at saksbehandlere i geotekniske firma, kommuner etc. blir "lesset ned" med ny-reviderte retningslinjer. En underliggende diskusjon bør omfatte temaer som:

- Bruddmekanismer
- Beregningsmetoder
- Utløsende faktorer
- Er prosentvis forbedring unntakstilfelle eller likestilt med krav til absolutt γ_M ?
- Hvilke skjærflater skal evt. forbedres etter prinsippet med prosentvis forbedring?
- Hva slags beslutningsgrunnlag og datakvalitet som skal kreves. Hvilke krav til omfang av- og kvalitet på geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser skal stilles? Det påpekes at NVEs retningslinjer angir at CPTU og opptatte prøver skal være i «beste» klasse. Det arbeides med objektive krav hva angår prøve kvalitet (klar i 2012/2013), mens det for CPTU allerede foreligger retningslinjer for kvalitetsbestemmelse.
- Uttak av fasthetsprofiler, evt. reduksjon av disse etc.
- Ens praksis for bestemmelse av anisotropiforhold og korreksjon av fasthet i ADP-analyse
- Skal det stilles krav til byggeplassoppfølging?

Det er tatt utgangspunkt i SVVs forslag 1 i det videre arbeidet, noe som kan virke som det mest realistiske forslaget i og med at det er det nærmeste kompromiss mellom etatenes retningslinjer.

5 Spesifikke kommentarer til notatet

s. 2 Første avsnitt

«Usikkerheten i geoteknisk prosjektering kan introduseres i fem hovedpunkter:

1. Jordprofilen (terrenghøyde, skråningsgeometri, undergrunnen, lag);
2. Grunnvann (grunnvannsstand, grunnvannsspeil, poretrykksprofil og frittstående vannspeil);
3. Jordegenskaper (attraksjon, friksjonsvinkel, udrenert fasthet, plastisitet, vanninnhold, overkonsolideringsgrad, tyngdetetthet);
4. Beregningsmodell (grenselikevektsmetoden, elementmetoden).
5. Utførelsesfeil (rekkefølge, tiltaksmengde)»

I tillegg kan nevnes faktorer som progressiv bruddoppførsel og føre for udrenert brudd pga kryp.

Det er ingen tvil om at alle disse punktene kan gi en usikkerhet i større eller mindre grad knyttet til bestemmelse av dagens materialfaktor. Dette kan føre til at mange naturlige skråninger kan ha en materialfaktor $\gamma_M \approx 1.0$ **selv om de beregningsmessig får en materialfaktor $\gamma_M > 1.0$** . Det er derfor viktig å komme fram til en **sikkerhetsfilosofi** som på best mulig måte ivaretar en forbedring av sikkerheten i lav-materialfaktor-området.

Prosjektgruppen bemerker at de tre første punktene omhandler en usikkerhet i inputparameterne i modellene våre. Noe av denne usikkerheten er databasert, noe av den er kunnskapsbasert, og den kan videre reduseres. Hva denne usikkerheten består i er uansett ikke hovedpoenget i dette notatet, men forståelse for hva usikkerhet egentlig er, og et avklart forhold til hvordan usikkerhet opptrer, er en forutsetning for å kunne håndtere usikkerhet i et pålitelighetsperspektiv.

Det refereres videre til Duncan (2009) og en tabell for "Usikkerhetskoeffisienter (COV) til materialelegenskaper", hvor det nok menes "variasjonskoeffisienter til materialelegenskaper". Dette er en oppsummering av rapporterte variasjonskoeffisienter. For CPT vil dette f.eks. kunne bety at det refereres til rapporter av COV_{CPT} på f.eks. 15-19%, 18-25% og 31-37%. Det er i sånne sammenhenger også vanskelig å være sikker på om det er sammenlignbare data som faktisk sammenstilles.

Det savnes videre en grundigere diskusjon på hva materialfaktoren skal ta høyde for iht. Eurokodene, dersom denne skal legges til grunn.

Eurokode 0 diskuterer dimensjonerende verdier for geometriske data. Det benyttes uttrykket dimensjonerende verdier for geometrisk data (a_d), og en faktor Δa som tar hensyn til mulige ugunstige avvik fra den karakteristiske eller nominelle verdien. I Eurokode 7 §2.4.4 står det "Nivået på og helningen av terrengoverflaten, vannstands nivåer, nivåer på laggrenser, utgravingsnivåer på den geotekniske konstruksjonens dimensjon skal behandles som geotekniske data". Når det diskuteres at materialfaktor skal ta hensyn også til geometriske avvik kan det diskuteres om det er mer riktig å bruke pålitelighetstankegang og ikke bake dette inn i en "lump" sikkerhetsfaktor. Dette gjelder også for skråningsstabilitetsanalyser.

Side 5, punkt 2 a)

Prosjektgruppen er enig i at dagens krav til "lineær" prosentvis forbedring ikke er så robust ved lave materialfaktorer. Forutsetningene er likevel upresise. Hva menes egentlig med "10-20% usikkerhet i materialfaktor"? Dersom man kvantifiserer usikkerheten til materialfaktoren vil den kunne uttrykkes med middelverdien og standardavviket, eller variasjonskoeffisienten, som er forholdet mellom standardavviket og gjennomsnittsverdien. Vi kan illustrere dette i følgende eksempel:

Dersom det med "10-20% usikkerhet i materialfaktor" menes at materialfaktoren har en variasjonskoeffisient ($COV = \sigma/\mu$) på et sted mellom 10-20%, vil det gi følgende sannsynlighet for $\gamma_M < 1$ dersom det antas initiell materialfaktor $\gamma_{M0} = 1,15$ (analysert ut fra gjennomsnittlige verdier) og har en variasjonskoeffisient på 15%:

$$p(\gamma_M < 1) = 1 - p(\gamma_M > 1) = 1 - p(\gamma_M > (1-1,15)/0,173) = 1 - p(-0,869) = \text{ca. } 0,20$$

der,

COV = variasjonskoeffisienten = σ/μ
 μ = gjennomsnittsverdien
 σ = standardavviket = $COV \cdot \mu$, her = $0,15 \cdot 1,15 = 0,173$

Dvs. ca. 20% sjånse for at γ_M er mindre enn 1, selvfølgelig gitt at γ_M er normalfordelt og man her antar at karakteristisk verdi er lik gjennomsnittet.

Budskapet om at reell materialfaktor kan være lavere enn beregnet er for så vidt greit nok, og betydningen det også vil ha for "reell" materialfaktor etter prosentvis forbedring er sånn sett et poeng, men grunnlaget er i beste fall ikke helt presist.

6 Konklusjon

SINTEF/Multiconsult er bedt om å kommentere notatet med fokus på Forslag 1. Dette forslaget medfører en markant økning av materialfaktoren i området $1.0 < \gamma_{M0} < 1.25$ i forhold til NVE's retningslinjer, men gir en reduksjon i prosentvis økning i forhold til HB016 for dette området for alle konsekvensklasser. Både forslag 1 og 2 innebærer også at NVE må innføre krav som gjenspeiler Eurokodene hvis et av forslagene blir valgt som felles retningslinjer. Forslag 1 er etter prosjektgruppens syn et godt alternativ til samkjøring av prosentvis forbedring mellom etatene SVV og NVE da dette har et fokus på et bedre kriterium for skrånninger med initiell lav beregnet materialfaktor. Erfaring fra tilberegning av faktiske skred viser at skredene utløses i skrånninger med tilnærmet løbil sikkerhet på totalspenningsbasis. Derfor er det viktig å sette fokus på beregnet materialfaktor i dette området.

Prosjektgruppen savner en felles forståelse mellom etatene av gyldighetsområdet for prosentvis forbedring og absolutt materialfaktor. Dette bør belyses gjennom NIFS-prosjektet.

Prosjektgruppen er også av oppfatning av at en endelig samkjøring av retningslinjer bør avvende flere forhold som skal belyses i NIFS-prosjektet som presisert i kapittel 2 og som også er omtalt i SINTEF-rapport nr. SBF2012A0309 / 4/ kap. 9. Blant annet er et viktig punkt omfang av- og kvalitet på grunnundersøkelser. Her bør NIFS-prosjektet komme fram til omforente retningslinjer som tar hensyn til omfang av- og kvalitet på grunnundersøkelser i forhold til sikkerhetsprinsippene i reviderte retningslinjer. Krav til sikkerhetsnivå bør forankres i pålitelighetsanalyser basert på case-studier. Dette gjelder både prinsippet med prosentvis forbedring samt krav til absolutt materialfaktor.

7 Referanser

- / 1/ NIFS rapport (2012). "Etatsprogrammet NATURFARE – Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS). Delprosjekt 6: Kvikkleire". Datert 2012-01-20.
- / 2/ Statens vegvesen notat 2012056523 (2012). "Prosentvis forbedring av materialfaktor i sprøbruddmaterialer". Datert 2012-05-24.
- / 3/ SINTEF rapport nr. SBF IN F10412 (2010). "Sikkerhetsprinsipper i vegbygging med fokus på områdestabilitet i leirområder". Datert 2010-12-22.
- / 4/ SINTEF rapport nr. SBF2012A0309 (2012). "Likestilling mellom bruk av absolutt materialfaktor og prosentvis forbedring?". Datert 2012-11-30..
- / 5/ SINTEF rapport nr. SBF2012A0310 (2012). "Probabilistiske analyser av grunnundersøkelser i sensitive leirområder". Datert 2012-11-30
- / 6/ Multiconsult rapport nr. 415559-RIG-RAP-001 rev. 00 (2012). "Detektering av kvikkleire fra ulike sonderingsmetoder". Datert 2012-11-30.
- / 7/ Multiconsult rapport nr. 415559-RIG-RAP-002 rev. 00 (2012). "Bruk av anisotropiforhold i stabilitetsberegninger i sprøbruddmaterialer". Datert 2012-11-30.
- / 8/ NS-EN-1990:2002+NA:2008. Eurokode: "Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner".
- / 9/ NS-EN-1997-1:2004+NA:2008. Eurokode 7: "Geoteknisk prosjektering. Del 1: Almenne regler".
- / 10/ NS-EN-1997-2:2007+NA:2008. Eurokode 7: "Geoteknisk prosjektering. Del 2: Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver".
- / 11/ NVE Retningslinjer nr. 2/2011. "Flaum- og skredfare i arealplanar". Datert 2011-04-15.
- / 12/ Statens vegvesen håndbok 016 (2010). "Geoteknikk i vegbygging". Datert juni 2010.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

