

Program for økt sikkerhet mot leirskred

Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire

20001008-2

31. august 2001

Revisjon 3

8. oktober 2008

Oppdragsgiver:

NVE/NGI

Kontaktperson:

NVE: Steinar Schanche

Kontraktreferanse:

Kontrakt nr.: 1/2000

Prosjekt nr.: V0500

For Norges Geotekniske Institutt

Prosjektleder:

Odd Gregersen

Rapport utarbeidet av:

Odd Gregersen

Kontrollert av:

Kjell Karlsrud

Sammendrag

Rapporten beskriver metodene/prosedyrene som benyttes ved kartlegging og risikoklassifisering av kvikkleiresoner.

Etter kvikkleireskredet i Rissa i 1978 ble det besluttet å gjennomføre en landsomfattende kartlegging av potensielt skredfarlige kvikkleireområder. I den forbindelse ble det utarbeidet en metodikk/prosedyre for denne kartleggingen. Etter hvert som faresoner ble kartlagt og informasjonen ble forelagt brukerne, oppstod behovet for å klassifisere sonene med hensyn til faregrad og risiko. I år 2000 utarbeidet NGI en metode for slik klassifisering.

Kriteriene lagt til grunn for den landsomfattende kartleggingen er basert på enkle teoretiske betraktninger samt analyse av en rekke kvikkleireskred, og er som følger:

1. Jevnt hellende terreng brattere enn 1:15 vurderes
2. Terreng høydeforskjeller på 10 m og mer vurderes
3. Skred vil maksimalt få en lengde på 15 x skråningshøyden

Det skal påpekes at det vil kunne gå skred ved mindre kritiske topografiske forhold enn gitt i disse kriteriene. Ved lokale kartleggingsprosjekter, reguleringsplaner og byggeprosjekter etc., må det vurderes å benytte mer konservative kriterier med hensyn til topografi.

Klassifisering av risiko er basert på en kvalitativ metode. Skadekonsekvens og faregrad evalueres ved at det beregnes poeng for hver sone i henhold til utarbeidede klassifiseringskriterier. Avhengig av antall poeng beskrives skadekonsekvensklassene som enten 1: *mindre alvorlig*, 2: *alvorlig* eller 3: *meget alvorlig*. Tilsvarende beskrives faregradklassene som enten 1: *lav*, 2: *middels* eller 3: *høy*. Sonene inndeles så i fem risikoklasser, avhengig av poengverdiene for skadekonsekvens og faregrad (Risiko = skadekonsekvens x faregrad).

Rapporten gir også veiledning til tolkning/evaluering av feltobservasjoner.



Innhold

1	BAKGRUNN	4
2	KARTLEGGING AV FARESONER	4
	2.1 Kartstudier	4
	2.2 Feltundersøkelser	5
	2.3 Utarbeidelse av faresonekart.....	7
3	KLASSIFISERINGSSYSTEMET	8
4	SKADEKONSEKVENSKLASSER	9
5	FAREGRADEKLASSER (SANNSYNLIGHET)	13
6	RISIKOKLASSER OG PROGRAM FOR FASE 3.....	17
7	VEILEDNING TIL TOLKNING/EVALUERING AV FELTOBSERVASJONER.....	19
	7.1 Kartlegging av erosjonsforhold	19
	7.2 Registrering av terrenningrep i eller i nærheten av raviner	19
	7.3 Vurdering av fare for oppdemming/skade fra flombølge	20
	7.4 Skjema for observasjoner ved befaring av faresoner.....	22

Kontroll- og referanseside

1 BAKGRUNN

Arbeidet med å innhente informasjon om faren for kvikkleireskred har pågått siden 1980, og ble igangsatt etter kvikkleireskredet i Rissa (1978). I perioden frem til år 2000 har arbeidet bestått i å kartlegge fareområdenes beliggenhet og utstrekning. Kartleggingen avdekket store arealer som er potensielt skredfarlige, til sammen 500 km² fordelt på ca 1 500 soner. De fleste sonene er bebygde, mange tett bebygde.

I perioden 2000 til 2006 ble det foretatt en risikoklassifisering av de kartlagte sonene.

Både kartleggingen og risikoklassifiseringen var nye aktiviteter for det geotekniske fagmiljøet og nye prosedyrer måtte utvikles.

Rapporten beskriver de retningslinjer/metoder som er utarbeidet og som har dannet grunnlaget for alt arbeidet med identifisering av skredfarlige kvikkleireområder.

2 KARTLEGGING AV FARESONER

Kartleggingsarbeidene kan inndeles i fire faser: kartstudier, befaringsfeltundersøkelser og utarbeidelse av faresonekart.

2.1 Kartstudier

Kartleggingsarbeidet er basert på topografiske kriterier. Disse er utarbeidet på grunnlag av enkle teoretiske betraktninger med hensyn til skreds utstrekning samt på grunnlag av etterberegning/studie av en rekke kjente kvikkleireskred, Aas (1979).

Den teoretiske betraktningen viser at et flaskred vil strekke seg innover fra skråningsfot i en avstand av maksimalt 13 x høydeforskjellen ($L/H \leq 13$). Studie av en rekke kjente kvikkleireskred gir L/H varierende fra 7 til 14.

I overensstemmelse med ovenstående resultater er de topografiske kriteriene for den landsomfattende kartleggingen valgt som følger:

- Jevnt hellende terreng brattere enn 1:15 vurderes
- Terreng høydeforskjeller på 10 m eller mer vurderes
- Skred vil maksimalt få en lengde tilsvarende 15 x H

En nedre grense på 1:15 og 10 m vil erfaringsmessig inkludere de fleste områder med potensiale for store skred. Det skal imidlertid påpekes at det vil kunne gå skred ved mindre kritiske topografiske forhold enn gitt i disse kriteriene. Ved lokale kartleggingsprosjekter, reguleringsplaner og byggepro-

sjekter etc., må det vurderes å benytte mer konservative kriterier med hensyn til topografi. Dette vil avhenge av terrengforhold, fjellets topografi etc., og må avgjøres i hvert enkelt tilfelle.

De valgte kriteriene legges så til grunn for studie av de kvartærgeologiske kartene. Områder med topografi som oppfyller kriteriene for skred avmerkes som mulige faresoner.

2.2 Befaring

Neste fase i prosjektet er i foreta befaring av de avmerkede sonene.

Befaring foretas for å innhente kunnskap om lokale forhold (for eksempel oppstikkende fjell), mulige terrenginngrep (bakkeplanering, rørlegging av bekker og lignende) samt for å studere adkomstmuligheter ved eventuelle feltundersøkelser.

På grunnlag av resultatene fra befaringene, vil erfaringsmessig noen soner falle ut og noen vil bli redusert i utstrekning.

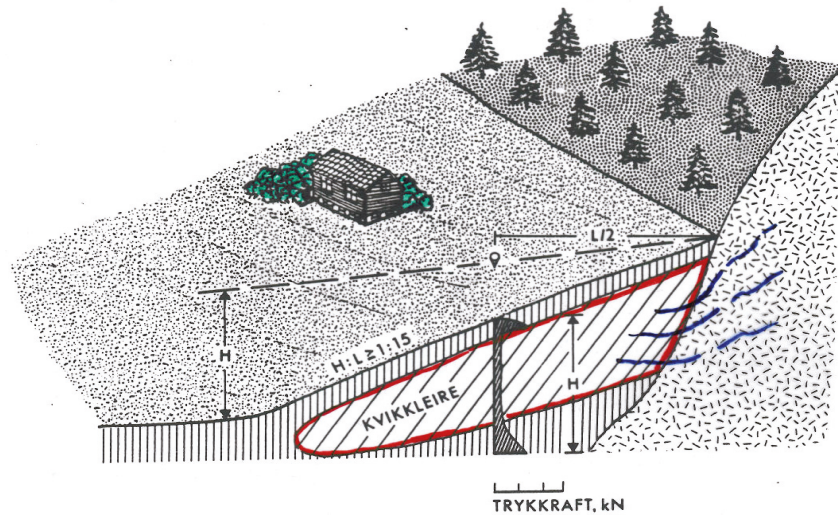
2.2 Feltundersøkelser

Feltundersøkelsene tar sikte på å kartlegge mulige større sammenhengende forekomster av kvikkleire i de aktuelle sonene. Forekomster som kan resultere i store skred.

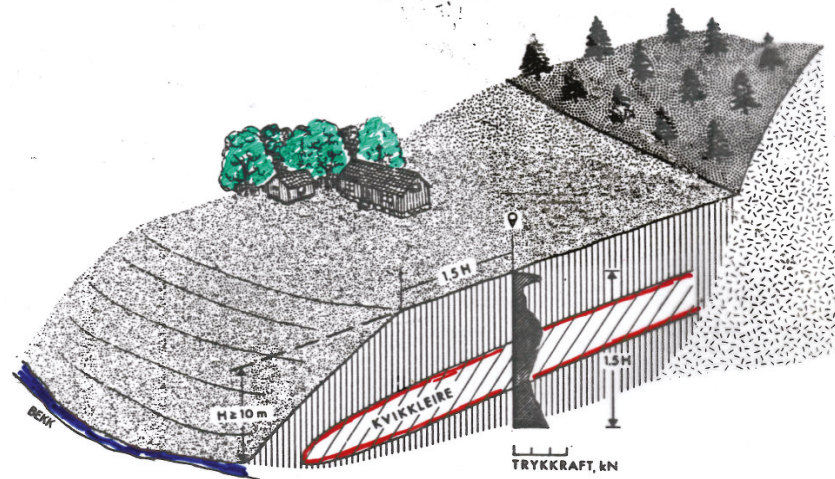
På grunn av de enormt store arealene som skulle dekkes i dette prosjektet, har en i hovedsak måtte basere feltundersøkelsene på enkle og lite tidkrevende undersøkelsesmetoder. Dessuten har det vært nødvendig at utstyret er robust, driftssikkert, mobilt samt at nedtrengningsevnen er god. I tillegg til disse fysiske kriteriene, må undersøkelsene skille leire fra andre jordarter samt at endringer i leires sensitivitet reflekteres.

Dreietrykkssondering tilfredsstillende disse kravene, og har med godt resultat vært benyttet i denne kartleggingen. Sonderingsmetoden er beskrevet i NGF melding nr 7, 1989.

For en rasjonell gjennomføring av prosjektet har det vært viktig å oppnå en god terrengdekning fra hver sondering. Dette er forsøkt gjort ved å utføre boringene i henhold til et program som illustrert på nedenstående perspektivskisser av de to terrengmodellene ”jevnt hellende terreng” og ”platåterreng”.



Perspektivskisse av "jevnt hellende terreng"



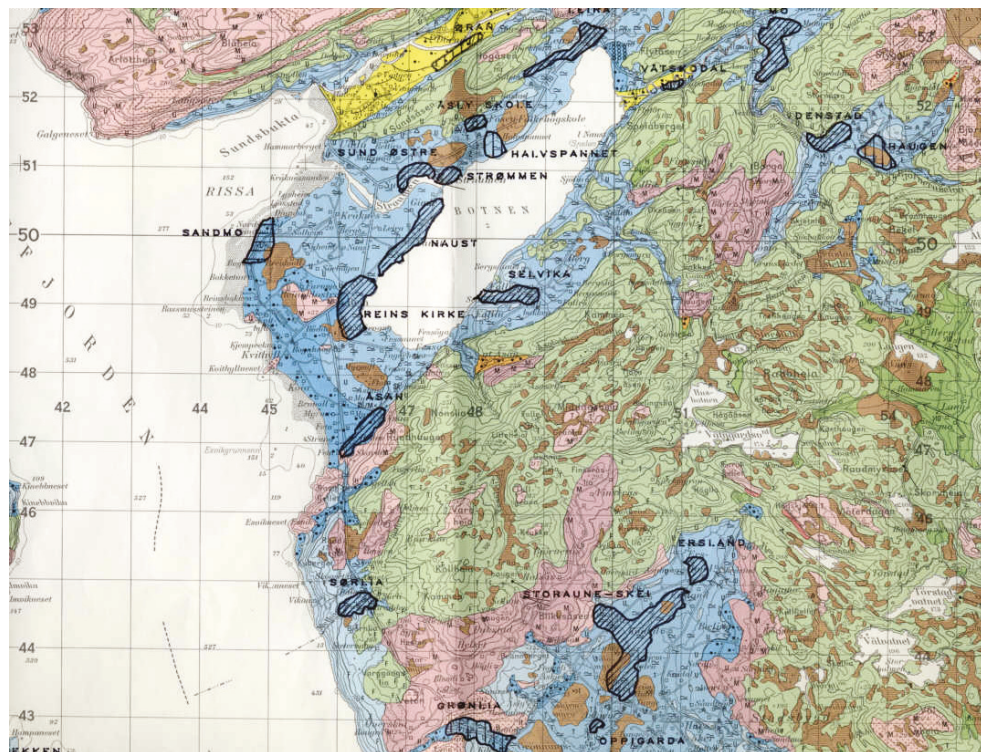
Perspektivskisse av "platåterreng"

I ”jevnt hellende terreng” plasseres boringen(e) midt i skråningen og føres ned til en dybde tilsvarende skråningens totale høydeforskjell. Ved ”platåterreng” utføres boringen(e) inne på platået i en avstand fra skråningstopp tilsvarende 1,5 x skråningshøyden. Boringen(e) utføres til en dybde av 1,5 x skråningshøyden. En eventuell kvikkleireforekomst av noe utstrekning og beliggenhet i et kritisk nivå med hensyn til skredfare, vil med dette bli avdekket.

I praksis har det vist seg at de to terrengmodellene til sammen er representative for det aller meste av våre marine leirområder. Til tider må improvisasjoner gjøres.

2.3 Utarbeidelse av faresonekart

Det utarbeides ”faresonekart” på grunnlag av de topografiske kriteriene (spenningsnivået i leiravsetningen) og resultatene av feltundersøkelsene (eventuell forekomst av kvikkleire). Hver potensiell faresone er vist med skravur på de kvartærgeologiske kartene, se nedenfor. Sonene angir det antatt maksimale areal for et eventuelt skred. Skredmassenes utløpsdistanse er ikke vurdert.



Utsnitt av faresonekart, Rissa kommune

Faresonene er inndelt i tre ulike kategorier, avhengig av kunnskapen om grunnforholdene innenfor hvert enkelt område. De tre kategoriene er henholdsvis skråskravur, horisontalskravur og vertikalskravur. Skråskravur vil være mest vanlig og omfatter områder der kvikkleire er påvist, men uten at stabilitetsforholdene er vurdert. Horisontalskravur angir områder der kvikkleire er påvist

samt at det er utført stabilitetsvurderinger som viser akseptabel sikkerhet for områdets nåværende anvendelse. Vertikalskravur angir områder der grunnboringer ikke er utført eller er vanskelige å tolke.

Det skal presiseres at det kun er potensiell fare for kvikkleireskred som er vurdert, likeledes at det kan gå skred (også kvikkleireskred) også utenfor skraverte soner. Kartet gir ikke informasjon om fundamenteringsmessige forhold.

3 KLASSIFISERINGSSYSTEMET

Det er utviklet en metode for klassifisering av fareområder. Dette er en kvalitativ metode hvor skadekonsekvens og faregrad evalueres. Metoden er basert på studie av eksisterende, for det meste, lett tilgjengelig informasjon, samt på befaringer i felt. Klassifiseringssystemet er således enkelt og relativt lite arbeidskrevende.

Behovene for et verktøy til vurdering av faren for skred gjelder både for plan- og byggesaksarbeid og ved prioritering av områder for sikring mot skredfare. For plan- og byggesaksarbeid, er det faregraden (sannsynligheten for skred) som legges til grunn for vurderingen. Ved prioritering av områder for sikring mot skredfare, legges risiko (faregrad x konsekvens) til grunn for vurderingen.

Klassifiseringen av soner gjøres på grunnlag av beregning av skadekonsekvensindikator, S_i , og faregradindikator, F_i . Risikoindikatoren, R_i , blir således: $R_i = S_i \times F_i$.

Beregning av skadekonsekvensindikator og faregradindikator gjøres ved hjelp av tabellene 1 og 2, side 9 og 14.

Skadekonsekvensindikator, S_i , er lik summen av poengverdiene for hver faktor som inngår i tabell 1: $S_i = \sum S_{\text{score}} \times S_{\text{vekt}}$

Tilsvarende er faregradindikatoren, F_i , lik summen av poengverdiene for hver faktor som inngår i tabell 2: $F_i = \sum F_{\text{score}} \times F_{\text{vekt}}$.

Tabellene 1 og 2 er forklart i mer detalj under kapitlene 4 og 5.

4 SKADEKONSEKVENSKLASSER

Skadekonsekvenser som skal vurderes er: fare for at liv kan gå tapt, skade på mennesker, økonomiske tap og verdiforringelse, samt fare for at viktige samfunnsmessige funksjoner skal stoppe opp.

Konsekvensen av et skred deles inn i tre klasser på bakgrunn av følgende:

- Mindre alvorlig: Liten risiko for skade på mennesker, tap av liv, begrensede økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser.
- Alvorlig: Risiko for skade på mennesker/tap av liv eller betydelige økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser.
- Meget alvorlig: Stor risiko for skade på mennesker/tap av liv eller meget store økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser.

Evaluerings av en soners skadekonsekvensklasse gjøres ved hjelp av tabell 1. Tabellen omfatter de viktigste faktorene for skadekonsekvens. Hver av faktorene vurderes på grunnlag av kriteriene som angitt på tabellen etter en skala fra 0 til 3 (score), hvor 3 angir høyeste konsekvens. I tillegg har faktorene fått et vekt-tall, 1-4, avhengig av hvilke betydning de er tillagt relativt til hverandre. Poengverdi for hver faktor fremkommer som produktet av score og vekt-tall. Skadekonsekvensindikatoren er summen av poengene for de ulike faktorene. Summen bestemmer hvilken skadekonsekvensklasse sonen får. Som det fremgår kan en sone få maksimalt 45 poeng.

Tabell 1 Evaluering av skadekonsekvens

Faktorer	Vekt-tall	Konsekvens, score			
		3	2	1	0
Boligheter, antall	4	Tett > 5	Spredt > 5	Spredt < 5	Ingen
Næringsbygg, personer	3	> 50	10 – 50	< 10	Ingen
Annen bebyggelse, verdi	1	Stor	Betydelig	Begrenset	Ingen
Vei, ÅDT	2	>5000	1001-5000	100-1000	<100
Toglinje, baneprioritet	2	1 – 2	3 – 4	5	Ingen
Kraftnett	1	Sentral	Regional	Distribusjon	Lokal
Oppdemning/flom	2	Alvorlig	Middels	Liten	Ingen
Sum poeng		45	30	15	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

Kommentarer til tabell 1

Tabellen omfatter sju faktorer, hvorav 1 og 2 berører menneskers liv og helse direkte. Faktorene 4, 5 og 6 gjelder samfunnsmessige funksjoner som berører mennesker indirekte, eventuelt også direkte. Faktorene 3 og 7 vil i hovedsak gjelde tap av verdier.

Generelt bemerkes at det ved mangelfull informasjon må foretas en konservativ antagelse ved evalueringen.

1. Boligenheter, antall. Denne faktoren omfatter bebyggelse med *permanent* opphold for mennesker, og inkluderer bebyggelse i både selve sonen og i det sannsynlige utløpsområdet for rasmassene. Eneboliger, blokker og rekkehus inngår. Også pleieinstitusjoner kommer inn under denne kategorien. *En* boligenhet er definert som en bolig for *en* familie. I tilfellet pleieinstitusjoner, kan det være vanskelig å angi et nøyaktig antall boligenheter. Dette vil imidlertid ikke påvirke resultatet, idet en sone med en pleieinstitusjon i alle tilfelle skal gis høyeste score og således oppnå største poengverdi, dvs. $4 \text{ (vektttall)} \times 3 \text{ (score)} = 12$.

En alternativ og mer nøyaktig måte å beregne antall mennesker som kan bli berørte, vil være å omregne *enheter der det bor mennesker* til *bolig-ekvivalenter*. I tillegg til *antallet* mennesker vil også *tiden* de oppholder seg i bygningen da komme inn som en faktor. En fordel med denne metoden vil være at den også kan benyttes for faktor 2, Næringsbygg, personer. Dette vil gi en enhetlig klassifisering for de to faktorene som berører personer direkte. Foreløpig er det imidlertid ikke praktisk mulig å anvende denne metoden, idet de nødvendige bakgrunnsdata ikke foreligger på en lett tilgjengelig måte.

I klassifiseringskriteriene er det skilt mellom ”tett” og ”spredt” bebyggelse. Tett bebyggelse innebærer en større konsekvens enn spredt bebyggelse. Dette skyldes at et skred i en faresone ikke nødvendigvis vil omfatte hele sonen. Dersom bebyggelsen er spredt, vil det derfor være mindre sannsynlig at all bebyggelse blir berørt, enn dersom bebyggelsen er tett.

Kriteriet for å få høyeste score (3) er satt forholdsvis lavt, antall boliger > 5 . Dette er gjort for å få en sterk fokusering på betydningen av fare for at menneskeliv skal gå tapt. Også det forhold at *Boligenheter* er gitt det høyeste vektallet, 4, er med på å forsterke betydningen av dette.

2. Næringsbygg, personer. Denne faktoren omfatter bebyggelse med *midlertidig* opphold av mennesker. Dette omfatter industri-/ næringsbygg, kontorbygg, skoler og andre offentlige bygg.

Kriteriet for å oppnå høyeste score er satt til > 50 personer, mens vektallet er satt til 3. Kriteriene er satt relativt ”strengt” for å understreke betydningen av trygghet mot skred i arbeidssituasjonen.

3. *Annen bebyggelse, verdi.* Denne faktoren omfatter bebyggelse hvor det normalt ikke oppholder seg mennesker, men som har spesiell verdi for samfunnet. Dette kan være bebyggelse som har verdi av for eksempel historiske, religiøse eller kulturelle årsaker.

Vekttallet er satt til 1 idet mennesker sannsynligvis ikke vil være involvert.

4. *Vei.* Brudd på veiforbindelser vil ha konsekvenser for samfunnet nasjonalt, regionalt eller lokalt. Det kan dessuten være fare for liv/skade på mennesker. Inndeling etter trafikkmengde, kfr. Statens vegvesens trafikkregistreringer. Vekttallet er satt til 2.

5. *Toglinje, baneprioritet.* Brudd på toglinjer vil ha konsekvenser for samfunnet nasjonalt, regionalt eller lokalt. Det kan dessuten være fare for liv/skade på mennesker. Inndeling i henhold til Jernbaneverkets baneprioritet. Vekttallet er satt til 2.

6. *Kraftnett.* Brudd på strømforsyningslinjer vil ha konsekvenser for samfunnet nasjonalt, regionalt eller lokalt. Inndeling i henhold til Statkrafts nettklasser. Da brudd på strømforsyningslinjer neppe vil medføre fare for liv/skade på mennesker, er denne faktoren tillagt vektall 1.

7. *Oppdemming/flo.* Denne faktoren omfatter skader som kan oppstå langs vassdraget som en følge av oppdemming og etterfølgende dambrudd.

En større oppdemming kan føre til en uoversiktlig situasjon med et stort skadepotensial. Skader kan oppstå på bebyggelse, veier, jernbane og kraftnett som følge av erosjon/undergraving. Flombølger kan skade bebyggelse, broer etc. Det kan oppstå vannskader i bygninger både på oppdemmet område og nedstrøms i forbindelse med flom. Oppdemming/flo kan dessuten føre til utløsning av nye skred.

Hvorvidt skredmasser vil forårsake oppdemming av et vassdrag eller ikke vil være vanskelig å forutsi. Hvordan skredet vil utvikle seg i størrelse og hvordan skredmassene vil bevege seg, vil være et resultat av et komplisert samspill mellom en rekke faktorer. Like vanskelig kan det være å forutsi hvilke skader en oppdemming og etterfølgende flom vil medføre langs vassdraget. Det er derfor vanskelig å angi gode objektive kriterier for vurdering av faren for oppdemming/konsekvensen av flom etter et kvikkleireskred. Visse holdepunkter kan imidlertid settes opp til hjelp i vurderingen:

Kriterier som må være tilstede for at en demning skal kunne dannes:

- Volum skredmasse må være stor nok til å kunne demme opp dalen til et tilstrekkelig høyt nivå.

- En tilstrekkelig del av skredmassene må være lite sensitive, slik at de effektivt vil blokkere og ikke strømme langt nedover vassdraget.

Kriterier som kan medføre flomskade:

- Vannmagasinet er fullt før det er mulig å foreta tiltak for å senke kronehøyden på demningen (anta 5 års flom i vassdraget).
- Vannmagasinet er så stort at vannføringen etter dambruddet tilsvarer minst 50 års flom.
- Bebyggelse oppstrøms på nivå med vannspeilet (vannskader).
- Lett eroderbare masser langs elvebredden eller på partier som kan bli oversvømmet ved flom/flodbølge.
- Bebyggelse på kritiske områder nedstrøms (undergraving, vannskader eller skader fra flodbølge).
- Veier/broer, jernbane eller kraftnettfundamenter på kritiske steder nedstrøms (undergraving eller skade fra flodbølge).

En annen mulig følgeskade av oppdemming/flom etter et skred er at nye skred kan bli utløst. Dette gjelder på hele den berørte strekningen, både oppstrøms og nedstrøms demningen. Potensialet for en slik effekt må vurderes.

Det vil være liten fare for liv/skade på mennesker i forbindelse med oppdemming og etterfølgende flom. Tiden vil tillate nødvendig evakuering. De materielle skadene vil imidlertid kunne bli betydelige. Vekttallet er satt til 2.

Inndeling i tre konsekvensklasser

Fordelingen av sonene i de forskjellige klassene er basert på evaluering av 228 faresoner i Trøndelag og på Østlandet i 2000/2001. De 228 sonene antas å utgjøre et representativt utvalg av alle kartlagte soner på Østlandet og i Trøndelag.

For å oppnå en god fordeling av antallet soner i hver av klassene, er det på forhånd definert en ønsket fordeling mellom klassene. For konsekvens og faregrad er ønsket fordeling av antall soner i de tre klassene hhv. 25 %, 50 % og 25 %. For risiko er ønsket fordeling av antall soner i de fem klassene hhv. 5 %, 20 %, 50 %, 20 %, og 5 % i klassene 1 til 5.

Fordelingen av sonene mellom de tre konsekvensklassene er basert på resultatet av evaluering av 228 soner fra Østlandet og Trøndelag i 2000/2001. De 228 sonene antas å være representative for alle kartlagte soner, og utgjør 10-15 % av totalt antall.

En viktig målsetting for klassifiseringen, er å oppnå en god spredning av sonene mellom de tre klassene. Dette kan best oppnås ved at de 228 sonene fordeles mellom de tre klassene i et på forhånd bestemt forhold. Følgende

fordeling er valgt: 25 % av antall soner i *konsekvensklasse mindre alvorlig*, 50 % av antall soner i *konsekvensklasse alvorlig* og 25 % av antall soner i *konsekvensklasse meget alvorlig*. Dette gir følgende inndelinger for de tre konsekvensklassene:

- *Konsekvensklasse mindre alvorlig* omfatter alle soner med poengverdi fra 0 til 6. Dette er soner hvor det finnes få eller ingen fastboende.
- *Konsekvensklasse alvorlig* omfatter alle soner med poengverdi fra 7 til 22. Dette kan både være soner hvor et betydelig antall personer oppholder seg, eller soner hvor det finnes få eller ingen fastboende.
- *Konsekvensklasse meget alvorlig* omfatter alle soner med poengverdi fra 23 til 45. Dette er soner hvor det oppholder seg et betydelig antall personer, permanent eller regelmessig.

5 FAREGRADKLASSER (SANNSYNLIGHET)

Faregrad skal fastlegges slik at den gjenspeiler graden av usikkerhet med hensyn til områdets stabilitet. Faregraden er avhengig av:

- Topografiske forhold
- Geologiske/geotekniske forhold
- Terrengendringer

Faregraden inndeles i tre klasser avhengig av forholdene:

Lav: Gunstige topografiske forhold. Det foreligger grunnundersøkelser som viser at grunnforholdene er gunstige. Det er lite eller ingen aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært liten skredaktivitet i området. Ingen terrenginngrep/terrenginngrep har hatt gunstig innvirkning på stabiliteten.

Middels: Mindre gunstige topografiske forhold. Mangelfulle grunnundersøkelser, eller grunnundersøkelsene viser mindre gunstige grunnforhold. Det er aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært betydelig skredaktivitet i området. Eventuelle terrenginngrep har liten eller ingen stabilitetsforbedrende virkning.

Høy: Ugunstige topografiske forhold. Mangelfulle grunnundersøkelser eller grunnundersøkelsene viser ugunstige grunnforhold. Det er aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært stor skredaktivitet i området. Terrenginngrep med stabilitetsforverrende virkning.

Evaluering av faregrad gjøres ved hjelp av tabell 2. Tabellen omfatter de viktigste faktorene som påvirker faregraden. Hver av faktorene vurderes på grunnlag av kriteriene som er angitt i tabellen etter en skala fra 0 til 3, hvor 3 angir høyeste faregrad. I tillegg har faktorene fått et vektall, -3 til +3, avhengig av hvilken betydning de er tillagt relativt til hverandre. Poengverdien for hver

faktor fremkommer som produktet av score og vektall. Faregradindikatoren er summen av poengene for de ulike faktorene. Summen bestemmer hvilke faregradklasse sonen får. Som det fremgår kan en sone få maksimalt 51 poeng.

Tabell 2 Evaluering av faregrad

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde, meter	2	>30	20 – 30	15 – 20	<15
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0
Poretrykk	Overtrykk, kPa: 3	> + 30	10 – 30	0 – 10	Hydrostatisk
	Undertrykk, kPa: -3	> - 50	-(20 – 50)	-(0 – 20)	
Kvikkleiremektighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20
Erosjon	3	Aktiv/glidn.	Noe	Lite	Ingen
Inngrep: forverring forbedring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		51	34	16	0
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %

Kommentarer til tabell 2

Tabellen består av 8 faktorer, hvorav de to første angir topografiske forhold. De neste fire faktorene omhandler grunnens geotekniske egenskaper, og de to siste gjelder forhold som beskriver endringer som kan påvirke skråningens stabilitet. Generelt bemerkes at det ved mangelfull informasjon må foretas en konservativ antagelse ved evalueringen.

1. *Skredaktivitet.* Kvartærgeologiske kart viser tidligere skredgroper. Skredgroper kan være en indikasjon på mulig skredfare, spesielt dersom skredaktiviteten er av nyere dato (ca de siste hundre år). Aggresjonsfronten i et vassdrag bør om mulig bestemmes. Dette kan gi verdifull informasjon om pågående erosjon/skredfare. Skredaktiviteten betegnes som *høy* dersom det finnes en eller flere nyere skredgroper i eller i nærheten av den aktuelle sonen. Vekt-tall 1.

2. *Skråningshøyde/topografi.* Skjærspenningene i grunnen øker med økende skråningshøyde. Skråningshøyden er således en viktig faktor i evalueringen av faregrad. Skråningshøyder større enn 30 m gis høyeste score.

Skråningshelningen er ikke lagt inn som et eget kriterium. Dette skyldes at de aller fleste skråninger, i forbindelse med faresoner, er ravineskråninger med

tilnærmet samme skåningshelning (1:3 – 1:4). Skråninger som ikke er ravine-skråninger tilpasses standardprofilen på best mulig måte. Vekttall 2.

3. Forkonsolidering pga terrengsenkning. Områder, som tidligere har hatt et høyere terrengnivå enn i dag, er forkonsoliderte. Terrengsenkning kan være forårsaket av skredaktivitet eller erosjon. Effekten av en slik forkonsolidering er at leiren har en høyere skjærstyrke enn nåværende terrengnivå skulle tilsi. Bestemmelse av forkonsolideringsforholdet (OCR), er således viktig for å vurdere faren for skred. OCR-forholdet bestemmes i nivå for en antatt kritisk glideflate. Når data/informasjon er usikker bør det foretas en konservativ vurdering. Normalkonsolidert leire, dvs. leire med OCR=1, får høyeste score. Vekttall 2.

4. Poretrykk. Resultater fra poretrykksmålinger foreligger relativt sjeldent i forbindelse med kartlegging av faresoner. Når målinger ikke foreligger, må poretrykksituasjonen estimeres på grunnlag av topografi og kunnskap om grunnforhold. Nærliggende fjell eller høydedrag vil kunne medføre poreovertrykk i forhold til hydrostatisk trykkfordeling, mens ravineskråninger i lagdelt grunn vil kunne medføre poreundertrykk. Oppkommer og brønner kan gi verdifull informasjon om poretrykk/grunnvannsnivå. Poreovertrykk på mer enn 30 kPa i nivå med kritisk glideflate gir høyeste score, mens poreundertrykk på mer enn 50 kPa (drenert skråning) gir laveste score. Poretrykket er en meget viktig faktor for skjærstyrken og derved for stabiliteten av en skråning. Vekttallet er derfor satt til 3 for poreovertrykk og -3 for poreundertrykk.

5. Kvikkleiremektighet. Kvikkleirens mektighet fremgår av dreietrykksonderingene samt av eventuelle vingeboringer eller prøveserier. Dreietrykksonderinger er utført innen de aller fleste soner, på ett eller flere punkter. Kvikkleirens mektighet er meget viktig både med hensyn til faren for utløsning av skred, og med hensyn til utbredelsen av et skred. Dersom mektigheten av kvikkleire er større enn halve ravinehøyden ($H/2$) gis høyeste score.

Også kvikkleirens beliggenhet og utstrekning er av betydning for faren for skred. På grunn av manglende informasjon inngår ikke disse forholdene i evalueringen. Vekttall 2.

6. Sensitivitet. Faren for skred vil øke med økende sprøbruddegenskaper. Sensitivitet er et mål på sprøbruddegenskaper. I tabell 2 er det skilt mellom meget høy sensitivitet > 100, "normal" kvikkleire sensitivitet 30 - 100, sensitivitet 20 - 30 og sensitivitet < 20. Sensitiviteten vil først og fremst være av betydning for utbredelsen av et skred. Vekttall 1.

7. Erosjon. Pågående erosjon i et vassdrag vil innebære en kontinuerlig forverring av sikkerheten for områdene ned mot vassdraget. Det er derfor meget viktig at erosjonsforholdene kartlegges: sideveis erosjon, dybdeerosjon, sedimentasjon, erosjonsbeskyttelse, terskler, glidninger etc. Pågående aktiv erosjon gir høyeste score. Det er utarbeidet egne retningslinjer for bestemmelse

av scoreverdi på grunnlag observasjoner fra befaring. Vekttallet settes så høyt som 3.

8. Inngrep. Inngrep i et område med marin leire kan innebære en stabilitetsforbedring eller en stabilitetsforverring. Slike inngrep kan være bakkeplanering, bygging av veier, utfyllinger, utretting av bekke- og elveløp, bekkelukking, annen byggevirksomhet, fjerning av vegetasjon, beplantning eller på andre måter å endre de hydrologiske forhold. Det er meget viktig å få oversikt over slike inngrep idet de nesten uten unntak vil endre stabilitetsforholdene innen det aktuelle området. Dette vil være av den største betydning for evalueringen av faregraden. Forespørsler om inngrep rettes til lokale personer/grunneiere, landbruksmyndigheter eller kommunenes tekniske etat. Likeledes kan det være nyttig å studere gamle og nye flyfotografier over de aktuelle områdene.

Vekttallet settes til 3 for inngrep som har ført til forverring av stabiliteten og til – 3 for inngrep som har ført til forbedring av stabiliteten.

Inndeling i faregradklasser

Fordelingen av sonene mellom de tre faregradklassene gjøres på samme måte som beskrevet ovenfor for konsekvensklassene. Fordelingen er basert på resultatet av evaluering av 228 soner på Østlandet og i Trøndelag i 2000/2001. De 228 sonene antas å være representative for alle kartlagte soner, og utgjør 10-15 % av totalt antall.

En viktig målsetting for klassifiseringen, er å oppnå en god spredning av sonene mellom de tre klassene. Dette kan best oppnås ved at de 228 sonene fordeles mellom de tre klassene i et på forhånd bestemt forhold. Følgende fordeling er valgt: 25 % av antall soner i *faregradklasse lav*, 50 % av antall soner i *faregradklasse middels* og 25 % av antall soner i *faregradklasse høy*. Dette gir følgende inndeling for de tre konsekvensklassene:

Faregradklasse lav omfatter alle soner med poengverdi fra 0 til 17. På grunnlag av de oppsatte kriteriene, vil disse sonene, relativt sett, ha en lav sannsynlighet for at skred skal inntreffe.

Faregradklasse middels omfatter alle soner med poengverdi fra 18 til 25. På grunnlag av de oppsatte kriteriene, vil disse sonene, relativt sett, ha en middels sannsynlighet for at skred kan inntreffe.

Faregradklasse høy omfatter alle soner med poengverdi fra 26 til 51. På grunnlag av de oppsatte kriteriene, vil disse sonene, relativt sett, ha en høy sannsynlighet for at skred skal inntreffe.

6 RISIKOKLASSER OG PROGRAM FOR FASE 3

Risiko er lik *skadekonsekvens* x *faregrad*. For å få en enhetlig basis for beregningene er poengverdiene for *skadekonsekvens* og *faregrad* omgjort til ”% av maksimal poengverdi”. Tallverdien for *risiko* fremkommer således ved å multiplisere %-tallet for *skadekonsekvens* med %-tallet for *faregrad*.

Risiko er inndelt i fem klasser (mens *skadekonsekvens* og *faregrad* er inndelt i tre klasse). Dette er gjort for å skille ut soner med aller lavest risiko og aller høyest risiko.

Også for *risiko* er det en viktig målsetting for klassifiseringen å oppnå en god spredning av sonene mellom de fem klassene. Dette kan best oppnås ved at de 228 sonene fordeles mellom de fem klassene i et på forhånd bestemt forhold. Følgende fordeling er valgt: 5 % av antall soner i klasse 1 (laveste risiko), 20 % av antall soner i klasse 2, 50 % av antall soner i klasse 3, 20 % av antall soner i klasse 4 og 5 % av antall soner i klasse 5 (høyeste risiko). Dette gir følgende inndeling for de fem risikoklassene:

- Risikoklasse 1 omfatter alle soner med tallverdi fra 0 til 170
- Risikoklasse 2 omfatter alle soner med tallverdi fra 171 til 630
- Risikoklasse 3 omfatter alle soner med tallverdi fra 631 til 1 900
- Risikoklasse 4 omfatter alle soner med tallverdi fra 1 901 til 3 200
- Risikoklasse 5 omfatter alle soner med tallverdi fra 3 201 til 10 000

Hvilken risikoklasse en sone kommer i vil være bestemmende for prioriteringen av denne sonen i det videre arbeidet med sikring mot skred, fase 3 av skredsikringsarbeidet. I det etterfølgende er det skissert et forslag til plan for videre aktivitet i sonene i Fase 3. Forslaget er basert på de forutsetninger som ligger til grunn for den foreliggende evalueringen. Ved nye inngrep (graving, oppfylling etc.) innen en sone, forutsettes det at påvirkningen på stabilitetsforholdene blir vurdert. I den forbindelse henvises til NGI rapport 80012-2 ”Rettledning ved små inngrep i/ved skråninger i kvikkleire”, datert 17. desember 1985. Forslaget til videre aktivitet er en faglig anbefaling basert på den kunnskap som foreligger om sonene.

Forslag til aktivitetsmatrise, fase 3:

Aktivitet	Risikoklasse			
	1/2	3	4	5
Grunnundersøkelser	Ingen	Kan være behov for mer pålitelig bestem. av faregrad: dreietrykk, CPTU og poretrykk.	Påkrevet for mer pålitelig bestem. av faregrad: dreietrykk, CPTU og poretrykk.	Påkrevet for mer pålitelig bestem av faregrad og stab.: dreietrykk, CPTU og poretrykk.
Stabilitetsanalyser	Ingen	Neppe	Kan være behov	Påkrevet
Tiltak	Ingen	Neppe	Kan være behov	Kan være behov

Grunnundersøkelser vil først og fremst være påkrevet for soner i risikoklasser 4 og 5. Resultatene av grunnundersøkelsene vil gi grunnlag for en mer pålitelig bestemmelse av faregrad, og således få avgjørende betydning for vurdering av behovet for gjennomføring av stabilitetsanalyser.

Stabilitetsanalysene kan avdekke behov for tiltak for å bedre stabilitetsforholdene.

Dimensjonering av tiltak vil normalt betinge supplerende grunnundersøkelser. Valg av tiltak vil variere med forholdene. Aktuelle tiltak kan for eksempel være: erosjonsbeskyttelse, stabiliserende motfylling, terrengavlastning eller grunnforsterkning. I noen tilfeller kan det også vise seg nødvendig å måtte foreta fraflytting.

7 VEILEDNING TIL TOLKNING/EVALUERING AV FELTOBSERVASJONER

For å kunne foreta en klassifisering av et mulig fareområde må området befares.

Befaring har i denne anledning tre hovedformål:

- Å kartlegge erosjonsforholdene i raviner
- Å registrere terrenginngrep i eller i nærheten av raviner
- Å vurdere fare for oppdemming/skade fra flombølge

7.1 Kartlegging av erosjonsforhold

Erosjonsforholdene er en av de viktigste faktorene for bestemmelse av faregraden for en sone. Det er derfor viktig at dette arbeidet utføres mest mulig enhetlig. I evalueringstabellen for faregrad (rapport 20001008-2, datert 31. august 2001, rev. 3) er ”erosjon” inndelt i fire kategorier. I det etterfølgende er det gitt veiledende kriterier for de ulike kategoriene:

Aktiv erosjon: Erosjon har utløst *skred* (dyperegående rotasjoner) eller store overflateglidninger i løpet av de siste årene. Det er lite eller ingen naturlig erosjonssikring i vassdraget. Vannet er misfarget grått.

Noe erosjon: Erosjon har utløst lokale *overflateglidninger* i løpet av de siste årene. Det er lite eller ingen naturlig erosjonssikring i vassdraget. Vannet er misfarget grått.

Litt erosjon: Det er leire i elve-/bekkeleiet. Gradientforholdene tilsier at erosjon kan oppstå. Det er ingen skred eller overflateglidninger i skråningene. Det er lite eller ingen naturlig erosjonssikring i vassdraget. Vannet kan være klart eller noe misfarget grått (ved normal vannføring).

Ingen erosjon: Det er naturlig erosjonsbeskyttelse i bunn og sider av elve-/bekkeleiet, eller det er lav naturlig gradient/terskler som gjør gradientforholdene så små at erosjon i leire ikke vil oppstå. Vannet er klart (ved normal vannføring).

7.2 Registrering av terrenginngrep i eller i nærheten av raviner

Terrenginngrep i eller i nærheten av ravineskråninger vil sterkt kunne påvirke stabiliteten/faregraden for en sone. Det er derfor av stor betydning at slike inngrep blir registrert og evaluert. I evalueringstabellen for faregrad (rapport 20001008-2, datert 31. august 2001, rev. 2) er ”inngrep” inndelt i fire kategorier. I det etterfølgende er det gitt veiledende kriterier for de ulike kategorier:

Stort inngrep: Endring av topografien slik at skråningshøyden er øket eller redusert med mer enn 4 m, eller at skråningshelningen er øket eller redusert med mer enn 20 %. Dette vil kunne omfatte bakkeplanering, bekkelukking eller utfyllinger.

Noe inngrep: Endring av topografien slik at skråningshøyden er øket eller redusert med 2 til 4 m, eller at skråningshelningen er øket eller redusert med 10-20 %. Dette vil kunne omfatte mindre bakkeplanering, bekkelukking eller mindre utfyllinger.

Lite inngrep: Endring av topografien slik at skråningshøyden er øket eller redusert med mindre enn 2 m, eller at skråningshelningen er øket eller redusert med mindre enn 10%. Dette vil kunne omfatte bekkelukking eller små utfyllinger. Likeledes vil denne kategori omfatte endring av hydrologiske forhold i skråningen, som for eksempel fjerning av vegetasjon, grøfting av myrer eller beplantning.

Ingen inngrep: Små lokale endringer eller utjevninger av terrenget, som for eksempel traktorveier, mindre planering i forbindelse med spredt boligbebyggelse etc., regnes i denne forbindelse ikke som inngrep.

7.3 Vurdering av fare for oppdemming/skade fra flombølge

Oppdemming av et vassdrag på grunn av skred og etterfølgende flombølge kan medføre store materielle skader og inngår derfor i evalueringen av konsekvens ved et skred. I evalueringstabellen for konsekvens (rapport 20001008-2 datert 31. august 2001, rev.2) er ”oppdemming/flo” inndelt i fire kategorier. I det etterfølgende er det gitt veiledende kriterier for de ulike kategorier. Kriteriene forutsetter at skredmassene vil kunne demme opp dalen/ravinen i et tilstrekkelig høyt nivå til at en flombølge kan oppstå:

Alvorlig: Oppdemmingen/flombølgen kan oversvømme områder med til sammen mer enn 5 boligheter eller områder med skole, barnehage.

Middels: Oppdemmingen/flombølgen kan oversvømme områder med til sammen mindre enn 5 boligheter eller områder med industribebyggelse.

Liten: Oppdemmingen/flombølgen kan oversvømme områder med vei, jernbane eller kraftnett. Flombølgen kan ikke oversvømme områder med boliger, skole, barnehage eller industribebyggelse.

Ingen: Oppdemmingen/flombølgen kan bare oversvømme områder uten bebyggelse og infrastruktur.

Hvorvidt skredmasser vil forårsake oppdemning av et vassdrag eller ikke vil være vanskelig å forutsi. Hvordan skredet vil utvikle seg i størrelse og hvordan skredmassene vil oppføre seg, vil være et resultat av et komplisert samspill

mellom en rekke faktorer. Like vanskelig kan det være å forutsi hvilke skader en oppdemming og etterfølgende flom vil medføre langs vassdraget. Det er derfor vanskelig å angi gode objektive kriterier for vurdering av faren for oppdemming/konsekvensen av flom etter et kvikkleireskred. Visse holdepunkter kan imidlertid settes opp til hjelp i vurderingen:

Kriterier som må være tilstede for at en demning skal kunne dannes:

- Volum skredmasse må være stor nok til å kunne demme opp dalen til et tilstrekkelig høyt nivå.
- En tilstrekkelig del av skredmassene må være lite sensitive.

Kriterier som kan medføre skade:

- Vannmagasinet er fullt før det er mulig å foreta tiltak for å senke kronehøyden på demningen (anta 5 års flom i vassdraget).
- Vannmagasinet er så stort at vannføringen etter dambruddet tilsvarer minst 50 års flom.
- Bebyggelse oppstrøms på nivå med vannspeilet (vannskader).
- Lett eroderbare masser langs elvebredden eller på partier som kan bli oversvømmet ved flombølge.
- Bebyggelse på kritiske områder nedstrøms (undergraving, vannskader eller skader fra flombølge).
- Veier/broer, jernbane eller kraftnettfundamenter på kritiske områder nedstrøms (undergraving eller skade fra flombølge).

En annen mulig følgeskade av oppdemming/flom etter et skred er at nye skred kan bli utløst. Dette gjelder på hele den berørte strekningen, både oppstrøms og nedstrøms demningen. Potensialet for en slik effekt må vurderes.

Det vil være liten fare for liv/skade på mennesker i forbindelse med oppdemming og etterfølgende flom. Tiden vil tillate nødvendig evakuering. De materielle skadene vil imidlertid kunne bli betydelige. Vekttallet er satt til 2.



7.4 Skjema for observasjoner ved befaring av faresoner

Kommune : Dato :
 Sone : Arbeid utført av(navn/firma) :
 Ansvarlig(sign.) :

Faktor	Observasjon/beskrivelse	Kategori (sett x)
Erosjon		Aktiv Noe Litt Ingen
Inngrep		Stort Noe Lite Ingen
Flombølge/ oppdemming		Alvorlig Middels Liten Inge
Andre forhold		

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Oppdragsgiver/Client NVE Kontraksreferanse/ Contract reference Kontrakt nr.: 1/2000 Prosjekt nr.: V0500	Dokument nr/Document No. 20001008-2 Rev. 3 Dato/Date 8 oktober 2008
Dokumenttittel/Document title Program for økt sikkerhet mot leirskred Metode for klassifisering av faresoner, kvikkleire Prosjektleder/Project Manager Odd Gregersen Utarbeidet av/Prepared by Odd Gregersen	Distribusjon/Distribution <input type="checkbox"/> Fri/Unlimited <input type="checkbox"/> Begrenset/Limited <input type="checkbox"/> Ingen/None
Emneord/Keywords Hazard, mapping, quick clay slide, probability.	
Land, fylke/Country, County Kommune/Municipality Sted/Location Kartblad/Map UTM-koordinater/UTM-coordinates	Havområde/Offshore area Feltnavn/Field name Sted/Location Felt, blokknr./Field, Block No.

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

Kon- trollert av/ Reviewed by	Kontrolltype/ Type of review	Dokument/Document		Revisjon 1/Revision 1		Revisjon 2/Revision 2	
		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed		Kontrollert/Reviewed	
		Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.	Dato/Date	Sign.
KK	Helhetsvurdering/ General Evaluation *	08.10.08	<i>lll</i>				
	Språk/Style						
KK	Teknisk/Technical - Skjønn/Intelligence - Total/Extensive - Tverrfaglig/ Interdisciplinary	08.10.08	<i>lll</i>				
	Utforming/Layout						
OG	Slutt/Final	08.10.08	<i>og</i>				
	Kopiering/Copy quality						

* Gjennomlesning av hele rapporten og skjønnsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform/
On the basis of an overall evaluation of the report, its technical content and form of presentation

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 08.10.08	Sign.
--	------------------------------	------------------

