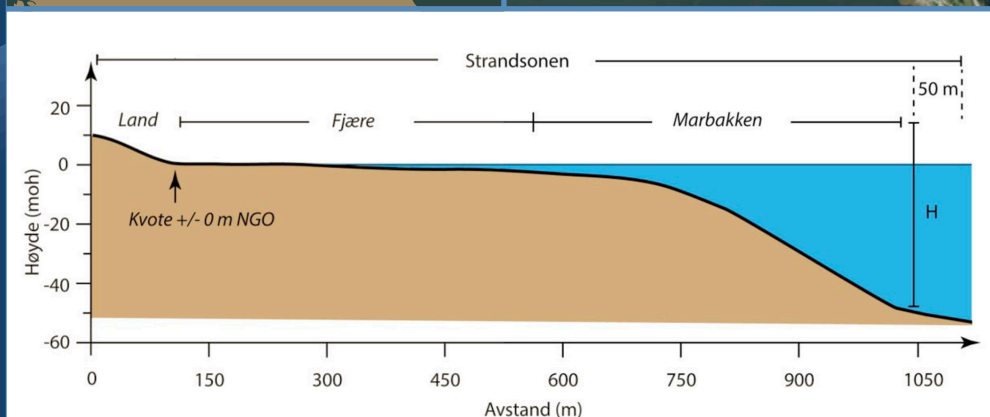




Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire

Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen

26
2013



R
A
P
P
O
R
T

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen

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

2013

Rapport nr. 26/2013

Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen

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

Utarbeidet av: Norges Geotekniske Institutt (NGI)

Forfatter: Jean-Sebastien L'Heureux

Dato: 8.4.2013

Opplag: P.O.D.

ISBN:

Sammendrag: Etatene Statens vegvesen (SVV), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Jernbaneverket (JBV) har, gjennom etatssatsningsprosjektet Naturfare - Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS) et delprosjekt (DP6) som omhandler kvikkleire. Fra NGI er det bestilt en rapport med hensikt å vurdere kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen. Rapporten presenterer også et forslag til metode, basert på dagens metodikk for landområder, for hvordan "sjøspesifikke" forhold skal "bygges inn" i tidligere "landspesifikk" metode for faregradsvurdering (potensiell fare). For øvrig gjennomgår rapporten tidligere etablert metodikk, med et "kritisk" blick til de implikasjoner som følger av at man nå vurderer skred som går utenfor "strandlinja".

Emneord: Kartleggingsgrunnlag, kvikkeire, strandsonen

Forord

NIFS-prosjektet er et felles satsningsområde mellom Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen.

Prosjektperioden er definert som 2012 – 2015. Planlagt budsjett på 42 millioner i perioden.

Stort fokus på intern kompetanse og faglig utvikling bidrar i tillegg med anslagsvis 30 årsverk fra etatene i samme periode. Prosjektet er allerede i leveransefasen, 7 delprosjekter er etablert, og opp i mot 100 medarbeidere i de tre etatene er involvert i større eller mindre grad.

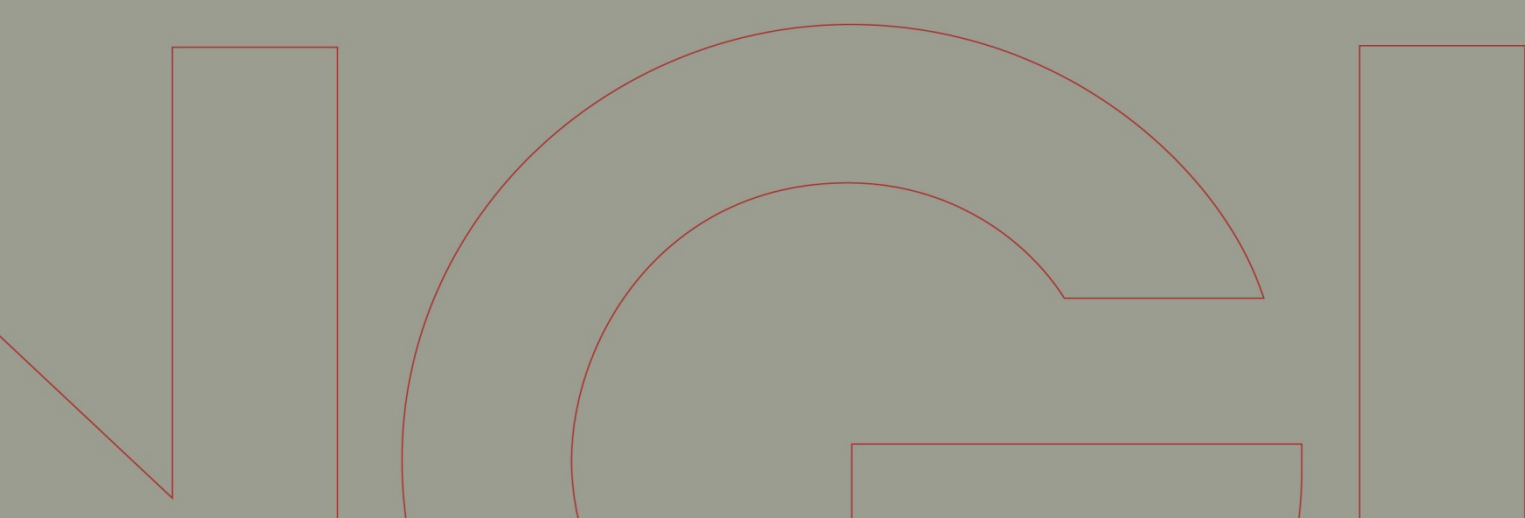


Rapport / Report

NIFS N-6.3.1

Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen

20120754-01-R
1. desember 2012
Rev. nr.: 0



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

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

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

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



Prosjekt

Prosjekt: NIFS – N.6.3.1
Dokumenttittel: Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen
Dokumentnr.: 20120754-01-R
Dato: 1. desember 2012
Rev. nr./rev. dato:

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Sluppen
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: NIFS
Kontaktperson: Einar Lyche
Kontraktreferanse: Kontrakt 2012-08-20

For NGI

Prosjektleder: Jean-Sebastien L'Heureux
Utarbeidet av: Jean-Sebastien L'Heureux
Kontrollert av: Ragnar Moholdt

Sammendrag

Denne rapporten presenterer en vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen som en del av etatsatningsprosjektet Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS). Rapporten gir en oversikt over skredproblematikken i strandsonen og foreslår en definisjon av strandsonen i skredkartleggingssammenheng. Aktuelle metoder for sjøbunns-kartlegging er presentert med et fokus på å synliggjøre eksisterende data. Det presenteres et forslag til metode for skredkartlegging i strandsonen som kombinerer land og sjø aspekter, og som er basert på det nåværende kvikkleirekartleggingsprogrammet. Meningen er å få til et helhetlig verktøy for vurdering av skredfare i strandsonen og på land. Rapporten beskriver til slutt videre FOU aktiviteter for å forbedre dagens kartleggingsmetodikk i strandsonen. Bedre forståelse av kvikkleirens utvikling og utstrekning i strandsonen er vesentlig. Det pekes på behovet for en reevaluering av flere tidligere kartlagte kvikkleirefasesoner i strandsonen. Dette er for å kunne forbedre vektlegging av skredfaktorere, og for å gi en representativ fordeling av faresonene landet rundt.

Innhold

1	INNLEDNING	5
2	STRANDSONEN I SKRED SAMMENHENG	6
3	LØSMASSE OG UTSTREKNING AV KVIKKLEIRE I STRANDSONEN	7
4	HISTORISKE SKREDHENDELSER I STRANDSONEN	12
	4.1 Hvor inntreffer skredene?	12
	4.2 Hvordan og når blir skredene utløst?	18
	4.3 Skredmorfologi og skredmekanisme	19
5	VERKTØY OG METODER FOR Å KARTLEGGE LEIRAVSETNINGER OG TOPOGRAFII I STRANDSONEN	23
	5.1 Grunnundersøkelser i strandsonen	23
	5.2 Batymetriske data fra båt	23
	5.3 Flybåren batymetriske lidar teknologi (SHOALS systemer)	27
	5.4 Andre relevante metoder	29
6	FORSLAG TIL METODE FOR SKREDKARTLEGGING I STRANDSONEN	31
	6.1 Identifisering av faresoner	32
	6.2 Utredning av potensiell skredfare	33
	6.3 Vurdering av reel skredfare	38
	6.4 Konsekvens og risikovurdering	39
7	EKSEMPELPÅ EVALUERING AV FAREGRADEN I STRANDSONEN	41
	7.1 Faresonen Strømmen, Rissa, Sør-Trøndelag	41
	7.2 Faresonen Naust, Rissa, Sør-Trøndelag	43
	7.3 Faresonen ved Finneidfjord i Hemnes kommune	45
8	DISKUSJON OG FORSLAG TIL VIDERE FOU-OPPGAVER I NIFS47	
9	KONKLUSJON	49
10	REFERANSER	50
	VEDDLEGG A	56
	VEDDLEGG B	57
	VEDDLEGG C	58

Kontroll- og referanseside

1 INNLEDNING

Etatene Statens vegvesen (SVV), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Jernbaneverket (JBV) har tildelt NGI en rammeavtale under etatsatsningprosjektet Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS), delprosjektet 6 som omhandler tema Kvikkleire. Hovedmålsettingen med NIFS-prosjektet er og "Samordne retningslinjer og forbedre verktøy for geoteknisk prosjektering i kvikkleireområder". Innenfor denne rammeavtalen er det gjort avrop på en deloppgave med tittelen "Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen". Delprosjektet tar blant annet sikte på å komme fram til anbefalte metoder for kartlegging av kvikkleire i strandsonen, samt å synliggjøre eksisterende data om sjøbunnens topografi for å gjøre bedre og mer helhetlige stabilitetsvurderinger i strandsonen. Det må gjøres en vurdering av aktuelle metoder i et kostnadsnytteperspektiv med tanke på supplerings av dagens metoder for kartlegging av regionale kvikkleiresoner, herunder metoder for systematisk vurdering av fare i strandsonen.

Denne rapporten tar utgangspunkt i resultater fra flere forskningsprosjekter som har fokusert på strandsoneproblematikk i Norge de siste 10 årene og hvor flere institusjoner har bidratt gjennom den International Centre for Geohazards (ICG). Hovedresultatene fra disse prosjektene er presentert i denne rapporten med hensyn til å forbedre den nåværende kartleggingsmetodikken, spesielt med fokus i strandsonen.

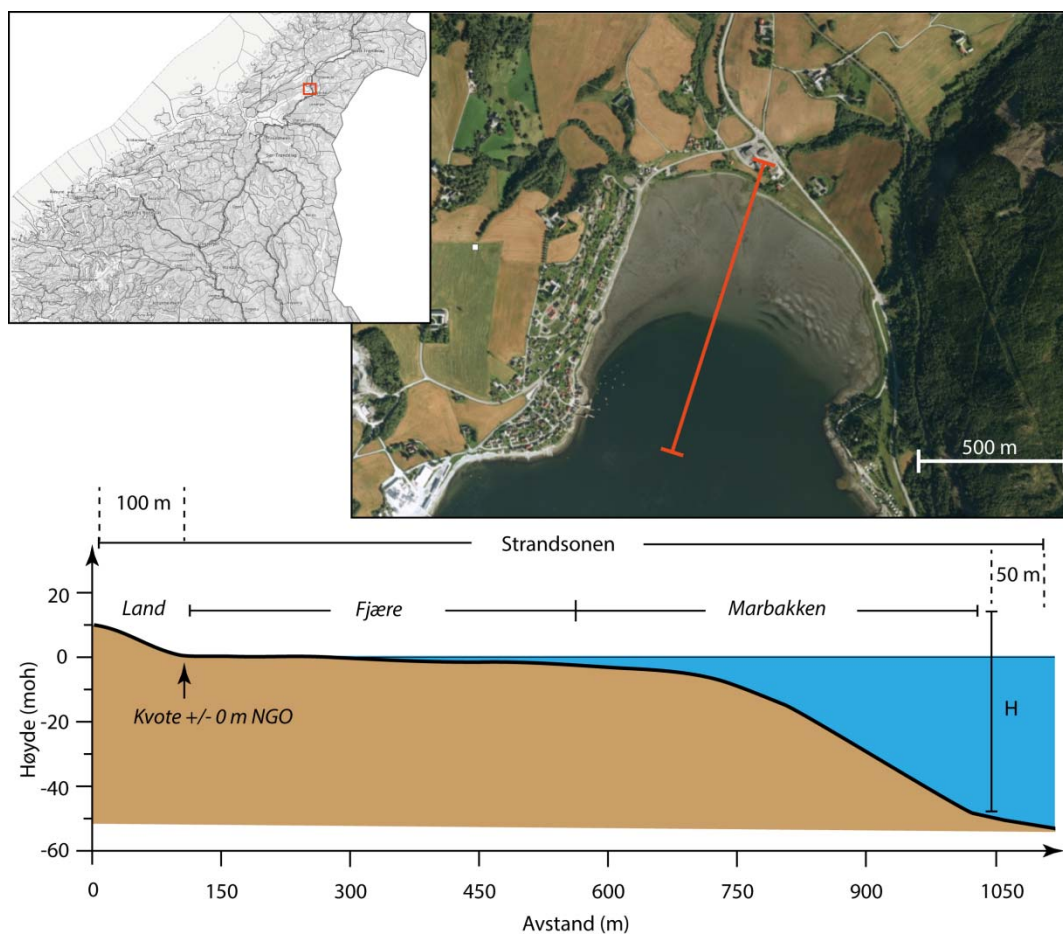
Rapporten er utarbeidet ved at hver av deltakerne i prosjektgruppen har bidratt med innspill gjennom oppstartsmøter og diskusjonsmøter gjennom prosjektperioden. Følgende personer har deltatt i prosjektgruppen:

Einar Lyche – NVE (kontakt person for NIFS)
Ragnar Moholdt – NGI
Vidar Gjelsvik – NGI
Jean-Sebastien L'Heureux – NGI (delprosjektleder)

Første del av rapporten beskriver vår forståelse av strandsonen i skredkartleggingssammenheng. En oversikt for typiske leiravsetninger og utstrekning av kvikkleire i strandsonen er også presentert. Basert på studien gjort av L'Heureux et al. (2011a), en oversikt over 32 historiske skredhendelser i strandsonen brukes deretter for å diskutere hvilke områder er mest utsatt for skred i strandsonen. Databasen gir også viktig informasjon med hensyn til skredmekanismer, utløsningsfaktorer og andre faktorer å ta hensyn til i forhold til skredkartlegging i strandsonen. Aktuelle metoder for sjøbunnkartlegging er presentert i Kapittel 5. Her har man fokusert på å vise hvilke data er tilgjengelig per i dag og hvor disse kan fremskaffes.

Andre del av oppgaven presenterer parametre som bør inngå i en fremtidig skredfaresonerings i strandsonen basert på nåværende kvikkleire kartleggingmetodikken (Gregersen 2008). Eksempler på faresonerings med bruk av

sjøbunnsdata er også presentert. Rapporten foreslår til slutt videre forskning- og utviklingsoppgaver som kan forbedre dagens kartleggingsmetodikk i strandsonen. Bedre forståelse av kvikkleirens utvikling og utstrekning i strandsonen er vesentlig. Det pekes også på en reevaluering av flere tidligere kartlagte kvikkleirefaresoner i strandsonen for å kunne forbedre vektlegging av skredfaktorere og for å gi en representativ fordeling av faresonene landet rundt (dvs. fra lav til høy fareklasse). Disse vurderingene vil kunne gi grunnlag for videre aktiviteter innenfor dette tema i løpet av NIFS prosjektperioden.



Figur 1: Eksempel på utstrekning av strandsonen ved Koa i Inderøy, Nord-Trøndelag.

2 STRANDSONEN I SKRED SAMMENHENG

Det finnes per i dag ingen klar definisjon av strandsonen når det gjelder skredproblematikk og skredkartlegging i Norge. I følge Miljøverndepartementet (1993) er strandsonen er definert som de land- og sjømråder som står i innbyrdes direkte samspill økologisk og/eller bruksmessig (Miljøverndepartementet 1993). Av dette følger at strandsonen kan ha ulik utstrekning og variasjon både når det gjelder terreng, økologi og menneskelige bruksmåter. Det samme gjelder strandsonen sett i sammenheng med skred og naturfare. Her må man se på de land- og sjømråder

langs kystlinjen som kan påvirkes av løsmasseskred. Strandsonen vil dermed ha forskjellige utstrekning avhengig av terrenget, geologi og løssmasse type, og vil inkludere land- og sjø-områder. Likevel, og av praktiske hensyn, kan det være aktuelt å avgrense stabilitetsproblematikken for strandsonen inntil ca. 100 m innenfor strandlinja (kote \pm 0 NGO). Avgrensning utover i sjøen vurderes med henblikk på hvor langt ute et potensielt undervannsskred som kan berøre land-arealer kan starte. Der marbakken er markert, kan en naturlig avgrensning ligge for eksempel ca 50 m utenfor foten av marbakken. Der hvor marbakken ikke er markert, kan man bruke en helningsgrense lik 1/15. Eksempelet av Koa i Inderøy, Nord-Trøndelag, viser at en slik definisjon medfører et langt strandsonerområde i tilfeller hvor det er grunnlangt (Figur 1).

3 LØSMASSE OG UTSTREKNING AV KVIKKLEIRE I STRANDSONEN

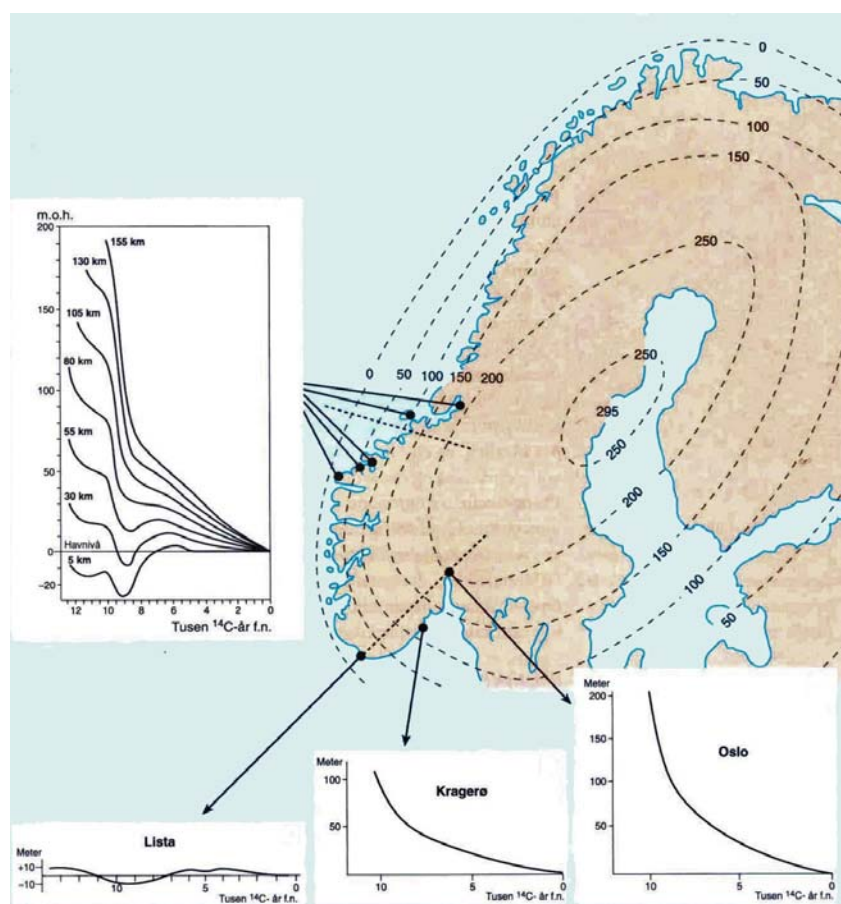
Leiravsetningene i strandsonen som fortsetter utover i sjøen er som regel normal konsolidert og ofte overdekket av grovere masser ved strandlinjen, noe som kan gi et falsk inntrykk av grunnforholdene. I likhet til marine avsetninger på land, ble store deler av leiravsetningene i strandsonen også avsatt i sjøen under og etter siste istid (marin avsetninger). Leirpartiklene i sjøvann flokkulerer, noe som gir en åpen struktur når de avsettes på sjøbunnen som marin leire (korthusstruktur). Etter hvert som isen trakk seg tilbake førte landhevingen til en senkning av relativt havnivå i Norge. Undersøkelser viser at den største landhevingen i Norge skjedde fra de østre deler av Østlandet og Trøndelag (Figur 2). Også omkring indre del av Oslofjorden er landhevingen markant. Her stiger landet med fire mm/år. Den minste landhevingen i Norge er på Sør-vestlandet, der det er litt negativ landheving.

Når arealene med marin leire heves over havnivå, eller like ved, blir de utsatt for gjennomstrømming av fersk grunnvann. Med tiden fører grunnvannstrømming til at salt porevann blir erstattet med ferskvann, og kvikkleire dannes. Siden leire er lite permeabel vil utvaskingen ta lang tid, og det vil kunne ta flere hundre / tusen år før leira blir kvikk. Likevel vil deler av en leiravsetning kunne utvikle kvikkleire i soner / lommer raskere i områder på grunn av geologiske og topografisk forhold som øker grunnvannsgjennomstrømmingen; nær berggrunnen, nær overflata hvor den hydrologiske grunnvannsgradienten er stor (f.eks. i skråninger), ved artesiske grunnvannsforhold og i soner hvor leira er gjennomsatt av silt-/sand-/gruslag (lagdelt) (Figur 3). Leiravsetningene i strandsonen er også utsatt for gjennomstrømming av ferskt grunnvann som alltid er på veg fra høyreliggende områder ned mot innsjøer og mot havet. Kvikkleire kan dermed oppstå ute i sjøen (Figur 3).

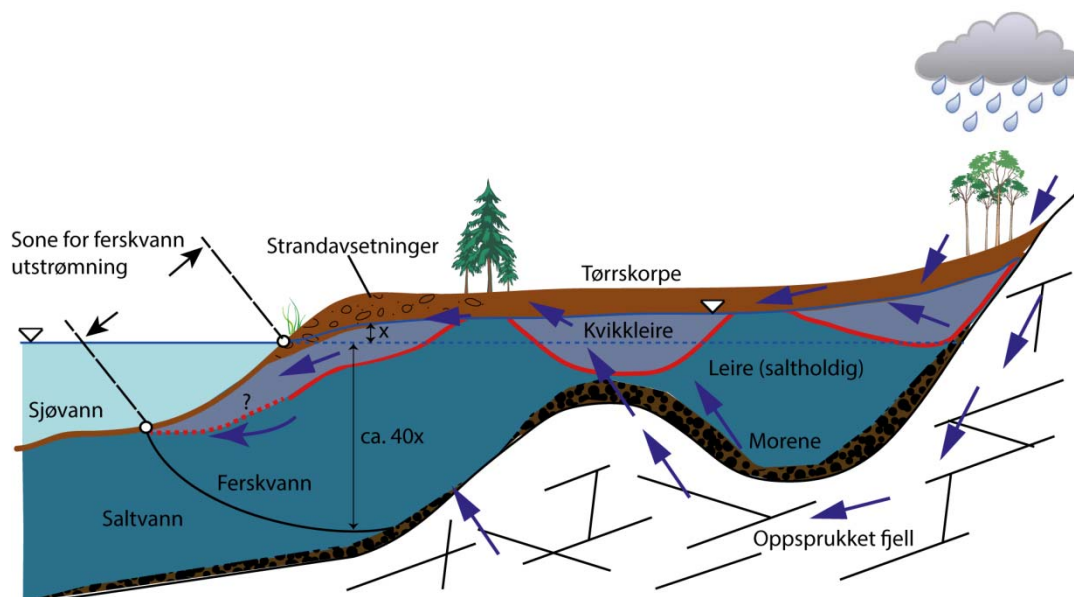
I tillegg til de nevnte faktorene ovenfor, er utvasking av leire i strandsonen sterkt påvirket av saltkonsentrasjonen i fjorden. Forholdene i fjordens vannmasser vil representere en balanse mellom to vann typer; ferskvannet som tilføres fra land og saltvann utenfra (kyst- og havvann). Ferskvannstilførselen varierer med årstid og nedbørmengde. Om sommeren får man et lag med lite salt vann øverst. Oftest er

ferskvannstilførselen størst innerst i fjorden, og saltholdigheten i overflaten vil da øke utover i fjorden. Ferskvannet føres ut av fjorden i en overflatestrøm. Samtidig opptrer det en innoverrettet strøm, kompensasjonsstrøm, noe dypere. I grunne områder, som for eksempel bukter eller langs grunn fjære, vil man ofte måle lavere saltinnhold i vannmassene enn ellers i fjordene, på grunn av tilsig fra grunnvann, bekker og elver.

I de aller fleste typer strandsoner vil grunnvannstrømning (ferskvann) forekomme hele året siden grunnvannspeilet på land er høyere enn havnivå (Figur 3). Ghyben-Herzberg-tilnærmingen tilsier i slike tilfeller at dybden til grensesnittet mellom fersk- og saltvann er ca. 40 ganger høyden til grunnvannspeilet på land. Faktoren kommer fra tetthetsforskjellen mellom salt og fersk vann. I teorien tilsier dette at en heving av grunnvannspeilet forsterkes med en faktor av 40 for dybden til grensesnittet. Utstrømning av ferskt grunnvann kan dermed forekomme over stor distanse i strandsonen. Andre faktorer, som for eksempel lagdeling, vil også bidra vesentlig til ferskg grunnvannstrømning gjennom sedimentene ute i sjøen.



Figur 2: Oversikt over landhevning i Norge (fra Andersen 2000).

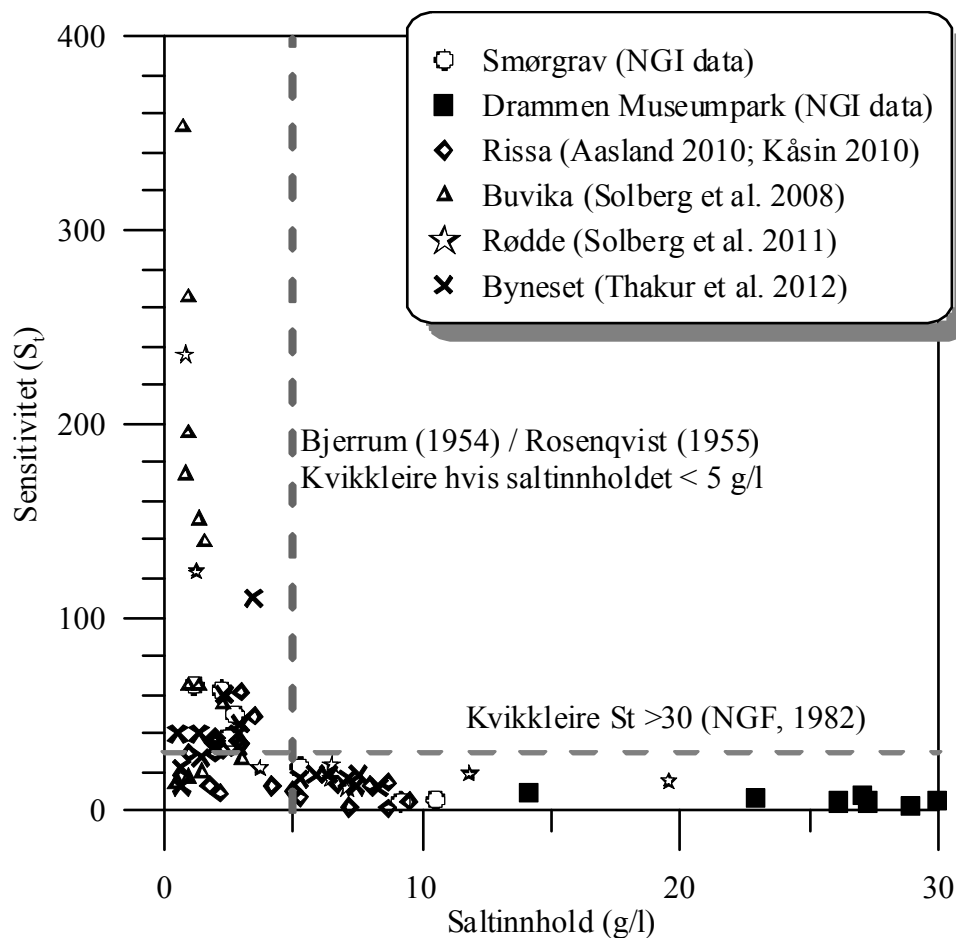


Figur 3: Skjematiske modell som viser soner hvor kvikkleire kan oppstå.

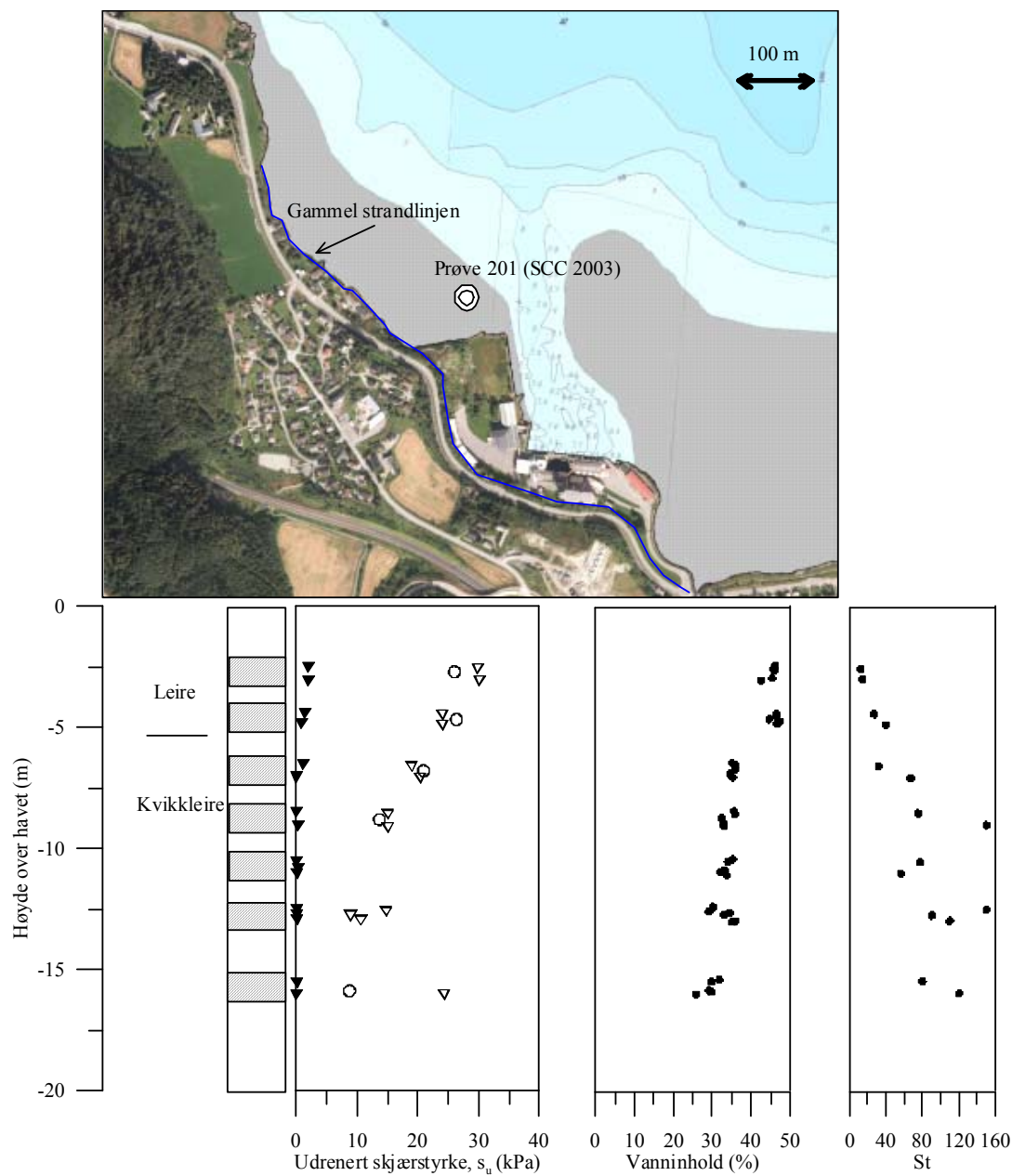
Utvasking av saltinnholdet i flokkulert marin leire svekker de elektrokjemiske bindingskreftene kontaktpunktene mellom leirpartiklene, og fører til en ”metastabil” struktur som kan kollapse som følge av ekstern påkjenning. Så lenge saltinnholdet er i behold vil leiregenskapene være normale. Tidligere har flere forfattere, som for eksempel Bjerrum (1954) og Rosenqvist (1955), vist at hvis saltinnholdet vaskes ut fra porevannet og kommer under en grense på 5 g/l, vil bindingskreftene bli svekket, korthusstrukturen bli mer ustabil og det kan på den måten dannes kvikkleire. Senere har Torrance (1975) foreslått en grense på 2 g/l, mens Andersson-Sköld et al. (2005) målte et saltinnhold i størrelsesorden 5,6 g/l i svensk kvikkleire. Forholdet mellom sensitivitet og saltinnholdet for flere norske kvikkleirer er presentert i Figur 4. Dataene viser at en øvrig grense på 5 g/l er konservativ for dannelse av kvikkleire som definert av NGF (1982). Dataene viser også at en leire med sprøbrudd-egenskaper [St>15; NVE (2009)] kan oppstå ved høyere saltinnhold (opptil 19 g/l på Figur 4). Forutsetningene for å oppnå sprøbrudd-egenskaper i marine avsetninger kan dermed være at man trenger minst en tredjedelsreduksjon av opprinnelig saltinnhold i porevannet.

Grunnet store kostnader for grunnundersøkelser i sjøen er ikke utstrekning av kvikkleire i strandsonen vel dokumentert. Helle (2006) og Devoli (2009) samlet inn data fra grunnundersøkelser gjort av Statens Vegvesen og NGI, og viste at kvikkleire kan oppstå opptil ca. 120 m utenfor strandlinjen. Et av problemene med studien er likevel at tolkningen for det meste er basert på resultater fra total- og dreietrykksonderinger. Med slike undersøkelser kan man lett tolke løst lagret silt eller sand som kvikkleire, og slike løst lagrede masser er vanlig i strandsonen. Ved hjelp av prøvetaking er kvikkleire påvist utenfor strandlinjen kun noen få steder i Norge. Et eksempel er vist fra Buvika i Figur 5. Resultater fra prøvetakingen viser her at kvikkleiresonen strekker seg minst 100 m utenfor den tidligere strandlinjen. Andre kjente områder hvor det er funnet kvikkleire i strandsonen og over 100 m ute i sjøen er Ilsvika i Trondheim, langs Orkdalsfjorden, Bangsund ved Namsos og

Finneidfjord i Nordland. Felles for disse områdene er topografiske forhold på land (dvs. bratte fjellsider) som har ført til økt grunnvannsgjennomstrømningen i strandsonen, utvasking av saltinnholdet i leiravsetninger og dannelse av kvikkleire ute i sjøen.



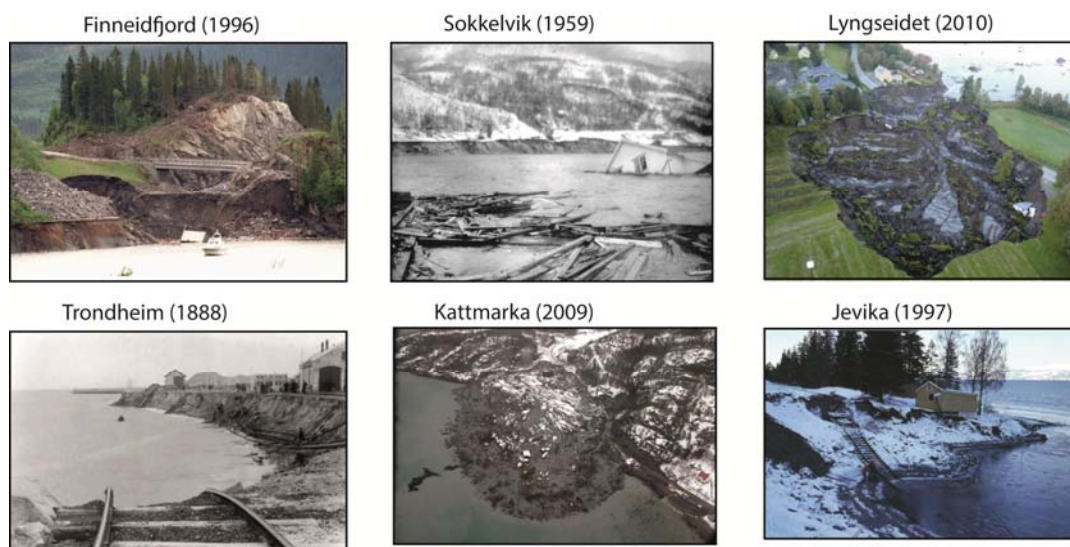
Figur 4: Sensitivitet og saltinnhold i porevannet ved flere norske kvikkleire områder.



Figur 5: Resultat fra prøvetaking i Buvika, Sør-Trøndelag, som viser kvikkleire opptil ca. 100 m utenfor strandlinjen (data fra SCC 2003)

4 HISTORISKE SKREDHENDELSER I STRANDSONEN

Flere av de største og mest ødeleggende kvikkleireskredene i Norge de siste årene har vært initiert i strandsonen (Figur 6). Eksempler på dette er skredene ved Sokkelvik (1959), Rissa (1978), Balsfjord (1988), Finneidfjord (1996), Kattmarka (2009) og Lyngseidet (2010). Årsaken til slike skred er ofte koblet mot menneskeaktivitet i strandsonen, men det er ikke all menneskelig aktivitet som fører til skred. Forutsetningene er mange og en kombinasjon av flere faktorer er som regel nødvendig for at skred skal oppstå. L'Heureux et al. (2011a) samlet informasjon om 32 historiske skredhendelser som har forekommet i strandsonen i Norge for å studere årsak til skred, skredmekanisme i strandsonen og linker mellom skred og flodbølger. Dataene er vist i Tabell 1. Tabellen er bygd på grunnlag av tilgjengelig geomorfologisk, geologisk og geoteknisk informasjon hentet fra litteratur, skrednett og fra nyere kartlegging utført av NGU og Sjøkartverket. Alle skredene i tabellen har oppstått i løsmasser (dvs. leire, silt og/eller sand), og har enten blitt utløst rett ved strandlinjen, eller på sjøbunnen, og deretter forplantet seg inn på land. For de fleste skredene gir datamaterialet muligheten til å beregne skredvolum, skråningsvinkel (før og etter skredet), utløpsdistanse, og retrogresjon på land. Til sammen viser dataene at mer enn 35 personer er omkommet på grunn av skred i strandsonen i Norge de siste 175 år.



Figur 6: Eksempler fra historiske skred i strandsonen i Norge.

4.1 Hvor inntreffer skredene?

Fordeling av de 32 skredene fra Tabell 1 er visst i Figur 7. Det er viktig å poengtere at dataene bare delvis representerer skredprosessene i strandsonen. Beskrivelsen av en skredhendelse er ikke nødvendigvis fullstendig og noen områder er blitt undersøkt i større grad enn andre (på grunn av økonomiske interesser). Skredhendelser som berører menneskelige aktiviteter er også mer grundig registrert enn andre og vil bli overrepresentert.

Figur 7 viser at skredhendelsene er konsentrert fra Midt-Norge og nordover, og i Sørøst-Norge. Dette er områder med tykke marine avsetninger og forekomster av kvikkleire. De historiske skredene i strandsonen er ofte knyttet til kvikkleire. Det er også interessant å se at det er registrert mange flere hendelser fra Midt-Norge og nordover. Dette kan skyldes mange faktorer, som for eksempel lagdeling, type leire, topografi, osv. En av grunnene kan også være knyttet opp til landhevningshistorien. I følge Andersen (2000) er landhevningssraten i de nordlige deler av Norge lavere enn sørover (Figur 2). Dette innebærer at leiravsetningene blir stående over lengre tid i strandsonen enn tilsvarende avsetninger sørover. Det vil dermed være mer tid for grunnvannsgjennomstrømningen og saltutvasking, og større mulighet til å utvikle kvikkleire.

Skredhendelsene fra Tabell 1 er delt ut med hensyn til type strandlinje (dvs. bukter, deltaer og bratte fjordvegger) på Figur 7b. Mesteparten av skredene i strandsonen forekommer i bukter og vikler (68 % av tilfellene) hvor man som regel finner tykkere marine avsetninger. Skredene forplanter seg også lengst inn på land i slike områder (Figur 8B). Saltinnholdet i vannmassene i grunne vikler og bukter er lavere enn andre steder i fjorden (kap. 3). Dette vil over lengre tid øke muligheten for dannelse av kvikkleire og dermed øke faren for skred i forhold til andre type strandsoner. Skredprosesser er også vanlige på aktive deltaer (14 % av tilfellene), men der finnes det få eksempler på skred som har forplantet seg langt inn på land eller påvirket områder nærme strandlinjen. Hovedgrunnen til dette er at leiravsetningene i deltaområder ofte er overdekket av grovere sedimenter (sand og grus) noe som begrenser skredutviklingen (Figur 8B; L'Heureux et al. 2010a). I 20 % av tilfellene har skredene blitt utløst langs sideveggene til en fjord. Her er det som regel grunt til fjell og skredene vil være mindre enn i bukter og vikler. Det er viktig å presisere at skillet mellom ulike typer strandlinjer kan være vanskelig å vurdere.

De innsamlede data viser at skredprosessene til en viss grad er styrt av skråningsvinkel i strandsonen. Gradienten i områder hvor skredene har blitt utløst varierer fra 12–21° med et gjennomsnitt på 16,7° og en standardavvik på 3,12°.

Erosjon langs bekker og elver er en kjent skredutløsningsmekanisme for kvikkleireskred på land. Erosjon vil også forekomme i områder hvor elver og bekker strømmer ut i innsjø eller fjord (Bøe et al. 2003, L'Heureux et al. 2009, L'Heureux et al. 2011a, Hansen et al. 2011a). Forutsetningene for dette er at tettheten av vannmassene som kommer fra bekken eller elven er høyere enn saltvannet i fjorden. Dette vil, for eksempel skje i flomperioder. Mer enn 55 % av skredene presentert i Tabell 1 initierte ved utløpet av bekker/elver og hvor erosjon kan ha bidratt til destabilisering av skråningene (Figur 10-11).



Dokumentnr.: 20120754-01-R

Dato: 2012-12-01

Rev. nr.: 00

Side: 14

Tabell 1: Oversikt over historiske skredhendelser i strandsonen (data fra L'Heureux et al. 2011a).

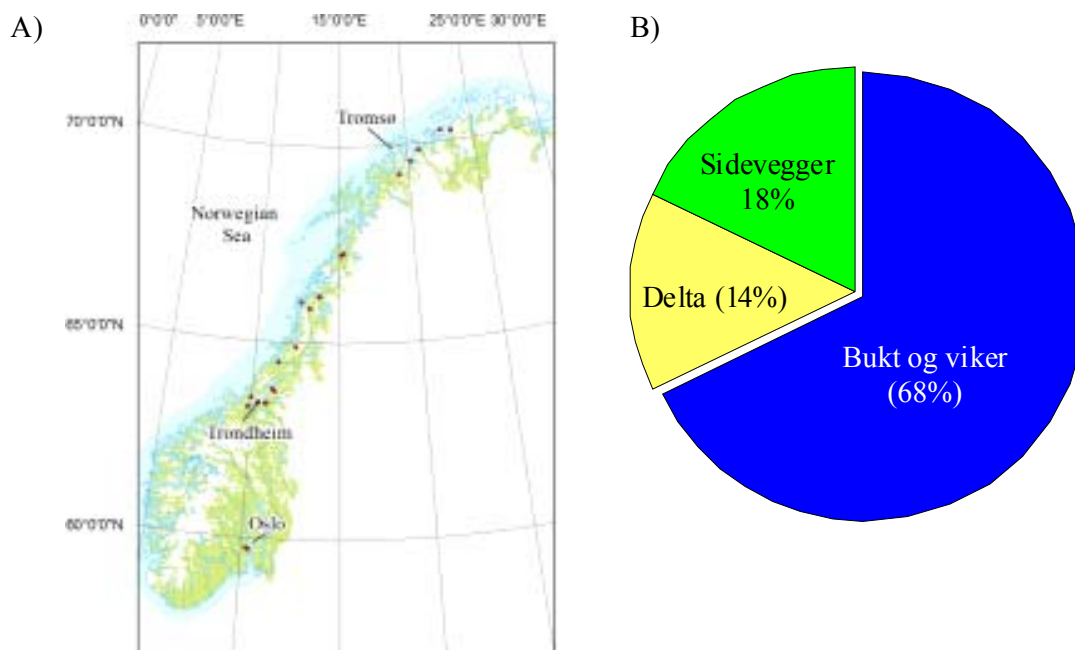
Nr.	Lokalitet	Dato	Fylke	Omkomne	Utløsningsfaktor?	Type strandsonen	Flodbølge	Volum (x 10 ⁶ m ³)	Referanse
1	Drammensfjorden Hyggen	23.01.1978	Buskerud	0	Fylling	Bukt	–	0,5	Karlsruud (1979), Hansen mfl. (2011b)
2	Drammensfjorden Gullaug	29.11.1974	Buskerud	0	Fylling	Sidevegg	–	0,1	Karlsruud (1979), Hansen mfl. (2011b)
3	Lillebukt	16.06.1962	Finnmark	0		Bukt	–	?	Karlsruud (1979)
4	Lillebukt	??.10.1978	Finnmark	0		Bukt	–	?	Karlsruud (1979)
5	Mikkelsby	15.07.2002	Finnmark	0	Sprengning	Bukt	Ja, ukjent høyde	?	Furseth (2006)
6	Store Lerresfjord	14.03.1975	Finnmark	3		Bukt	2 m	0,1	Furseth (2006)
7	Gullsmedvika	??.10.1965	Nordland	0		Bukt	–	4	Karlsruud (1979)
8	Finneidfjord	??.01.1978	Nordland	0	Sprengning	Sidevegg	–	0,2	L'Heureux mfl. (2010b)
9	Finneidfjord	20.06.1996	Nordland	4	Fylling, sprengning, intens nedbør	Bukt	1-2 m	1	Gregersen (1999) Longva mfl. (2003); L'Heureux mfl. (2012a)
10	Finneidfjord	03.11.2006	Nordland	0	Sprengning	Sidevegg	–	0,2	L'Heureux mfl. (2010b)
11	Finnvika	31.08.1940	Nordland	0		Delta	Ja, ukjent høyde	1–2	Bjerrum (1971)
12	Sandnesjøen	01.06.1967	Nordland	0		Bukt	–	0,3	Karlsruud (1979)
13	Misvær	15.05.1975	Nordland	0		Sidevegg	–	?	Furseth (2006)
14	Klungset, Fauske	30.10.1921	Nordland	2		Bukt	–	>0,5	Furseth (2006)
15	Jevika	10.03.1997	Nord-Trøndelag	0		Bukt	–		NTNU
16	Bursbukta	23.04.1870	Nord-Trøndelag	7		Bukt	Ja, ukjent høyde		Furseth (2006)
17	Bursbukta	15.12.1943	Nord-Trøndelag	?		Bukt	–		Furseth (2006)



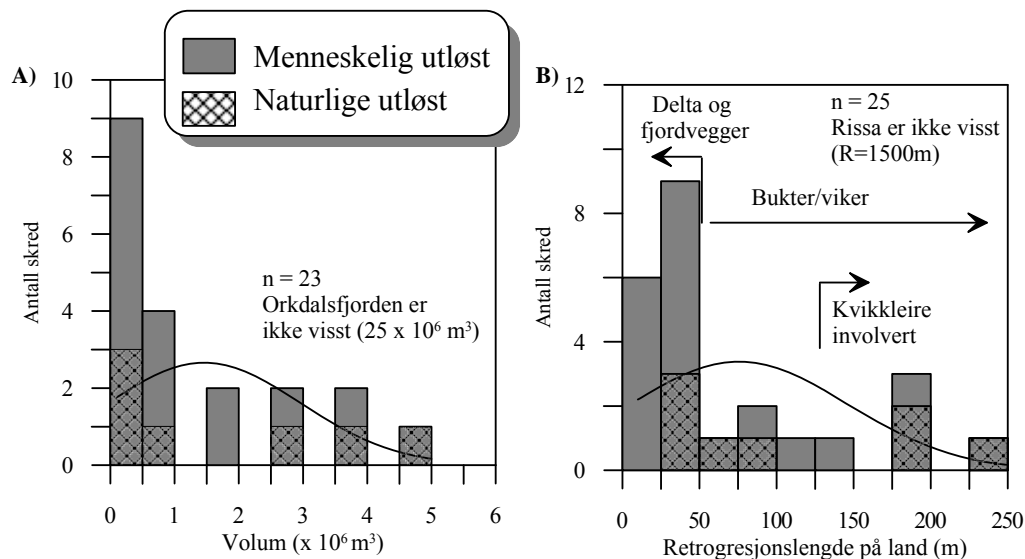
Dokumentnr.: 20120754-01-R
Dato: 2012-12-01
Rev. nr.: 00
Side: 15

Tabell 1 (forts.)

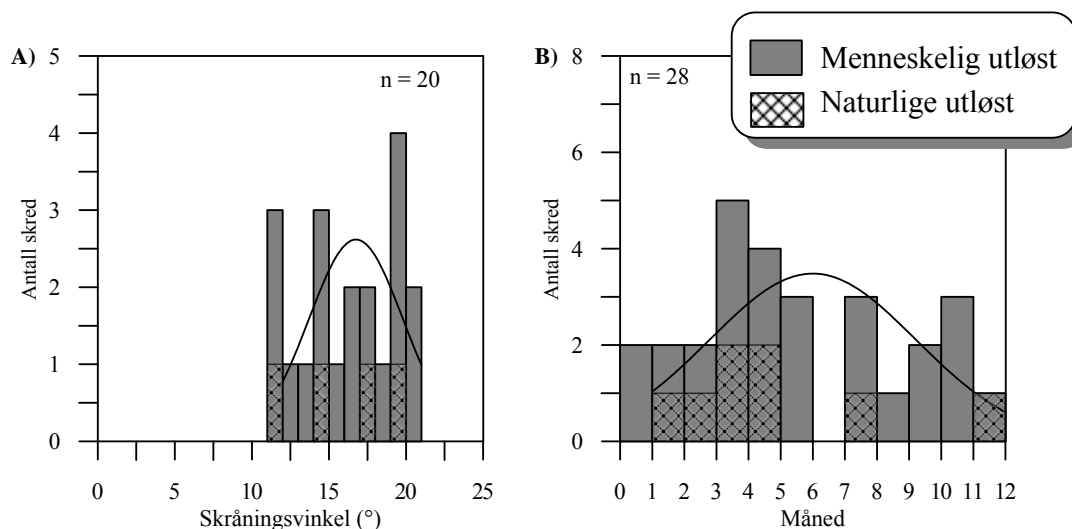
Nr.	Lokalitet	Dato	Fylke	Omkomne	Utløsnings-faktor?	Type strandsonen	Flodbølge	Volum (x 10 ⁶ m ³)	Referanse
18	Gustad, Levanger	23.02.1835	Nord-Trøndelag	4		Bukt	Ja, ukjent høyde	5	Furseth (2006)
19	Kattmarka	13.03.2009	Nord-Trøndelag	0	Sprengning	Bukt	–	0,4	Nordal mfl. (2009)
20	Staur på Frosta	22.08.1871	Nord-Trøndelag	0		Bukt	Ja, ? m	0,3	Furseth (2006)
21	Borgenfjorden	24.04.1937	Nord-Trøndelag	0			–	–	Furseth (2006)
22	Follafjorden	09.01.1952	Nord-Trøndelag	0		Delta	2 m	3–4	Bjerrum (1971)
23	Trondheim Havn	23.04.1888	Sør-Trøndelag	1	Fylling over lang tid, mye snø smelting	Delta	5–7 m	3–5	Bjerrum (1971); L'Heureux mfl. (2011b)
24	Trondheim Havn	08.10.1950	Sør-Trøndelag	0	Fylling	Bukt	Ja, ukjent høyde	3–5	Skaven-Haug (1955); L'Heureux mfl. (2010a),
25	Trondheim Havn	25.04.1990	Sør-Trøndelag	0	Fylling, sprengning og intens nedbør	Delta	–	6	Emdal mfl. (1996), L'Heureux mfl. (2007), (2010a)
26	Hommelvika	14.04.1942	Sør-Trøndelag	>2	Fylling	Bukt	–	1	Bjerrum (1971), L'Heureux mfl. (2010b)
27	Orkdalsfjorden	02.05.1930	Sør-Trøndelag	0	Fylling	Sidevegg/delta	Opptil 10 m	25	Bjerrum (1971); L'Heureux mfl. (2010b)
28	Rissa	29.04.1978	Sør-Trøndelag	1	Fylling og graving	Bukt	Opptil 7 m	6	Gregersen (1981), L'Heureux mfl. (2012b)
29	Muruvik	22.10.1961	Sør-Trøndelag	0		Sidevegg	–		Data fra JBV
30	Lyngen	03.09.2010	Troms	0	Fylling	Bukt	–	0,2	Skogholt & Roti (2010)
31	Sokkelvik	07.05.1959	Troms	9	Naturlig	Bukt	4 m	4	Karlsrud 1974
32	Balsfjord	24.08.1988	Troms	2	Fylling, graving	Bukt	5 m	1	Rygg & Oset (1996); Longva mfl. (1999)



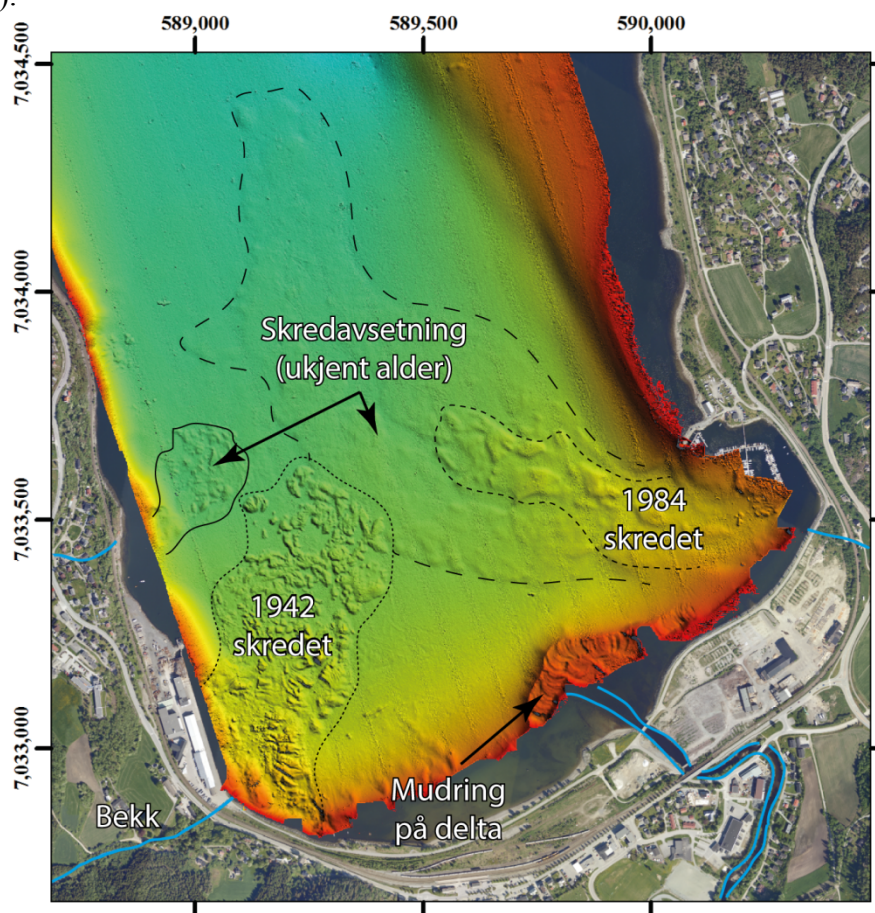
Figur 7: A) Oversikt over historiske skredhendelser i strandsonen i Norge, B) Skredhendelser fordelt på type strandlinje (etter L'Heureux et al. 2011a).



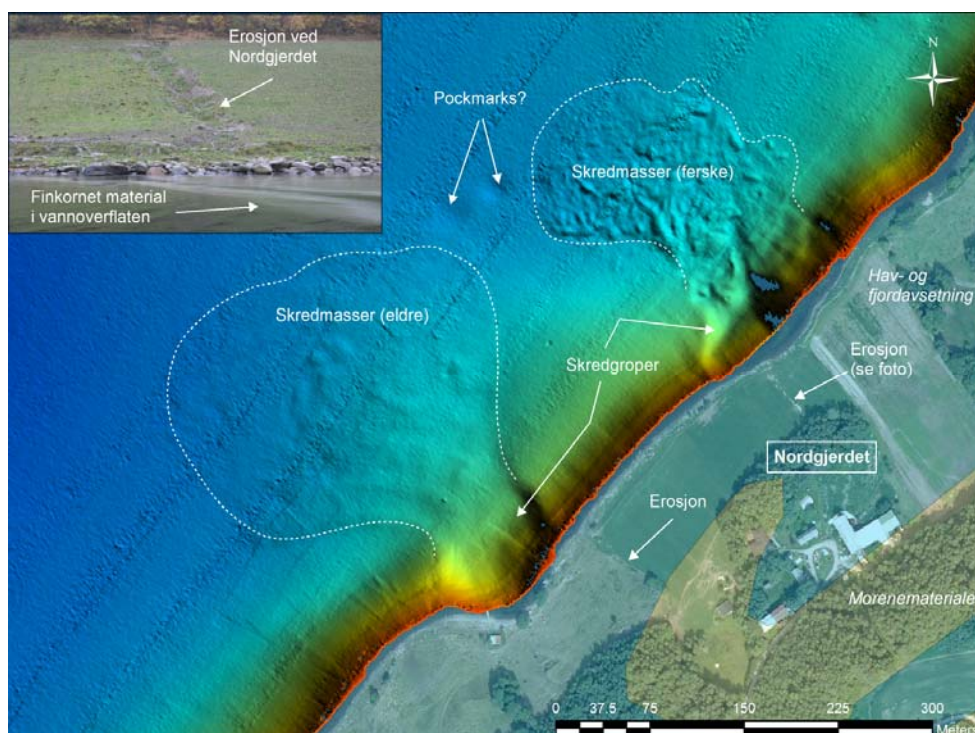
Figur 8: Histogrammer som viser A) Volumfordeling av historiske skredhendelser i strandsonen og B) Retrogresjonslengde. Histogrammene skiller mellom menneskelig og naturlige utløste skred (etter L'Heureux et al. 2011a).



Figur 9: Histogrammer som viser A) Skråningsvinkel i områder hvor historiske skred ble utløst og B) Tid på året da skredene ble utløst (etter L'Heureux et al. 2011a).



Figur 10: Eksempler på flere skredavsetninger ved utløpet av små bekker kartlagt i Hommelvika, Sør-Trøndelag. Noter at det ikke er noen skredavsetning ved utmunningen ved den største elva "Homla", men at det er registrert mudring (etter L'Heureux et al. (2010b).



Figur 11: Skred i strandsonen utløst utenfor bekker ved Nordgjerdet langs Botn i Rissa (L'Heureux et al. 2011c). Noter at det også er pockmarks på sjøbunn ved skredavsetningene.

4.2 Hvordan og når blir skredene utløst?

Mange naturlige faktorer kan føre til skred i strandsonen, som f. eks. erosjon, rask sedimentasjon, jordskjelv, tidevann, og bølger (Locat & Lee 2002). Menneskelige aktiviteter som fylling, mudring og sprengning i strandsonen er også vanlige årsaker til skred. Ut fra de 32 registrerte skredhendelsene i Tabell 1, er minst 16 (50 %) utløst av menneskelig aktivitet. Fjellsprengning foregikk for eksempel før de 3 historiske skredhendelsene i Finneidfjord (dvs. 1978, 1996 and 2006) (L'Heureux et al. 2010c). Det siste store skredet i Trondheim havn i 1990 ble også utløst kort tid etter sprengning og mens det foregikk fylling i strandsonen ved Ladehammeren (Emdal et al. 1996, L'Heureux et al. 2007). Skredet ved Kattmarka i 2009 er også knyttet opp mot sprengning (Nordal et al 2009).

I de fleste tilfeller er det vanskelig å peke på én enkel utløsningsfaktor for skred. Resultatene viser at det ofte er en kombinasjon av faktorer som er nødvendig for å utløse et skred. I mange tilfeller vil et skred bli utløst av menneskelig aktivitet pga. økt effektiv spenning og/eller økt poretrykk. De fleste store skredhendelser skjer på høsten eller våren og i perioder med lavvannstand (Figur 9B). Ser man bort fra 1930-skredet i Orkdalsfjorden, er skredvolumet på høsten og våren tre ganger så store som de ellers på sommeren og vinteren. Dette kan skyldes poretrykksforholdene pga. snøsmelting og nedbør på disse årstidene. Typiske eksempler på store skred i strandsonen etter lang varig nedbør er 1996-skredet i Finneidfjord og

1990-skredet ved Lade i Trondheim. En annen årsak til at det forekommer flere skred på våren er at det etter en lang vinter er mange byggeprosjekter som begynner på denne årstiden. Effekten av menneskelig aktivitet er også godt synlig på Figur 9B, hvor det viser seg at ingen skred er observert i ferie måneden juli.

4.3 *Skredmorfologi og skredmekanisme*

Skred langs norske fjorder har ofte en distinkt morfologi (L'Heureux et al. 2011a, Hansen et al. 2011, Hansen et al. 2012). I likhet med andre lignende offshore-miljø (f. eks. O'Leary 1991, Lastras et al. 2004, Bryn et al. 2005), er leiravsetninger langs fjordene sjelden homogene og skråningsbevegelser vil ofte følge spesifikke lag i stratigrafien. Dette resulterer i flakskred (translasjonsskred), som er den vanligste skredtypen i strandsonen. Skredgropen er som regel plan, parallell til den intakte sjøbunnstopografi, og omringet av en skredkant opp til noen titalls meter høy (Figur 13). Den plane overflaten samsvarer ofte med en distinkt og høyamplitude refleksjon på seismiske data, også kalt svake lag (Figur 13; se også Longva et al. 2003, L'Heureux et al. 2010, 2012, Vardy et al. 2012). Studier fra Finneidfjorden, Trondheimsfjorden og Orkdalsfjorden viser at svake lag langs norske fjorder ofte korrelerer med tynne, laminerte og bløte leirlag, i de ellers silt- og sandholdige unge Holosen-avsetninger. Som regel viser disse lagene lavere udrenert skjærstyrke, lavere omrørt skjærstyrke og høyere vanninnhold enn de omkringliggende sedimentene. L'Heureux et al. (2009) og Hansen et al. (2010) har vist at slike lag er avsatt i fjordene som følge av kvikkleireskred på land. Forutsetningene for å finne svake, leirholdige lag, slik beskrevet her, er derfor at det har gått forhistoriske kvikkleireskred i kildeområdet.

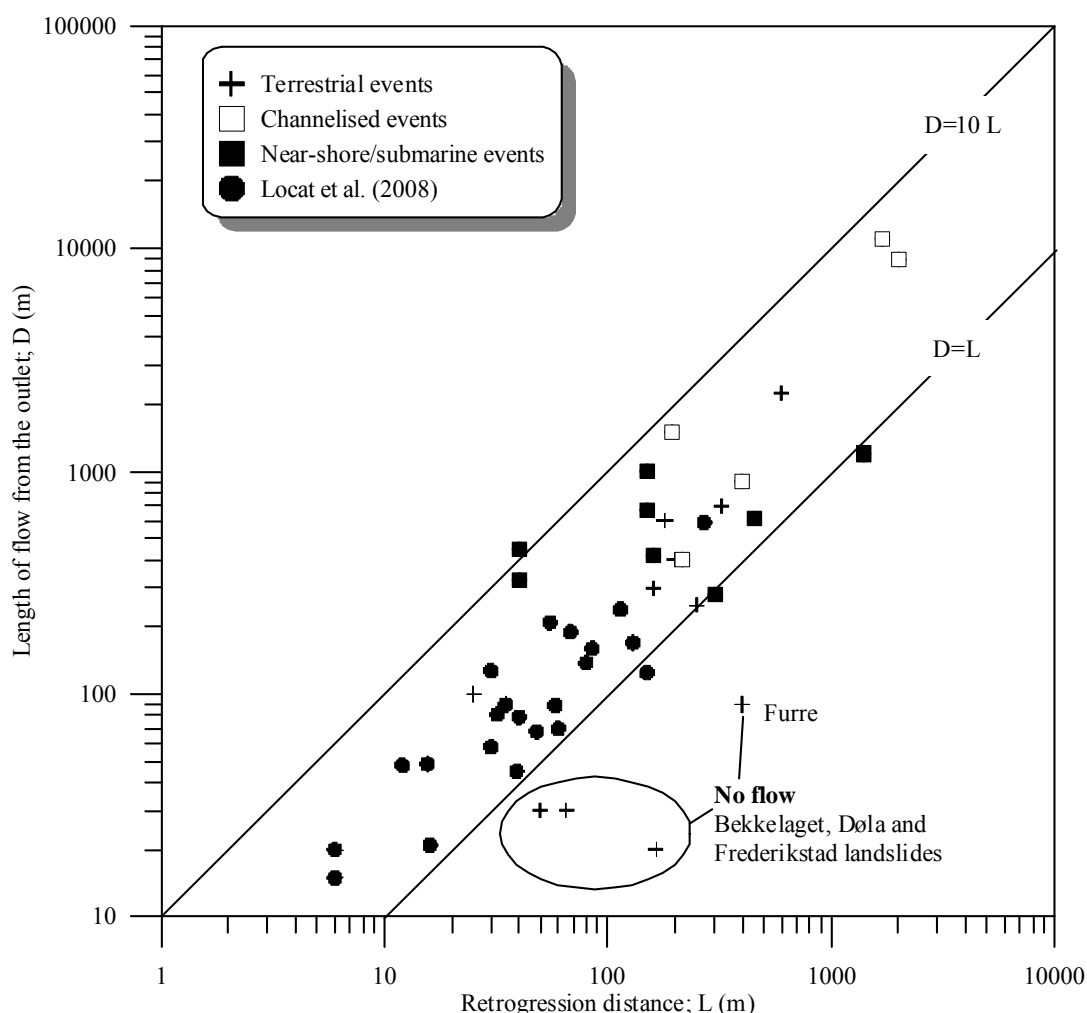
Basert på flere av de historiske skredhendelser presentert i Tabell 1, kan vi forsøke å danne et generelt bilde av skredmekanismer for typiske skred i strandsonen. Prosessen starter ofte med en bevegelse parallelt langs et svakere lag i stratigrafien. Et flak av sedimenter begynner å bevege seg nedenfor en skråning og dette fører til avlastning av skredkanten og muligheter for retrogresjon. Den retrogressive mekanismen er deretter styrt av flere faktorer (Tavenas et al. 1983):

1. Leiras mulighet til å bli omrørt. Dette avhenger av de mekaniske egenskapene til leira og den potensielle energien i skråningen (dvs. skråningshøyden).
2. Leiras mulighet til å strømme ut av skredgropa når den blir omrørt. Dette avhenger av konsistensen til det omrørte materialet, og dermed til leiras flyteindeks og omrørte skjærstyrke.
3. En topografi som lar skredmassene evakuere.

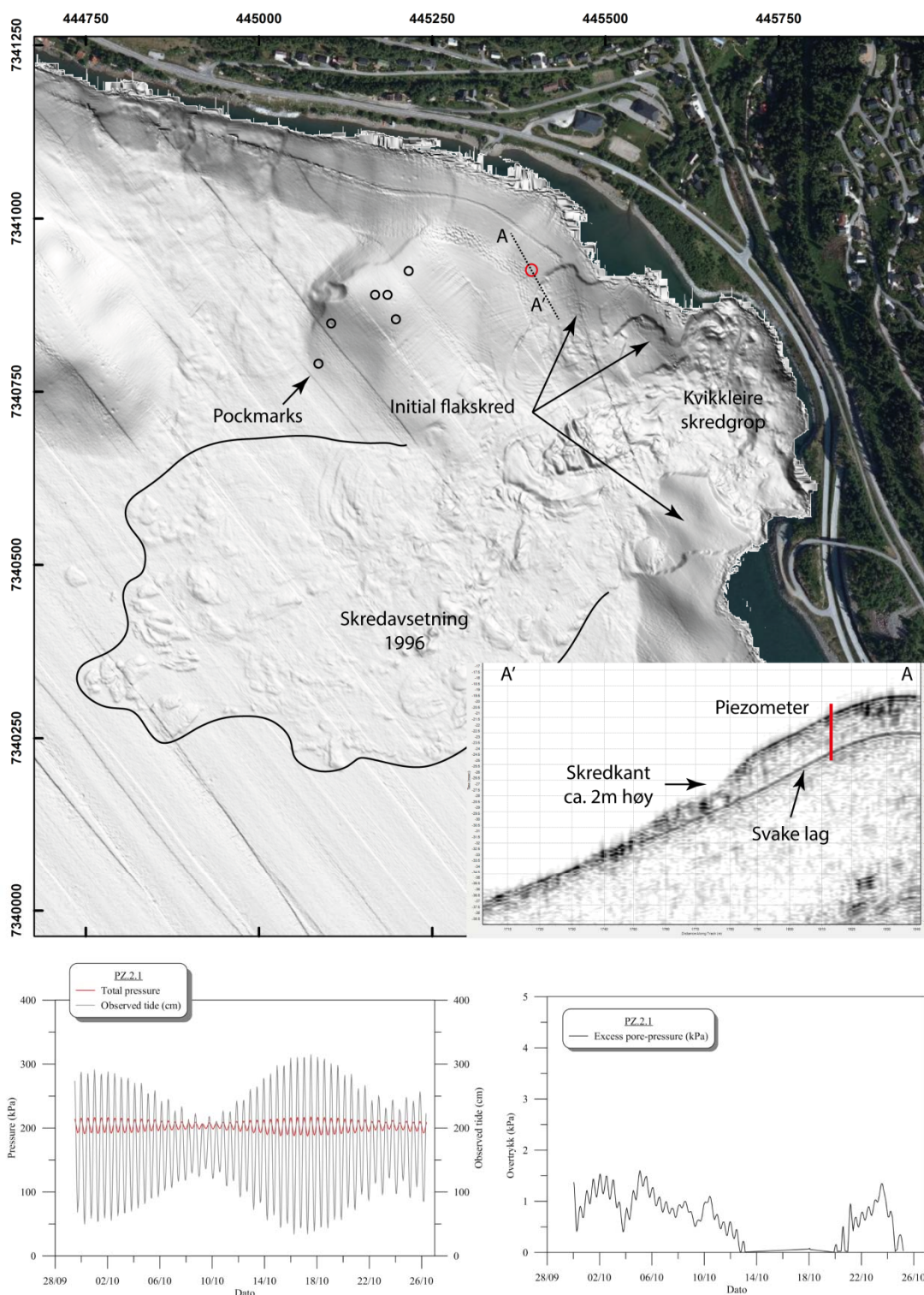
Retrogresjon av skred i strandsonen vil kunne fortsette så lenge ugunstige grunnforhold eksisterer, og så lenge morfologien av skredet muliggjør evakuering av skredmassene. Vanligvis vil prosessen avta og stoppe opp ved strandlinjen pga. tilstedeværelse av grovere masser (i delta områder) eller fjell (langs sideveggene til en fjord). I tilfeller hvor kvikkleire er til stede, kan et undersjøisk skred forplante

seg inn på land med ødeleggende virkning (for eksempel Finneidfjordskredet; Figur 13). Skredformen vil da vise en typisk grop form og/eller pæreform, som ofte beskrevet for kvikkleireskred på land (f.eks Ter-Stepanian 2000). Slike skredformer er blitt beskrevet flere steder langs Drammensfjorden (Hansen et al. 2011) og i Botn ved Rissa (L'Heureux et al. 2011c).

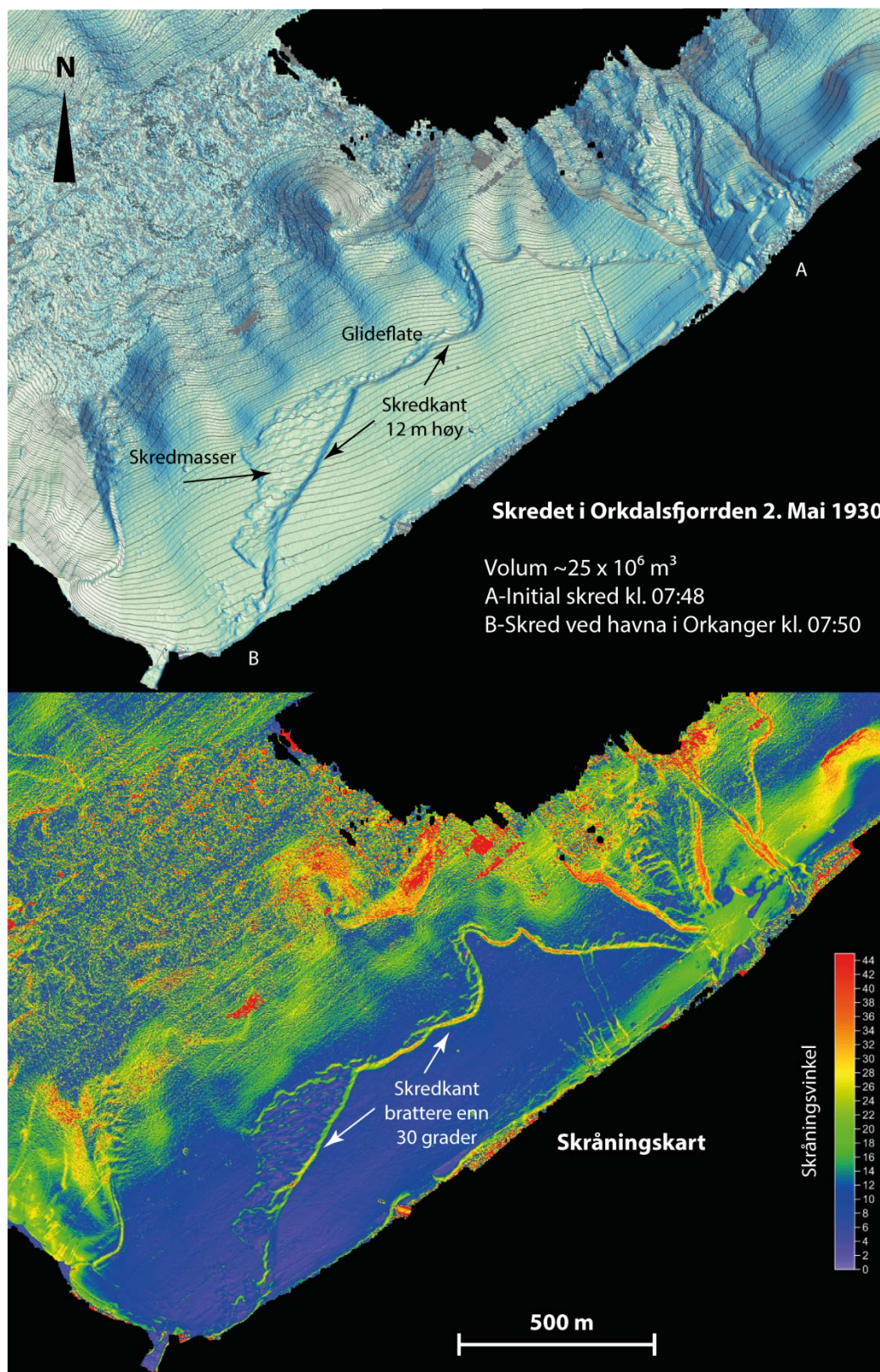
Figur 12 viser forholdet mellom retrogresjon og utløpsdistanse for kvikkleire skred. Det viser seg at størrelsen på retrogresjon i stor grad styres av muligheten omrørte skredmasser har til å strømme ut av skredgropa. Figur 12 skiller også mellom skred som har blitt utløst i strandsonen og beveger seg i sjøen, og skred på land. Som regel ser man at skred i strandsonen vil beveger seg lenger utover sjøbunnen enn skred på land. Dette kan skyldes sjøbunnstopografien og en vann-planeringseffekt under skredmassene (f.eks. De Blasio et al. 2005).



Figur 12: Forholdet mellom retrogresjon og utløpsdistanse for kvikkleire skred på land og i strandsonen (fra L'Heureux 2012c).



Figur 13: Høyoppløselig batymetriske data som viser initial skredet (flakskred) og hovedskredet (kvikkleire) fra 1996 i Finneidfjord. En piezometer installert i bakkanten av initial skredet under det svake lag (2 m dyp) viser ca. 2 kPa overtrykk dvs. 13 % over hydrostatisk).



Figur 14: Morfologisk og skråningsanalyse ved 1930 skredet i Orkdalsfjorden (L'Heureux et al. In prep).

5 VERKTØY OG METODER FOR Å KARTLEGGE LEIRAVSETNINGER OG TOPOGRAFI I STRANDSONEN

De historiske skredhendelsene presentert ovenfor viser at for å oppnå en god oversikt over potensielle skredfareområder i strandsonen, er det nødvendig med kunnskap om grunnforhold og topografi både på land og i sjøen. I dette kapitlet presenteres metodene som er tilgjengelige og som kan brukes for slikt kartlegging.

5.1 *Grunnundersøkelser i strandsonen*

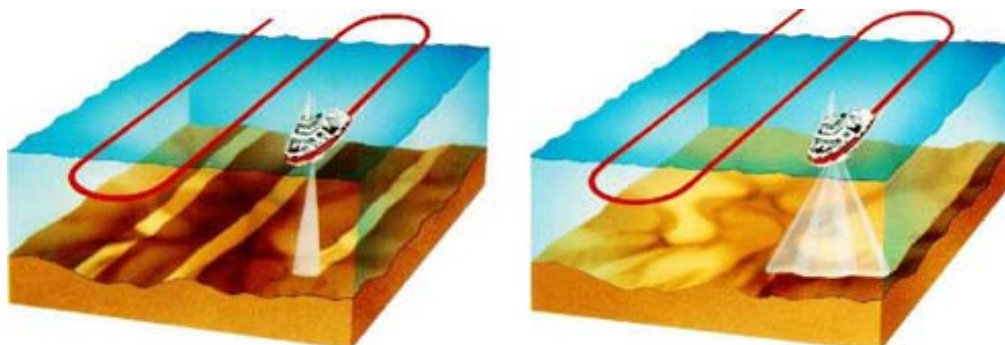
Informasjon om grunnforholdene på land kan oppnås via kvartærgeologiske kart (www.ngu.no), diverse grunnundersøkelsesmetoder (f. eks. dreiesondering, dreie-trykksondering, totalsondering, CPTU og vingeboing) og fra laboratorieresultater fra opptatte prøver. Det vises til Sandven et al. (2012) for en komplett oversikt over eksisterende sonderingsmetoder for detektering av kvikkleire på land. De fleste metodene beskrevet av Sandven et al. (2012) kan også brukes i sjøen, men vanskelighetsgraden øker som regel med vanddybden. Konvensjonelt utføres undersøkelser med landborerigger fra vannoverflaten med hjelp av flåte, lekter og lignende. I enkelte tilfeller er offshore spesialfartøy også benyttet.

5.2 *Batymetriske data fra båt*

5.2.1 *Type data, kvalitet og oppløsning*

Moderne målinger av sjøbunn utføres ved hjelp av sjømålingsfartøy utstyrt med multistråleekkolodd. Eldre dybdemålinger er samlet inn med enkeltstråleekkolodd, eller ved hjelp av andre, eldre metoder. Det er stor forskjell på kvaliteten på multistrålemålinger og enkeltstrålemålinger (Figur 15). Et multistråleekkolodd skanner større flater av havbunnen og gir arealdekkende målinger. Enkeltstråleekkolodd måler i linjer. Da får en kun dybde data fra et ganske smalt spor rett under båten, og dybdeforholdene mellom linjene blir ikke kartlagt. Enkeltstråleekkolodd ble brukt fra 1960-årene og fram mot år 2000. Før 1960 var metodene for sjømåling manuelle, og det var vanlig å bruke for eksempel håndlodd.

Sjømålingen med multistråleekkolodd utføres som regel fra fartøy og mindre motorbåter. Denne typen ekkolodd sender lydbølger ut i vannet, før det så mottar den reflekterte lyden i mange retninger eller stråler. Ekkoloddet kan typisk måle 500 punkter på bunnen for hver lydbølge som sendes ut, men dybden avgjør hvor ofte lydbølger sendes ut. I grunne partier sendes rundt 12-15 lyd-pulser ut i vannet hver sekund. Linjeavstand under innsamling varierer sterkt på grunn av mange holmer, skjær og grunner, men i de fleste områder er det mulig å ha full overlapp (dobbel datadekning), noe som gir høy datakvalitet.



Figur 15: (Venstre) Illustrasjon av sjømåling ved hjelp av enkeltstråle-ekkolodd. (Høyre) Moderne sjømåling med multistråle-ekkolodd. Dybdemåling med multistråleekkolodd innenfor territorialgrensen (12 nm) begynte år 2000. Før dette var praksisen enkeltstrålemålinger i linjemønster (fra Sjøkartverket).

Sjømålinger utført i regi av Statens kartverk (Sjø) utføres med ekkoloddet EM 3000D fra Kongsberg Maritim for dybde intervallet 1-150 m. Tettheten på innsamlingspunkter for multistråleekkolodd systemet vinkelrett på fartsretningen er 1,0 cm, mens vertikal oppløsning er anslått å være $\pm <1$ cm. Datadekningen med EM 3000D er 10 ganger vanndybden eller 200 m.

NGUs 17 meter lange forskningsfartøy FF Seisma er også godt egnet til kartlegging av sjøbunn langs fjordene. I grunne områder bruker NGU en 250 kHz GeoSwath interferometrisk sonar. Denne typen sonar gir høyoppløselige batymetri- og bunnreflektivitetsdata i dybdeintervallet 0-80 m. Tettheten på innsamlingspunkter for GeoSwath-Systemet vinkelrett på fartsretningen er 1,5 cm, mens vertikal oppløsning er anslått å være $\pm <2$ cm (GeoAcoustics 2004). Hastigheten på fartøyet under innsamling er 4 knop, og med en pingrate på 6 ping/s, gir dette en oppløsning på ca. 65 cm i innsamlingsretningen.

Dybdedata må korrigeres for lydshastighetsvariasjoner og lydbølgerrefraksjon i vannsøyla som kommer på grunn av temperatur- og saltholdighetsforskjeller. Dataprosessering inkluderer også filtrering, kalibrering av sonarparametre, lydshastighetskorreksjon, tidevannskorreksjon, navigasjonssjekk og gridding. Tidevannskorreksjon er til vannlig utført ved hjelp av utsatt tidevannsmåler kalibrert mot målestasjonsdata fra Statens kartverk, sjøkartverket. Dybdedataene refererer til sjøkart null.

5.2.2 Kartlagte områder

Sjømåling ved hjelp av multistråleekkolodd fra overflatefartøy er svært tidkrevende. Motorbåter kjører på kryss og tvers til hele sjøbunnen er kartlagt – inkludert grunner og områder som ligger helt inntil land. I grunt farvann står en mann på baugen og holder utkikk – og der båten ikke kommer til, må målinger utføres manuelt ved hjelp av lodd. De siste 10 årene har høyoppløselige sjømålinger blitt utført kontinuerlig i Norge med hjelp av statlige fartøy: FF Hydrograf (SK

Sjø), MB Sjøtroll (SK Sjø), MB Sjøfalk (SK Sjø), H.U. Sverdrup (FFI), G.O. Sars (Havforskningsinstituttet) og FF Seisma (NGU).

I følge Statens Kartverk (Sjø) som har utført mesteparten av kartleggingen, er 27,5 % av området fra 0–20 meters dyp langs norskekysten dekket av moderne målinger med multistråleekkolodd. Resten av området har dybde data basert på målinger med enkeltstråleekkolodd eller gamle data fra kart som ble laget før 1960. Disse kartlagte områder på 27,5 % inkluderer ikke kartleggingen utført av NGU, oljedirektoratet, petroleumsindustrien, universiteter, forskningsinstitusjoner og andre private aktører.

Dekningskart som viser hvor NGU har samlet inn detaljert batymetrisk informasjon er vist på: <http://www.ngu.no/mareano/Prosjekt/kart/MALINKart.html>. I tema "Seismiske linjer og prøvepunkter" velges Geoswath. Dekning med NGU Multistråleekkolodd legges også ut etter hvert. Det må søkes om frigivelse av alle høyoppløselig batymetridata enten via Kartverkets sjødivisjon eller direkte til Forsvaret.

Statens kartverk lanserte nylig innsynstjenesten *dybdekartlagt område*. Et dekningskart viser hvor moderne dybdemålinger er tilgjengelige (grønne områder) og hvor eldre dybdemålinger er utført (gule områder) i norske kyst- og havområder. Gratis-tjenesten ligger i kartløsningen www.Norgeskart.no (under menyen Marin informasjon i venstre marg). Et eksempel på kartlagte områder i Trøndelagsregionen er vist på Figur 16.

5.2.3 Bestilling av dybde data

Mesteparten av sjømålingsdata gjort i regi av Statens kartverk sjø, NGU, FFI, eller HI er tilgjengelig i digital form (sosi, shape eller xyz-filer), mens noen originaler fortsatt kun finnes på papirform. De analoge produktene er stort sett i målestokk 1:20.000, men i havner og enkelte trange leier er de ofte i større målestokker. Moderne målinger er ikke målestokkavhengige. Digitale leveranser av sjømålingsdata består ofte kun av dybdepunkt. Dybdekurver kan genereres etter avtale, eller man kan gjøre dette selv med hjelp av GIS løsninger. De analoge originalene og de eldre digitale målingene vil som regel inneholde flere tema; kystkontur, tørrfall, oppmerking, bunnbeskaffenhet med mer. Dekningsoversikt blir oppdatert jevnlig i Mareanos kart portal og på Statens Kartverks kart-portal.

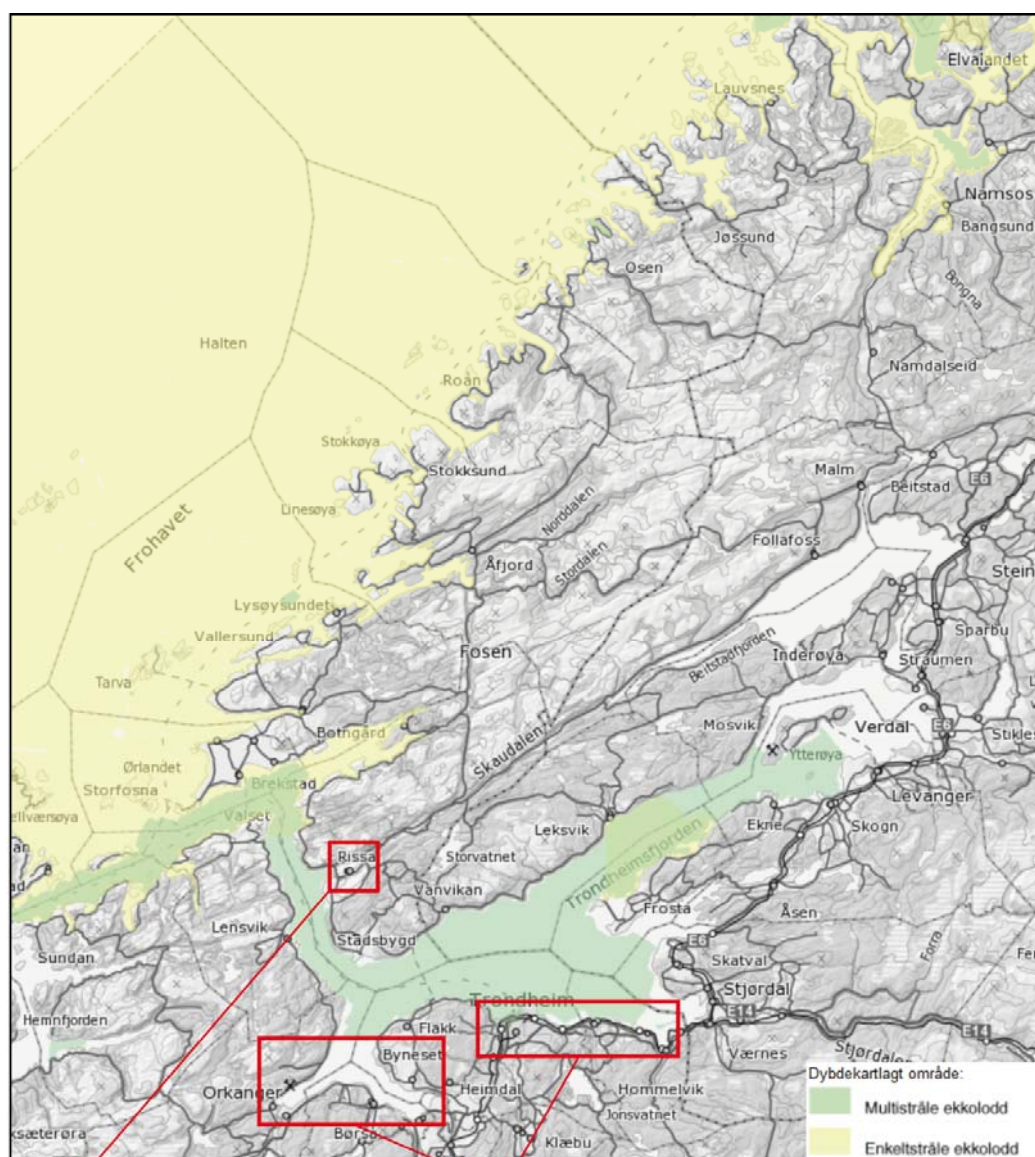
Interesserte kan sende Kartverkets sjødivisjon en anmodning om frigivelse av sjømålingsdata. Navn på området (fjord eller sted) og en begrunnelse for søknaden må oppgis. Det er ønskelig med kopi av sjøkartet med et markert felt som viser området en ønsker mer detaljer om. Kunden vil deretter få tilbakemelding med opplysninger om bl.a. når det var sjømålt, målestokk og oppløsning av tilgjengelig data som ønskes frigitt.

Dybde data innenfor 12nm med oppløsning høyere enn 50 m er gradert informasjon. Utlevering av data kan skje etter godkjent søknad til Forsvaret. Statens kartverk Sjø søker om frigivelse på vegne av kunden. Saksbehandlingstid hos Forsvaret er

normalt 4-5 uker. Søknaden godkjennes normalt med begrensning om at dataene returneres/makuleres innen ett år. Forsvaret kan også innskrenke områdene som ønskes frigitt.

Data kan bestilles fra Kartverket sjødivisjonen, formidlingsavdelingen, e-post: sjodata@kartverket.no. For en detaljert prisoversikt, se;

http://www.statkart.no/filestore/Sjkartverket/PDF_filer/prisliste2012marinegeodata.pdf



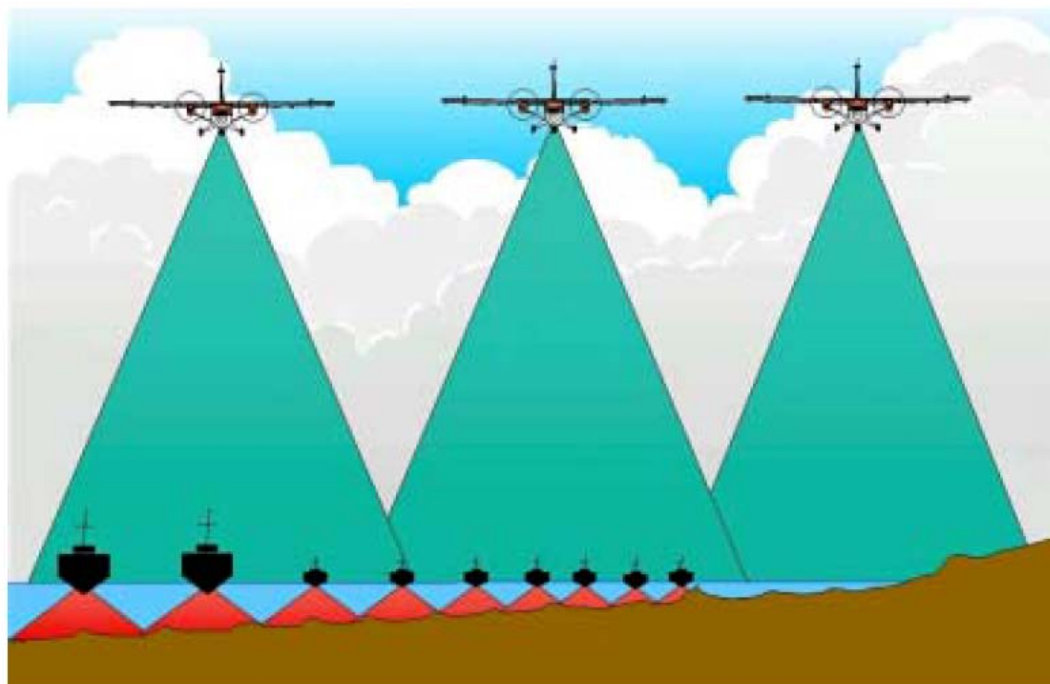
NGU Rapport
2011.037

NGU Rapport
2005.054

Figur 16: Eksempel på kartlagte områder med multistråleekkolodd i Trøndelag. Web-tjenesten norgeskart.no inneholder ikke alle de kartlagte områdene. Noen av områdene kartlagt av NGU de siste årene er vist i rød.

5.3 Flybåren batymetriske lidar teknologi (SHOALS systemer)

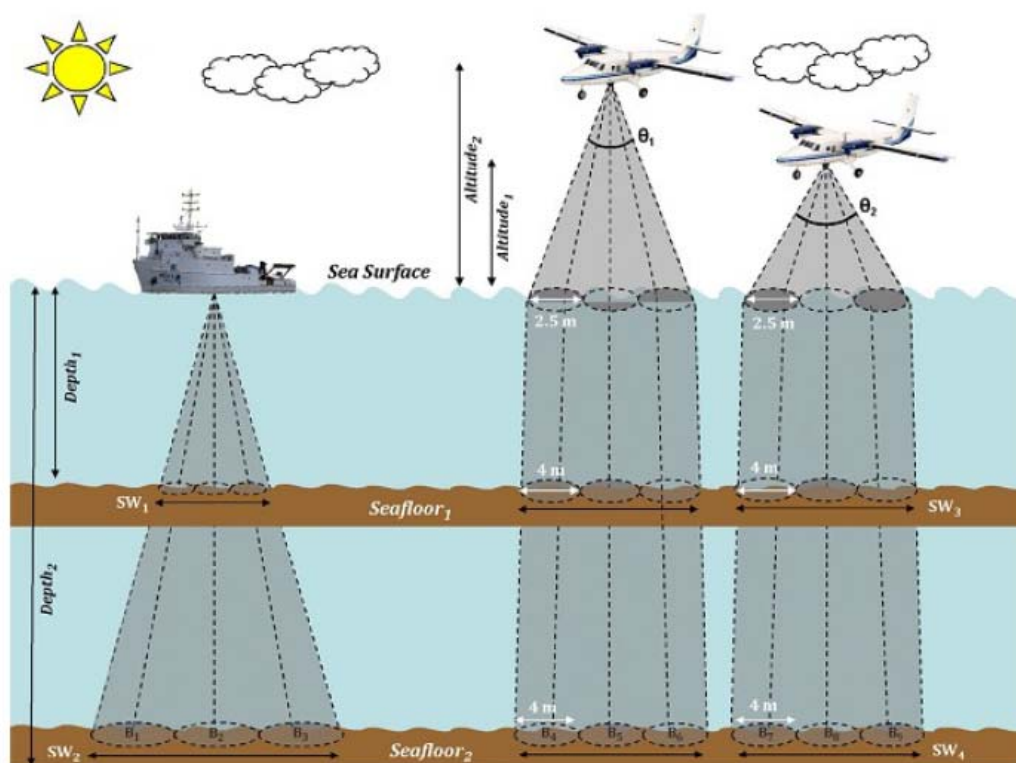
Flybåren lidar (light detection and ranging) for batymetrisk og topografisk kartlegging har gjennomgått omfattende utvikling og forbedring siden tidlig 1970-tallet. Batymetrisk lidar-system opererer på en måte som er lik vanlig flybåren lidar på land, med ett unntak; Batymetriske systemer sender to lysbølger, en i det infrarøde og en i det grønne spekteret, og er i stand til å samle retursignaler for å avgrense vannoverflaten og havbunnen. Infrarødbandet absorberes raskt og er derfor brukt til å oppdage vannflaten, mens det grønne båndet benyttes som optimal farge for å oppnå maksimal penetrering på grunt vann. Lidarbatymetri-systemer opererer på en lavere hastighet sammenlignet med flybåren lidar på land, på grunn av behovet for å generere en mye lengre laserpuls og høyere strømkrav. Kartlegging kan gjennomføres i klart vann i dybdeintervallet 0-60 m og med en horisontaloppløsning mellom 2-5m. Dybdeintervallet som kan bli kartlagt er funksjon av vannets klarhet og vil minke med økt vannturbiditet. Testforsøk gjort i Sverige viser at vertikaloppløsning er i samme størrelsesorden som for multistråleekkoloddsystemer (Fair 2010). Dette samsvarer med tidligere studier av gjort av for eksempel Lillycrop et al. (1996), Guenther et al. (2000), Irish et al. (2000), som viser at SHOALS lidar batymetrisk-systemer er konform til kravene fra IHO standarder (dvs. +/- 3 m horisontal oppløsning og +/- 15 cm vertikal oppløsning).



Figur 17: Batymetrisk lidar datainnsamling (SHOALS system) versus multistråleekkolodd fra båt (fra Wozenkraft 2001). Bildet viser at kartlegging fra fly er lettere i grunne sjøområder hvor det er vanskelig å navigere med båt.

Til tross for de høye kostnadene ved å anskaffe en batymetrisk lidar system, tilbyr metodikken betydelige besparelser både i operative kostnader og økt produktivitet, sammenlignet med konvensjonelle sjøbunnskartlegginger fra båt (Figur 17). Studier

gjort i USA, Canada og Irland viser at sjøbunnskartlegging med batymetrisk lidar koster minst 7 % mindre sammenlignet med multistråleekkolodd fra båt (for dybdeintervallet 0–50 m) (for eksempel Costa et al. 2009). I motsetninger til sjøbunnskartlegging fra båt er ikke datadekningen for lidar systemer avhengig av vanndybden (Figur 18). Produksjonsraten vil dermed være mye høyere, i størrelseorden 25-70 km²/time (Wozenkraft 2001, Yang et al. 2008). Siste generasjonsteknologi av lidar batymetriskinstrumenter (f. eks. SHOAL-1000T) er mindre, lettere og raskere enn de forrige modellene. Størrelse og vekt gjør at instrumentet kan bli installert på egnet "lokalt" fly, inkludert roterende og faste vinger. Som et resultat er mobilisering og demobilisering av systemet betydelig rimeligere. En annen fordel for SHOALS-1000T er at den inneholder et integrert digitalt kamera som gir georefererte bilder. Dette gjør databehandling og redigering mye enklere, og gir ytterligere dataprodukter, basert på digital fotografering. Ingen andre flybårne batymetrisk lidarsystemer på markedet har denne "dobbel"-funksjonalitet. Tidligere måtte man ha separate fly for å samle inn batymetrisk Lidar, topografiske Lidar og flyfoto.



Figur 18: Innsamlingsgeometri for multistråleekkolodd og flybåren batymetriske lidar systemer. Datadekningen (swath width; SW) og fotavtrykk (B1, B2, B3) for multistråleekkolodd systemer er avhengig av vanndybden. Med økende sjødybde vil datadekningen og fotavtrykket øke. For lidar systemer avhenger datadekningen og fotavtrykket først og fremst av skannvinkelen (θ_1 , θ_2). Dekningen og fotavtrykksstørrelse kan bevares ved forskjellige høyder fordi skanningsvinkelen kan justeres fra linje for linje. Skiftende dybde på havbunn (sjøbunn 1 vs sjøbunn 2) vil ikke ha store konsekvenser på deknningen til Lidar systemet (SW3 vs SW4) og på

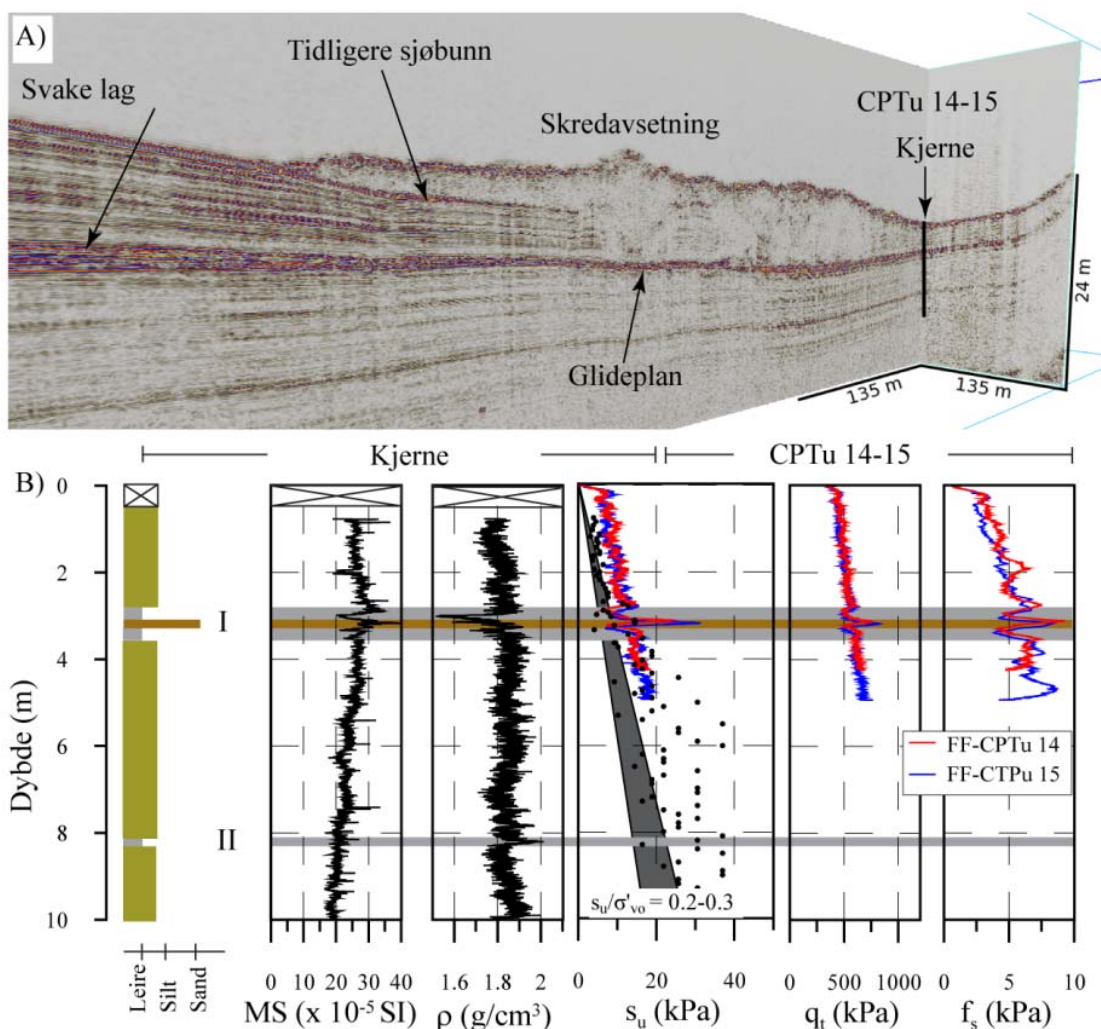
fotavtrykket (B4 til B9) siden lys beveger seg annerledes enn lyd i vann (fra Costa et al. 2009).

Det er per i dag flere leverandører som tilbyr kartlegging ved hjelp av batymetrisk lidarsystemer på markedet. For noen år siden ble teknologien testet av Kartverket i Norge, men ble ikke funnet egnet til navigasjon. Testing av nyere og mer avanserte systemer viser imidlertid at teknologien utvikler seg meget raskt og at den er svært lovende (f. eks. Fair 2010). Den nyeste teknologien bør derfor testes i forhold til for strandsonekartlegging i Norge.

5.4 Andre relevante metoder

Geofysiske metoder kan brukes i strandsonen for å hente kunnskap om sedimentene under overflaten. På land kan for eksempel resistivitetsmålinger i to dimensjoner utføres [se Bazin & Pfaffhuber (2011) og Solberg mfl. (2011) for info om metoden]. Metoden kan brukes for å få oversikt over dybde til fjell og for å vise utstrekningen av mulige utvaskede leiravsetninger med sprøbruddegenskaper.

I sjøen kan refleksjonsseismikk brukes for å hente informasjon om sedimentene under sjøbunnen. Slike data kan samles på de fleste fartøyene fortløpende med multistråleekkolodddata. Det sendes en seismisk bølge (lydpuls) ut fra ett punkt, og som mottas i et annet punkt. Lyden vil forplante seg i det mediet den sendes ut i, for så å reflekteres ved overgangen til et annet medium. Når lyden treffer grenseflater, som overgangen fra vann til sediment eller mellom forskjellige sediment med ulik tetthet eller seismisk hastighet, sendes det reflekser tilbake mot vannflaten. Mottak av det reflekterte signalet skjer ved hjelp av hydrofoner som enten taues i en kabel bak en båt eller er montert på skroget. Resultatet gir tverrsnitt gjennom sedimentene, og ut fra tolkningen kan man vurdere fjelldybden, avsetningsforhold, skredmasser, erosjonsflater eller skredsrør som er dekket av yngre sedimenter. Som for 2D resistivitsmålinger kan refleksjonsseismikke profiler kobles med geotekniske grunnundersøkelser for å kartlegge utstrekning av skredfarlige lag i stratigrafien (f.eks. Figur 19). Rekkevidden av lydbølgene ned i sediment eller i fjell, og oppløsning av de detaljer man kan se på seismikken, avhenger av signalkilden og de lydfrekvenser som sendes ut.



Figur 19: Eksempel på kobling mellom refleksjonsseismiske data og geotekniske data i Finneidfjord. Resultatet fra kjernen og trykksonderingen (CPTu) viser et bløtt og laminert leire lag ca. 3 m under sjøbunnen. Dette laget korrelerer til glideplanen for skredet som vises som en sterk refleksjon på den seismiske profilen (data fra L'Heureux et al. 2012a).

6 FORSLAG TIL METODE FOR SKREDKARTLEGGING I STRANDSONEN

Data presentert i Tabell 1 viser at minst 35 personer omkom på grunn av løsmasse-skred i strandsonen de siste 175 år i Norge. Nyere erfaringer av skredseksemplene ved Balsfjord (1988), Finneidfjord (1996), Kattmarka (2009) og Lyngseidet (2010) viser også at slike dramatiske hendelser er svært ødeleggende og kostbare for samfunnet. Store verdier er ofte utbygd i strandsonen og det er økende press for ”urbanisering” i dette området. Det finnes per i dag over en halv million bygninger i strandsonen i Norge. Det er dermed sterkt behov for å kartlegge fare- og risiko-områder for vurdering av arealplanlegging og vurdering av sikringsbehov og prioritering av tiltak i forhold til eksisterende bebyggelse og infrastruktur i strandsonen.

Tabell 2: Antall kvikkleiresoner per fylke og antall kvikkleiresoner registrert per i dag ned mot strandsonen. Tabellen gir også en oversikt over ca. tilgjengelig multistråleekkolodddata for kartlagte soner i strandsonen. Noter at kvikkleiresoner registrert i strandsonen er utarbeidet på bakgrunn av kun land data.

Fylke	Antall kvikkleiresoner	Antall kvikkleiresoner i strandsonen	Tilgjengelighet av sjøbunnsdata for kartlagte soner
Akershus	303	0	–
Buskerud	137	1	1/1
Finnmark	46	11	11/11
Nord-Trøndelag	466	24	5/24
Nordland	168	32	8/32
Oslo	16	0	–
Sør-Trøndelag	224	30	23/30
Telemark	66	0	–
Troms	29	2	?
Vestfold	159	5	3/5
Østfold	139	0	–
	Total: 1753	Total: 105 av 1753	51/105

Det eksisterende kvikkleirekartleggingsprogrammet i statlig regi i Norge er et svært viktig verktøy for å forbygge tap av liv og eiendom som følge av kvikkleireskred. Per i dag er det registrert 1753 kvikkleiresoner delt på 11 fylker (Tabell 2) og kartlagte områder blir stadig oppdatert på www.nve.no. Hovedfokuset med kartleggingen de siste 20-30 årene har vært store leirområder på land og ut mot større vassdrag. Konsekvens av dette er at det er stort etterslep på kartlegging av faresoner i strandsonen, både når det gjelder påviste kvikkleireområder og metodikk med henhold til faregradsevaluering. Dagens metodikk for kartlegging av kvikkleiresoner og utarbeidelse av faresonekart baserer seg på topografiske forhold, geologiske/geotekniske forhold og terrengendringer som er observert/dokumentert kun på land. Erfaringen viser likevel at det ved flere anledninger er forholdene i sjøen som har vært avgjørende for utløsning av kvikkleireskred i strandsonen. I flere tilfeller viser det seg at kvikkleireskred var en ”sekundær”-effekt av initialscredet ut i sjøen (f.eks. Sokkelvik 1959, Finneidfjord 1996). I dette kapitlet presenterer vi et forslag på metode for skredkartlegging i strandsonen hvor aspekter

fra både land og sjø er inkludert. Forslaget er basert på det nåværende kvikkleire-kartleggingsprogrammet (Gregersen 2008, NVE 2009) for å få til et helhetlig produkt som kan kobles/sammenliknes med skredfareprodukter på land.

6.1 Identifisering av faresoner

Grunnlaget for å identifisere kvikkleiresoner er forekomst av marin leire, topografiske/batymetriske forhold og resultat fra grunnboringer. Kunnskap om tidligere og historiske skredhendelser må brukes. Kwartærgeologiske kart der marine avsetninger er markert, må benyttes som grunnlag for å påvise mulige faresoner. Også andre typer avsetninger under marin grense må vurderes, fordi kvikkleire kan være dekket av f.eks. strandavsetninger, elvavsetninger, fyllmasse, torv og myr. Dersom kvartærgeologiske kart viser at det er leiravsetninger på land i strandsonen, må det antas at avsetningene også fortsetter ut i sjøen. De kvartærgeologiske kart legges så til grunn for en studie av topografi/batymetri i strandsonen. Erfaringen viser at en bør også fokusere på tilstedeværelse av bukter/viker og bratte skråninger i løsmasser mot sjøen.

Basert på studie av tidligere skredhendelser (Tabell 1) er det mulig å definere enkle topografiske/batymetriske kriterier for å identifisere mulige skredfarlige områder i strandsonen. Skråningsvinkel på marbakken varierer for eksempel fra 12° til 21° for de historiske skredhendelsene. Dette stemmer også med den teoretiske betraktningen som viser at for en uendelig skråning (flakskredtype) bestående av normalkonsolidert sediment ($s_u/\gamma' \cdot z=0.2$) vil sikkerhetsfaktoren være < 1 (dvs brudd oppstår) når skråningsvinkelen er $> 11.9^\circ$. En grense med skråninger brattere enn 10° (gjennomsnitt minus 2σ) anses derfor å være konservativ å bruke i kartleggingen. I overensstemmelse med ovenstående resultater er det foreslått følgende topografiske kriterier for kartleggingen:

- Marbakken eller andre skråninger i strandsonen brattere enn 10° (1:5) vurderes
- Maksimal utstrekning av faresonen settes for 15 x H (hvor H er definert fra foten av marbakken til toppen av mulig kvikkleireskråningen på land)

Disse topografiske kriteriene må evalueres basert på land data, sjø data og muligens satellitt bilder (f. eks. Figur 1). En nedre grense på 1:5 vil erfaringsmessig inkludere de fleste områder med potensialet 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 byggeprosjekter etc., må det vurderes å benytte mer konservative kriterier med hensyn til topografi og sjøbunns morfologi. Dette vil avhenge av terrengforhold, fjellets topografi etc., og må avgjøres i hvert enkelt tilfelle.

Faktoren 15 x H for maksimalt utstrekning av sonen brukes per i dag i kvikkleire kartlegging (Gregersen 2008). Denne faktoren må likevel brukes med skjønn. Det er noen få skredseksempler som har forplantet seg over større avstander enn det kriteriet tilsier (L'Heureux 2012). Oppførselen til skredene i strandsonen og ut i

sjøen er også annerledes er på land (Figur 12). En bør derfor ta hensyn til dette i vurderingen.

Som presentert i Kap. 5, er en tredje del av strandsonen (dybde intervall 0-20 m) kartlagt med hjelp av multistråleekkolodd i Norge og dette vil øke de neste årene. Ved hjelp av enkle GIS-analyser er det mulig å lage en rask oversikt over områder som potensielt kan være farlig for kvikkleireskred i strandsonen. Områder med topografi og sedimenttype som oppfyller kriteriene for skred avmerkes som mulige faresoner. Her må det også gjøres en prioritering i forhold til samfunnsmessige betydning.

Metoden og kriteriene ovenfor vil fange kjente faresoner (f. eks rundt Botn i Rissa, Finneidfjord og ved Orkdalsfjorden). Samtidig kan svakt hellende og langgrunne områder som ved Koa (Figur 1) ikke bli vurdert som faresoner. Dette anses å være riktig.

Neste fase i metoden er å foreta befarings 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 befaringsene, vil erfaringsmessig noen soner falle ut og noen vil bli redusert i utstrekning.

Siste trinn i evalueringen består av systematiske grunnundersøkelser i strandsonen og tilstøtende leirområder innenfor prioriterte områder. Feltundersøkelsene tar sikte på å kartlegge mulige større sammenhengende forekomster av kvikkleire / eventuelt sprøbruddmaterialer i de aktuelle sonene. Systematiske grunnundersøkelsene vil også være med å eliminere potensielle faresoner for skred i strandsonen. Metodikken som ellers brukes ved faresonekartlegging på land anvendes også her (se f.eks. Gregersen 2008, Sandven et al. 2012). For en rasjonell gjennomføring av kartleggingen vil det være tilstrekkelig med grunnundersøkelser på land delen av strandsonen på dette nivået. Boringene i strandsonen bør føres ned til en dybde tilsvarende 1,5 ganger skråningens totale høydeforskjell (dvs. målt ned til foten av marbakken). Dette vil kunne avdekke de fleste kvikkleireforekomster i strandsonen. Til tider må improvisasjoner gjøres.

6.2 Utredning av potensiell skredfare

Potensiell skredfare kan utredes slik at den gjenspeiler graden av usikkerhet med hensyn til områdets stabilitet. Metoden bør være mest mulig lik det som praktiseres i dag for kvikkleireevaluering på land, slik at resultatene blir helhetlige og sammenliknbare.

Som presentert i Kap. 4, er faregraden i strandsonen avhengig av:

- Topografiske/batymetriske forhold (dvs. spenningsnivået i leiravsetningen)
- Geologiske/geotekniske forhold

- Grunnvannsforhold
- Terrengendringer

Faregraden inndeles i tre klasser avhengig av forholdene:

Lav: Gunstige topografiske/batymetriske forhold også mht marbakken. Det foreligger grunnundersøkelser som viser at grunnforholdene er gunstige. Det er lite eller ingen aktiv erosjon i strandsonen. Det har vært liten skredaktivitet i området, både på land og ute i sjøen. Ingen terrenginngrep/terrenginngrep har hatt gunstig innvirkning på stabiliteten.

Middels: Mindre gunstige topografiske/batymetriske forhold spesielt mht til marbakken. Mangelfulle grunnundersøkelser, eller grunnundersøkelsene viser mindre gunstige grunnforhold. Det er mulighet for erosjon i strandsonen (utløp av bekk). Det har vært betydelig skredaktivitet i området. Eventuelle terrenginngrep har liten eller ingen stabilitetsforbedrende virkning.

Høy: Ugunstige topografiske/batymetriske forhold spesielt mht til marbakken. Mangelfulle grunnundersøkelser eller grunnundersøkelsene viser ugunstige grunnforhold. Det er aktiv erosjon i strandsonen synlig på batymetriske data. Det har vært stor skredaktivitet i området på land eller i sjøen. Terrenginngrep med stabilitetsforverrende virkning.

Tabell 3 presenterer 8 faktorer som minimum bør inngå i en faregradsvurdering i strandsonen. Tabellen viser også hvilket data/verktøy som kan brukes for å få informasjon om faktorene. 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.

Tabell 3: Parametre som bør minimum inngå i en faregradsevaluering av strandsonen basert på land og sjø data.

Faktorer	Kartstudie (Land)	Batymetriske Data (Sjø)	Grunnundersøkelse (Land)
Tidligere skredaktivitet	X	X	
Skråningshelning/skråningshøyde	X	X	
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	X	X	X
Poretrykk	X	X	X
Kvikkleiremektighet			X
Sensitivitet			X
Erosjon	X	X	
Inngrep	X	X	

1. Skredaktivitet. Kvantærgeologiske kart viser tidligere skredgroper på land. Skredgroper kan være en indikasjon på mulig skredfare, spesielt dersom skredaktiviteten er av nyere dato (ca de siste hundre år). Det er veldig få steder hvor skredgroper er registrert på kvantærgeologiske kart i strandsonen, spesielt i sjø delen. Informasjon kan hentes fra tolkning av batymetriske data og til og med gode flybilder. Noter at tolkning av sjøbunns morfologi er avhengig av oppløsning på batymetriske data. En bør dermed foreta en konservativ antagelse hvis det er noe usikkerhet. Skredaktiviteten betegnes som *høy* dersom det finnes en eller flere nyere skredgroper i eller i nærheten av den aktuelle sonen.
2. Skråningshelning/skråningshøyde. Et stort antall av kvikkleireskred i strandsonen er en sekundæreffekt av et initial skred utløst på marbakken (flakskred eller flyteskred; kap. 4.3). I slike tilfeller er skråningsvinkelen en av de viktigste parametrene som kontrollerer skjærspenningene og stabiliteten. Som vist for skredet i Orkdalsfjorden i Figur 14, kan skråningsvinkel også være avgjørende for å begrense skredutviklingen. I dette tilfellet ble initialskredet utløst på en 20–22° grader bratt skråning og skredet stoppet ved ca. 6–8°. Initialskredet for 1996-skredet i Finneidfjord oppsto på en 17° bratt skråning før skredet forplantet seg inn på land (Figur 13). Basert på data fra historiske hendelser foreslås det at skråningshelninger større enn 16° på marbakken (gjennomsnitt Figur 9A) gis høyeste score. Selv om det anses som mest riktig å bruke skråningshelning i forhold til skredmekanisme i strandsonen, kan det tenkes at det fortsatt er bedre å bruke skråningshøyden. Grunnen er at resultatene blir mer helhetlige med kartleggingen gjort på land. Se kap. 8 for mer diskusjon.
3. OCR. 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. Det poengteres at de fleste leiravsetninger i strandsonen, spesielt i sjøen, vil være normal konsolidert. Denne faktoren er likevel viktig å ha med i faregradsvurderingen for å skille mellom veldig bratte områder hvor tidligere skred eller ikke. Normalkonsolidert leire, dvs. leire med OCR=1, får høyeste score.
4. Poretrykk. Resultater fra poretrykksmålinger foreligger relativt sjeldent i forbindelse med kartlegging av faresoner, spesielt i standsonen og i sjøen. Når målinger ikke foreligger, må poretrykks situasjonen estimeres på grunnlag av topografi og kunnskap om grunnforhold. Estimater bør være representativt for et område hvor et initialt skred kan oppstå. Nærliggende fjell eller høydedrag vil kunne medføre poreovertrykk i forhold til hydrostatisk trykkfordeling. Oppkommer og brønner kan gi verdifull informasjon om

poretrykk/grunnvannsnivå. I områder med poreovertrykk eller hvor artesiske trykk er tilstedet i leiravsetninger ser man ofte ”pockmarks” på sjøbunn utenfor strandlinjen. Batymetriske data kan dermed brukes for å gi et kvalitativt estimat av poretrykksforhold. Pockmarks er sirkulære forsenkninger som dannes ved kortvarige utstrømninger av gass eller grunnvann fra undergrunnen. Noen pockmarks representerer mulig gjentakende eller kontinuerlig utsivning. Pockmarks kartlagt i Botn ved Rissa har typisk en diameter mellom 25–60 meter, er opptil 4–5 m dype og forekommer ved foten av marbakken (Figur 20; se også L’Heureux et al. 2011c). Pockmarks ved Ilsvika, Buvika, Finneidfjord og Bangsund er betydelig mindre, dvs. 5 m i diameter og 1–2 m dyp. En oversikt over resultater fra poretrykksmålinger i områder hvor pockmarks er kartlagt utenfor strandlinjen er presentert i Tabell 4. Data viser at poretrykksratio (R_u) ofte er $> 10\%$ i slike områder. Poretrykket betegnes som *middels* til *høy* hvis pockmarks er observert på sjøbunn. Se også diskusjon i kap. 8.

Tabell 4: Resultater fra poretrykksmålinger i områder hvor pockmarks er synlig på sjøbunnen utenfor strandlinjen.

Tettsted	Terreng kvote (m)	Spiss dybde (m)	Poretrykk (kPa)	Pore-overtrykk (kPa)	R_u (%)	Referanse
Finneidfjord	-20	3	40	2-10	10-40	NGI/ICG data; Fig. 11
Botn, Rissa	2.7	5	50	0	~ 0	NGI (2009); Fig. 17
	2.7	15	180	30	20	
Buvika	?	14	130	10	10	Rambøll (2012); Hansen et al. 2005
Ilsvika, Trondheim	?	?	?	60-80		NGI (1955)
Bangsund, Namsos	4.16	4	45	5	15-30	NGI (2011)
		8	105	20		

- Kvikkleirens mektighet fremgår av dreietrykksonderingene, samt av eventuelle vingeboringer, CPTU eller prøveserier. Dreietrykksonderinger er utført innen de aller fleste soner, på et eller flere punkter. Kvikkleirens mektighet er meget viktig både med hensyn til faren for utløsning av skred og med hensyn til utbredelsen av skred. Likevel viser flere historiske eksempler at skred initiert i sjøen kan forplante seg helt inn til strandlinjen uten at det er kvikkleire tilstedet (bløte avsetninger i sjøen). Dermed er det tykkelsen av kvikkleire ved og ovenfor strandlinjen som vil være avgjørende med hensyn til utbredelsen og faren på land. Dersom mektigheten av kvikkleire ved strandlinjen er større enn halve skråningshøyden ($H/2$), gis høyeste score. Også kvikkleirens beliggenhet og utstrekning er av betydning for faren for skred, og skjønn må derfor brukes hvis slik informasjon er tilgjengelig.
- Faren for skred vil øke med økende sprøbruddegenskaper. Sensitivitet er et mål på sprøbruddegenskaper. Som for metodikken på land, foreslår vi å

skille 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.

7. Pågående erosjon i strandsonen vil innebære en kontinuerlig forverring av sikkerheten for områdene ned mot sjøen. Det er derfor meget viktig at erosjonsforholdene kartlegges; dybdeerosjon fra bekk, sedimentasjon, erosjonsbeskyttelse, terskler, glidninger etc. Pågående aktiv erosjon gir høyeste score. Det bør utarbeides egne retningslinjer for bestemmelse av scoreverdi på grunnlag observasjoner fra befaring og/eller batymetriske data.
8. Inngrep i et område med marin leire i strandsonen kan innebære en stabilitetsforbedring eller en stabilitetsforverring. Slike inngrep kan være bakkeplanering, bygging av veier, utfyllinger, mudring, annen byggevirk-somhet, 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 innenfor 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, samt eldre og nyere batymetriske kart.

Som følge av kommentarene ovenfor, er det mulig å bruke en justert versjon av evalueringsskjema definert av Gregersen (2008) for faregradevaluering i strandsonen (Tabell 5). Hovedforskjellene mellom metodene er at man tar hensyn til prosessene og topografien ute i sjøen. I tillegg kan det være bedre å bruke skråningshelning i stedet for skråningshøyde. Denne parameteren er brukt i kartleggingen på land for å differensiere ravineskråninger som ofte har tilnærmet samme skråningshelning. Slikt terreng er ikke så vanlig å finne i strandsonen og skråningshelning anses som en bedre parameter for å differensiere faregraden. Vi er likevel åpen til å fortsette å bruke skråningshøyden i faregradsmatrisen og dette er testet i eksemplene gitt i kap. 5. Se også diskusjon i Kap. 8.

Vekttallene presentert i Tabell 5 kommer direkte fra inndelingen gjort av Gregersen (2008). Inndeling i faregradsklasser og fordeling av sonene i faresoneringsmetoden på land, er basert på resultatet av evaluering av 228 soner på Østlandet og i Trøndelag (Gregersen 2008). Disse utgjør 10–15 % av totalt antall soner i Norge, og var antatt å være representative for alle kartlagte områder. Målsetting for klassifiseringen var å oppnå en god spredning av sonene mellom tre faregradsklassene (lav, middels og høy). De 228 sonene ble fordelt mellom de tre klassene på forhånd bestemte forhold. Fordelingen som ble valgt var: 25 % av antall soner i *faregradsklasse lav*, 50 % av antall soner i *faregradsklasse middels* og 25 % av antall soner i *faregradsklasse høy*.

Det er viktig å ta opp diskusjonen i framtiden om farekartlegging i strandsonen skal bruke de samme vekt tallene som på land eller ikke. Det foreslås å gjøre en studie av flere faresoner i strandsonen (statistisk analyse) for å bedre kunne vektlegge de forskjellige faktorer og med hensyn til prioritering i framtiden. Dette kan gjøres fortløpende med en reevaluering av tidligere kartlagte faresoner i strandsonen hvor detaljert sjøbunnsdata eksisterer (se Tabell 2).

Tabell 5: Forslag til evaluering av faregrad i strandsonen hvor land og sjøbunns data er kombinert

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshelning	2	>16	13–16	10–13	<10
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0–1,2	1,2–1,5	1,5–2,0	>2,0
Poretrykk: Overtrykk (kPa) Undertrykk (kPa)	3	> + 30	10–30	0–10	Hydrostatisk
	-3	< - 30	-(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 %

6.3 Vurdering av reel skredfare

Utredning av reell fare bør skje i forbindelse med reguleringsplan/bebyggelsesplan. Ved utredning av reellfare i strandsonen kan fareområdene avgrenses og utredes i forhold til kravene/sikkerhetsnivåene definert av NVEs retningslinjer (NVE 2009), og ved bruk av metoden beskrevet i kap. 6.2. Eventuelle nødvendige sikringstiltak i og utenfor planområdet må også utredes i et slikt omfang at en kan dokumentere at planen kan gjennomføres og bebyggelsen kan få tilstrekkelig sikkerhet innenfor teknisk, økonomisk og miljømessige akseptable rammer. I den forbindelse skal faresoners utstrekning justeres og eventuelt deles i mindre soner med bakgrunn på ny informasjon. Geotekniske undersøkelser bør lokaliseres slik at en kan dokumentere stabiliteten av marbakken eller skråning i sjøen. I tillegg bør det kreves detaljert sjøbunnskartlegging i forbindelse med reelfarevurdering i strandsonen hvis ikke slike data er tilgjengelige fra før. I den forbindelse kan det også være aktuelt med geofysiske målinger på land eller i sjøen for å dokumentere utstrekning av svake lag, dybde til fjell, lagdeling, og eventuelle terskler under marine avsetninger i strandsonen som kan fungere som en støtte mot utglidning. På de fleste fartøyene kan slike geofysiske målinger (seismisk refleksjon) samles fortløpende med innsamling av multistråleekkolodd data. Dette vil dermed ikke føre til store ekstra kostnader. Seismiske profiler vil kunne benyttes i interpolasjon mellom borepunkt, og således gi mer realistiske geologiske modeller, stabilitetsberegninger og mer helhetlig forståelse med stor nytteverdi for kartlegging av fare for skred.

6.4 Konsekvens og risikovurdering

Risikoen er definert som skadekonsekvens x faregraden. Skadekonsekvenser som skal vurderes når det gjelder skred i strandsonen er de samme som på land og inkluderer; fare for at liv kan gå tapt, skade på mennesker, økonomiske tap og verdiforringelse, samt fare for at viktige samfunnsmessige funksjoner skal stoppe opp.

Som beskrevet i Gregersen (2008) kan konsekvensen av et skred deles inn i tre klasser som følge:

- *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.

Tabell 6: Evaluering av skadekonsekvens for skred i strandsonen (modifisert fra Gregersen 2008).

Faktorer	Vekt tall	Konsekvens, score			
		3	2	1	0
Boligheter, antall	4	Tett > 5	Spredt >5	Spredt < 5	0
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/undersjøiske kabler og ledninger	1	Sentral	Regional	Distribusjon	Lokal
Flombølge/Tsunami	2–3?	Alvorlig	Middels	Liten	Ingen
Sum poeng		45	30	15	0
% av maksimal		100 %	67 %	33 %	0 %

Evaluering av en soners skadekonsekvensklasse gjøres ved hjelp av Tabell 6. Tabellen er modifisert fra Gregersen (2008) og omfatter de viktigste faktorene for skadekonsekvens. Hver av faktorene vurderes på grunnlag av kriteriene angitt på tabellen etter en skala fra 0 til 3 (score), hvor 3 angir høyeste konsekvens. I tillegg har faktorene fått et vektall, 1-4, avhengig av hvilken betydning de er tillagt relativt til hverandre. Poengverdi for hver faktor fremkommer som produktet av score og vektall. 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.

Det må imidlertid presiseres at en bør se på et representativt utvalg av faresoner i strandsonen før konsekvens- og risikovurderingsmatrisen tas i bruk i den landsomfattende kartleggingen. Poengsummen og vektallene presentert her er basert på

metode for kvikkleirekartleggingen på land (Gregersen 2008). Man bør på forhånd ha en ønsket fordeling av antall soner i forskjellige klasser i strandsonen for å revidere vektallene. En slik oppgave bør gjennomføres i tråd med en studie av faregradsklassifiseringen (se kap. 6.2) i nærmeste framtid.

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, men kan også berøre menneskes liv og helse. Generelt bemerkes at det ved mangelfull informasjon må foretas en konservativ antagelse ved evalueringen. Det refereres til Gregersen (2008) for mer detaljer og kommentarer vedrørende faktorene 1 til 5. Når det gjelder faktor 6 har vi valgt å inkludere undersjøiske kabler og ledninger i tillegg til kraftnett på land. Brudd på strømforsyningslinjer og kabler på sjøbunn vil ha konsekvenser for samfunnet nasjonalt, regionalt eller lokalt. Inndelingen gjøres i henhold til Statkrafts nettklasser. Da brudd på slike kabler neppe vil medføre fare for liv/skade på mennesker, er denne faktoren tillagt vektall 1.

Faktor 7 (Flodbølge/Tsunami) omfatter skader som kan oppstå langs strandlinjen som følge av en flodbølge utløst av skredets bevegelse ut i sjøen. Oversikten presentert i Tabell 1 viser at flodbølger har oppstått i 45 % av tilfellene for de historiske skredhendelsene, med oppskyllingshøyder opptil 10 m. Eksempler fra Rissa-skredet og 1888-skredet i Trondheim havn viser at slike flodbølger kan skade bebyggelser, vei, toglinjer, utløse nye skred og også føre til tap av menneskeliv (L'Heureux et al. 2011b, L'Heureux et al. 2012b). Hvorvidt skredmasser vil forårsake flodbølge 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 flodbølge vil medføre i strandsonen. Det er derfor vanskelig å angi gode objektive kriterier for vurdering av faren og konsekvensen av flodbølge etter et kvikkleireskred. Visse holdepunkter kan imidlertid settes opp til hjelp i vurderingen:

- Volumet av skredmassen må være stor nok til å bevege et tilstrekkelig volum av vann.
- En tilstrekkelig del av skredmassene må være lite sensitive, slik at de effektivt vil kunne bevege vannmassene. Stor flakskred vil ha større potensiale til å generere flodbølger enn retrogressive skred.
- Sjøbunns morfologien må være slik at skredmassen vil kunne akselerere på sjøbunnen.

Andre kriterier som kan medføre tsunami og flodbølgeskade er:

- Bebyggelse plassert ved strandlinjen i nærheten av skredområdet eller i andre kritiske områder rundt fjorden/innsjøen.
- Veier/broer, jernbane eller kraftnettfundamenter på kritiske steder i strandsonen.

En annen mulig følgeskade av skred i strandsonen er at nye skred kan bli utløst lengre ut i sjøen. Potensialet for en slik effekt må vurderes.

Det kan være fare for liv/skade på mennesker i forbindelse med flodbølge. Slike prosesser oppstår meget raskt og vil gi lite tid til å tillate nødvendig evakuering. De materielle skadene vil også kunne bli betydelige. Det bør vurderes å øke vektallet fra 2 til 3.

7 EKSEMPELPÅ EVALUERING AV FAREGRADEN I STRANDSONEN

Et forsøk på å knytte sammen land og sjø data for vurdering av potensiell skredfare er presentert under for to tidligere kartlagte faresoner ved Botn i Rissa (dvs. sonene Strømmen og Naust) og for en sone i Finneidfjord. Resultatene oppnådd med foreslått farekartleggingsmetodikk (kapittel 6.2) sammenliknes med den eksisterende praksis beskrevet av Gregersen (2008) for vurdering av skredfaren på land.

7.1 Faresonen Strømmen, Rissa, Sør-Trøndelag

7.1.1 Farevurdering basert på kun land data

Resultat fra evaluering av faresonen Strømmen i Rissa er presentert i Tabell 7 (Vedlegg A). Denne tabellen ble utarbeidet av NGI (2006) basert på metoden beskrevet av Gregersen (2008). Faregraden ble evaluert som følger:

Skredaktivitet: Ut fra historiske hendelser og fra kvartærgeologiske kart kan man si at det fremgår en god del skredaktivitet med kvikkleire i Rissa kommune generelt. Det kjente Rissa-skredet ligger i samme dalstrøk og tvers over innsjøen Botnen. Skredaktivitet gis høyeste score.

Skråningshøyde: Ut fra topografiske kart vil man vurdere området som flatt med en slak skråning ned mot Botnen. Skråningen er <15 m høy og gis laveste score.

OCR: Opprinnelig terreng har trolig ikke ligget vesentlig høyere enn dagens terreng, men erosjon har medført at terrengnivået lokalt er noe senket. Det antas normalkonsolidert.

Poretrykk: Det er en del torv og myrdannelser i bakkant av sonen, men dette ble anslått å ha liten innvirkning på poretrykket. Det ble antatt hydrostatisk poretrykk. Laveste score.

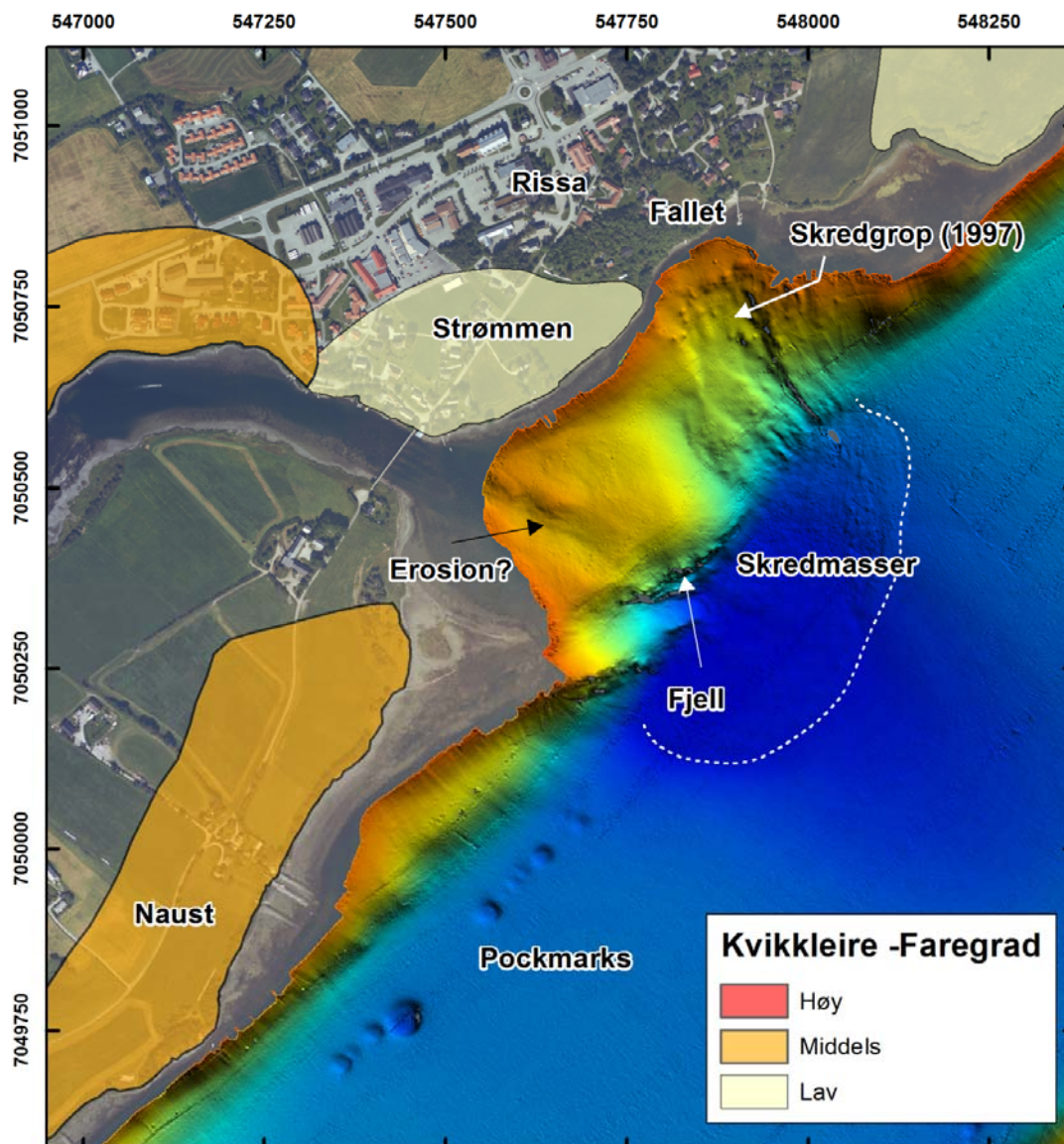
Kvikkleiremektighet: Boring utført indikerer kvikkleire fra overflaten til en dybde på ca. 11.5 meter. Det gis høyeste score.

Sensitivitet: Det ble antatt at sensitiviteten ligger i intervallet 30-100.

Erosjon: Det er ingen synlig erosjon på land i denne sonen. Laveste score.

Inngrep: Ingen inngrep er observert.

Resultatene fra vurdering for sonen Strømmen gir en faregrads score av 17. Dette tilsier en lav faregrad (33 % av maksimal poengsum).



Figur 20: Oversiktskart med detaljerte sjøbunnsdata utenfor Rissa sentrum og kvikkleiresonene Strømmen og Naust (fra L'Heureux et al. 2011c).

7.1.2 Farevurdering basert på land og sjø data

Sjøbunnen i Botn ble kartlagt av NGU i oktober 2010 med hjelp av en interferometrisk sidesøkende sonar (L'Heureux et al. 2011c). Skredfaren for sonen Strømmen kan dermed bli evaluert ved hjelp av land- og detaljerte sjødata (Figur

20). Tabell 8 presenterer en evaluering basert på land- og sjødata i henhold til metodikken beskrevet av Gregersen (2008). I Tabell 9 presenterer vi en evaluering utarbeidet ved hjelp av Tabell 5. Faregraden ble evaluert som følger:

Skredaktivitet: I tillegg til historiske hendelser og skred vist på kvartærgeologiske kart, kan man se nyere skredaktivitet på sjøbunnen utenfor Strømmen (se 1997; Figur 20). Skredaktivitet gis høyeste score.

Skråningshøyde/skråningshelning: Ut fra batymetriske kart ser man at marbakken er opp til 10 m høy og 12° bratt utenfor strandlinjen før sjøbunnen blir relativt flat. Skråningshøyden for hele sonen er dermed ca. 25 m. Skråningshøyden resulterer i en farescore 2 i Tabell 8, mens skråningshelning fører til en lav farescore i Tabell 9 (Vedlegg A).

OCR: Samme som i kap. 7.1.1.

Poretrykk: Sjøbunnsdata viser ikke pockmarks ved Strømmen og det er ikke noe tegn til poreovertrykk. Ellers samme som i 7.1.1. Det antas hydrostatisk poretrykk. Laveste score.

Kvikkleiremektighet: Utført boring indikerer kvikkleire fra overflaten til en dybde på ca. 11.5 meter. Dette tilvarer en kvikkleiremektighet i intervallet H/2–H/4 når en ser på skråningshøyden fra foten av marbakken til sonensavgrensning på land. Det gis middels score.

Sensitivitet: Samme som i kap. 7.1.1.

Erosjon: Sjøbunnsdata viser tegn til erosjon utenfor munningen av tidevannskanalen (Figur 20). Det har også nylig gått skred i området. Høyeste score.

Inngrep: Samme som i kap. 7.1.1.

Vurdering av skredfare med hjelp av den integrerte land og sjøbunnskartleggingsmetodikken fører til en *høy* faregrad for sonen Strømmen. Hovedforskjellene mellom de nye og de gamle vurderingene ligger i definisjonen av skråningshøyden / skråningshelningen og evalueringen av erosjon. Det bemerkes at de nye vurderingene i Tabell 8 og Tabell 9 (Vedlegg A) er en del av et utviklingsarbeid og det er fremdeles den tidligere definerte faregraden som gjelder.

7.2 Faresonen Naust, Rissa, Sør-Trøndelag

7.2.1 Farevurdering basert på kun land data

Resultatet fra evalueringen av faresonen *Naust* i Rissa er presentert i Tabell 10 (Vedlegg B). Denne tabellen ble utarbeidet av NGI (2006) basert på metoden beskrevet av Gregersen (2008). Faregraden ble evaluert som følger:

Skredaktivitet: Ut fra historiske hendelser og fra kvartærgeologiske kart kan man si at det fremgår en god del skredaktivitet med kvikkleire i Rissa kommune generelt. Det kjente Rissa-skredet ligger i samme dalstrøk og tvers over innsjøen Botnen. Skredaktivitet gis høyeste score.

Skråningshøyde: Ut fra topografiske kart har man vurdert området som slakt hellende mot Botnen, mens det nedenfor Reins kirke er det noe mer helning. Skråningen er <15 m høy og gis laveste score. Skråningshøyde gis score 2.

OCR: Opprinnelig terreng har trolig ikke ligget vesentlig høyere enn dagens terreng, men erosjon har medført at terrengnivået lokalt er noe senket. Det antas normalkonsolidert. Opprinnelig terreng har trolig ikke ligget vesentlig høyere enn dagens terreng, men erosjon har medført at terrengnivået lokalt er noe senket. Vestre deler av sonen består av marine strandavsetninger. Antatt normalkonsolidert.

Poretrykk: Det er en del fjell i bakkant av sonen, men dette ble vurdert til trolig å ha liten innvirkning på poretrykket. Antatt hydrostatisk poretrykk og laveste score.

Kvikkleiremektighet: Kvikkleire er påvist ved grunnboringer, men dybden er usikker. Det ble antatt middels mektighet.

Sensitivitet: Det ble antatt at sensitiviteten ligger i intervallet 30-100.

Erosjon: Det er påvist litt sig i terrenget helt nordøst på sonen. Score er 1.

Inngrep: Det er utført noe bekkelukking og planering. Inngrep score antatt til -1.

Resultatene fra vurderingen for faresonen *Naust* gir en faregradsscore av 19. Dette tilsier en middels faregrad/sannsynlighet for at skred skal inntreffe (37 % av maksimal poengsum) (Tabell 10 og Figur 20).

7.2.2 Farevurdering basert på land og sjø data

Med hjelp av detaljert sjøbunnsdata fra Botn (Figur 20) er det mulig å foreta en reevaluering av faresonen *Naust* basert på en integrasjon av land- og sjødata. Tabell 11 (Vedlegg B) presenterer en evaluering basert på land- og sjødata og metodikken beskrevet av Gregersen (2008). I Tabell 12 presenterer vi en evaluering utarbeidet ved hjelp av Tabell 5. Faregraden ble evaluert som følger:

Skredaktivitet: Samme som i 7.2.1. Skredaktivitet gis høyeste score.

Skråningshøyde/skråningshelning: Skråningshøyde utenfor strandlinjen ved *Naust* er opptil 30 m høy og marbakken er opptil 26° bratt. Kombinert med profilen på land er skråningshøyden til sammen > 30 m og gis dermed høyeste score (Tabell 11). Skråningshelning gir også høyeste score i Tabell 12.

OCR: Samme som i 7.2.1.

Poretrykk: Det er flere store pockmarks som er synlig på sjøbunnen utenfor Naust ved foten av marbakken. Disse er opp til 60 m i diameter og 4 m dype, og tolkes å komme fra artesisk poretrykk i leiravsetninger. Grunneierne har også registrert hull i isen over flere år på vinteren i dette området. Dette kan komme fra grunnvannsutsivingen som kommer opp i vannmassene på grunn av temperatur forskjellene. Vi antar 10-30 kPa overtrykk og dette er i overensstemmelse med data presentert i Tabell 4.

Kvikkleiremektighet: Kvikkleire er påvist ved grunnboringer, men dybden er usikker. Kvikkleiremektighet reduseres i forhold til den nye definerte skråningshøyden fram til foten av marbakken til intervallet $< H/4$.

Sensitivitet: Samme som i 7.2.1.

Erosjon: Samme som i 7.2.1.

Inngrep: Det er ikke foretatt noe forbedrende inngrep der stabiliteten trolig er kritisk, dvs. i sjøen. Score settes til 0.

Vurdering av skredfaren med hjelp av den integrerte land og sjøbunnskartleggingsmetodikken fører til en *høy* faregrad for sonen Naust. Grunnen til høyere faregrad skyldes økningen i skråningshøyden/skråningshelningen, høyere antatt poretrykk og ”fjerning” av forbedrende inngrep som trolig ikke hjelper der hvor stabiliteten er mest kritisk (dvs. i sjøen). Effekten av disse faktorene blir noe begrenset i vurderingen pga. en kvikkleiremektighet som blir mindre når man vurderer den sammenlagte land- og sjøskråningen. Det bemerkes at de nye vurderingene i Tabell 11 og Tabell 12 (Vedlegg B) er en del av et utviklingsarbeid og det er fremdeles den tidligere definerte faregraden som gjelder.

7.3 Faresonen ved Finneidfjord i Hemnes kommune

Figur 21 viser utstrekningen av kvikkleiresonen ved Finneidfjord i Hemnes kommune, Nordland. Sonen som ble etablert i 2005 (NGI 2005) og er lokalisert ved siden av 1996-skredet. Dette er et av få eksempler på en kvikkleiresone som er tegnet utenfor strandlinjen i Norge. I Finneidfjord har man vurdert faresonen ved hjelp av både land- og sjødata i 2005. Resultatene fra den opprinnelige evalueringen er presentert i Tabell 13 (Vedlegg B).

Skred faktorene ble vurdert som følger:

Skredaktivitet: Naboområdet til 1996-skredet. Det er også flere andre historiske skredhendelser i det samme området.

Skråningshøyde: Skråninger ligger ut i sjøen ned til kvote -30 m. Skråningshøyde gis score 2.

OCR: Det ble antatt at det ikke hadde vært noen terrengsenkning i området. Dette gir en konservativ vurdering av faregraden og er diskutert lenger ned i kapittelet.

Poretrykk: Målinger på land viser tilnærmet hydrostatisk fordeling med dybden. Laveste score ble derfor angitt for denne sonen i 2005 (Tabell 13).

Kvikkleiremektighet: Målinger viser kvikkleiremektighet på opptil 15 m (dvs. H/2-H/4).

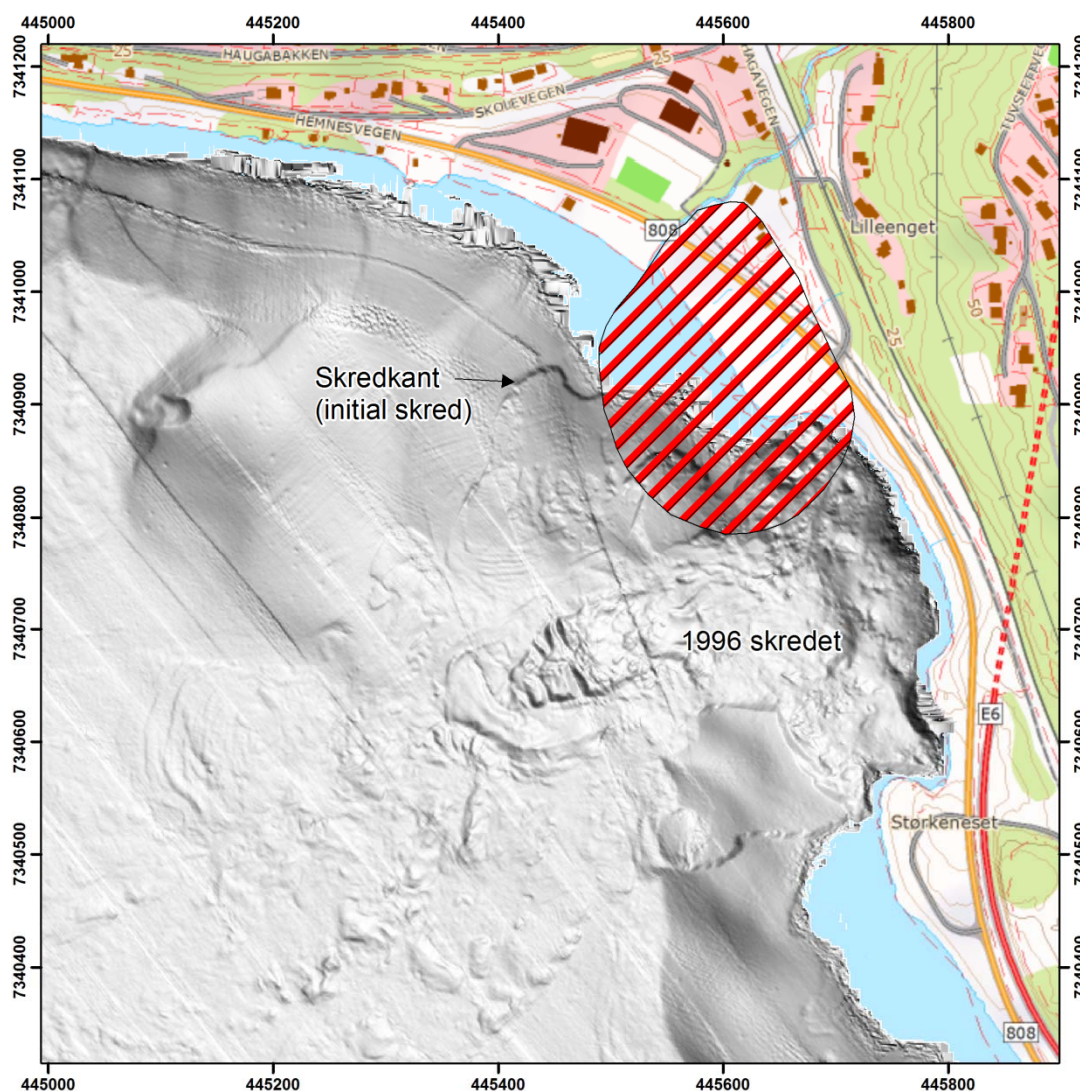
Sensitivitet: Sensitivitet er målt helt til 100.

Erosjon: Det er ikke påvist erosjon i området.

Inngrep: Området er fylt opp med ca 17-18 000 m³ sprengstein, tilsvarende 2,5-3,0 m høyde. Det ble derfor gitt høyeste score.

Resultatene fra vurderingen for faresonen *Finneidfjord* gir en faregrads score likt 26. Dette tilsier en høy faregrad/sannsynlighet for at skred skal inntreffe (51 % av maksimal poengsum). OCR som ble brukt i vurderingen i 2005 representerer de normalkonsoliderte leiravsetningene i det utfylte området på land. Denne antagelsen er konservativ, men kanskje ikke helt representativt for et eventuelt skredscenario (initialskred i sjøen). Leiravsetningene ute i sjøen er sannsynligvis noe overkonsolidert pga. terrengendringer som følge av 1996-skredet. Effekten av OCR på faregraden er visst i Tabell 14. I denne tabellen ble også poretrykket satt til klasse "0-10 kPa" fordi det er kartlagt pockmarks på sjøbunn og fordi poretrykksmålere viser overtrykk i sedimentene utenfor strandlinjen (Figur 13). Avhengig av OCR, og hvor den vurderes i skråningen, vil faresonen ligge i intervallet middels til høy faregrad.

En lignende øvelse ble gjort for å studere effekten av skråningshelning på faregraden (Tabell 15). Gjennomsnittshelning før 1996-skredet var 17°. I dag varierer helningen på marbakken fra 12-21°, avhengig av hvor den er målt (intakt skråning, skredkant, skredgrop, osv). Her igjen blir faregradsvurderingen avhengig av helningen i tillegg til OCR.



Figur 21: Utstrekning av kvikkleire sonen ved Finneidfjord i Hemnes.

8 DISKUSJON OG FORSLAG TIL VIDERE FOU-OPPGAVER I NIFS

Rapporten viser at svært mange kvikkleireskred relateres til små eller store inngrepp i strandsonen. Erfaringen viser også at det ved flere anledninger er forholdene i sjøen som har vært avgjørende for utløsningen av kvikkleireskred i strandsonen. Fram til i dag har den landsomfattende kvikkleirekartlegging i liten grad fokusert på forholdene i strandsonen og spesielt utenfor strandlinjen. Dette skyldes manglende kunnskap om naturlige prosesser i strandsonen og på marbakken, samt at det tidligere var lite batymetriske data tilgjengelig i sjøen utenfor strandlinjen. Informasjon om sjøbunnstopografi er mer og mer tilgjengelig i dag og det viser seg at en tredje-del av dybdeintervallet (0-20 m) er kartlagt med høy oppløsning i Norge. Batymetrisk kartlegging av kystsonen vil også øke de neste årene pga. kravene til navigasjon og andre interesser (fiskeri næringen,

biologisk mangfold, osv.). Det er dermed ingen grunn ikke til å bruke sjøbunnsdata for identifisering av faresoner i strandsonen og for vurdering av potensiell fare for skred når disse er tilgjengelige.

Flere metoder for kartlegging av skredfaren i strandsonen er blitt foreslått de siste 10-15 årene. Eksempler er beskrevet i Emdal et al. (1997), Longva et al. (1999), Gregersen & Sandersen (1999), Hansen et al. (2005) og L'Heureux et al. (2009). Forslaget som er presentert i nåværende rapport baserer seg på dagens kvikkleire-kartleggingsprogram (Gregersen 2008, NVE 2009). Dette anses som mest logisk for å få til et helhetlig verktøy som kan kobles/sammenliknes med eksisterende evalueringer av faresoner i NVEs database.

Før metodikken tas i bruk bør man vurdere om vektallene i faregradsmatrisen på land kan brukes på samme måte i strandsonen som på land. Faregradsklassen lav, middels og høy bør tilsvare den samme sannsynlighet for skred om en befinner seg i strandsonen eller på land. Det foreslås å gjøre en studie av et representativt utvalg soner i strandsonen (statistisk analyse) for å bedre kunne vektlegge de forskjellige faktorer og for å teste metodikken. Dette kan gjøres fortløpende med en re-evaluering av tidligere kartlagte faresoner i strandsonen (se Tabell 2). Det eksisterer detaljerte sjøbunnsdata og grunnundersøkelser for de fleste soner som tidligere er kartlagt i strandsonen (se Tabell 2).

Selv om det anses som mer ”fysisk” riktig å bruke skråningshelning i forhold til skredmekanisme i strandsonen, kan det tenkes at det fortsatt er bedre å bruke skråningshøyden. Grunnen er at resultatene vil bli mer sammenliknbare med kartleggingen gjort på land. Faktorene i faregradsmatrisen bør også være avhengige av hverandre og skråningshelning er til en viss grad avhengig av OCR. I mange tilfeller vil det enten være en kombinasjon av høy skråningsvinkel og høy OCR (skredgrop) eller, lav skråningsvinkel og lav OCR. Man kan risikere da at disse faktorene eliminerer hverandre; dvs. i begge tilfeller kommer ut med lik faregrad. Vektlegging at disse faktorer blir derfor viktig. Eksempelet fra Finneidfjord (kap. 7.3) viser imidlertid her at det fungerer bra med bruk skråningshelning. Her var helningen både før og etter 1996-skredet større enn 16° (dvs. høyeste klasse). Økt OCR etter skredet vil medføre en lavere faregrad enn opprinnelig.

Dagens retningslinjer for evaluering av faregraden blir ofte tolket ulikt av forskjellige geoteknikere. Faregradsevaluering skal utføres for det mest kritiske snitt og for den mest aktuelle skredmekanismen, men dette er ikke alltid lett å vurdere. Eksempelene i kap. 7 viser at små endringer i OCR, poretrykk, skråningshøyde og eller skråningshelning kan føre til betydelige forandring av faregraden. Dette kan medføre store økonomiske konsekvenser for en eventuell utbygging. Det trengs dermed klarere retningslinjer for å få en mer sammenliknbar og helhetlig skredfarevurdering på land og i strandsonen.

For å forbedre metoden for vurdering av fare og risiko knyttet til kvikkleireskred i strandsonen trengs det også mer kunnskap om dannelse av kvikkleire og utstrekning i strandsonen. En bedre forståelse av kvikkleireutstrekning i slike

områder vil også bidra til bedre planlegging og plassering av grunnundersøkelser under kartleggingen. Ved å sammenstille data fra grunnundersøkelser med data vedrørende f. eks. terreng- og fjelltopografi, type strandsoner, lagdeling og landhevingshistorie, vil det være mulig å komme fram til typiske terrengmodeller i strandsonen, som kan si noe om hvor det eventuelt er mulig å finne kvikkleire. Denne studien viser at kvikkleire forekommer oftere utenfor strandlinjen i områder som er omringet av bratte fjellsider. Slik topografi fører til økt grunnvannsgjennomstrømningen og artesisk poretrykk i leiravsetningene i strandsonen. Ved flere anledninger finner man også pockmarks på sjøbunn som følge av overtrykket i slike områder. En numerisk studie av grunnvannsstrømningens mønstre for typiske strandsonerområder vil kunne bidra til økt forståelse av kvikkleiredannelse i strandsonen.

9 KONKLUSJON

Noen av de mest dramatiske kvikkleireskredene de siste årene i Norge har inntruffet i strandsonen. Erfaringen viser at skredene kan relateres til både små og store menneskelige inngrep, og en rekke naturlige faktorer. Dette viser at det er et stort behov for å kartlegge fare- og risiko-områder for arealplanlegging, og for vurdering av sikringsbehov i forhold til eksisterende bebyggelse og infrastruktur i strandsonen.

Det er viktig at de som er ansvarlige for kvikkleirekartleggingen både har innsikt i og forståelse for de metodene som benyttes, og kontinuerlig ser på potensialet for forbedringer. Denne rapporten presenterer et forslag til metode for skredkartlegging i strandsonen, hvor aspekter fra både land og sjø er inkludert. Metoden er basert på erfaring fra 32 historiske skredhendelser og på det nåværende kvikkleirekartleggingsprogrammet. Dette vil gi et mer helhetlig produkt som kan kobles og sammenlignes med eksisterende evalueringer av faresoner i NVEs database. Første trinn i evalueringen er å identifisere mulige faresoner. Dette kan gjøres enkelt ved hjelp av GIS der grunnlaget består av kvartærgeologiske kart, eksisterende informasjon om grunnforhold, topografiske / batymetriske kart og topografiske kriterier. Erfaringen viser at bukter, viker og områder med marbakke brattere enn 10 grader bør prioriteres. Det må også gjøres en prioritering med henblikk på samfunnsmessig betydning. Identifisering av faresoner kan gjøres uten detaljert sjøbunnsdata, men slike data bør brukes der de er tilgjengelige. Det viktigste er å fange opp områder der et eventuelt kvikkleireskred kan forplante seg inne på land.

Detaljerte sjøbunnsdata gir i dag bedre muligheter for vurdering av faregrad, konsekvens og risiko for skred i strandsonen. Eksempler fra Rissa og Finneidfjord tilsier at det lett vil oppstå ulik praksis for evaluering av faresoner når data fra strandsonen skal integreres med eksisterende datasett fra land. Derfor anbefales det å evaluere et større antall representative kvikkleiresoner i strandsonen i framtiden, for å kalibrere metoden slik at evaluering av faresoner i strandområdet og på land kan utføres enhetlig.

Oversikten presentert i rapporten viser at det per i dag er ca. en tredjedel av dybdeintervallet 0-20 m som er kartlagt langs den norske kystlinjen. Det finnes detaljerte sjøbunnsdata for mer enn 50 % av de kartlagte kvikkleiresonene i strandsonen. Dårligst dekning av detaljert sjøbunnsdata i forhold til skredproblematikken i strandsonen er i Nordland og Nord-Trøndelag. Det nasjonale sjøbunns-kartleggingsprogrammet bør dermed prioritere disse fylkene i fremtiden. Flybåren batymetrisk lidar teknologi er i stigende grad brukt for kartlegging av grunne sjøområder internasjonalt. Denne metoden er svært lovende og bør testes over et større areal i Norge. Metoden vil være svært kostnadseffektiv i forhold til bruk av overflatefartøy. En bedre forståelse av kvikkleirens utvikling og utstrekning i strandsonen er også viktig for å bedre kunne planlegge grunnundersøkelserprogrammer i forbindelse med den landsomfattende kartleggingen av faresoner for kvikk-leireskred.

10 REFERANSER

- Andersen, B.G. 2000. Istider i Norge. Universitetsforlaget, Oslo. 216 p.
- Andersson-Sköld, Y., Torrance, J.K., Lind, B., Odén, K., Stevens, R. L., and Rankka, K. 2005. Quick clay - A case study of chemical perspective in southwest Sweden. *Engineering Geology*, 82(2):107–118. doi:10.1016/j.enggeo.2005.09.014.
- Bazin, S. & Pfaffhuber, A.A. 2011: Procedures for quick clay mapping. Open file report ERT and IP case histories. NGI report 20100066-00-3-R.
- Bjerrum, L. 1954. Geotechnical properties of Norwegian marine clays. *Géotechnique*, 4(1): 49–69.
- Bøe, R., Rise, L., Blikra, L.H., Longva, O., Eide, A., 2003. Holocene mass movements process in Trondheimsfjorden, Central Norway. *Norw. J. Geol.* 83, 3–22.
- Costa, B.M., Battista, T.A., Pittman, S.J., 2009. Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam sonar bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems. *Remote sensing of environment* 113(5): 1082-1100.
- De Blasio, F.V., Elverhøi, A., Issler, D., Harbitz, C.B., Bryn, P. & Lien, R. 2005: On the dynamics of subaqueous clay rich gravity mass flows – the giant Storegga slide, Norway. *Marine and Petroleum Geology* 22: 179-186.
- Devoli, G. 2009: Kartlegging av kvikkleire i strandsonen – ”Identification of quick clay deposits along the Norwegian shoreline: Collection of data from Statens Vegvesen and Norwegian Geotechnical Institute archives. Rapport nr. 20061489-2

- Emdal, A., Janbu, N. & Sand, K. 1996: The shoreline slide at Lade. I. Senneset, K. (red.): Landslides. Proceedings of the 7th International symposium on Landslides, Trondheim, Norway, vol. 1, 533-538.
- Emdal, A., Nordal, S. & Janbu, N. 1997: Videreføring av kartlegging av fare for løsmasseskred i Norge. Høringsutkast. Institutt for geoteknikk, NTNU. Rapport O.97.03-1.
- Fair, G. 2010: Coastal zone mapping with airborne lidar bathymetry. MSc. Thesis. Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMP), Universitet for miljø og biovitenskap (UMB), Ås, Norge.
- Gregersen, O. (1999). Kvikkleireskredet i Finneidfjord 10. Juni 1996. NGI report 980005-1. Norwegian Geotechnical institute. Oslo, Norway.
- Gregersen, O. & Sandersen, F. 1999: Testprosjekt Tromsø. Kartlegging av skredfare, Kartblad M711 1534 III. Norges Geotekniske Institutt Rapport 980074-1, 17.03.1999
- Gregersen, O. 2008: Program for økt sikkerhet mot leirskred – Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire. NGI Rapport 20001008-2 (3. Revisjon 08.10.2008).
- Guenther, G.C., A.G. Cunningham, P.E. LaRocque, and D.J. Reid. 2000. Meeting the accuracy challenge in airborne lidar bathymetry. *Proceedings of EARSeL Symposium 2000*. Dresden, Germany.
- Hansen, L., Eilertsen, R. & Longva, O. 2005: Skredkartlegging langs kystsonen i Trondheimsområdet, datagrunnlag og morfologi. NGU Rapport 2005.054.
- Hansen L., L'Heureux J.S., Longva O., Eilertsen R.S. : 2011a. Mapping of subaqueous landforms for near-shore landslide susceptibility assessment along Norwegian fjords. Proceedings of the second world landslide forum, Rome, Italy, 3.-7. October 2011. Extended abstract in press by Springer.
- Hansen L., L'Heureux J.S., Longva O., Eilertsen R.S., (2011b) Undersjøiske landformer og skredprosesser langs strandsonen i Drammensfjorden. NGU Rapport 2011.003.
- Helle, T. (2006). Kartlegging av kvikkleires utstrekning i strandsonen. Sammenstilling av innsamlede data. Forprosjekt. Rapport 20061489-1.
- Irish, J.L., J.K. McClung, and W.J. Lillycrop. 2000. Airborne lidar bathymetry: the

SHOALS system. *PIANC Bulletin*. 2000(103): 43-53.

Karlsrud, K. 1979: Skredfare og planlegging. Forelesningsnoter til NIF-kurs. Norske sivilingeniørs forening i samarbeid med NGI. Lofthus, Hardanger.

L'Heureux, J.S. 2009: A multidisciplinary study of shoreline slides: From geological development to geohazard assessment in the bay of Trondheim, Mid-Norway. PhD-avhandling. Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU. 158 s.

L'Heureux, J.S., Longva, O., Hansen, L. (In prep.) The 1930 landslide in Orkdalsfjorden: Morphology, failure mechanism and landslide propagation. Proceedings of the 6th International Symposium on Submarine Mass Movements and Their Consequences, Kiel, Germany, 2013.

L'Heureux, J.S. 2012: A study of the retrogressive behaviour and mobility of Norwegian quick clay landslides. I: Eberhardt, E., Froese, C., Turner, K.A. & Leroueil, S., (red.): Proceedings of the 11th International and 2nd North American Symposium on Landslides and Engineered Slopes, Banff, Canada, 3.-8. Juni 2012. Vol.1: 981-988.

L'Heureux, J.S., Longva, O., Steiner, A., Hansen, L., Vardy, M.E., Vanneste, M., Haflidason, H., Brendryen, J., Kvalstad, T.J., Forsberg, C.F., Chand, S. & Kopf, A. 2012a: Identification of weak layers and their role for the stability of slopes at Finneidfjord, northern Norway. I: Yamada et al. (red.): Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological hazards 31, Springer Science+Business Media, s. 321-330.

L'Heureux, J.S., Eilertsen, R.S., Glimstad, S., Issler, D., Solberg, I.L. & Harbitz, C.B. 2012b: The 1978 quick clay landslide at Rissa, mid-Norway: subaqueous morphology and tsunami simulations. I: Yamada et al. (red.): Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological hazards 31, Springer Science+Business Media, s. 507-516.

L'Heureux, J.S. 2012c: Characterization of historical quick clay landslides and input parameters for Q-Bing. NGI report 20120753-02-R.

L'Heureux, J.S., Hansen, L., Longva, O., & Eilertsen, R.S. 2011a: Landslides along Norwegian fjords, processes, cause and hazard assessment. Proceedings of the second world landslide forum, Rome, Italy, 3.-7. October 2011. Extended abstract in press by Springer.

- L'Heureux, J.S., Sylfest, S., Longva, O., Hansen, L. & Harbitz, C.B. 2011b: The 1888 shoreline landslide and tsunami in Trondheimsfjorden, central Norway. *Marine Geophysical Research* 32(1-2): 313-329.
- L'Heureux, J.S., Eilertsen, R.S., Hansen, L. & Sletten, K. 2011c. Morfologi og skredkartlegging i Botn, Rissa, Sør-Trøndelag. NGU Rapport 2011.037.
- L'Heureux JS, Hansen L, Longva O, Emdal A, Grande L (2010a) A multidisciplinary study of submarine landslides at the Nidelva fjord delta, Central Norway – Implications for geohazards assessments. *Norw J Geol* 90: 1–20
- L'Heureux, J.S., Longva, O., Hansen, L. 2010b: Ny kunnskap om skredmekanisme langs norske fjorder: Eksempler fra Trondheimsfjorden og Sørfjorden i Hemnes. *Fjellsprenningsteknikk, Bergmekanikk/Geoteknikk*, Oslo, 25-26 nov. 2010, s. 20.1-20.15.
- L'Heureux, J.S., Longva, O., Hansen, L. & Vingerhagen, G. 2007: The 1990 submarine slide outside the Nidelva River mouth, Trondheim, Norway. I: V. Lykousis, D. Sakellariou & Locat, J. (red.): *Submarine Mass Movements and Their Consequences*. Kluwer Series on Advances in Natural and Technological Hazards Research, vol. 27, 259-267.
- Long, M., Donohue, S., L'Heureux, J-S., Solberg, I-L., Rønning, J.S., Limacher, R., O'Connor, P., Sauvin, G., Rømoen, M., Lecomte, I. 2012: Relationship between electrical resistivity and basic geotechnical parameters for marine clays. *Canadian Geotechnical Journal* 49: 1-11.
- Longva, O., Blikra, L.H., Muring, E., Thorsnes, T. & Reither, E. 1999: Testprosjekt Finneidfjord – Integreert skredfarekartlegging og metodevurdering. NGU Rapport 99.051.
- Longva, O., Janbu, N., Blikra, L.H. & Boe, R. 2003: The 1996 Finneidfjord slide: seafloor failure and slide dynamics. I: Locat, J. & Mienert, J. (red.): *Submarine Mass Movements and Their Consequences*. Kluwer academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, s. 531-538.
- Lillycrop, W.J., L.E. Parson, and J.L. Irish. 1996. Development and operation of the SHOALS airborne lidar hydrographic system. *SPIE: Laser Remote Sensing of Natural Waters From Theory to Practice*. 15: 26-37.

- NGF. 1982. Veilding for symboler og definisjoner i geoteknikk - presentasjon av geotekniske undersøkelser. Norsk Geoteknisk Forening, Oslo.
- Nordal S, Alén C, Emdal A, Jendeby L, Lyche E, Madshus C, (2009) Skredet i Kattmarkvegen i Namsos 13. mars 2009 – Rapport fra undersøkelsesgruppe satt ned av Samferdselsdepartementet. Tapir Uttrykk, Trondheim.
- NGI (2005) Risiko for kvikkleireskred – Klassifisering av fareområder. Kartblad Korgen, M = 1:50 000. Rapport nr. 20021392-3.
- NGI (2006) Evaluering av risiko for kvikkleireskred – Rissa kommune. Rapport 20001008-30.
- NGI (2011) Fv. 17- Bangsundsvingene. Grunnundersøkelser – datarapport. 20110702-00-3-R. 20. April 2012.
- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) 2009: Retningslinjer for planlegging og utbygging i fareområder langs vassdrag. Retningslinjer nr. 1/2008 (rev. 05.03.2009).
- Rambøll (2012). Buvika Brygge AS. Grunnundersøkelser Datarapport. Oppdrag nr. 6120330. Rapport nr. 1
- Reite, A.J. (1986) Rissa 1522 II, Kvartærgeologisk kart – M. 1:50,000. Norges geologisk undersøkelse.
- Rosenqvist, I.T. 1955. Investigations in the clay-electrolyte-water system. Norwegian Geotechnical Institute Publication 9. Norwegian Geotechnical Institute.
- Rygg, N. & Oset, F. 1996: The Balsfjord landslide. I: Senneset, K. (red.): Landslides. Proceedings of the 7th International symposium on Landslides, Trondheim, Norway, vol. 1, 573-577.
- Sandven, R., Vik, A., Rønning, S., Tørum, E., Christensen, S., Gylland, A. 2012. Detektering av kvikkleire fra ulike sonderingsmetoder. Rapport nr.26/2012. Utgitt av Norges vassdrags og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket under etatsatsningsprosjekt Naturfare – Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS).
- Skaven-Haug, S. 1955: Undervannskred i Trondheimhavn området. Norges Geotekniske Institutt Publikasjon 7.
- Skogholt, T. & Roti, D.I. 2010: Kvikkleireskred Solhov, Lyngen. Grunnundersøkelser RV.868, Datarapport. Multiconsult Rapport 711027-1, 25.11.2010.

- Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. 2011: Veileder for bruk av resistivitetsmålinger i potensielle kvikkleireområder. Versjon 1.0. NGU Rapport 2010.048
- Statens Vegvesen. 2008: Evaluation of groundwater and uplift pressure in Pit 5 – Skansenlopet tunnel. Unpublished internal report. 11 pp.
- Ter-Stepanian, G. (2000) Quick clay landslides: their enigmatic features and mechanism. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 59, 47–57.
- Torrance, J.K. 1974. A laboratory investigation of the effect of leaching on the compressibility and shear strength of Norwegian marine clays. *Géotechnique*, 24(2): 155–173.doi:10.1680/geot.1974.24.2.155.
- Vardy M.E., L'Heureux J.-S., Vanneste M., Longva O., Steiner A., Forsberg C.F., Haflidason H., and Brendryen J. Multidisciplinary investigation of a shallow near-shore landslide, Finneidfjord, Norway. *Near Surface Geophysics*, 10, p. 267-277, 2012
- Wozencraft, J.M. 2001. The coastal zone revealed through SHOALS lidar data. *Proceedings, Hydro 01, Norfolk, Virginia, USA.*
- Yang, E.; Guenther, G.; Francis, K.; Reid, D.; Pan, W.; Sitar, M., and LaRocque, P., 2008. Seamless mapping across the land-water boundary. *Shallow Survey 2008: 5th International Conference on High Resolution Surveys in Shallow Waters.* Portsmouth, New Hampshire; CCOM/JHC University of New Hampshire. 76.

VEDDLEGG A

Tabell 7: Evaluering av potensiell fare for sonen Strømmen basert kun på land data og metodikken utarbeidet av Gregersen (2008).

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde	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	< - 30	-(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	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		17			
% av maksimal poengsum		33 % → Lav faregrad			

Tabell 8: Evaluering av potensiell fare for sonen Strømmen basert på land og sjø data og metodikken utarbeidet av Gregersen (2008).

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde	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
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	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		28			
% av maksimal poengsum		55 % → Høy faregrad			

Tabell 9: Evaluering av potensiell fare for sonen Strømmen basert på land og sjø data og Tabell 5.

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshelning	2	>16	13-16	10-13	<10
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
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	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		26			
% av maksimal poengsum		51 % → Høy faregrad			

VEDDLEGG B

Tabell 10: Evaluering av potensiell fare for sonen Naust basert kun på land data og metodikken utarbeidet av Gregersen (2008).

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde	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	< - 30	-(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	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		19			
% av maksimal poengsum		37 % → Middels faregrad			

Tabell 11: Evaluering av potensiell fare for sonen Naust basert på land og sjø data og metodikken utarbeidet av Gregersen (2008).

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde	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
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	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		28			
% av maksimal poengsum		55 % → Høy faregrad			

Tabell 12: Evaluering av potensiell fare for sonen Naust basert på land og sjø data og Tabell 5.

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshelning	2	>16	13-16	10-13	<10
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
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	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		28			
% av maksimal poengsum		55 % → Høy faregrad			

VEDDLEGG C

Tabell 13: Evaluering av potensiell fare for sonen Finneidfjord (NGI 2005).

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde	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	< - 30	-(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	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		26			
% av maksimal poengsum		51 % → Høy faregrad			

Tabell 14: Effekten av OCR på vurdering potensiell fare for sonen Finneidfjord.

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde	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	< - 30	-(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	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		25-29			
% av maksimal poengsum		49-57 % → Middels til høy faregrad			

Tabell 15: Bruk av skråningshelning i evaluering av potensiell fare for sonen Finneidfjord.

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshelning	2	>16	13-16	10-13	<10
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
Kvikkleiremektighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20
Erosjon	3	Aktiv/glidn.	Noe	Lite	Ingen
Inngrep: Forverring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
Forbedring	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		23-27			
% av maksimal poengsum		45-53 % → Middels til høy faregrad			



Dokumentnr.: 20120754-01-R
Dato: 2012-12-01
Rev. nr.: 00
Side: 59

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information					
Dokumenttittel/Document title Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen				Dokumentnr./Document No. 20120754-00-R	
Dokumenttype/Type of document Rapport/Report		Distribusjon/Distribution Fri/Unlimited		Dato/Date 1. desember 2012	
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date -	
Oppdragsgiver/Client NIFS					
Emneord/Keywords Strandsone, skred, kvikkleire, metoder, sjøbunnsdata, faregrad					
Stedfesting/Geographical information					
Land, fylke/Country, County				Havområde/Offshore area	
Kommune/Municipality				Feltnavn/Field name	
Sted/Location				Sted/Location	
Kartblad/Map				Felt, blokknr./Field, Block No.	
UTM-koordinater/UTM-coordinates					
Dokumentkontroll/Document control					
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev./Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen-kontroll/ Self review av/by:	Sidemanns-kontroll/ Colleague review av/by:	Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:	Tverrfaglig kontroll/ Inter-disciplinary review av/by:
0	Originaldokument				
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 1. desember 2012		Sign. Prosjektleder/Project Manager Jean-Sebastien L'Heureux	



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

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

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

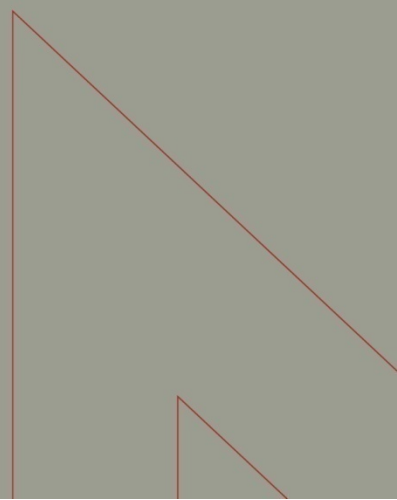
Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

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

ngi@ngi.no
www.ngi.no

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

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



Utgitt i Rapportserien i 2013

- Nr. 1 Roller i det nasjonale arbeidet med håndtering av naturfarer for tre samarbeidende direktorat
- Nr. 2 Norwegian Hydrological Reference Dataset for Climate Change Studies. Anne K. Fleig (Ed.)
- Nr. 3 Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed
- Nr. 4 Faresonekart skred Odda kommune
- Nr. 5 Faresonekart skred Årdal kommune
- Nr. 6 Sammenfatning av planlagte investeringer i sentral- og regionalnettet for perioden 2012-2021
- Nr. 7 Vandringshindere i Gaula, Namsen og Stjørdalselva
- Nr. 8 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 9 Energibruk i kontorbygg – trender og drivere
- Nr. 10 Flomsonekart Delprosjekt Levanger. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 11 Årsrapport for tilsyn 2012
- Nr. 12 Report from field trip, Ethiopia. Preparation for ADCP testing (14-21.08.2012)
- Nr. 13 Vindkraft - produksjon i 2012
- Nr. 14 Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2013. Inger Sætrang
- Nr. 15 Klimatilpasning i energiforsyningen- status 2012. Hvor står vi nå?
- Nr. 16 Energy consumption 2012. Household energy consumption
- Nr. 17 Bioenergipotensialet i industrielt avfall
- Nr. 18 Utvikling i nøkkeltall for strømnetselskapene
- Nr. 19 NVEs årsmelding
- Nr. 20 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2012
- Nr. 21 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Forebyggende kartlegging mot skred langs strandsonen i Norge Oppsummering av erfaring og anbefalinger
- Nr. 23 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG) – forundersøkelse
- Nr. 24 Flom og skred i Troms juli 2012. Inger Karin Engen, Graziella Devoli, Knut A. Hoseth, Lars-Evan Pettersson
- Nr. 25 Capacity Building in Hydrological Services. ADCP and Pressure Sensor Training Ministry of Water and Energy, Ethiopia 20th – 28th February 2013
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

