



Metode for vurdering av løsne – og utløpsområder for områdeskred

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

14
2016



R
A
P
P
O
R
T

Rapport nr 14-2016

Metode for vurdering av løsne – og utløpsområder for områdeskred

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfattere: Kristian Aunaas, Hanne Bratlie Ottesen, Frode Oset SVV
Trude Nyheim, Stein-Are Strand, Einar Lyche NVE.
Odd Arne Fauskerud Multiconsult AS
Kjell Karlsrud, Jean-Sébastien L'heureux,
Vidar Gjelsvik NGI. Vikas Thakur NTNU.

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: P.O.D

Forsidefoto: Kristian Aunaas

ISBN 978-82-410-1204-4

ISSN 1501-2832

Sammendrag: Rapporten inneholder anbefalte metoder for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred

Emneord: Områdestabilitet, løsneområde, utløpsområde, kvikkleire, sprøbruddmaterialer

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

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

INNHOOLD

Innhold	3
1 Forord.....	4
2 Terminologi	5
3 Grunnlag.....	6
4 Forutsetninger for metodeforslag	7
4.1 Tilpasning til arealplaner	7
4.2 Forutsetninger og begrensninger	7
5 Metode for avgrensning av løsne- og utløpsområder på nivå med kommuneplanens arealdel (potensielle faresoner/aktsomhetsområder)	8
5.1 Dagens praksis - løsneområder	8
5.2 Ny metode for løsneområder tilpasset kommuneplanens arealdel	8
5.3 Metode for utløpsområder tilpasset kommuneplanens arealdel.....	8
6 Metode for avgrensning av Løsne- og utløpsområder tilpasset «reguleringsplannivå» (Reelle faresoner)	8
6.1 Dagens praksis - løsneområder	8
6.2 Dagens praksis - utløpsområder	9
6.3 Forslag til ny metode for avgrensning av løsneområder.....	9
6.4 Forslag til ny metode for vurdering av utløpsområder	10
7 Konklusjon og Videre arbeid	12
8 Vedlegg.....	12
9 Referanser.....	12

1 FORORD

Delaktivitet 6.7 har hatt som mål å utvikle praktiske metoder for å mer nøyaktig kunne estimere løsne- og utløpsmetoder for alle typer skred i sprøbruddmaterialer. Metodene gjelder landbaserte skred. *De skal kunne brukes på alle plannivå, men det er i denne rapporten referert til to nivåer som utgangspunkt, et enkelt nivå, referert til som «kommuneplannivå», samt et avansert nivå, referert til som «reguleringsplannivå». Hvilken metode som skal brukes må avgjøres etter hvilket plannivå man anser å være nærmest.*

De anbefalte metodene er basert på tilgjengelig litteratur og empirisk kunnskap. Metodene som angis skal ikke bidra til at man trenger flere grunnundersøkelser enn det som kreves med dagens krav.

NVE setter gjennom kvikkleireveilederen per i dag krav til at utløpsområdet skal være en del av potensielle og reelle faresoner, men det finnes ingen helhetlig metode for å angi utløpsområder. Arbeidet som er gjennomført gjennom arbeidsgruppen og presentert i denne rapporten har ført frem til en omforent anbefaling for hvordan man kan finne løsne- og utløpsområder for områdeskred.

Utløpsområdet vil maksimalt være 3 ganger lengden til løsneområdet. Det er dette som vil være anbefalingen for utløpsområdet på «kommuneplannivået». Løsneområdet kan anslås etter enkle, topografiske kriterier.

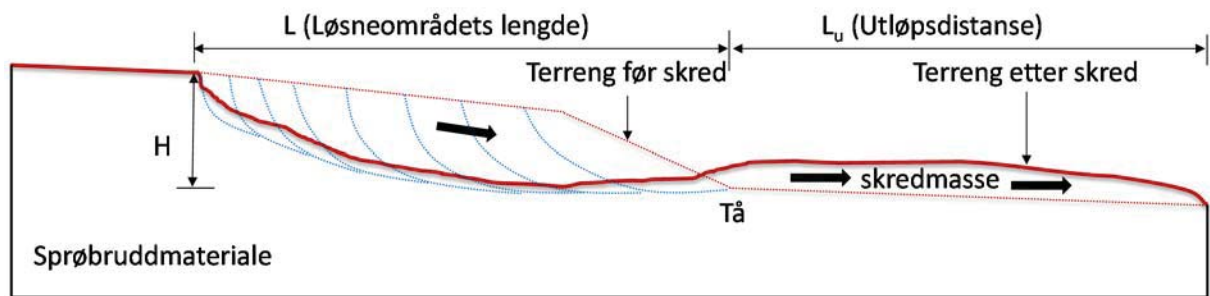
På «reguleringsplannivået» kan man ut ifra kjennskap til tidligere skredhendelser, samt grunnens lagdeling, styrkeforhold og topografi i det forventede utløpsområdet finne sannsynlig utstrekning av løsneområdet. Utstrekning av utløpsområdet er hovedsakelig avhengig av løsneområdets utstrekning, topografi i utløpsområdet og forventet skredtype. Det er funnet en metode for å anslå forventet skredtype. Utløpsområdet vil også på dette nivået være maksimalt 3 ganger lengden til løsneområdet dersom man har et retrogressivt skred med utløp i et ravinert terreng. Utløpsområdet kan reduseres ved at også selve løsneområdet blir innskrenket i forhold til opplysninger på et «kommuneplannivå». Hvis man har et retrogressivt skred med utløp i et åpent og flatere terreng kan utløpsområdet ytterligere innskrenkes til å være 1,5 ganger lengden til løsneområdet. Dersom man mest sannsynlig vil få et flakskred eller rotasjonskred vil utløpsområdet være maksimalt 0,5 ganger løsneområdet.

Etter en utprøvningsfase der eventuelle justeringer utføres etter tilbakemeldinger fra konsulenter/etater, vil metoden implementeres i NVEs kvikkleireveileder.

Annet relevant arbeid som bør utføres er vurdering av egne fare- og konsekvensmatriser for utløpsområder. Det kan også være aktuelt å vurdere bruk av andre parametere enn de som er nevnt i denne rapporten, slik som likviditetsindeks, omrøringsenergi $c_u / \gamma H > X$.

Det vil være nødvendig å utarbeide metoder for vurdering av løsne- og utløpsområder for skred i sjø/vann, herunder også virkninger av sekundæreffekter som oppskylling/flodbølge.

2 TERMINOLOGI

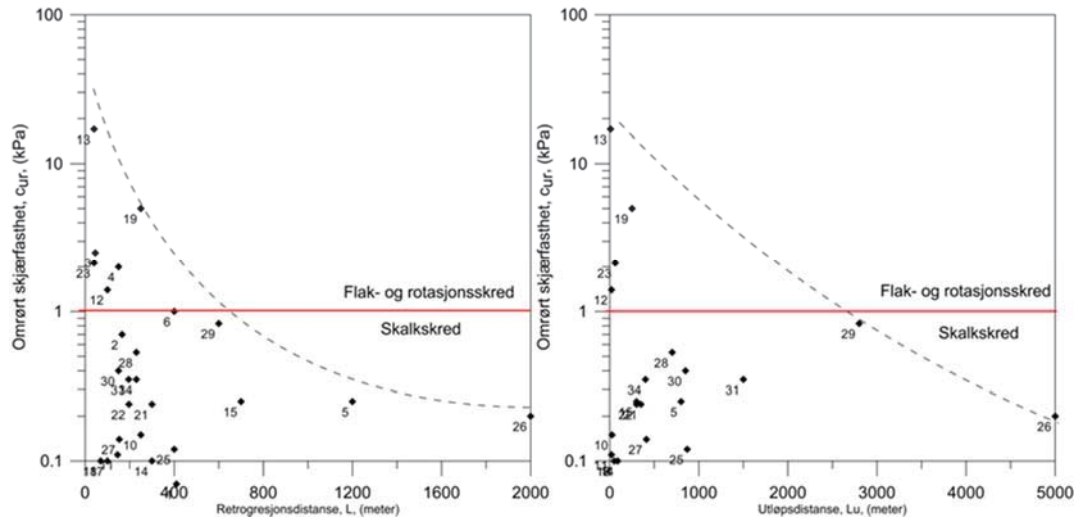


Figur 2.1 Prinsippskisse for løsnelområde og utløpsdistanse

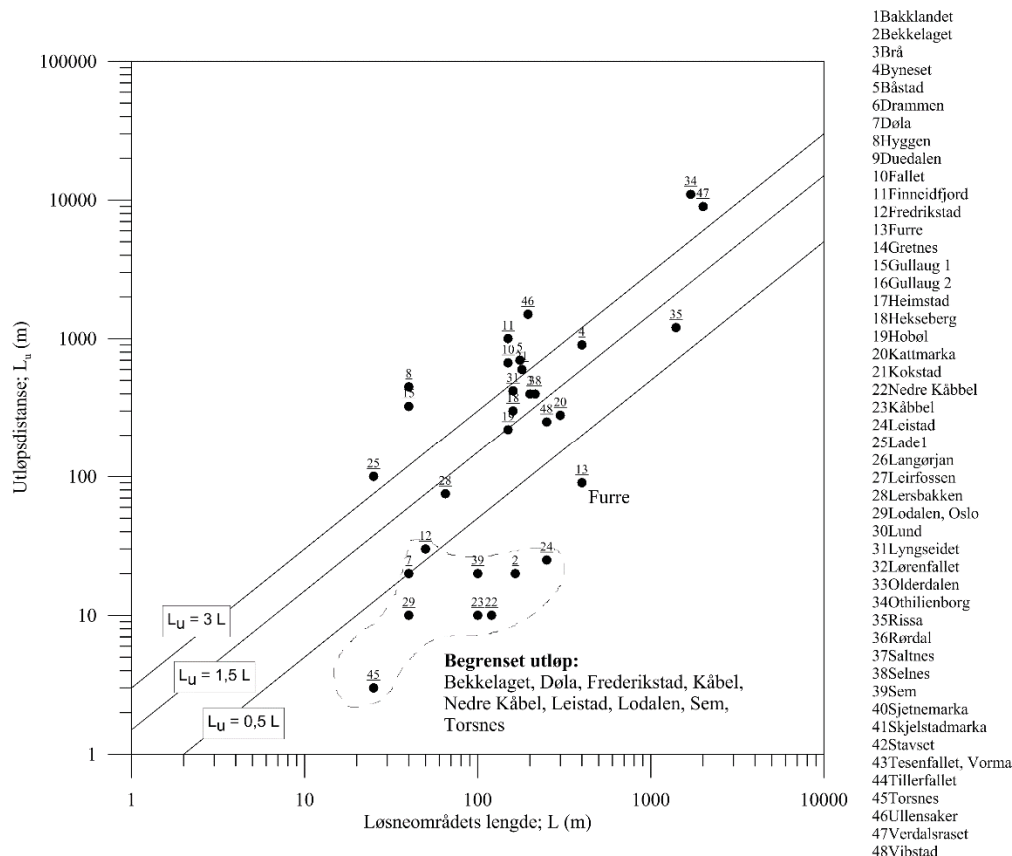
- **Løsnelområde:** Et areal som blir direkte rammet av et områdeskred ved at løsmasser raser ut og/eller forflytter seg.
- **Løsnedistanse/løsnelområdets lengde:** Et områdeskreds maksimale bakovergripende utstrekning regnet fra skråningsfot (skredets tå).
- **Sprøbruddmateriale (jordarter med sprøbruddegenskaper):** I geoteknisk sammenheng er dette definert som løsmasser (leire og silt) som utviser en utpreget sprøbruddoppførsel, dvs. en betydelig reduksjon i fasthet ved tøyninger ut over tøyning ved maksimal fasthet. NVEs kvikkleireveileder definerer materiale med omrørt skjærfasthet c_{ur} , < 2 kPa og sensitivitet $St > 15$ som jordarter med sprøbruddegenskaper.
- **Rotasjonsskred:** Skred med tilnærmet sirkulærsylindrisk glideflate.
- **Lokalskred:** Et rotasjonsskred eller overflateutglidning som kan skje i alle materialtyper, men som ikke utvikler seg til et områdeskred.
- **Initialskred (initial utglidning):** Lokalskred som utløser et større skred (områdeskred) i tilstøtende sprøbruddmaterialer
- **Områdeskred:** Her brukt for fremover- eller bakoverrettede skred med progressiv bruddutvikling i områder med kvikkleire/sprøbruddmateriale, i motsetning til lokalskred. Et områdeskred kan ha stor utbredelse. Begrepet kvikkleireskred brukes også om områdeskred.
- **Flaskred:** Skred der hele laget over glideflaten glir ut som et flak i et tilnærmet monolittisk stykke.
- **Retrogressivt skred:** Skred som utvikles ved at skaller glir ut i en serie av etterfølgende rotasjons- og/eller flaskred. Skredet griper bakover og i mange tilfeller sideveis i sprøbruddmateriale. Også kalt skalkskred.
- **Utløpsdistanse:** Distansen fra løsnelområdets nedre grense til skredmassenes endepunkt.
- **Utløpsområde:** Området der skredmassene avsettes nedenfor skredgropa. Utløpsområdet må vurderes på bakgrunn av skredmassenes egenskaper og topografiske forhold både i løsnel- og utløpsområdet. Resultater fra nyere forskning som er gjennomført i regi av NIFS tyder på at leirmasser som har omrørt skjærfasthet $c_{ur} < 1$ kPa blir tilnærmet helt flytende og dermed kan flyte langt vekk fra løsnelområdet, f.eks. i bekkedaler. Leire med $c_{ur} > 1$ kPa blir ikke like flytende i omrørt tilstand, og for slik leire vil utløpsområdet være mer begrenset, avhengig av skredvolum og skråningshelning nedenfor løsnelområdet.

3 GRUNNLAG

De anbefalte metodene er basert på tilgjengelig litteratur og erfaringsbasert kunnskap. Av spesiell viktighet er arbeidsgruppens gjennomgang av tidligere skredhendelser som kan spesifiseres som områdekred. Som et eksempel viser Figur 3.1 forholdet mellom henholdsvis løсне – og utløpsdistanse mot omrørt skjærfasthet for veldokumenterte områdekred i Norge (Thakur et. al 2014, ref. /1/).



Figur 3.1 Løsne –og utløpsdistanse for norske skred sammenstilt mot omrørt skjærfasthet (ref./1/)



Figur 3.2 Løsneområdets lengde mot utløpsdistanse for norske skred

Grunnlaget som er benyttet er for øvrig referert i NGIs tekniske notat 20140848-01-TN (vedlagt) og i artikkel «En diskusjon om løsne – og utløpsområder for skred i sprøbruddmaterialer (Thakur et.al. - Geoteknikkdagen 2014), ref. /1/.

4 FORUTSETNINGER FOR METODEFORSLAG

4.1 Tilpasning til arealplaner

Beskrivelse av forslag til revidert metode for bestemmelse av løsneområder er gitt i de etterfølgende kapitler. Det er valgt å beskrive to forskjellige metoder; 1) tilpasset nivå med kommuneplanens arealdel (aktsomhetsområder) og 2) tilpasset reguleringsplannivå (faresoner).

På et tidlig plannivå eller prosjektfase, eksempelvis kommuneplannivå, vil det normalt foreligge lite eller ingen grunnundersøkelser. Det legges derfor konservative kriterier til grunn for metoden, og metoden skal være enkel og robust nok til å kunne brukes av arealplanleggere og andre uten geoteknisk spesialkompetanse.

På et reguleringsplannivå vil det kreves mer omfattende grunnlag av grunnundersøkelser, samt at det i tillegg vil være behov for at det er gjennomført stabilitetsberegninger. Detaljingsnivået tilsvarer dagens praksis for en fullstendig utredning av kvikkleireskredfare som tilfredsstiller kravene i TEK 10 kapittel 7.3, som igjen henviser til NVE veileder 7/2014.

4.2 Forutsetninger og begrensninger

- De empiriske faktorene som foreslås for utløpsdistanse er de samme for metodene tilpasset nivå for kommuneplanens arealdel og reguleringsplannivå. Mindre grad av konservatisme for det øverste plannivå (reguleringsplannivå) ligger i bestemmelse av løsneområdets utstrekning, herunder også mulighet til å skille mellom forskjellige skredtyper.
- Metodene som foreslås tar utgangspunkt i skred på land. For skred med løsne- og utløpsområder i og mot vann/sjø vil effekter som for eksempel «hydroplaning», stort «uttømmingspotensiale» mv. ha betydning for skredets omfang. Også sekundæreffekt i form av flodbølge vil være aktuelle. Problemstillingen knyttet til skred mot/i sjø/vann bør ses på i et senere prosjekt.
- Tidligere metoder for vurdering av utløp for kvikkleireskred er basert på volumbetraktninger ved bestemmelse av løsneområdet, dvs. en vurdering av hvor stort det totale volum av masser som vil strømme ut av skredgropa vil være. Siden det er flere ukjente parametere ved bruk av volumbetraktninger har man i de nye forslagene tatt utgangspunkt i en geometrisk tilnærming basert på 2-dimensjonale snitt, slik at vurdering av løsne – og utløpsområdene enkelt kan knyttes opp mot typiske beregningssnitt som legges til grunn for stabilitetsberegninger etter dagens praksis.
- Vurdering av faregrad- og konsekvensmatriser for utløpsområder har blitt evaluert, men ikke nærmere gjennomgått. Det er imidlertid klart at energi, uttrykt igjennom omrørt skjærfasthet (c_{ur}), flyteindeks, morfologi og geometri i løsneområdet, samt topografi/ hindringer i utløpsområdet er viktig for å bestemme faregrad og konsekvens i utløpsområdet. Gjennomgang av fare- og konsekvensmatrisen bør gjøres i et separat prosjekt.

5 METODE FOR AVGRENING AV LØSNE- OG UTLØPSOMRÅDER PÅ NIVÅ MED KOMMUNEPLANENS AREALDEL (POTENSIELLE FARESONER/AKTSOMHETSOMRÅDER)

5.1 Dagens praksis - løsneområder

Gjennom NVE veileder 7/2014 («Kvikkleireveilederen»), ref./3/, gis det føringer for at mer konservative kriterier skal legges til grunn for potensielle faresoner/aktsomhetsområder på «kommuneplannivå» enn når man har mer spesifiserte opplysninger på et mer detaljert plannivå. Disse topografiske kriteriene er i siste utgave av NVE veileder 7/2014, side 22, punkt 5, gitt som: a) jevnt hellende terreng brattere enn 1:20, b) høydeforskjell på mer enn 5 m og c) maksimal bakovergripende skredutbredelse 20 x skråningshøyden. Formålet er at disse kriteriene på et tidlig planstadium kan være til hjelp for å identifisere områder som potensielt kan være utsatt for skredfare knyttet til kvikkleire og sprøbruddmaterialer. På dette nivået er det som regel få eller ingen tilgjengelige grunnundersøkelser, foruten kjennskap til marin grense, kvartærgeologisk kunnskap, samt eventuelle kvikkleiresoner kartlagt gjennom NVE/NGIs nasjonale kartlegging.

5.2 Ny metode for løsneområder tilpasset kommuneplanens arealdel

For utredning av løsneområder på et plannivå tilsvarende kommuneplanens arealdel beholdes, inntil videre, dagens praksis slik beskrevet i prosedyren i kap. 4.5, punkt 2-5, i NVEs veileder 7/2014 ref./2/.

5.3 Metode for utløpsområder tilpasset kommuneplanens arealdel

Når man ikke har kjennskap til kvikkleiras lagdeling og utstrekning, slik man normalt ikke har på et kommuneplannivå, kan man heller ikke vurdere hvilken skredtype som sannsynligvis vil opptre. Det er en slik differensiering ut ifra skredtyper, samt kunnskap om terrengforhold nedstrøms løsneområdet, som danner grunnlaget for bestemmelse av utløpsområder på et reguleringsplannivå. Det må på kommuneplannivå derfor antas «worst – case»; at faresonen kan bli utsatt for et retrogressivt skred.

Basert på empiriske faktorer foreslås derfor følgende for å anslå utløpsdistanse på et kommuneplannivå, gitt at man har bestemt et potensielt løsneområde ut fra de topografiske kriteriene som beskrevet punkt 5 i prosedyren i kap. 4.5 i NVEs veileder 7/2014:

$$\text{Utløpsdistanse (Lu)} = 3 * \text{Løsneområdets lengde (L)}$$

6 METODE FOR AVGRENING AV LØSNE- OG UTLØPSOMRÅDER TILPASSET «REGULERINGSPLANNIVÅ» (REELLE FARESONER)

6.1 Dagens praksis - løsneområder

Vurdering av løsneområder for kvikkleireskred har tradisjonelt blitt utført etter metode beskrevet i ref./2/. (NGI-rapport «Program for økt sikkerhet mot leirskred – metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire»). Kriteriene lagt til grunn for denne metoden er basert på enkle teoretiske betraktninger, samt en analyse av en rekke historiske

kvikkleireskred. Det er i hovedtrekk tre kriterier for denne metoden; a) jevnt hellende terreng brattere enn 1:15, b) høydeforskjell på mer enn 10 m og c) Et skred vil maksimalt få en lengde i løsneområdet på 15 x skråningshøyden. I tillegg til disse relativt enkle topografiske kriteriene avgrenses også løsneområdene nærmere basert på grunnundersøkelser, observasjoner i felt i form av f.eks. fjell, samt naturlig topografiske avgrensinger som raviner etc. Det er denne metoden som i dag danner grunnlaget for hvordan de aller fleste kvikkleiresonene er avgrenset, med varierende detaljeringsgrad fra sone til sone.

6.2 Dagens praksis - utløpsområder

NVE veileder 7/2014 oppgir per dags dato at «Det finnes i dag ikke noen nærmere spesifisert metode for beregning av utløpsområder ved områdeskred. Vurderingen må derfor bygge på faglig skjønn og erfaringsmateriale». Den allmenne praksis har i stor grad vært bruk av NGI-publikasjon 158, ref. /4/.

I henhold til NVE veileder 7/2014 skal også utløpsområdet vurderes og avgrenses ut fra volum på skred som kan forekomme fra identifiserte løsneområder. Utløpsområdet skal også avgrenses ut ifra sannsynlige dreneringsveier og avsetningsområder for skredmasser med dette volumet, inkludert effekt av lokale topografiske forhold og ev. andre fysiske hindringer.

6.3 Forslag til ny metode for avgrensning av løsneområder

For avgrensning av løsneområder på reguleringsplannivå foreslås empirisk metode utarbeidet av NGI gjennom dette NIFS - prosjektet. Metoden er basert på data fra en rekke historiske skredhendelser i Norge, og det er utarbeidet et klassifiseringssystem som ivaretar de viktigste parameterne som har betydning for utbredelse av kvikkleireskred. Det er i så måte lagt vekt på kvikkleiras morfologi, terrengforhold i utløpsområdet og leiras fasthet. Metoden er detaljert beskrevet i NGIs tekniske notat 20140848-01-TN, vist som vedlegg 1.

Indikator	Vekttall	Stor L/H	Middels L/H	Lav L/H	Null
		3	2	1	0
b/D ved L1	1	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0
b/D ved 3L1	2	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0
Avstand fra skråningsfot til kvikkleirelomma	1	$x_1 < L_1$	$x_1 \sim L_1$	$x_1 > L_1$	—
Forhold ved skredporten	2	Stor elv eller dal	Bekkedal/ravine med bredde av samme størrelse som skredporten	Flere hindringer og/eller veldig trang ravine	—
Tidligere skredhendelser	1	$L/H > 10$	$5 < L/H < 10$	$L/H \leq 5$	—
$s_u/\gamma \cdot D$	1	$s_u/\gamma \cdot D < 0.1$	$0.1 \leq s_u/\gamma \cdot D \leq 0.25$	$s_u/\gamma \cdot D > 0.25$	—
SUM	—	24	16	8	5

Tabell 6.1 Tabell for avgrensning av løsneområder på reguleringsplannivå, "L/H-tabellen"

Tabell 6.1 viser klassifiseringssystemet som foreslås lagt til grunn for avgrensning av

kvikkleireskred. Basert på de forskjellige parameterne med tilhørende vektall, oppnås en samlet poengsum som gir en størrelse av løsneområdet relativt til skråningens høyde (L/H – forhold). Det skilles mellom «stor», «middels» og «lav» L/H, hvor «stor» L/H tilsvarer dagens praksis ved «1:15 – prinsippet». De forskjellige parameterne er vist på skisser i figur 2 i vedlegg 1, samt beskrevet tabell 2 i samme vedlegg.

For bruk av klassifiseringssystemet er det en forutsetning at det er utført et tilstrekkelig omfang av grunnundersøkelser og at det er utført innledende vurderinger av stabilitet i skråningen, herunder at mest kritisk skjærflate er funnet. Omfang og detaljeringsnivå på undersøkelser og vurderinger/beregninger skal tilsvare dagens praksis i bransjen ved utredning av kvikkleireskredfare på reguleringsplannivå (sikkerhetskrav gitt i TEK 10). Det bemerkes at kvikkleiras beliggenhet i skråningen er av stor betydning for utbredelsen av et kvikkleireskred, og det er derfor viktig at grunnundersøkelsene planlegges på en slik måte at kvikkleiras morfologi blir best mulig kartlagt. Ved mangelfullt grunnlag for bestemmelse av lagdeling, f.eks. pga. vanskelig adkomst i skråningen, må det legges til grunn konservative tolkninger vedrørende kvikkleiras beliggenhet.

6.4 Forslag til ny metode for vurdering av utløpsområder

For å bestemme sannsynlig utstrekning av utløpsområder er det nødvendig å bestemme sannsynlig skredtype og finne løsneområdets utstrekning, samt vurdere topografien i utløpsområdet.

For bestemmelse av utløpsområde foreslås følgende sammenheng:

Ved retrogressive skred i kanalisert terreng:

$$\text{Utløpsdistanse (Lu)} = 3 * \text{Løsnedistanse (L)}$$

Ved retrogressive skred i åpent terreng:

$$\text{Utløpsdistanse (Lu)} = 1,5 * \text{Løsnedistanse (L)}$$

Ved flakskred eller rotasjonsskred, i alle typer terreng:

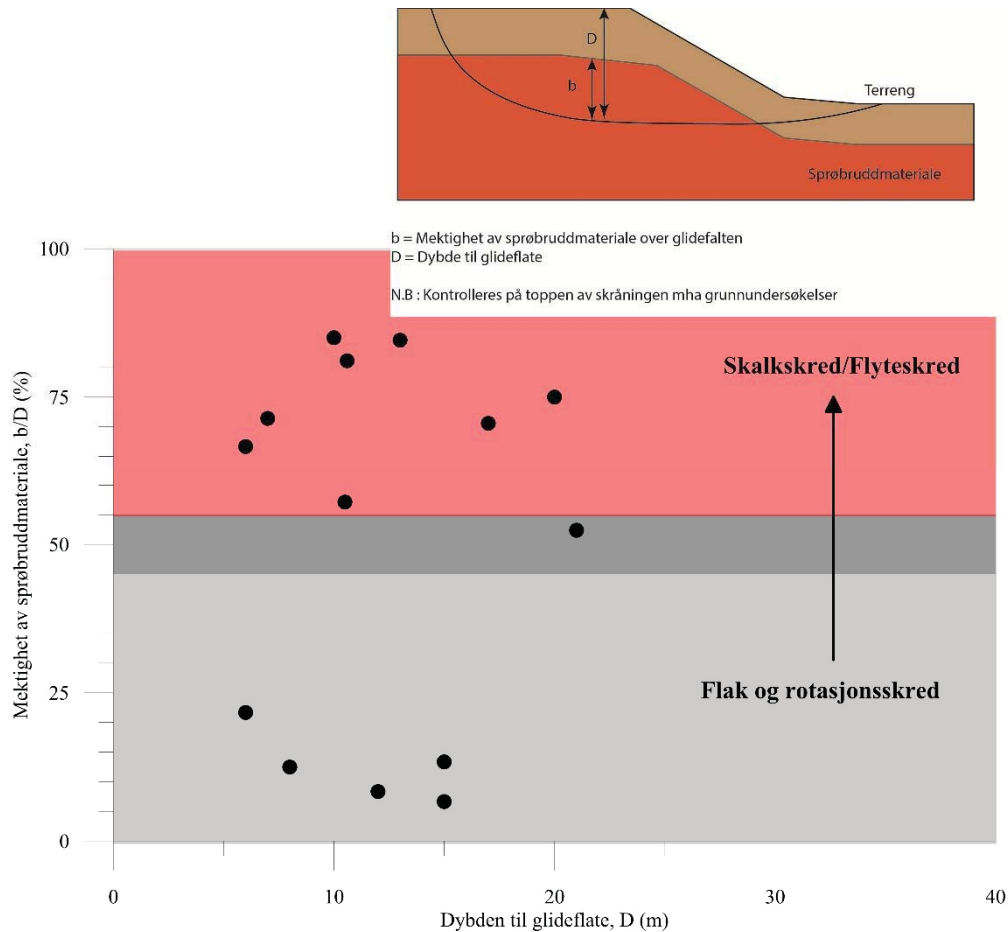
$$\text{Utløpsdistanse (Lu)} = 0,5 * \text{Løsnedistanse (L)}$$

For vurdering av sannsynlig opptredende skredtype kan følgende kriterier brukes:

- 1) Retrogressive skred: Opptrer når mektighet av kvikkleire/sprøbruddmaterialer er mer enn 40% over kritisk glideflate, se figur 6.1. Kritisk skjærflate bestemmes ut fra utførte stabilitetsberegninger.
Retrogressive skred med utstrømming av leire opptrer når omrørt skjærfasthet er lavere enn 1 kPa ($c_{ur} < 1$ kPa). Det påpekes at kriteriet for omrørt skjærfasthet kun gjelder ved konusforsøk.
- 2) Flakskred: Opptrer normalt når mektighet av kvikkleire/sprøbruddmaterialer er under 40% i forhold til kritisk glideflate, og typisk hvor kvikkleire/sprøbruddmateriale ligger i lag tilnærmet parallelt med terrengoverflaten og/eller fjell. Ofte opptrer flakskred når

mektigheten av kvikkleire/sprøbruddmateriale er relativt lav, typisk mindre enn 10 – 20 %.

- 3) Rotasjonsskred uten videre retrogressiv skredutvikling: Opptrer når mektighet av kvikkleire/sprøbruddmaterialer er under 40% i forhold til kritisk glideflate.



Figur 6.1 Mektighet av sprøbruddmaterialer mot dybde til glideflate for områdeskred.

Vurdering av skredtyper må for øvrig ses i sammenheng med L/H – tabellen vist i kapittel 6.3 (tabell 6.1). Normalt vil for eksempel rotasjonsskred gi total poengsum i L/H-tabellen under eller lik 5 poeng (Lav). Videre vil høyt L/H – forhold tilsi stor sannsynlighet for retrogressivt skred.

Ved opptegning av utløpsområder i plan må dette gjennomføres med faglig skjønn med utgangspunkt i utløpsdistansen som er bestemt. For utløpsområder i kanalisert terreng vil det normalt være enklere å angi områdene som blir rammet av skredmasser, enn skredmasser med utløp i typisk åpent terreng. Det vil være naturlig at eventuelle hindringer i utløpsområdet tillegges noe vekt, både naturlige og menneskeskapte, men det bør utvises en viss grad av konservatisme i slike vurderinger.

7 KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

Metode for bestemmelse av utløpsområder som funksjon av skredtype, løснеområdets utstrekning og terrengforhold i utløpsområdet anses som arbeidsgruppas anbefaling.

Metoden som foreslås for bestemmelse av løснеområder (L/H - metoden) har behov for mer utprøving før den implementeres i NVEs kvikkleireveileder. Metoden må betraktes som foreløpig, og ved bruk i konkrete utbyggingsprosjekter så må dette komme tydelig fram og implikasjoner på grunn av dette må belyses.

Arbeid som bør vurderes som aktuelt for videre utvikling av løsne- og utløpsområder er i ikke – prioritert rekkefølge:

- Vurdere utvikling av egne fare- og konsekvensmatriser for utløpsområder.
- Vurdere bruk av andre parametere som er nevnt i arbeidsprosessen; likviditetsindeks, omrøringsenergi $c_u / \gamma H > X$, udrenert fasthet forhold til total overlagingstrykk for vurdering av løsneområder.
- Bruk av laserbaserte data og dataregister for bedre kartlegging og registrering av tidligere skredhendelser for utvidet datagrunnlag.
- Vurdere bruk av dataprogrammer for simulering av utløpsområder. Dette vil for øvrig være et arbeid som vil bli gjennomført gjennom prosjektet GeoFuture II.
- Utarbeide metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for skred i sjø/vann, herunder også virkninger av sekundæreffekter som oppskylling/flodbølge.

8 VEDLEGG

- 1 NGIs tekniske notat 201440848-01-TN-rev2 – datert 2016-02-01

9 REFERANSER

- 1 Thakur V. et. al. (2014) En diskusjon om løsne –og utløpsområder for skred i sprøbruddmaterialer, artikkel Geoteknikkdagen 2014.
- 2 Gregersen O., Karlsrud K. (2008) Program for økt sikkerhet mot leirskred, Metode for kartlegging og klassifisering av faresoner, kvikkleire 20001008-2 31. august 2001, Revisjon 3, 8. oktober 2008. Utgitt av NGI.
- 3 NVE veileder 7/2014 Sikkerhet mot kvikkleireskred – vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper
- 4 Karlsrud K., Aas G. og Gregersen O. (1984): Can we predict landslide hazards in soft sensitive clays? Summary of Norwegian Practice and Experience. Proc. of 4th International Symposium on Landslides, Toronto, 1984. Også utgitt i NGI-publikasjon 158, Oslo, 1985.
- 5 NIFS-rapport 2013-21. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge. Datert 21.11.2012. Utarbeidet av NGU – Jean-Sébastien L'Heureux, Inger Lise Solberg. Utgitt av NVE.

Til: NIFS
v/ Stein-Are Strand
Kopi til: Trude Nyheim
Dato: 2015-09-09
Rev.nr. / Rev.dato: 2 / 2016-02-01
Dokumentnr.: 20140848-01-TN
Prosjekt: N-6.7.2 Metode for vurdering av løsne – og utløpsområder for områdeskred
Utarbeidet av : Jean-Sebastien L'Heureux
Prosjektleder: Jean-Sebastien L'Heureux
Kontrollert av: Vidar Gjelsvik

Beskrivelse av L/H tabellen for vurdering av løsneområdet for områdeskred

Innhold

1	Innledning	2
2	Bakgrunn og mål	2
3	Forslag til empirisk metode for bestemmelse av L/H	3
	3.1 Grunnlag	3
	3.2 Klassifiseringssystemet	3
	3.3 Kommentarer til Tabell 1	6
4	Oppsummering og forslag til videre arbeid	9
5	Referanser	10

Vedlegg

Vedlegg A – Tabeller for vurdering av reelle skredhendelser

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

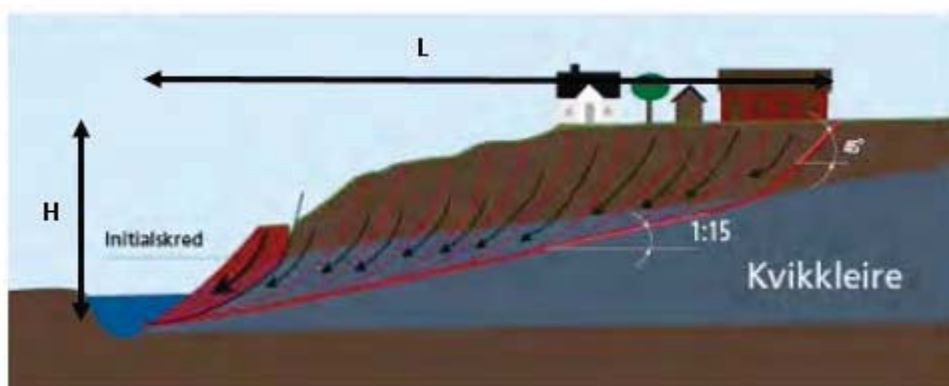
NIFS delaktivitet 6.7 har som mål å videreutvikle empiriske verktøy for vurdering av mulige løsne- og utløpsområder for områdeskred. Som en del av dette FoU prosjektet er NGI bedt om å utarbeide forslag til metode for vurdering av løsneområde for kvikkleireskred, heretter kalt L/H metoden. Mulige tilnærminger er diskutert gjennom arbeidsgruppa i NIFS, som jobber med temaet. Dette notatet tar utgangspunkt i L/H-tabellen som ble presentert på møte hos NVE 25. august 2015.

2 Bakgrunn og mål

Bestemmelse av løsneområdet for kvikkleireskred baseres på kartstudier, topografiske kriterier og resultater fra grunnundersøkelser. Grunt eller oppstikkende berg og avskjærende topografiske hindringer som for eksempel raviner er typiske elementer som avgrenser et løsneområde. Grunnundersøkelser som påviser grunn uten sprøbruddegenskaper kan også benyttes i en slik vurdering.

I tilfeller hvor det ikke er mulig å avgrense løsneområdet basert på kriteriene ovenfor tilsier dagens praksis at man benytter seg av 1:15 kriteriet (se Figur 1). Dette kriteriet betyr at lengde (L) på løsneområdet kan være 15 ganger høydeforskjellen (H) målt mellom skråningstå og bakkanten av et eventuelt skred. Kriteriet er utarbeidet på grunnlag av enkle teoretiske betraktninger med hensyn til skredets utstrekning (flaskred), samt på grunnlag av etterberegning/studie av en rekke kjente kvikkleireskred (ref. 1). Erfaringsmessig vil en nedre grense på 1:15 være konservativ for de fleste store kvikkleireskred, og i en del tilfeller uforholdsmessig konservativ. Resultatet er at store arealer kartlegges som fareområder og blir dermed ikke utnyttet optimalt.

Etatsprogrammet Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS) ser på muligheten for at L/H kriteriet skal kunne reduseres i praksis for å frigjøre arealer. Som en del av dette FoU prosjektet er NGI bedt om å utarbeide forslag til en empirisk metode for vurdering av løsneområde for kvikkleireskred.



Figur 1: Prinsippskisse som viser 1:15 kriteriet for bestemmelse av løsneområdet (L) basert på høydeforskjellen mellom skråningstå og bakkanten av et eventuelt skred (H). (fra NVE)

3 Forslag til empirisk metode for bestemmelse av L/H

Følgende kapittel presenterer forslag til metode for vurdering av L/H kriteriet for bruk i bestemmelse av sannsynlig løснеområdet for kvikkleireskred. Metoden er tilpasset reguleringsplannivå. *Metoden kan kun brukes:*

- Dersom det finnes resultater fra grunnundersøkelser langs det mest kritiske profilet i den aktuelle sonen,
- Etter at man har gjort en innledende vurdering av stabilitet (dvs. funnet mest kritiske skjærflate – sirkulærsylindrisk eller sammensatt flate).
- I tilfeller hvor det ikke er mulig å avgrense løснеområdet basert på observert fjell eller topografiske kriterier (eks. ravine).

3.1 Grunnlag

Foreslått klassifiseringssystem som er beskrevet i det følgende er basert på data fra en rekke historiske skredhendelser i Norge (ref. 2-8; se også Vedlegg A). De viktigste elementer som viser seg å ha betydning, og som det er lagt vekt på i metoden er (1) kvikkleirelommens form og beliggenhet i skråningen, (2) terrengform i utløpsområdet og (3) stabilitetstallet langs en antatt glideflate. Dersom terrenget for øvrig i nærområdet kan sladre om utbredelse av tidligere skredhendelser er det foreslått å kunne vektlegge dette.

3.2 Klassifiseringssystemet

Det er foreslått en kvalitativ metode for klassifisering av løснеområdet med input av geometriske og geotekniske parametere presentert i Figur 2. Det er meningen at inputene skal kunne fremkomme ut i fra resultater fra foreliggende grunnundersøkelser, resultater fra innledende stabilitetsanalyser og, for det meste, lett tilgjengelig informasjon. Klassifiseringssystemet er således enkelt og relativt lite arbeidskrevende.

Evalueringsgjøres ved hjelp av Tabell 1. Tabellen omfatter de viktigste faktorene som påvirker lengde til løснеområdet. Hver av faktorene vurderes på grunnlag av kriteriene som er angitt i tabellen etter en skala fra 0 til 3, hvor 3 angir høyeste score. I tillegg har faktorene fått et vektall, 1 til 2, avhengig av hvilken betydning de er tillagt relativt til hverandre. Poengverdier for hver faktor fremkommer som produktet av score og vektall. Mest sannsynlig størrelse til løснеområdet (L/H) er gitt av summen av poengene for de ulike faktorene. Som det framgår kan et kritisk snitt få maksimalt 24 poeng og minimum 5 poeng.

Lav L/H klasse omfatter poengverdier fra 5 til 9. På grunnlag av de oppsatte kriteriene, vil disse profilene, relativt sett, oppnå en maksimal L/H= 5.

Middels L/H klasse omfatter poengverdier fra 10 til 15. På grunnlag av de oppsatte kriteriene, vil disse profilene, relativt sett, oppnå en maksimal L/H= 10.

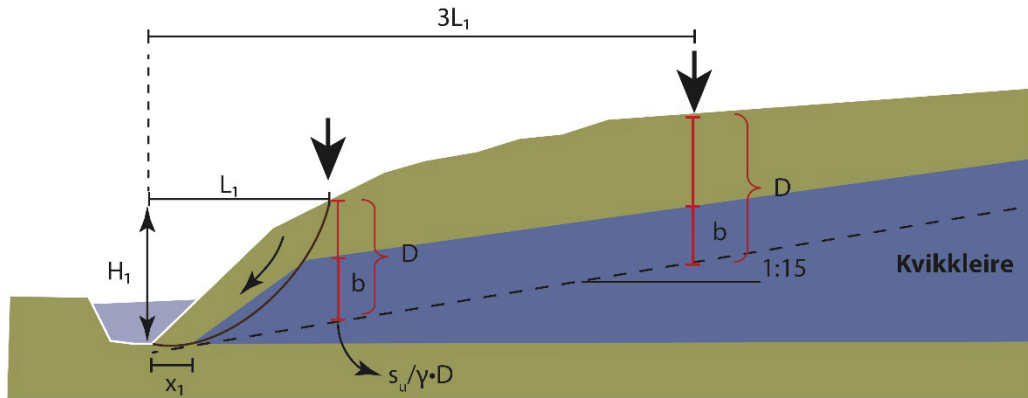
Høy L/H klasse omfatter poengverdier fra 16 til 24. På grunnlag av de oppsatte kriteriene, vil disse profilene, relativt sett, oppnå en maksimal L/H= 15.

Tabell 1: Evaluering av L/H basert på kriterier presentert i Figur 2.

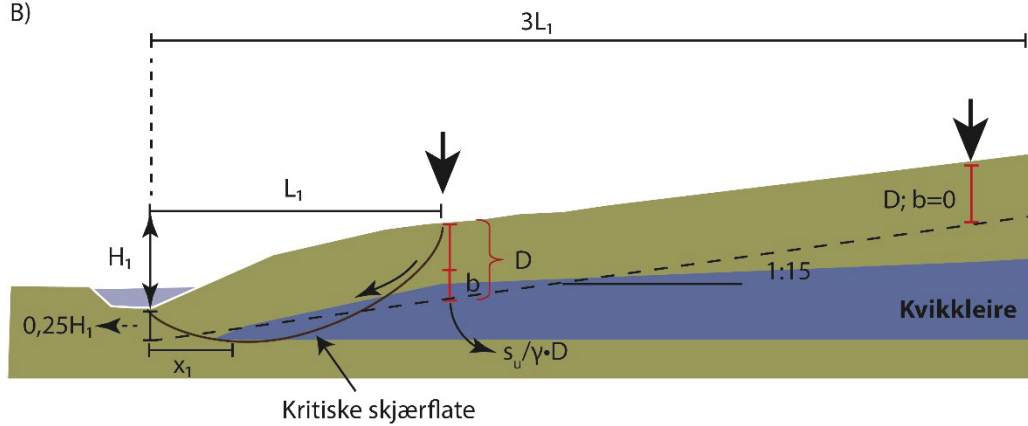
Indikator	Vekttall	Stor L/H	Middels L/H	Lav L/H	Null
		3	2	1	0
b/D ved L1	1	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0
b/D ved 2L1 eller 3L1*	2	> 0,5	0,25-0,5	Opptil 0,25	0
Avstand fra foten av initial skred til kvikkleirelomma	1	$x_1 < L_1$	$x_1 \sim L_1$	$x_1 > L_1$	—
Forhold ved skredporten	2	Stor elv eller dal	Bekkedal/ravine med bredde av samme størrelse som skredporten	Flere hindringer og/eller veldig trang ravine	—
Tidligere skredhendelser	1	L/H > 10	5 < L/H < 10	L/H ≤ 5	—
$s_u/\gamma \cdot D$	1	$s_u/\gamma \cdot D < 0.1$	$0.1 \leq s_u/\gamma \cdot D \leq 0.25$	$s_u/\gamma \cdot D > 0.25$	—
SUM		24			

*Avhengig av type skråning.

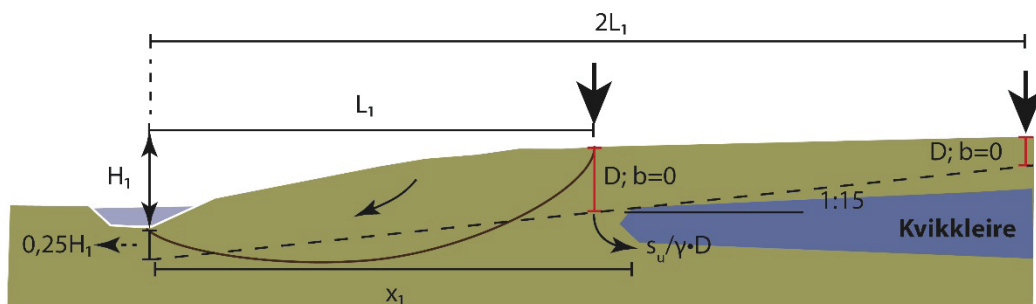
A)



B)



C)



Figur 2: Skisse som illustrerer de forskjellige parametre som inngår i vurdering av L/H kriteriet for å vurdere løснеområdet for kvikkleireskred. Eksempel i A) illustrerer en typisk terrasse-skråning med tykk kvikkleireavsetning og hvor det er fare for at løснеområde er stor ($L/H \sim 15$). Eksempel i B) en slakere skråning hvor løснеområdet vurderes å være middels ($L/H \sim 10$). Nederste bildet i C) illustrerer en skråning hvor løснеområdet antas å være liten ($L/H \leq 5$).

3.3 Kommentarer til Tabell 1

Tabell 1 består av 6 faktorer, hvorav de 3 første angir beliggenhet, andel og morfologien av sprøbruddmateriale involvert i et eventuelt skred. De neste to faktorene omhandler forholdene ved skredporten og tidligere hendelser i nærheten av studieområdet. Den siste parameteren omhandler grunnens geotekniske egenskaper og den potensielle energi i bakkanten av et sannsynlig initialskred. Generelt bemerkes at det ved mangelfull informasjon må foretas en konservativ antagelse ved evalueringen. En detaljert beskrivelse av parameterne som framkommer av Figur 2 er beskrevet i Tabell 2.

Tabell 2: Beskrivelse av parametere presentert i Figur 2.

Parameter	Beskrivelse
H_1	Høydeforskjell mellom tå og topp av et evt initialskred (dvs. kritiske skjærflate). Dette er ikke nødvendigvis skråningstå og skråningstopp!
x_1	Avstand mellom utgangen av kritiske skjærflate og punktet der 1:15 linja først krysser kvikkleire.
L_1	Avstand mellom tå og topp av et evt initialskred (eller kritisk skjærflate).
D	Dybde til 1:15 linje i bakkant av initialskred
b	Tykkelse av sprøbruddmateriale ovenfor 1:15 linje
$s_u/\gamma \cdot D$	Den inverse av stabilitetstallet ($1/N_c$) hvor s_u er udrenert gjennomsnittlig skjærstyrke (s_{uDSS} i kPa), γ er total romvekt (kN/m^3) og D er dybde til 1:15 linje
L	Retrogresjonsdistanse fra foten av initialskredet til bakkanten av endelig skredgrop. Avstanden skal vurderes i skredretning. (se figur 1)
H	Total høydeforskjell mellom foten av initialskredet og toppen av endelig skredkant. (se figur 1)

For å sikre en mest mulig lik praksis mellom geoteknikere foreslås det å estimere noen av indikatorene ved krysningpunktet med en definert 1:15 linje (Figur 2). Utgangspunktet til denne linjen skal være bunn av initial skredet. Ved lange og slake skråninger, og i tilfeller med dype skjærflate, er foreslått å bruke en maksimal dybde likt $0,25 H_1$ for utgangspunktet til 1:15 linjen i utgangen av initial skredet (Figur 2 B og C).

Beliggenhet, andel og morfologien av sprøbruddmateriale involvert i skredet er av stor betydning for størrelse av løснеområdet. I klassifiseringssystemet kommer denne informasjonen gjennom b/D forhold. Dette forholdet vurderes ved L_1 og ved $3L_1$, i krysningpunktet med 1:15 linjen. For veldig slake skråninger (dvs. $< 1:5$) vil vurderingen ved $3L_1$ være for langt unna den initiale glideflate og det anbefales å gjøre vurderingen av b/D ved $2L_1$ (Figur 2C).

I forbindelse med en mer lagdelt stratigrafi der kvikkleira ligger i flere, tynne sjikt, vil det være vanskeligere å anslå b/D forholdet direkte. Forholdet kan estimeres generelt som andelen av kvikkleire over 1:15 linjen.

Forholdene ved skredporten er viktig for størrelse av løsneområdet. Hvis forholdene er slik at det er lett for skredmassene å strømme ut av skredgropen så vil det være lettere for at skredet forplanter seg bakover. I tilfelle hvor skredmasse ligger igjen foran skredgropen vil dette eventuelt gi støtte til bakkanten av skredet. Forholdene avgjøres med å se på bredden av den kritiske skråning i forhold til terrenget nedstrøms. En dal eller elv som er større enn bredden av skredporten vil ha større mulighet til å "tømme" skredgropen enn en trang bekk/ravine.

Tidligere skredhendelser kan gi verdifull informasjon om forventet L/H for et framtidig skred. Topografiske og kvartærgeologiske kart viser tidligere skredgroper, og L/H forhold for disse undersøkes i nærheten av studieområdet for å vurdere score. I noen tilfeller kan det være vanskelig å vurdere denne faktoren og det anbefales å velge en middels verdi dersom det ikke er registrert tidligere skredhendelser i studieområdet.

Stabilitetstallet ($s_u/\gamma \cdot D$) vurderes ved L_1 i krysningspunktet med 1:15 linjen. Stabilitets-tallet sier noe forholdet mellom udrenert skjærstyrke langs glideflaten og potensielle energi i bakkanten av et sannsynlig initial skred.

For tilfeller hvor kvikkleira ligger dypt under skråningsfot og under 1:15 linja vil det være vanskelig for et stort kvikkleireskred å inntreffe. Det bør vurderes om det er nødvendig med en kvikkleiresone. For at en kvikkleiresone skal eksistere bør kvikkleire ha en slik beliggenhet at skred kan inntreffer.

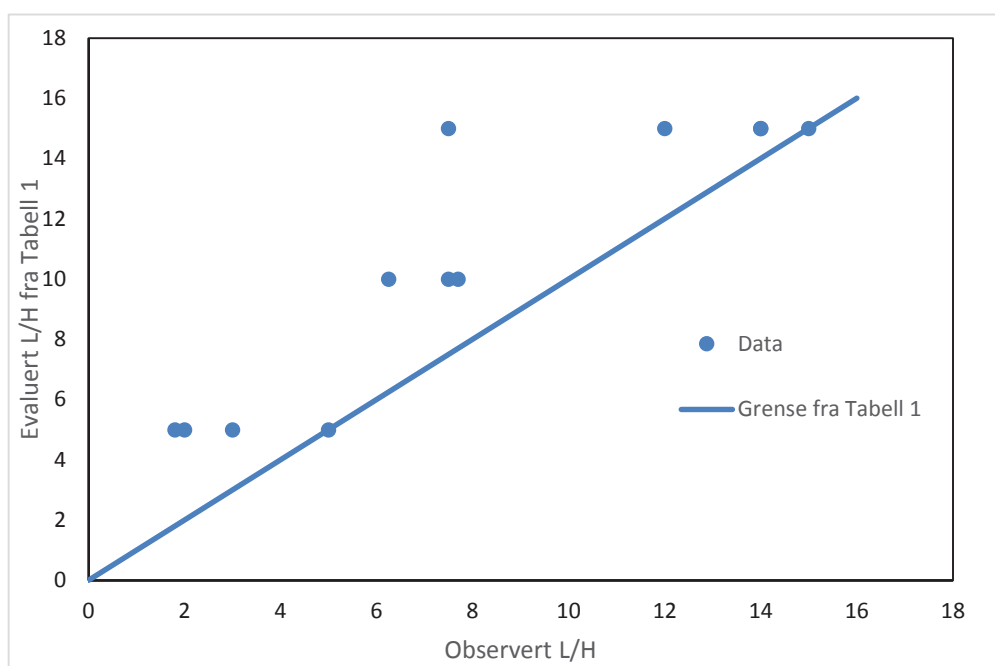
Metoden for vurdering av L/H antas å gjelde for både retrogressivt skred og flakskred.

Klassifiseringen og vektlegging er foreløpig basert på vurdering av 12 historiske skredhendelser hvor løsneområdet har variert med L/H verdier fra 2 til 15 (se Tabell 3 og Vedlegg A). I tillegg er systemet testet mot retrogresjonsanalyser utført på 3 kvikkleire-skråninger. Figur 3 viser at metoden er rimelig og konservativ. På denne figuren ser man at Lyngensskredet utmerker seg ekstra konservativt. Grunnen til dette skyldes en lavere sensitivitet høyere opp i skråningen ved Lyngen skredet, noe som trolig styrt deler av retrogresjonsdistansen.

For skredet ved Finneidfjord peker vurderingsmetoden mot et stort L/H forhold. I realiteten ble L/H nærmere en middelværdi ($L/H = 7,5$) under Finneidfjordskredet, siden den retrogressive prosessens stoppet mot fjell i bakkant av skredet. Metoden er anses derfor å være konservativ. I praksis ville man ha avdekket berg under befaring og brukt dette for å avgrense løsneområdet.

Tabell 3: Historiske skredhendelser brukt for uttesting av L/H tabellen for vurdering av løснеområdet for områdeskred.

ID	Skredhendelse	Observert L/H	Score (Tabell 1)	Ref.	Kommentar
1	Døla 2011	2	8	/9/	
2	Ullensaker 1953	14	16	/10/	
3	Skjeggestad 2014	4-5	8	NGI data	Fjell i bakkant stoppet skredet
4	Baastad 1974	6,25	12	/11/	
5	Rissa 1978	>15	23	/12/	
6	Furre 1959	12	18	/13/	
7	Byneset 2012	14	18	NGI data	
8	Finneidfjord 1996	7,5	17	/14/	Fjell i bakkant stoppet skredet
9	Lyngen 2010	7,5	15	NGI & Multiconsult data	
10	Filtvet 2013	1,8	7	/15/	
11	Svensrud 2012	3	7	/16/	
12	Flatner 2008	7,7	14	/17-18/	
	Retrosjesjons-analyser	Antatt L/H	Score (Tabell 1)	Ref.	
13	Tømmerås	Stor	18	/19/	
14	Klæbu	Middels	12	NGI data	
15	Rosten	Middels	14	/20/	



Figur 3: Grafisk sammenstilling av resultatene presentert i Tabell 3 for historiske skredhendelser.

4 Oppsummering og forslag til videre arbeid

Det er utviklet en kvalitativ metode for klassifisering av løснеområdet basert på en rekke geometriske og geotekniske parametere og fra erfaring med historiske hendelser. Vektlegging i klassifiseringssystemet er per i dag basert på 12 historiske hendelser (Tabell 3). Som vist i Vedlegg A er skrehendelsene representative for alle L/H klasser (dvs. lav til stor). Metoden kan muligens forbedres i framtiden med å utvide data-grunnlaget til flere skredhendelser for å sikre at metoden er konservativ.

Metoden presentert ovenfor anses som et hjelpemiddel for å avgrense løснеområdet til et mulig kvikkleireskred. Metoden kan brukes for både retrogressiv skred og flakskred. Det er viktig å understreke at metoden bør kun brukes dersom det ikke er mulig å avgrense løснеområdet basert på observert fjell eller topografiske kriterier (eks. ravine).

5 Referanser

1. Aas, G. 1979: Kvikkleireskred. Lecture at NIF-course "Skredfare og planlegging". Lofthus Hardanger.
2. Karlsrud K, Aas G, Gregersen O (1985) Can we predict landslide hazards in soft sensitive clays? Summary of Norwegian practice and experience. NGI Publication 158
3. NIFS-rapport 2013-21. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge. Datert 21.11.2012. Utarbeidet av NGU – Jean-Sébastien L'Heureux, Inger Lise Solberg. Utgitt av NVE.
4. NIFS-rapporter 2013-38 og 2013-46. Q-BING – Utløpsmodell for kvikkleireskred. Utarbeidet av NGI - Dieter Issler, José Mauricio Cepeda, Byron Quan Luna, Vittoria Venditti , Jean-Sébastien L'Heureux, Utgitt av NVE.
5. Thakur, V., Degago, S. A., Oset, F., Aabøe, R., Dolva, B.K., Aunaas, K., Nyheim, T., Lyche, E., Jensen, O. A., Sæter, M. B., Robsrud, A., Viklund, M. & Nigussie, D. (2014): Characterisation of post-failure movements of landslides in soft sensitive clays. Chapter 8 in book Landslides in Sensitive Clays. Advances in Natural and Technological Hazards Research, volume 36, 2014, pp 91-103, Springer.
6. Thakur V., Degago S.A., Oset, F., Dolva, B. K. & Aabøe, R. (2013) A new approach to assess the potential for flow slide in sensitive clays. Une nouvelle approche pour évaluer le potentiel de Coulée dans les argiles sensibles. International conference on soil mechanics and geotechnical engineering, ISSMGE, Paris, France, pp 2265-2268.
7. L'Heureux, J.S. (2012) A study of the retrogressive behaviour and mobility of Norwegian quick clay landslides. In: E. Eberhardt et al. (eds). Landslides and Engineered Slopes – Protecting Society through Improved Understanding. Taylor & Francis group, London. Vol. 1: 981-988.
8. Geerstema, M., L'Heureux, J.S. (2014) Controls on the dimensions of landslides in sensitive clays. In: L'Heureux, J.S., Locat, A., Leroueil, S., Demers, D., Locat, J. (eds.) Landslides in Sensitive Clays - From Geosciences to Risk Management. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Springer, Vol. 36: 105-117.
9. L'Heureux, J.S., Moholdt, R., Gjelsvik, V., Lyche, E. (2014) The evolution of material properties within and in situ shear zone in sensitive clay. In: L'Heureux, J.S., Locat, A., Leroueil, S., Demers, D., Locat, J. (eds.) Landslides in Sensitive Clays - From Geosciences to Risk Management. Advances in Natural and Technological Hazards Research, Springer, Vol. 36: 145-156.
10. Bjerrum, L. 1955. Stability of natural slopes in quick clay." *Geotechnique*, 5: 101

11. Gregersen, O. & Løken T. 1979. The quick-clay slide at Baastad, Norway, 1974. *Engineering Geology*, 14: 183-196.
12. Gregersen, O. 1981 The quick clay landslide in Rissa, Norway. NGI Publication 135:1-6.
13. Hutchinson, D.J. 1961. A landslide on a thin layer of quick clay at Furre, central Norway. *Geotechnique*, 11: 69-94.
14. Longva, O., Janbu, N., Blikra, L.H. & Boe R. (2003) The 1996 Finneidfjord slide: seafloor failure and slide dynamics. In: Locat J, Mienert J (eds) *Submarine mass movements and their consequences*, 531-538. Kluwer Academic, Dordrecht
15. NGI 2013. Leirskred Bjørstadvegen, Filtvet, Hurrum kommune. Rapport 20130541-02-R.
16. NGI 2012. Skred ved Svensrud, Gjerdrum kommune. Skredbefaring, grunnundersøkelser og stabilitetsvurderinger. Rapport nr. 20120520-01-R.
17. NGI 2008. Skred ved Flatner gård, Gjerdrum kommune. Data rapport – grunnundersøkelser. Rapport nr. 20081137-01-R.
18. NGI 2008. Skred ved Flatner gård, Gjerdrum kommune. Befaringsnotat nr. 20081132-01-TN
19. NGI 2014. Tømmerås, vurdering av områdestabilitet. Vurdering av stabilitet og stabilitetsforbedrende tiltak. Rapport nr. 20092188-03-R.
20. NGI 2014. Kvikkleiresoner Trondheim. Rosten, Kolstad og Saupstad. Rapport nr. 20120099-01-R.

Vedlegg A

SAMMENLIKNING AV RESULTATER FRA L/H MATRISEN MED REELLE SKREDHENDELSER

Innhold

A1	Innledning	2
A2	Vurdering av skredhendelser	2
A2.1	Døla 2011	2
A2.2	Ullensaker 1953	3
A2.3	Skjeggestad 2014	4
A2.4	Baastad 1974	5
A2.5	Rissa 1978	5
A2.6	Furre 1959	6
A2.7	Byneset 2012	6
A2.8	Finneidfjord 1996	7
A2.9	Lyngen 2010	7
A2.10	Filtvet 2013	8
A2.11	Svensrud 2012	9
A2.12	Flatner 2008	10
A2.13	Tømmerås	11
A2.14	Klæbu	11
A2.15	Rosten	12
A3	Oppsummering	12

A1 Innledning

Klassifiseringen og vektlegging av L/H matrisen (Tabell 1) foreslått i notatet ovenfor er basert på vurdering av 12 historiske skredhendelser hvor løsneområdet har variert med L/H verdier fra 2 til 15. I tillegg er systemet testet mot retrogresjonsanalyser utført på 3 kvikkleireskråninger. I dette vedlegget presenterer vi vurderingen gjort for alle skredhendelser. Referansene til skredhendelser er gitt i Notatet ovenfor (se Tabell 3).

A2 Vurdering av skredhendelser

A2.1 Døla 2011

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
		Poeng					
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	0	0
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	0	0
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (l)	1	x1 < x2	x1 ~ x2	x1 > x2		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med P << E	Bekkedal med P ~ E	Flere hindringer i veien og/eller P >> E		1	2
Tidligere skredhendelser	1	L/H > 10	5 < L/H < 10	L/H < 5		1	1
Su/γ·D	1	Su/γ·D < 0.1	0.1 ≤ Su/γ·D ≤ 0.25	Su/γ·D > 0.25		2	2
TOTAL							8

Døla skredet

L	40
H	120
Resultat L/H	2

A2.2 Ullensaker 1953

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
Poeng							
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	1	1
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	3	6
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (l)	1	$x1 < x2$	$x1 \sim x2$	$x1 > x2$		1	1
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med $P \ll E$	Bekkedal med $P \sim E$	Flere hindringer i veien og/eller $P \gg E$		2	4
Tidligere skredhendelser	1	$L/H > 10$	$5 < L/H < 10$	$L/H < 5$		2	2
Su/ γ -D	1	$Su/\gamma \cdot D < 0.1$	$0.1 \leq Su/\gamma \cdot D \leq 0.25$	$Su/\gamma \cdot D > 0.25$		2	2
TOTAL							16

Ullensaker skredet

L 195
 H 14
 Resultat L/H 13,92857143

A2.6 Furre 1959

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
		Poeng					
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	1	1
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	1	2
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (I)	1	x1<x2	x1~x2	x1>x2		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med P<<E	Bekkedal med P~E	Flere hindringer i veien og/eller P>>E		3	6
Tidligere skredhendelser	1	L/H>10	5 < L/H < 10	L/H < 5		3	3
Su/γ·D	1	Su/γ·D < 0.1	0.1 ≤ Su/γ·D	Su/γ·D > 0.25		3	3
TOTAL							18

Furre skredet

L	250
H	20
Resultat L/H	12

A2.7 Byneset 2012

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
		Poeng					
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	2	2
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	2	4
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (I)	1	x1<x2	x1~x2	x1>x2		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med P<<E	Bekkedal med P~E	Flere hindringer i veien og/eller P>>E		2	4
Tidligere skredhendelser	1	L/H>10	5 < L/H < 10	L/H < 5		3	3
Su/γ·D	1	Su/γ·D < 0.1	0.1 ≤ Su/γ·D	Su/γ·D > 0.25		2	2
TOTAL							18

Byneset skredet

L	400
H	28
Resultat L/H	14

A2.10 Filtvet 2013

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
		Poeng					
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	0	0
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	0	0
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (l)	1	x1<x2	x1~x2	x1>x2		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med P<<E	Bekkedal med P~E	Flere hindringer i veien og/eller P>>E		1	2
Tidligere skredhendelser	1	L/H>10	5 < L/H < 10	L/H < 5		1	1
Su/γ·D	1	Su/γ·D < 0.1	0.1 ≤ Su/γ·D	Su/γ·D > 0.25		1	1
TOTAL							7

Resultat L/H
 Filtvet skredet 1,8

A2.11 Svensrud 2012

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
		Poeng					
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	0	0
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	0	0
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (I)	1	x1 < x2	x1 ~ x2	x1 > x2		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med P << E	Bekkedal med P ~ E	Flere hindringer i veien og/eller P >> E		1	2
Tidligere skredhendelser	1	L/H > 10	5 < L/H < 10	L/H < 5		1	1
Su/γ·D	1	Su/γ·D < 0.1	0.1 ≤ Su/γ·D	Su/γ·D > 0.25		1	1
Svensrud skredet						TOTAL	7

L 50

H 15

Resultat L/H 3,3333333 Utløp= 40 m

A2.12 Flatner 2008

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
		Poeng					
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	3	3
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	2	4
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (I)	1	$x1 < x2$	$x1 \sim x2$	$x1 > x2$		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med $P \ll E$	Bekkedal med $P \sim E$	Flere hindringer i veien og/eller $P \gg E$		1	2
Tidligere skredhendelser	1	$L/H > 10$	$5 < L/H < 10$	$L/H < 5$		1	1
Su/ $\gamma \cdot D$	1	$Su/\gamma \cdot D < 0.1$	$0.1 \leq Su/\gamma \cdot D$	$Su/\gamma \cdot D > 0.25$		1	1
TOTAL							14

Flatner skredet

L 140
 H 18
 Resultat L/H 7,77777778

A2.13 Tømmerås

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
Poeng							
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	3	3
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	2	4
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (l)	1	x1<x2	x1~x2	x1>x2		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med P<<E	Bekkedal med P~E	Flere hindringer i veien og/eller P>>E		2	4
Tidligere skredhendelser	1	L/H>10	5 < L/H < 10	L/H < 5		2	2
Su/γ-D	1	Su/γ-D < 0.1	0.1 ≤ Su/γ-D	Su/γ-D > 0.25		2	2
TOTAL							18

A2.14 Klæbu

Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
Poeng							
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	1	1
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	0	0
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (l)	1	x1<x2	x1~x2	x1>x2		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med P<<E	Bekkedal med P~E	Flere hindringer i veien og/eller P>>E		2	4
Tidligere skredhendelser	1	L/H>10	5 < L/H < 10	L/H < 5		2	2
Su/γ-D	1	Su/γ-D < 0.1	0.1 ≤ Su/γ-D	Su/γ-D > 0.25		2	2
TOTAL							12

A2.15 Rosten

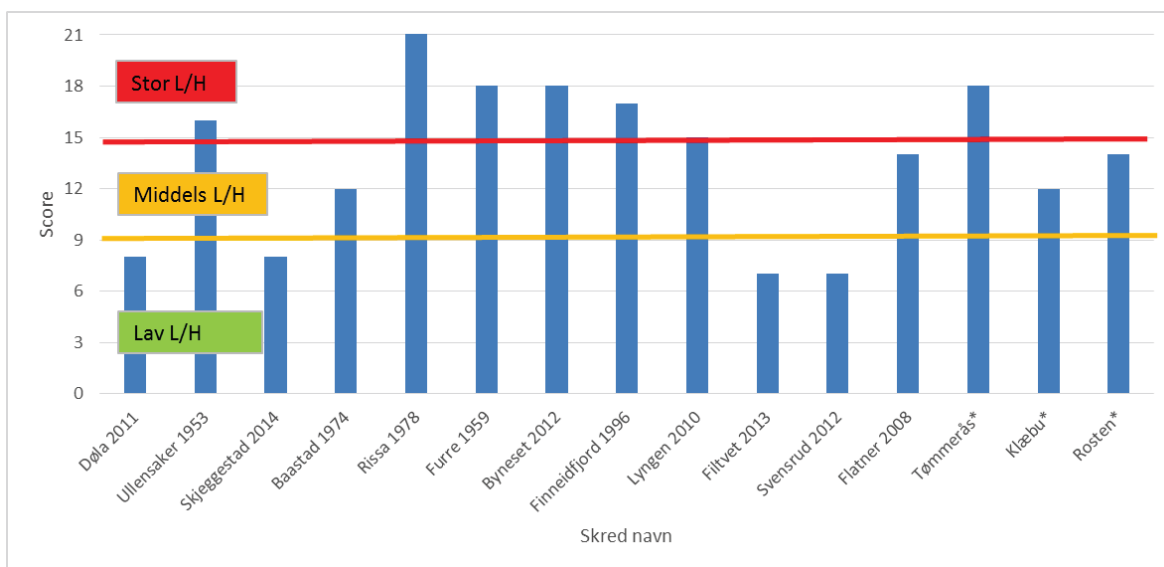
Parameter	vekt	Stor L/H (15)	Middels L/H (10)	Lav L/H (5)		Score	Sum
		Poeng					
		3	2	1	0		
b/D ved L1	1	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	2	2
b/D ved 3L1	2	>0,5	0,25-0,5	opptil 0,25	0	1	2
Avstand fra skråningsfot til kvikkleire lommen (l)	1	$x_1 < x_2$	$x_1 \sim x_2$	$x_1 > x_2$		3	3
Forhold ved skredporten	2	Stor elv/dal med $P \ll E$	Bekkedal med $P \sim E$	Flere hindringer i veien og/eller $P \gg E$		2	4
Tidligere skredhendelser	1	$L/H > 10$	$5 < L/H < 10$	$L/H < 5$		2	2
Su/ $\gamma \cdot D$	1	$Su/\gamma \cdot D < 0.1$	$0.1 \leq Su/\gamma \cdot D$	$Su/\gamma \cdot D > 0.25$		1	1
						TOTAL	14

A3 Oppsummering

Klassifiseringssystemet i L/H matrisen er laget for å gjenspeile observasjonene fra historiske skredhendelser. Vektlegging ble justert for å få best resultater. Til sammen er skredhendelsene representative for alle L/H kategorier (Tabell 3-1). Halvparten av skredene gir en middels L/H, men resten er fordelt over i klassene lav og stor. En oversikt over L/H vurderinger for alle skredene sammen med foreslåtte grenseverdier for de respektive soner er presentert i Figur 3-1.

Tabell 3-1: Oversikt over antatt soner i de respektive L/H klassene.

Klasse	Sum score	Antall	% av antall soner
Lav L/H (<5)	≤ 9	4	18 %
Middels L/H (5-10)	$9 < \text{Score} < 15$	11	50 %
Stor L/H (15)	≥ 15	7	32 %



Figur 3-1: Oversikt over L/H vurderinger for alle skredene sammen med foreslåtte grenseverdier for de respektive soner.

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Beskrivelse av L/H tabellen for vurdering av løснеområdet for områdeskred		Dokumentnr./Document No. 20140848-01-TN
Dokumenttype/Type of document Teknisk notat / Technical note	Distribusjon/Distribution Fri/Unlimited	Dato/Date 2015-09-09
		Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 02 / 2016-02-01
Oppdragsgiver/Client NIFS etatene		
Emneord/Keywords Kvikkleire, skred, løснеområdet		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality	Feltnavn/Field name
Sted/Location	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: Øst: Nord:	

Dokumentkontroll/Document control Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/Self review by:	Sidemannskontroll av/Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/Inter-disciplinary review by:
0	Originaldokument	2015-09-09 JSL	2015-09-08 VG		
1	Revisjon	2015-12-15 Jean-Sebastien L'Heureux	2015-12-17 VG		
2	Revisjon / korrektur	2016-02-01 Jean-Sebastien L'Heureux	2016-02-01 VG		

Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release	Dato/Date 1. februar 2016	Prosjektleder/Project Manager JSL
---	-------------------------------------	---

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

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 tredjemand uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

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 NGI.



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

