

GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858

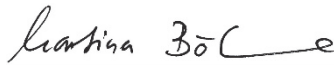


**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·

**NGU RAPPORT
2022.029**

Statistiske analyser av
morfologiske parametre for leirskred
i Trøndelag og Viken



Rapport nr.: 2022.029	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen
Tittel: Statistiske analyser av morfologiske parametre for leirskred i Trøndelag og Viken		
Forfattere: Ivanna Penna og Inger-Lise Solberg		Oppdragsgivere: NGU og NVE
Fylke: Trøndelag og Viken	Sidetall: 41	Pris: 150,- kr
Rapportdato: 20.12.2022	Prosjektnr.: 368300	Ansvarlig: 
Sammendrag <p>Et datasett på over 2500 skredkanter under marin grense i kommunene Trondheim, Melhus, Midtre Gauldal, Malvik og Stjørdal i Trøndelag fylke, og kommunene Gjerdrum, Ullensaker og Nannestad i Viken fylke, er benyttet for statistiske analyser knyttet til løsneområdets størrelse og lengde, samt høydeforskjell mellom skredets bakkant og skredport. I tillegg er avstand mellom skredgroper analysert.</p> <p>Parametrene i det beregnede L/H-forholdet er avstanden fra skredbakkant til antatt skredport (L), og forskjellen mellom høyden til skredbakkant og høyden i skredporten (H). Analysene indikerer at L/H er større enn 15 for en del hendelser større enn 50 000 m². Ved en korleksjon av høydeforskjellen for skredmasser i skredporten med en fast verdi er L/H større enn 15 i hovedsak for en del store skredhendelser.</p> <p>Beregning av avstand mellom skredgroper indikerer at for skred større enn 20 000 m² ligger minst 90 % av skredene 500 m eller nærmere et annet skred. Slike analyser kan bidra å tallfeste tidligere skredaktivitet.</p> <p>Analyser av store datasett med enkle parametre er viktige for å finne trender for store områder. Muligheten til å lage gode oversikter over tidligere hendelser har økt betraktelig etter at terrengmodeller (DEM) med høy oppløsning har blitt tilgjengelige. Nye datasett, kartleggingsverktøy og programvarer gjør større analyser mulig og kan være godt grunnlag for forskning på ulike skredaspekter, samt gi bedre forståelse for geologi, grunnforhold og landskapsutvikling. Statistiske analyser og tolkning av store datasett kan også benyttes som et innspill til videreutvikling av metodikken som brukes for vurdering av områder under marin grense som kan være utsatt for kvikkleireskred.</p>		
Emneord		
Leirskred	Statistiske analyser	Kumulativ frekvens
Kvikkleire	Landformer	Boksplott
Marin grense	Skredkanter	Skredaktivitet

INNHOOLD

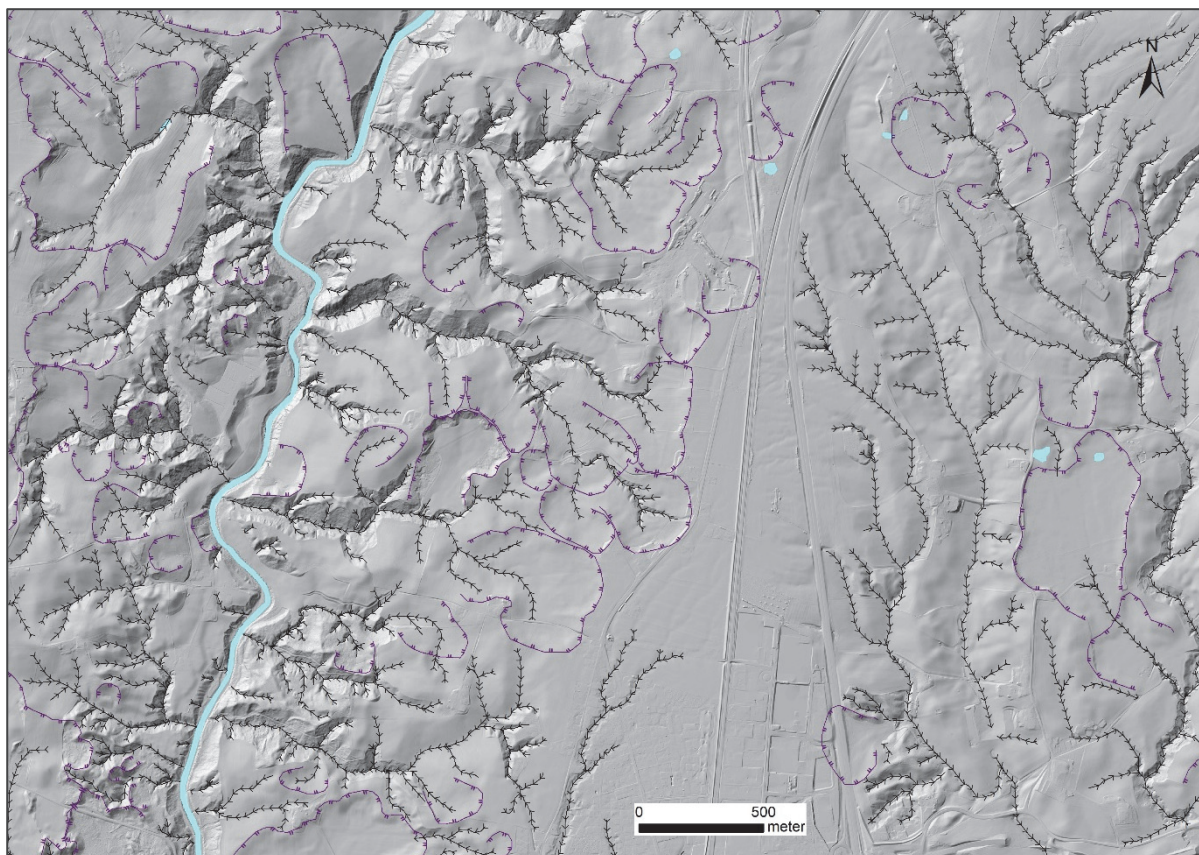
1. INNLEDNING	4
2. BAKGRUNN	5
2.1 Kvikkleireskred.....	5
2.2 Tidligere hendelser.....	6
2.3 Vurdering av terrengforhold i andre studier.....	7
2.4 Vurdering av tidligere skredaktivitet	8
3. TIDLIGERE SKREDHENDELSER MED AREAL OVER 20 000 M ²	9
4. STUDIEOMRÅDER	10
4.1 Trøndelag.....	10
4.2 Viken.....	11
5. METODER.....	12
5.1 Kartlegging av skredkanter.....	12
5.2 Beregning av morfologiske skredparametre.....	12
5.3 Grafisk framstilling.....	13
5.4 Avstand mellom skredgroper	14
6. RESULTATER.....	15
6.1 Skredareal.....	16
6.2 Avstand mellom skredgroper	17
6.3 Løsneområdet lengde (L), høydeforskjell (H) og L/H-forholdet	19
6.4 L/H når 10 m skredmasser inkluderes	25
7. DISKUSJON OG KONKLUSJONER.....	27
8. VIDERE ARBEID	30
9. REFERANSER	31
VEDLEGG 1.....	35
VEDLEGG 2.....	36
VEDLEGG 3.....	38
VEDLEGG 4.....	40

1. INNLEDNING

Kartlegging av landskapsformer er en standard del av den kvartærgeologiske kartleggingen ved NGU (NGU 2022). Landformene «skredkanter» og «raviner» har de siste årene i tillegg blitt detaljert kartlagt under marin grense (MG) av NGU i en rekke kommuner på oppdrag fra Miljødirektoratet. Dette er som følge av at bl.a. leirraviner og leirskredgroper er rødlistede naturtyper (Artsdatabanken 2022). Kartleggingen er i hovedsak basert på tolkning av LiDAR-data (Light Detection and Ranging) og flyfoto, og fører til et omfattende datasett med linjesymboler som kan benyttes for ulike typer analyser i områder med leirterreng.

I studien som denne rapporten omhandler er datasett for skredkanter i kommunene Trondheim, Melhus, Midtre Gauldal, Malvik og Stjørdal i Trøndelag fylke, og kommunene Gjerdrum, Ullensaker og Nannestad i Viken fylke, benyttet. Dette er skredkanter som ligger under marin grense (MG), og hvor de fleste er antatt å ha gått helt eller delvis i marin leire. Mange av disse var trolig kvikkleireskred. Figur 1 viser eksempel fra kartleggingen.

Datasettet er benyttet for statistiske analyser knyttet til løsneområdet lengde og høydeforskjell mellom skredets bakkant og skredport. I tillegg er avstand mellom skredgroper analysert. Formålene med analysene er å vise variasjon i noen skredmorfologiske parametre og å vise tetthet av skredforekomster. Samlet ønsker vi at analysene kan være et innspill til videreutvikling av metodikken som brukes for vurdering av områder under marin grense som kan være utsatt for kvikkleireskred.



Figur 1. Eksempel fra NGUs kartlegging av skredkanter og raviner (ved Kløfta på Romerike). Høydedata fra Kartverket.

2. BAKGRUNN

2.1 Kvikkleireskred

Kvikkleireskred skyldes overbelastning og omrøring av marin leire med kvikke egenskaper. Dette er leire som opprinnelig ble avsatt på sjøbunnen under og etter siste istid. På grunn av landhevningen har marin leire blitt tørt land, og stedvis har det salte porevannet i leira gradvis blitt byttet ut med ferskt grunnvann. Ved tilstrekkelig utvasking kan kvikkleire dannes, men dette tar hundre- til tusenvis av år. Kvikkleire kan være ganske fast, men når den blir belastet for mye, vil strukturen kollapse og et skred kan utløses.

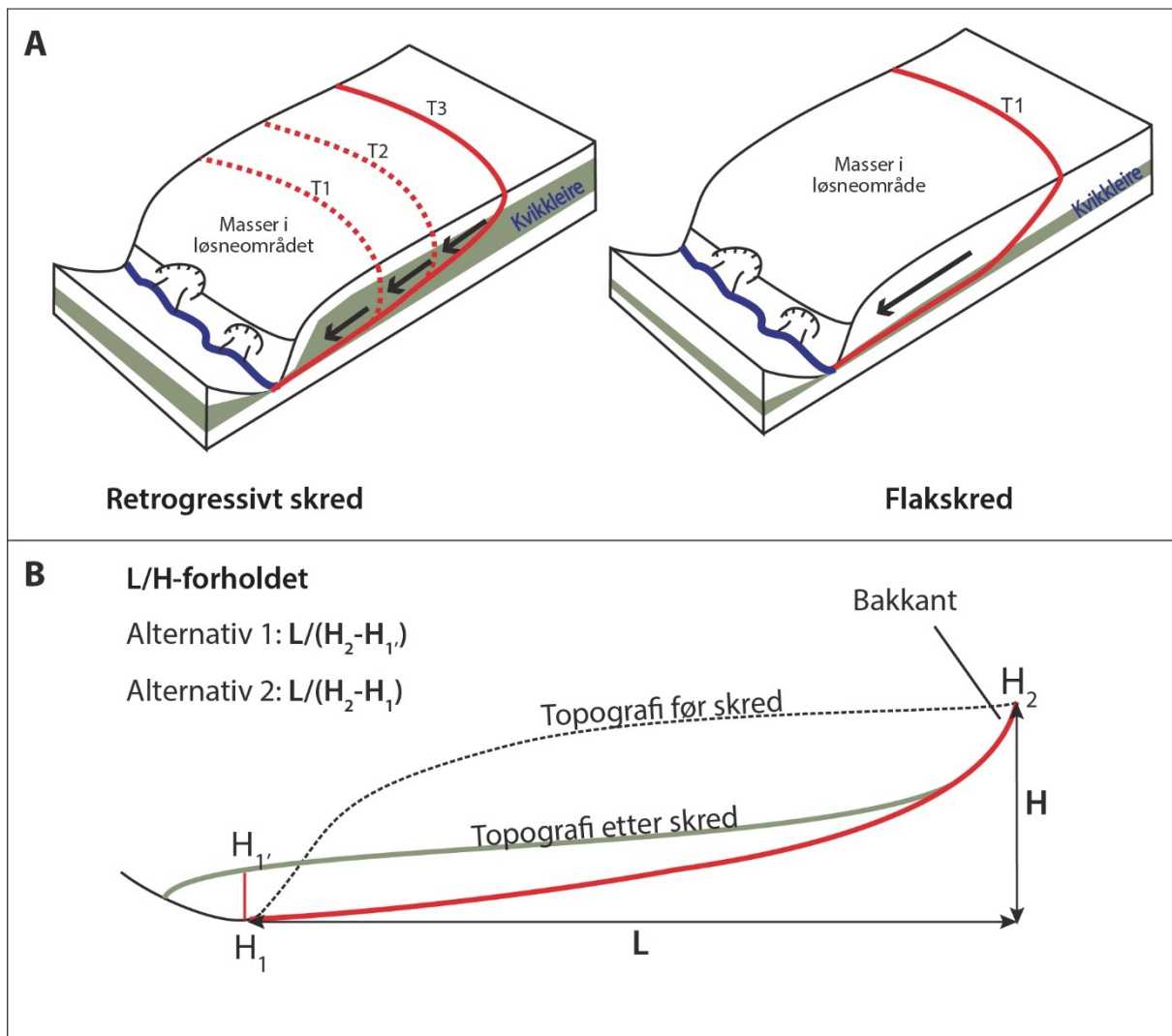
Det finnes flere typer skredmekanismer for kvikkleireskred, som dype rotasjonsskred, retrogressive skred, flaskskred, spredning eller kombinasjon av flere. Type skredmekanisme avhenger av hvor mye kvikkleire som finnes i grunnen, på hvilke(t) dyp den ligger, tilstedeværelse av andre løsmassetyper, beliggenheten til berg, hvordan terrengforholdene er m.m.

Ved retrogressiv bruddutvikling forplanter skredet seg bakover i terrenget, som regel med rotasjon. Når en skalk sklir ut, omrøres og renner ut av gropa, vil en ny ustabil bakkant bli blottlagt (Figur 2). Retrogressive skred starter ofte i skråningsfoten, mens flaskskred kan starte både ved skråningsfoten eller ved overbelastning et stykke inn på det bakenforliggende området (Figur 2).

Hvis grunnen består av mye kvikkleire, kan skredet utvikle seg svært raskt bakover og sidevegs, og store områder kan skli ut. Kvikkleireskred kan forplante seg langt bakover i tilnærmet flatt terreng. Det må imidlertid være høydeforskjeller i terrenget slik at kollapse kvikkleire kan renne ut. Erosjon, uheldige poretrykksforhold og terrengendringer er de vanligste skredutløsende årsakene – og disse kan skyldes både naturlige forhold og menneskelig påvirkning.

I Norge har historiske kvikkleireskred ført til tap av mange menneskeliv og store materielle kostnader (f.eks. Walberg 1993; Rokoengen mfl. 2001; Nordal mfl. 2009). De store ødeleggelsene skyldes at skredutviklingen ofte er retrogressiv, men også større, sammenhengende områder kan gli ut som flaskskred. Store skredhendelser kan være en kombinasjon av retrogressivt skred og flaskskred (f.eks. Rissaraset i 1978 (Gregersen 1981) og Kråknesskredet i 2020 (Gylland mfl. 2021)).

Omrørt kvikkleire har høy mobilitet og kan påvirke store områder nedstrøms skredgropa. Skredmassene kan også danne demninger i vassdrag som fører til oversvømming oppstrøms. Oppdemming fører også til at vannet kan ta nye veier og for eksempel føre til erosjon i nye områder. Plutselige brudd i oppdemte skredmasser kan også få katastrofale følger, slik som i Gauldal i Trøndelag i 1345 (Rokoengen mfl. 2001) og i elva Yamaska i Quebec, Canada, i 1945 (Costa & Schuster 1987).



Figur 2. A) Prinsippskisse over de to mest vanlige typene kvikkleireskred i Norge; retrogressivt skred som går i flere etapper og flaskskred som går som «en» hendelse. B) Skjematisk 2D-profil som viser hvordan L/H kan beregnes.

2.2 Tidligere hendelser

Det nyeste kvikkleireskredet med store konsekvenser var skredet i Gjerdrum i Viken i 2020 (Ryan mfl. 2021). Skredets løsneareal var på ca. 120 000 m², løsnevolum var på ca. 1,35 mill. m³ og utløpsområdet ca. 2 km langt. Hendelsen førte til tap av 11 menneskeliv. I tillegg ble boliger og infrastruktur ødelagt, dyrka mark og skog gikk tapt, og flere bekker ble demmet opp.

Det går kvikkleireskred i Norge hvert år, men ikke alle er store og/eller får store konsekvenser. Til tross for den relativt høye skredfrekvensen finnes det ikke en dekkende nasjonal oversikt over historiske og forhistoriske kvikkleireskred. Nasjonal skredhendelsesdatabase (NSDB) inneholder informasjon om historiske skredhendelser fra ulike kilder og data i NSDB er samlet inn av ulike institusjoner og samarbeidspartnere. Per 27. januar 2022 var det registrert 81 164 skredhendelser i NSDB (Ryan mfl. 2022). Av disse var 663 skred registrert som leirskred eller kvikkleireskred. En del av de andre hendelsene i NSDB kan ha vært kvikkleireskred, men er registrert som en annen eller uspesifisert skredtype.

Å bygge opp en god oversikt over tidligere hendelser åpner opp for muligheten til å utføre ulike analyser av skredfrekvens og -forekomst relatert til f.eks. morfologiske og geologiske forhold. Dette kan være viktige parametre i farevurdering og -håndtering.

Et problem ved å kartlegge tidligere hendelser er at det kan være vanskelig å vurdere om omrøring av kvikkleire har vært involvert, eller om det har vært enklere rotasjonsskred i ikke-kvikkleire. Hvis det trolig var et kvikkleireskred kan det selve skredmekanismen være usikker (retrogressivt skred, flaskred, spredning, eller kombinasjon). Vurderingen kan også svekkes av naturlige eller menneskeskapte terrengendringer som påvirker morfologien i skredområdet. Til tross for dette vil noen viktige morfologiske karakteristikk ofte kunne samles inn, som for eksempel løsneområdets lengde og høydeforskjell mellom skredets bakkant og skredport.

2.3 Vurdering av terrengforhold i andre studier

Aas (1979) analyserte forholdet mellom løsneområdets lengde (L) og den korresponderende høydeforskjellen (H) for 13 skandinaviske kvikkleireskred, hvor glideplanets beliggenhet var kjent (vedlegg 1). Dette ble kombinert med teoretiske beregninger for å etablere den største, potensielle skredutbredelsen for flaskred. I følge Aas (1979) og Aas (1981) ville L/H-verdiene variere fra 7 til 14. Gregersen (2008 (1. versjon i 2001)) baserte seg på denne teoretiske betraktningen og vurderte at L/H ikke ville overskride verdien 13 for flaskred.

Gregersen (2008) presenterte topografiske kriterier for den landsomfattende kartleggingen: (1) Jevnt hellende terreng brattere enn 1:15 vurderes, (2) Terrenghøydeforskjeller på 10 m eller mer vurderes, og (3) Skred vil maksimalt få en lengde tilsvarende $15 \times H$. Gregersen påpekte at en nedre grense på 1:15 og 10 m erfaringsmessig ville inkludere de fleste områder med potensial for store skred, men at det ville kunne gå skred ved mindre kritiske topografiske forhold enn gitt i disse kriteriene. Det ble også påpekt at ved lokale kartleggingsprosjekter, reguleringsplaner og byggeprosjekter o.l. måtte det vurderes å benytte mer konservative kriterier med hensyn til topografi. Dette ville avhenge av bl.a. terrengforhold og fjellets topografi.

Tilsvarende analyser som Aas gjorde i 1979 ble gjort på 37 historiske og prehistoriske skred i 2012 (L'Heureux & Solberg 2012; L'Heureux 2012) (vedlegg 2). Verdien for H var høydeforskjellen mellom skredgropas bakkant og glideplanet ved skredporten / tidligere skråningsfot (Figur 2b). Denne høydeverdien ble i flere tilfeller estimert, siden skredmasser i gropa gjorde det vanskelig å bestemme detaljert (Natterøy 2011) (skredmassetykkelsen er ikke alltid oppgitt i tabellene). Flere skredtyper ble inkludert, ikke kun flaskred som i Aas (1979). Resultatene fra analysene viste at for 20 % av hendelsene var $L/H > 15$, f.eks. hadde Rissaraset $L/H = 45$. Det ble derfor påpekt at kriteriet burde brukes med forsiktighet når en vurderer eventuelt utstrekning av et skred i områder med sensitive leiravsetninger.

Aunaas mfl. publiserte en rapport i 2016 om metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred. Her ble 12 skredhendelser analysert, bl.a. Rissa med $L/H > 15$. Det ble beskrevet at løsneområdet i første omgang kan anslås etter enkle, topografiske kriterier, og deretter avgrenses vha. grunnundersøkelser, observasjoner i felt, landformer som raviner m.m., samt en mer detaljert/kvalitativ evaluering av L/H. Aunaas mfl. beskrev at en mulig forbedring av den presenterte metoden kunne gjøres ved å utvide datagrunnlaget med flere skredhendelser for å sikre at metoden

er konservativ. Sammen med andre videreutviklingsoppgaver ble det foreslått «bruk av laserbaserte data og dataregister for bedre kartlegging og registrering av tidligere skredhendelser for utvidet datagrunnlag» (Aunaas mfl. 2016).

Prosedyrene for den nasjonale faresonekartleggingen er presentert i NVEs «kvikkleireveileder». Veilederen er revidert flere ganger, den siste ble publisert i 2020 (NVE 2020b). For *aktsomhetsområder* er terrengkriteriene (1) Total skråningshøyde (i løsmasser) over 5 meter, *eller* (2) Jevnt hellende terreng brattere enn 1:20 og høydeforskjell over 5 m. Aktsomhetsområder ligger innenfor 20xskråningshøyden, H, målt fra bunnen av skråning (ravinebunn, bunn av elv eller marbakke i sjø (inntil 25 muh.)).

For å avgrense mulige *løsneområder* benyttes et L/H-forhold på 15. I tidligere veileder ble H benyttet direkte (høydeforskjellen mellom skråningsbunn og -topp) (NVE 2014). I den nyeste veilederen benyttes stabilitetsanalyser for å definere glideflate, og så tegnes 1:15-linjen som en tangent til denne dersom det er ravineterreng (vedlegg 3) (NVE 2020a, b). Alternativt settes starten til 1:15-linjen til $0,25xH$ under foten av skråningen (der H er total skråningshøyde). Denne metodikken krever at kritisk glideflate for et initialskred blir beregnet. Dersom kritisk glideflate er dypere enn $0,25xH$ under skråningsfoten er den mindre relevant som et initialskred, og metoden foreslår derfor at 1:15-linja starter maksimalt $0,25xH$ under skråningsfoten. For jevnt hellende terreng brukes en justert versjon av dette (se vedlegg 3). Metodene i NVE (2020b) gir i utgangspunktet kun utbredelsen av skredet bakover fra initialskredet med utbredelse normalt på høydekotene. Ved avgrensning av løsneområde er det også nødvendig å vurdere sideveis utbredelse av et eventuelt skred (utbredelse langs høydekotene). For å estimere dette er det anbefalt å gjøre en samlet vurdering av terreng- og grunnforhold (NVE 2020b).

2.4 Vurdering av tidligere skredaktivitet

Ved bestemmelse av *faregrad for løsneområder* benyttes bl.a. skredaktivitet som faktor (NVE 2020a). Skredaktivitet i et område kan hentes fra NGUs løsmassekart, Kartverkets høydedata og NVEs skredhendelsesdatabase. Score i faregraden vurderes ut fra *Høy*, *Noe*, *Lav* og *Ingen*. Skredaktiviteten betegnes som *Høy* dersom det finnes en eller flere nyere (ca. de siste hundre år) skredgroper i eller i nærheten av den aktuelle sonen, men *Noe* og *Lav* ser ikke ut til å være spesifisert (NVE 2020a). Skredaktivitet har vektall 1.

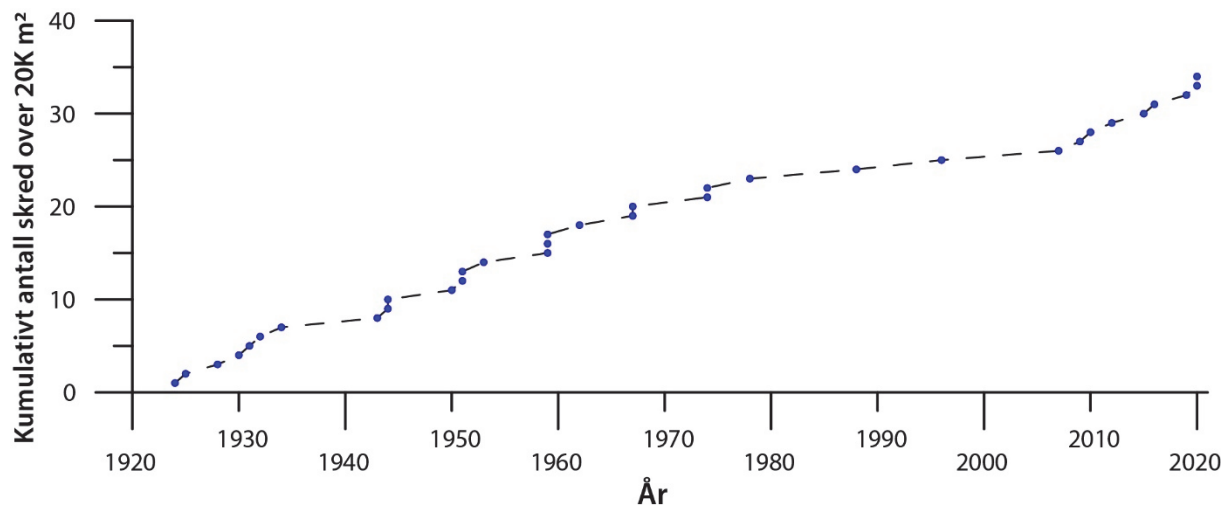
Basert på en katalog over 1259 skredforekomster i Canada analyserte Quinn mfl. (2011) den korteste avstanden mellom store leirskred, for å utlede sannsynligheten for nye skredhendelser i områder det tidligere har gått skred. Studien konkluderte med at det var 91 % sannsynlig å finne et nærliggende skred mindre enn 500 m unna en hendelse.

3. TIDLIGERE SKREDHENDELSER MED AREAL OVER 20 000 M²

Tabellen i vedlegg 4 viser eksempler på 34 leirskred i Norge med løsneareal større enn 20 000 m², som er omtalt i litteraturen. Disse er fra de siste hundre år, noe som i gjennomsnitt indikerer en større skredhendelse hvert 2,9 år. 76,5 % av skredene gikk på land, 23,5 % gikk i strandsonen.

I figur 3 vises det kumulative antallet hendelser mellom 1924 og 2021. I perioden 1980-2000 er det færre dokumenterte, store kvikkleireskred.

Til sammen førte disse hendelsene til 50 omkomne, og alvorlige økonomiske konsekvenser for boligområder, landbruk og infrastruktur. I noen tilfeller gikk skredmassene ut i sjø/innsjø og dannet flodbølger. Skredene ble utløst både naturlig og som følge av menneskelig aktivitet.

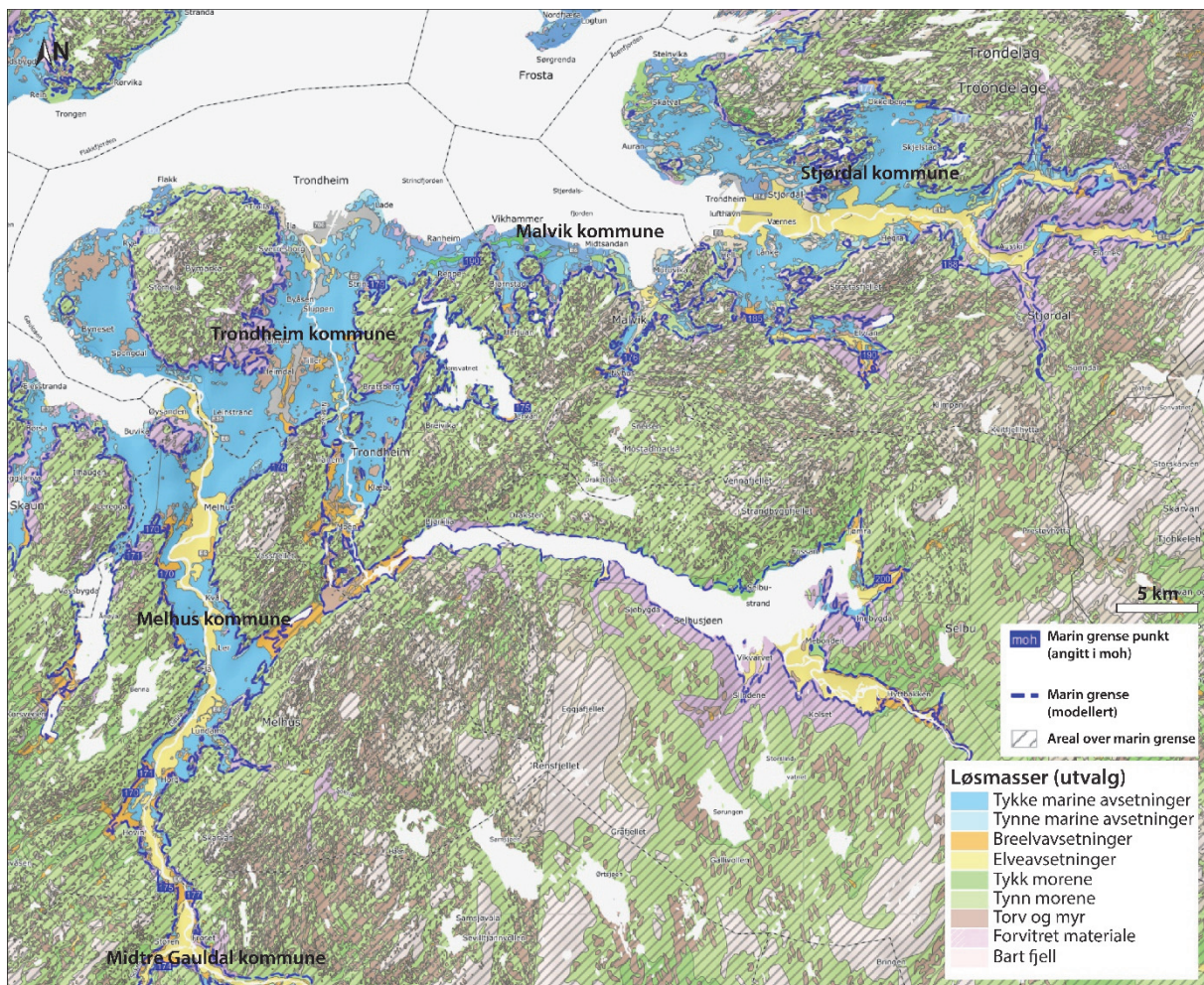


Figur 3. Kumulativt antall leirskred med areal større enn 20 000 m² i løpet av det siste århundre i Norge.

4. STUDIEOMRÅDER

4.1 Trøndelag

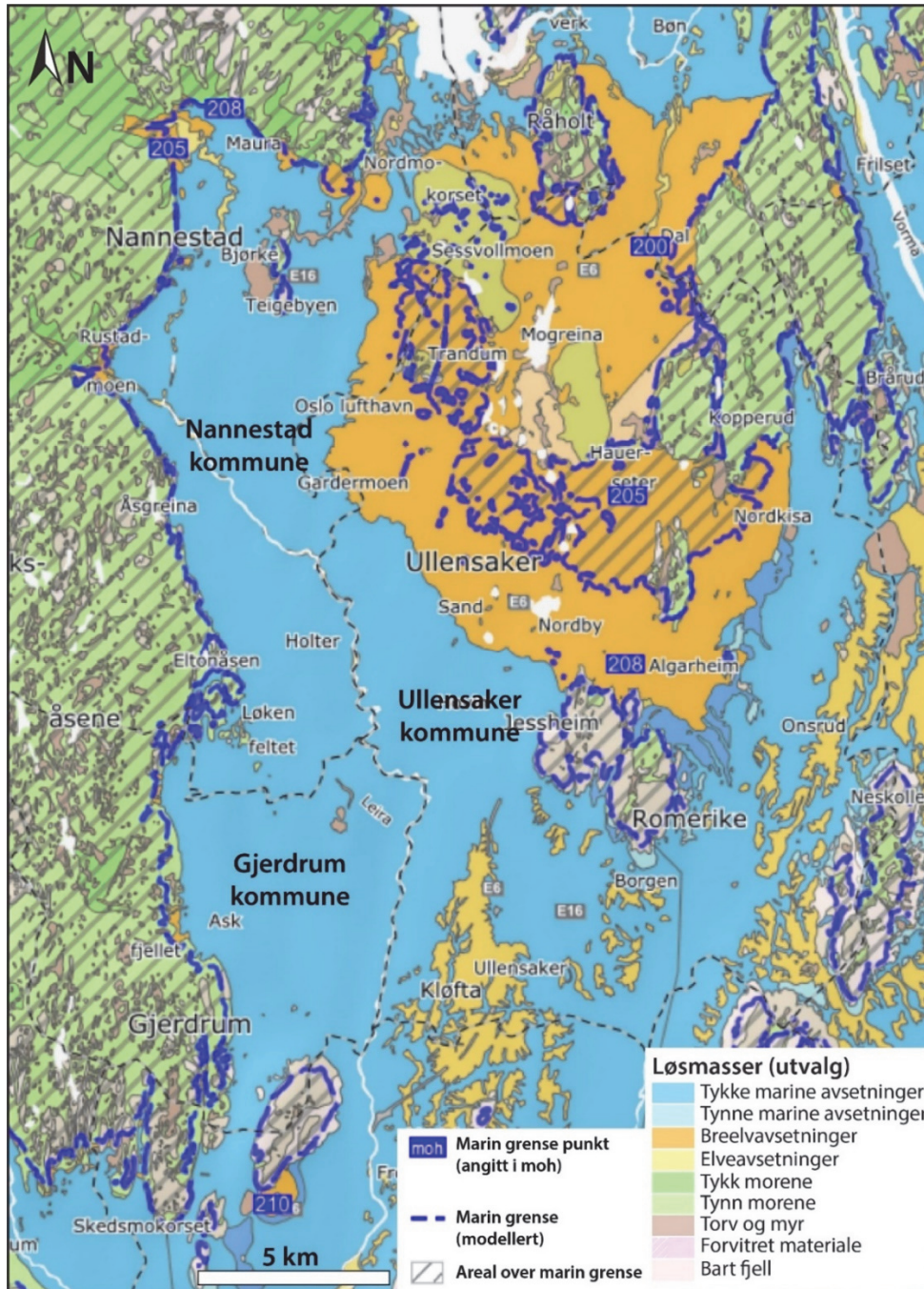
«Studieområde Trøndelag» består av områder under marin grense i kommunene Trondheim, Melhus, Midtre Gauldal, Malvik og Stjørdal. Her finnes det tre store elver: Gaula, Nidelva og Stjørdalselva (middelvanntføring på hhv. 2591,9 mill. m³/år; 3192,2 mill. m³/år og 2378,2 mill. m³/år (tall fra NVE Atlas)). I tillegg er det en rekke mindre elver og bekker. Studieområdet domineres av marine avsetninger, men det er også mange breelvavsetninger, samt fluviale masser (Figur 4). Det er lite «urørt» gammel havbunn, de fleste områdene er gjennomskåret av raviner og skredgroper. Marin grense i området er opptil 200 moh. (NGU 2022).



Figur 4. Løsmassekart med marin grense for studieområde Trøndelag. Marine avsetninger består i hovedsak av leire, men også av andre løsmassetyper. Se https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/ for mer detaljer.

4.2 Viken

«Studieområde Viken» består av områder under marin grense i kommunene Gjerdrum, Ullensaker og Nannestad. Disse ligger i vestre del av Romerike. Den lille elva Leira går gjennom området (middelvannføring på 268,66 mill. m³/år (NVE Atlas)). Studieområdet domineres av marine avsetninger, det store Gardermodeltaet (breeelvavsetning), og en del fluviale masser (Figur 5). Det er lite «urørt» gammel havbunn, de fleste områdene er gjennomskåret av raviner og skredgroper. Marin grense i området er opptil 208 moh. (NGU 2022).



Figur 5. Løsmassekart med marin grense for studieområde Viken. Marine avsetninger består i hovedsak av leire, men også av andre løsmassetyper. Se https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/ for mer detaljer.

5. METODER

5.1 Kartlegging av skredkanter

Skredkantene brukt i analysene i denne studien ble kartlagt i forbindelse med oppgradering av kvartærgeologisk kart under MG i kommunene Trondheim Melhus og Midtre Gauldal (Riiber mfl. 2015; Solberg mfl. 2019; Solberg & Riiber 2019a,b), og i det pågående prosjektet for kartlegging av rødlistede landformer (Christoffersen mfl. 2021; van-Boeckel mfl. 2022). Bakkanten til skredgropene ble tegnet i ArcGIS (ESRI) som linjesymboler, tolket fra digitale høydemodeller (DTM) med høy oppløsning. Høydemodellene ble basert på LiDAR-data med en variasjon i oppløsningen på mellom 1 m og 25 cm (Kartverket 2022). I tillegg ble flyfoto (vertikalfoto) fra ulike år benyttet (fra bl.a. norgebilder.no).

Kvikkleireskred kan ofte ha en skålformet skredgrop med bratte skredkanter. Skredgropene kan være pæreformet med smal skredport eller ha en vid skålform med bred skredport. De kan også være sirkelrunde, brede, avlange, eller uregelmessige (se eksempler i Figur 1).

Noen steder er skredgropene svært skarpe og enkle å kartlegge, andre steder er de nesten visket ut i terrenget på grunn av terrengendringer som bakkeplanering og erosjon. Kvalitetene på skredkantlinjene varierer derfor i datasettet. Siden skredkantene i stor grad er tegnet på samme måte som for standard kvartærgeologisk kartlegging, er ikke alltid hele skredkanten tegnet inn, men kun den delen som kunne gjenkjennes på høydemodellen, ved bruk av høydekoter og/eller ved bruk av flyfoto. Dersom kun korte deler av skredkanten er tegnet, er linjen utelatt fra analysene i denne studien. Skredkantene som danner en skredgrop med smal eller vid port er benyttet. Noen av skredgropene kan representere mer enn én hendelse. Se mer om usikkerhetene når det gjelder de kartlagte skredkantene i kap. 7.

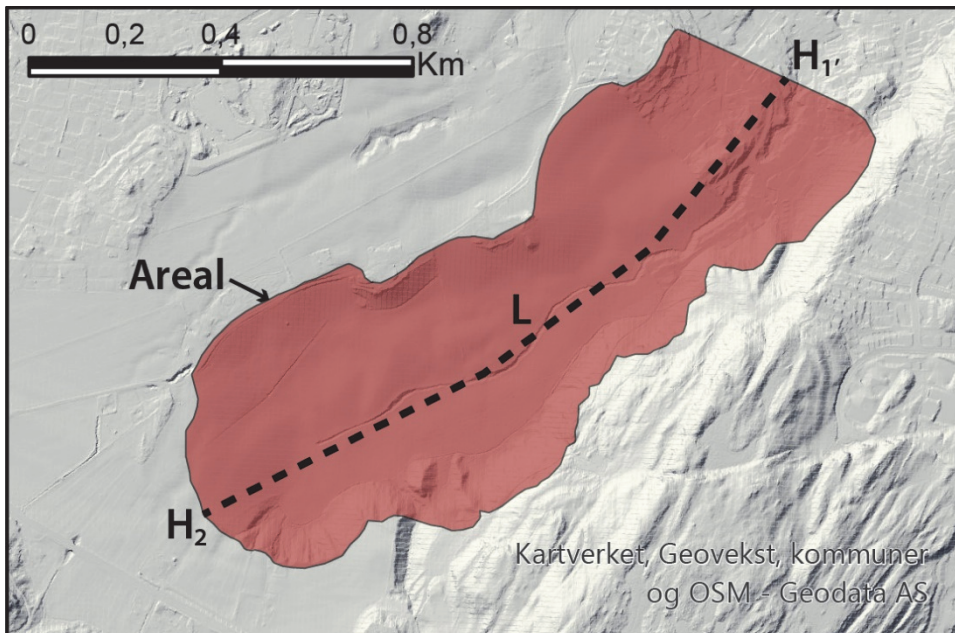
Kartleggingen er generelt gjort i målestokk 1:20 000, men noen av skredkantene har oppløsning på 1:10 000 eller bedre. Det er lagt vekt på å kartlegge alle skredkanter, og disse gjenspeiler skredaktivitet fra slutten av siste istid til i dag. Små utglidninger i raviner og bekker/elver er ikke kartlagt.

5.2 Beregning av morfologiske skredparametre

Beregning av skredparametre ble utført ved bruk av ArcGIS (ESRI). De kartlagte skredkantlinjene ble først lukket og omgjort til polygon. Løsneområdet lengde (L) ble beregnet langs en manuelt tegnet linje for antatt hovedtransportretning til skredmassene ut av gropa: fra bakkant til antatt skredport (Figur 6). I de fleste tilfeller ligger L nokså vinkelrett på linja som lukker skredpolygonen i skredporten. I 25-30 % av skredhendelsene der $L/H > 15$ har L et avvik på 10-45 grader fra normalen, og dette avviket er i hovedsak i indre del av skredgropene.

Høydeforskjellen H som er benyttet i analysene er alternativ 1 i figur 2b. Det vil si forskjell mellom høyden til bakkant av skredgropa og høyden i skredporten oppå eventuelle gjenværende skredmasser. For å finne høydeforskjellen (H) ble linjen for løsneområdet lengde først konvertert til punkt («Feature vertices to points»-verktøy). Deretter ble høydeverdiene for startpunkt (H_2) og sluttpunktet (H_1) til linjen for løsneområdet lengde tatt fra en DTM med oppløsning på 1 m («Extract value to point»-verktøy). Punktinformasjonen ble overført til linja med «Spatial join»-verktøyet og L/H-forholdet ble beregnet. Deretter ble informasjonen overført til den respektive skredpolygonen ved bruk av det samme verktøyet.

Skredgrøpene i de statistiske analysene er behandlet likt, og skredmekanisme er ikke vurdert.



Figur 6. Eksempel på tegning av linjen for løsneområdet lengde i ArcGIS.

Det er også utført analyser på de samme hendelsene, men der 10 m skredmasser er lagt til i H. Dvs. at alternativ 2 i figur 2b er benyttet som høydeforskjell. Tykkelsen av skredmasser vil selvfølgelig variere avhengig av skredenes størrelse, topografiske forhold, skredmassenes egenskaper og mobilitet m.m. For Gjerdrumskredet var skredmassene i skredporten ca. 10 m tykke (Ryan mfl. 2021). Et lignende dyp til glideplanet ved skredporten ble estimert av Robson mfl. (2022) for Rissaraset i 1978. For skredet på Byneset i 2012 ble gjennomsnittlig tykkelse av skredmassene estimert til 3-7 m (Issler mfl. 2012). I studien av 37 skred i 2012 ble tykkelsen av skredmassene estimert for syv av skredene (L'Heureux & Solberg 2012). Tykkelsen var estimert til 5-10 m (med unntak av 20 m for Bråskredet).

Siden antall skredhendelser i vår studie er høyt er ikke tykkelsen på skredmasser vurdert for hver enkelt hendelse, men 10 m skredmasser er benyttet og lagt til for å se hvordan dette overordnet påvirket de statistiske analysene. Basert på referansene gitt over, sees dette på som en maksimum tykkelse for de fleste skredhendelser.

5.3 Grafisk framstilling

Framstillingen av den kumulative frekvensen av leirskred (fordeling av områder/areal i datasettene) i Trøndelag og Viken ble utført ved bruk av «Grapher software». Boksplottene ble utført ved bruk av «matplotlib library» i Python. Vi viser verdier for maksimum, minimum, median, første (k_1) og tredje kvartil (k_3), og haler («whiskere») i figurene. En avgrensning av halene ble gjort ved bruk av 5 og 95 persentil. Det må understrekes at selv om verdiene på utsiden av halene i boksplottene kan sees på som utliggere, er det tydelig at verdiene opptrer tilnærmet kontinuerlig nesten helt opp til de høyeste verdiene (se kap. 6). Dette viser at de strengt tatt ikke er utliggere siden en utligger per definisjon er en observasjon som skiller seg vesentlig fra andre verdier.

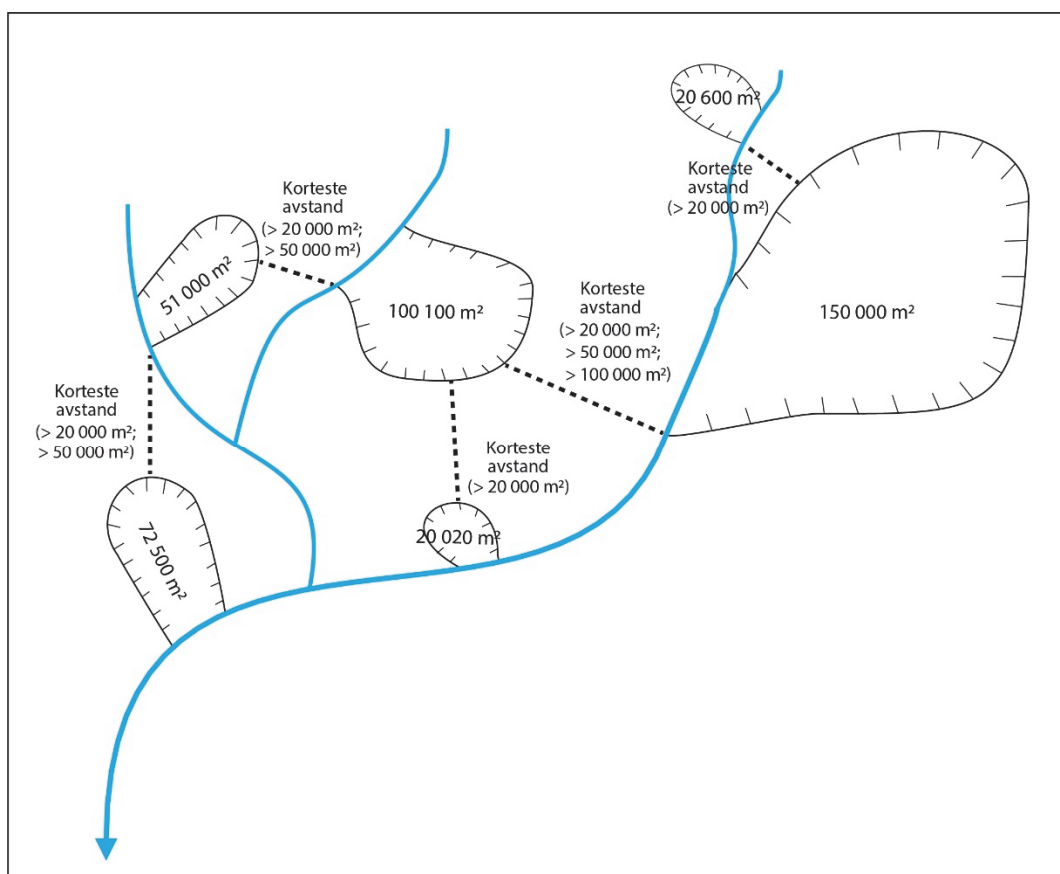
5.4 Avstand mellom skredgroper

Det er utført en beregning av avstanden mellom skredgroper som et forsøk på å kvantifisere skredaktivitet. Til dette er verktøyet «Near» i ArcGIS benyttet. Datasett som er benyttet er shapefil med polygoner som representerer skredhendelsene. Avstanden mellom polygonene ble målt plant. Verktøyet beregnet den korteste avstanden mellom polygonene (Figur 7).

I analysen opprettet vi tre kategorier:

- 1) Alle skredpolygoner større enn 20 000 m²
- 2) Alle skredpolygoner større enn 50 000 m²
- 3) Alle skredpolygoner større enn 100 000 m²

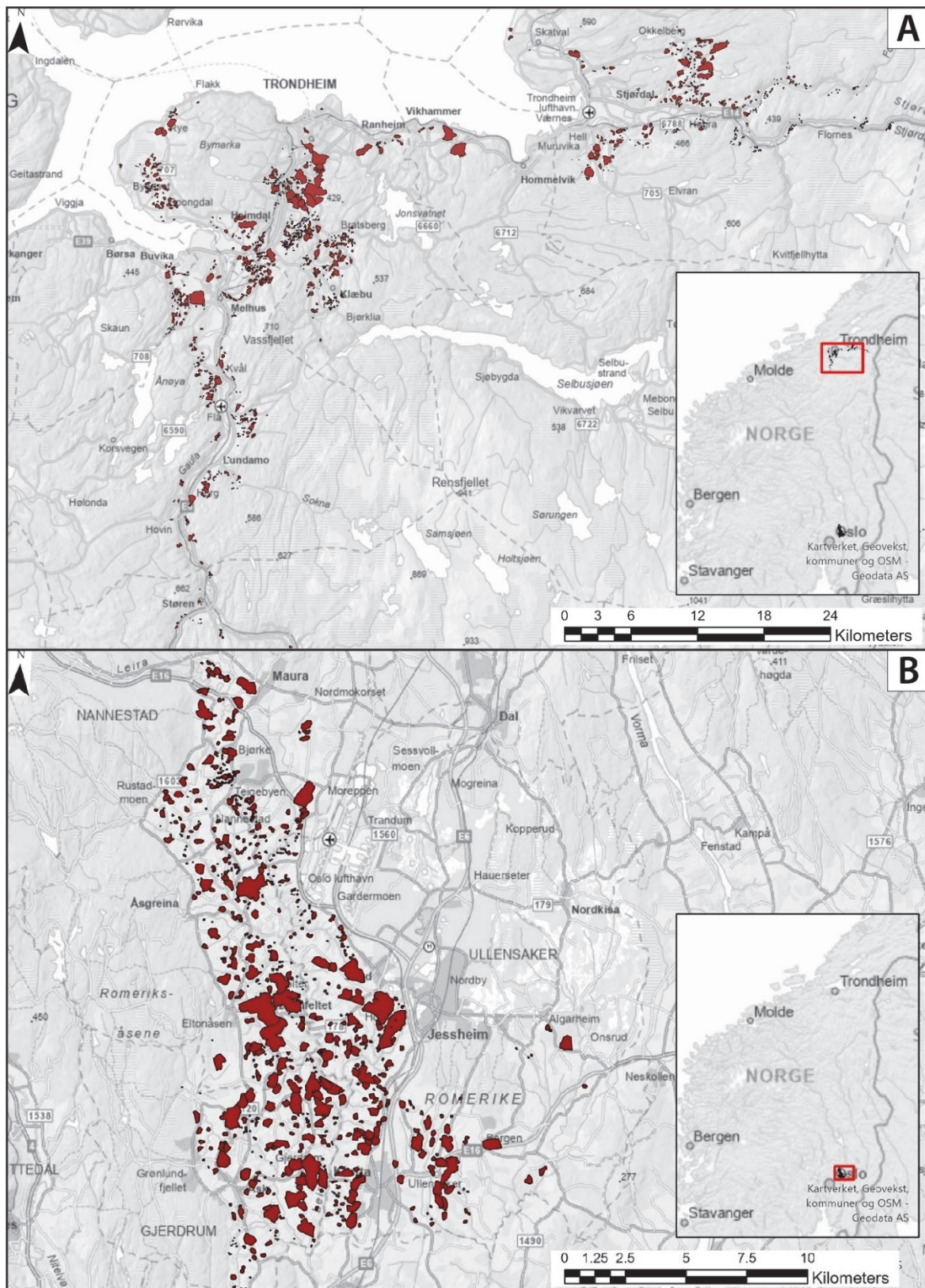
Vi beregnet den korteste avstanden mellom skredgroper/skredpolygoner innenfor hver kategori. Polygoner mindre enn 20 000 m² ble utelatt fra analysen.



Figur 7. Prinsippskisse for metode for korteste avstand mellom skredgroper.

6. RESULTATER

Antall kartlagte leirskred som er benyttet i studien er 1748 i Trøndelag og 776 i Viken (Figur 8).



Figur 8. Kartlagte skredgroper i Trøndelag (A) og Viken (B) som er benyttet i denne studien.

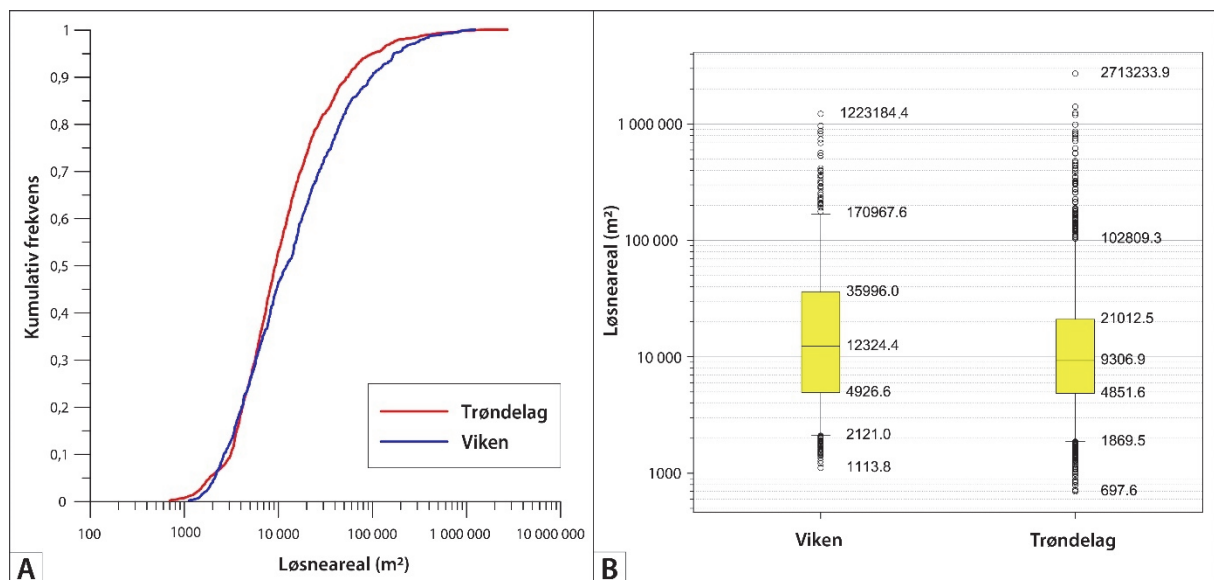
6.1 Skredareal

I Trøndelag er arealet til skredgroperne opptil 2,7 mill. m². Den største skredgropa er «Leirfossen» i Trondheim, og dekker egentlig et enda større areal – men den representerer trolig flere hendelser og er derfor delt opp i denne studien. I Viken er skredgroperne opptil 1,2 mill. m², og den største finnes i Løkenfeltet i Nannestad.

Kumulative frekvenskurver viser en lignende fordeling for begge studieområder (Figur 9a). Det er en noe høyere andel store skredgroper i Viken, noe som er reflektert gjennom høyere median for løsneareal i dette området (Figur 9b). I begge områdene har skredareal omtrentlig lognormal fordeling (Figur 9a). Det er flest små skredgroper, ca. 82 % og 89 % har et løsneareal 50 000 m² eller mindre i hhv. Viken og Trøndelag.

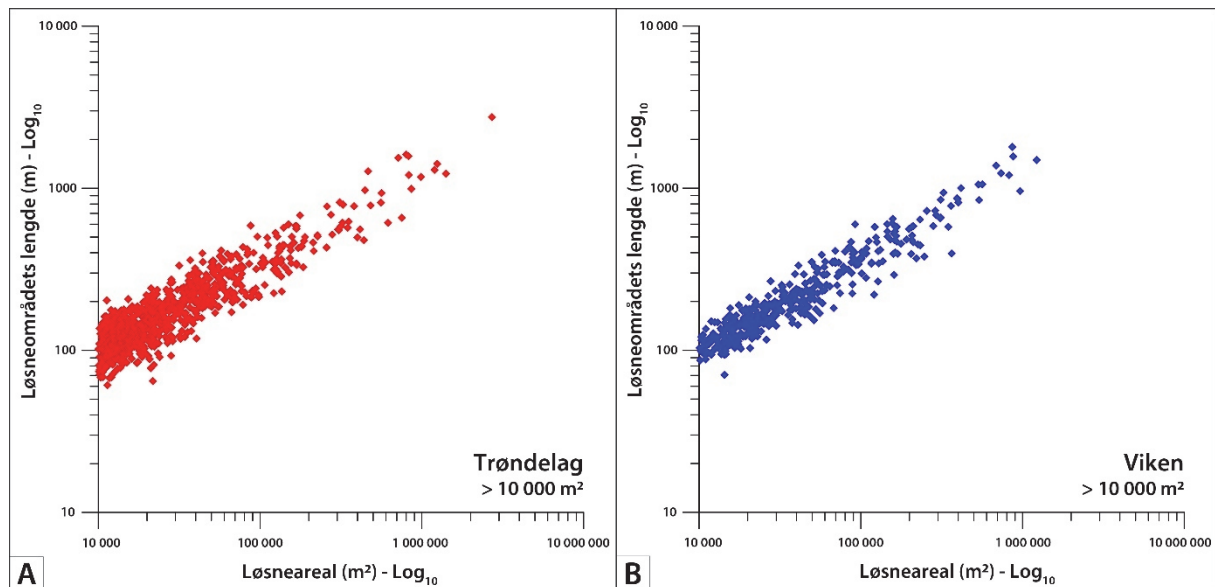
Man kan dele skredene inn i klasser ut fra hvor stort areal løsneområdet/skredgropa har. I denne studien er følgende klasser benyttet i det videre (antall skred i parentes):

- Skredgroper **større enn 200 000 m²** (Viken: 36; Trøndelag: 37)
- **100 000 – 200 000 m²** (Viken: 40; Trøndelag: 52)
- **50 000 – 100 000 m²** (Viken: 63; Trøndelag: 104)
- **20 000 – 50 000 m²** (Viken: 149; Trøndelag: 268)
- **10 000 – 20 000 m²** (Viken: 128; Trøndelag: 359)
- **5 000 – 10 000 m²** (Viken: 160; Trøndelag: 473)
- Skredgroper **mindre enn 5 000 m²** (Viken: 200; Trøndelag: 455)



Figur 9. (A) Kumulative frekvenskurver for leirskred i Trøndelag og Viken. (B) Boksplott som viser skredarealfordeling i Viken og Trøndelag. NB: Boksen representerer 25-75 % kvartil og haler representerer 5 og 95 persentiler.

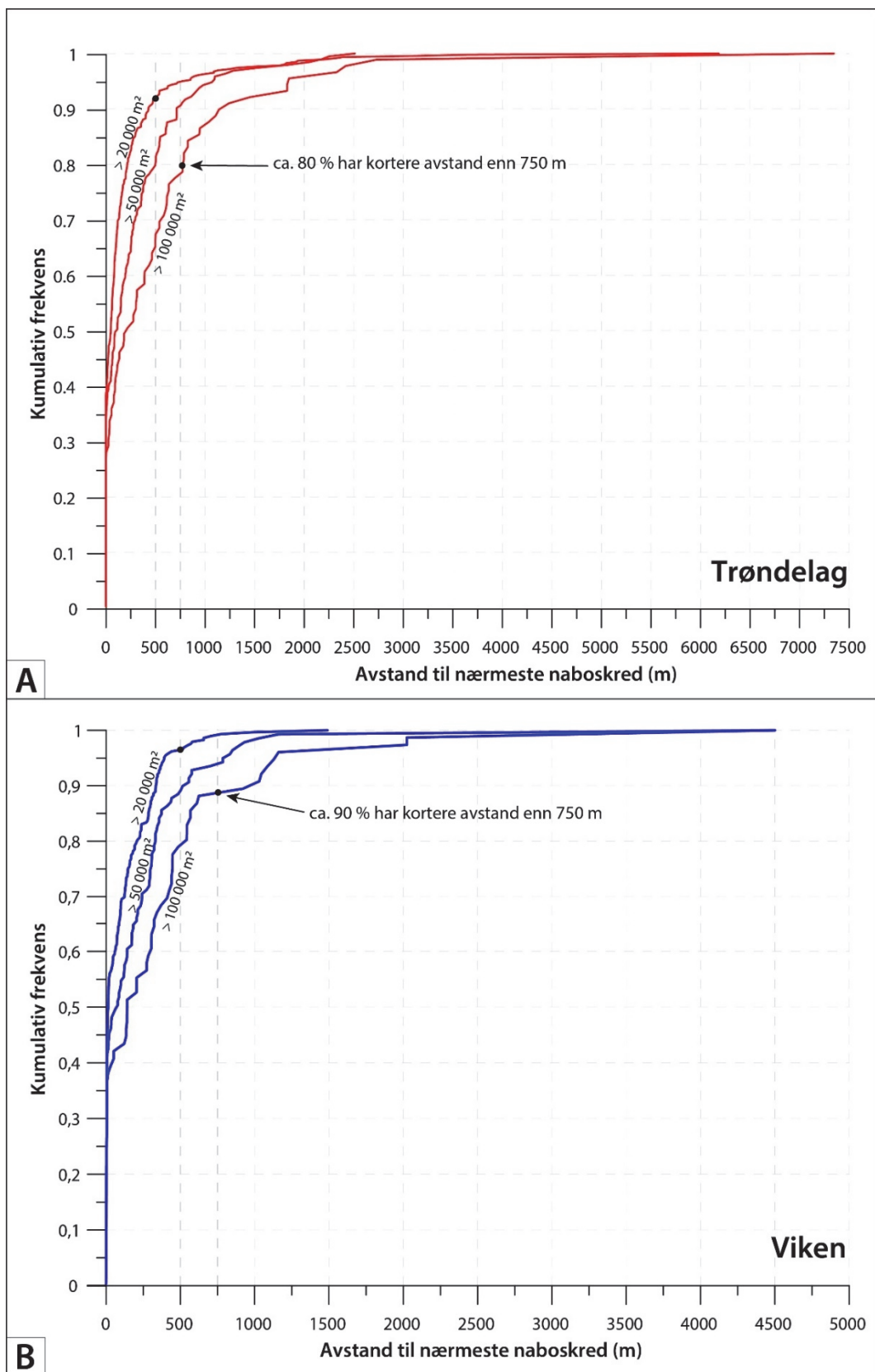
Figur 10 viser skredareal i forhold til løснеområdets lengde for hendelser større enn 10 000 m². I begge studieområder observerer vi god korrelasjon mellom løснеområdets lengde og løснеareal (skredareal).



Figur 10. Forhold mellom løснеområdets lengde og løснеareal for Trøndelag (A) og Viken (B).

6.2 Avstand mellom skredgroper

Som diskutert av Quinn mfl. (2011) kan avstand mellom store leirskred være en indikator for at framtidige skred vil kunne gå i nærheten, siden forholdene kan ligge til rette for dette (kap. 2.4). I vår studie har vi analysert avstanden mellom store (> 20 000 m²) skred i Viken og Trøndelag, innenfor tre kategorier. Som forventet viser resultatene at avstanden mellom hendelser øker med økende skredstørrelse, siden det finnes mange flere små enn store skredgroper (Figur 11). De kumulative kurvene viser at en avstand på 750 m omfatter over 80 % av de største (> 100 000 m²) hendelsene i begge studieområdene.



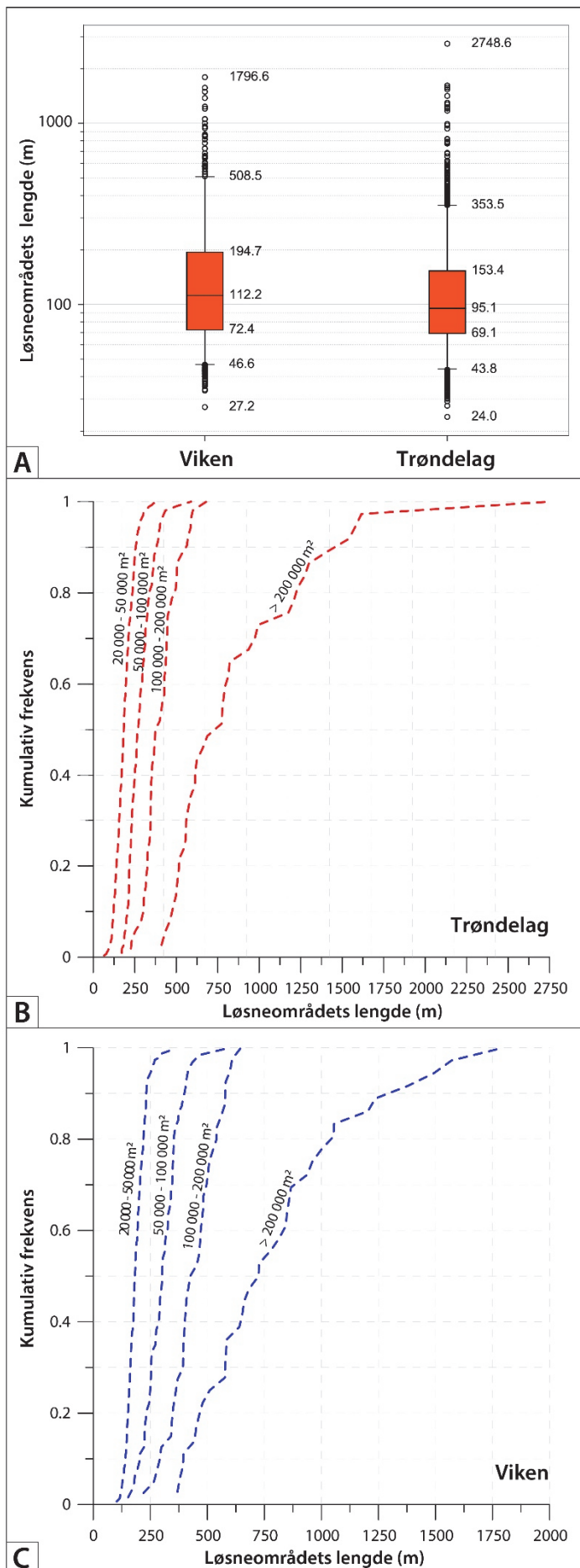
Figur 11. Kumulativ frekvens av avstand fra et skred til nærmeste naboskred større enn 20 000 m², 50 000 m² og 100 000 m² i Trøndelag (A) og Viken (B).

6.3 Løsneområdet lengde (L), høydeforskjell (H) og L/H-forholdet

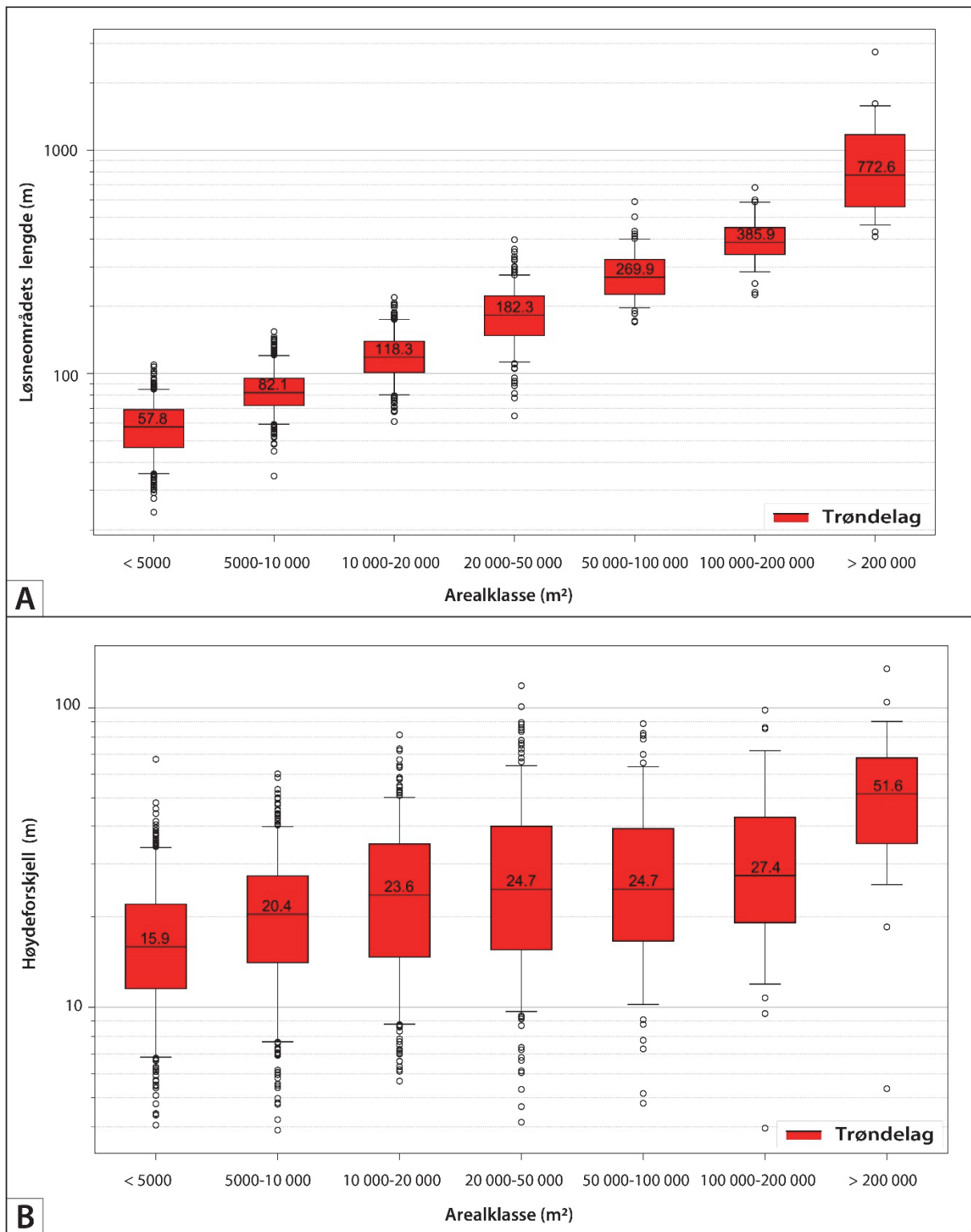
I Trøndelag er løsneområdets maksimale lengde ca. 2750 m, mens i Viken er denne verdien ca. 1800 m. Medianverdien for løsneområdets lengde er ca. 112 m i Viken, og ca. 95 m for Trøndelag (Figur 12).

Når man fordeler skredhendelsene i de ulike arealklassene som vist i kap. 6.1, og analyserer løsneområdets lengde i hver av dem, ser vi små forskjeller mellom medianverdiene i hver klasse for de to studieområdene (Figur 13a og 14a). Om man gjør den samme analysen for høydeforskjellen, er forskjellene derimot mer markerte (Figur 13b og 14b). For nesten alle arealklassene er høydeforskjellen mindre i Viken, noe som er med på å forklare at L/H er større i dette området (Figur 15).

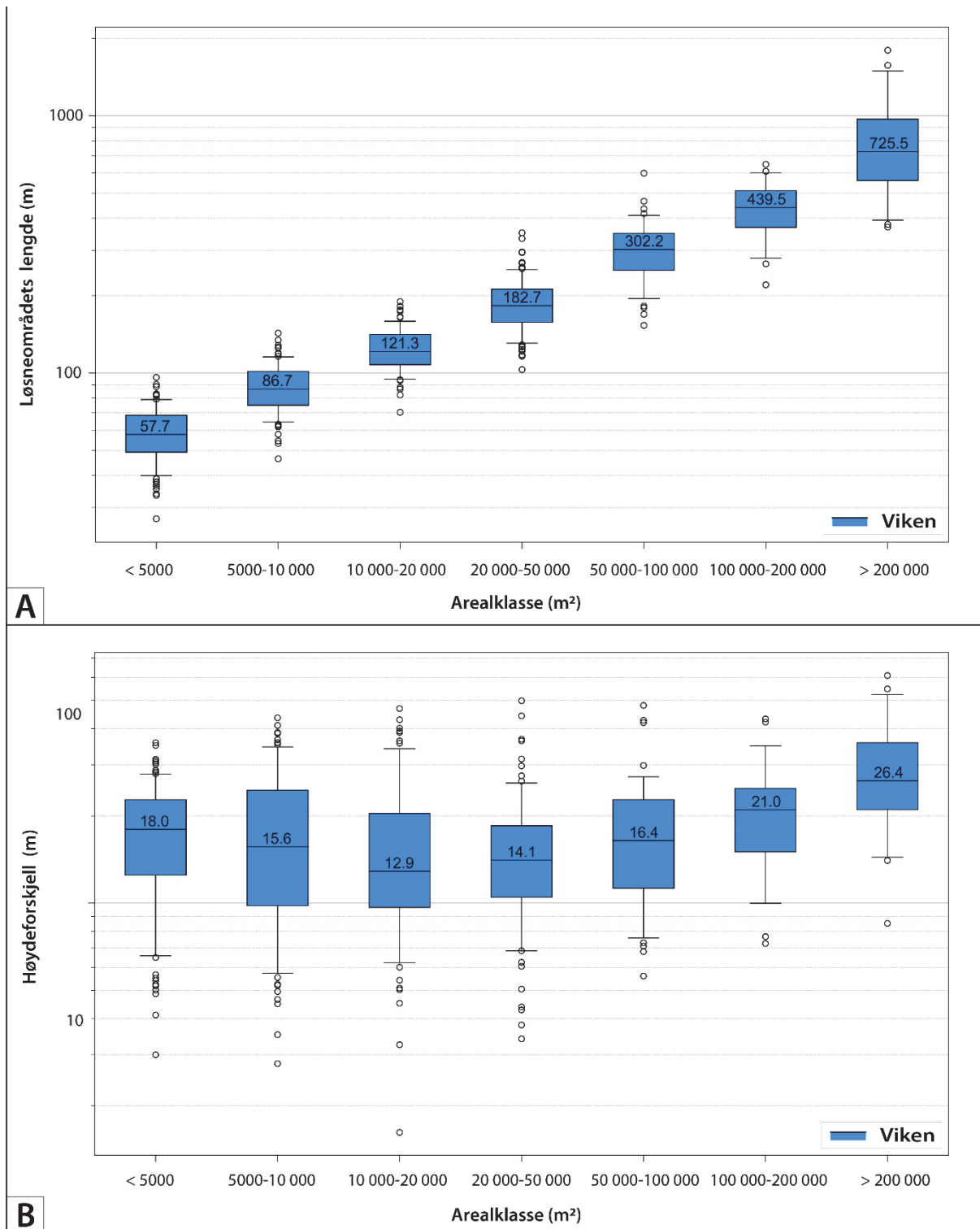
I Viken er median for L/H 8,3, noe som er nesten dobbelt så høy som for Trøndelag – som har 4,6 (Figur 15). I 8 % av tilfellene i Trøndelag er L/H større enn 15, mens i Viken gjelder dette for 25 % av tilfellene.



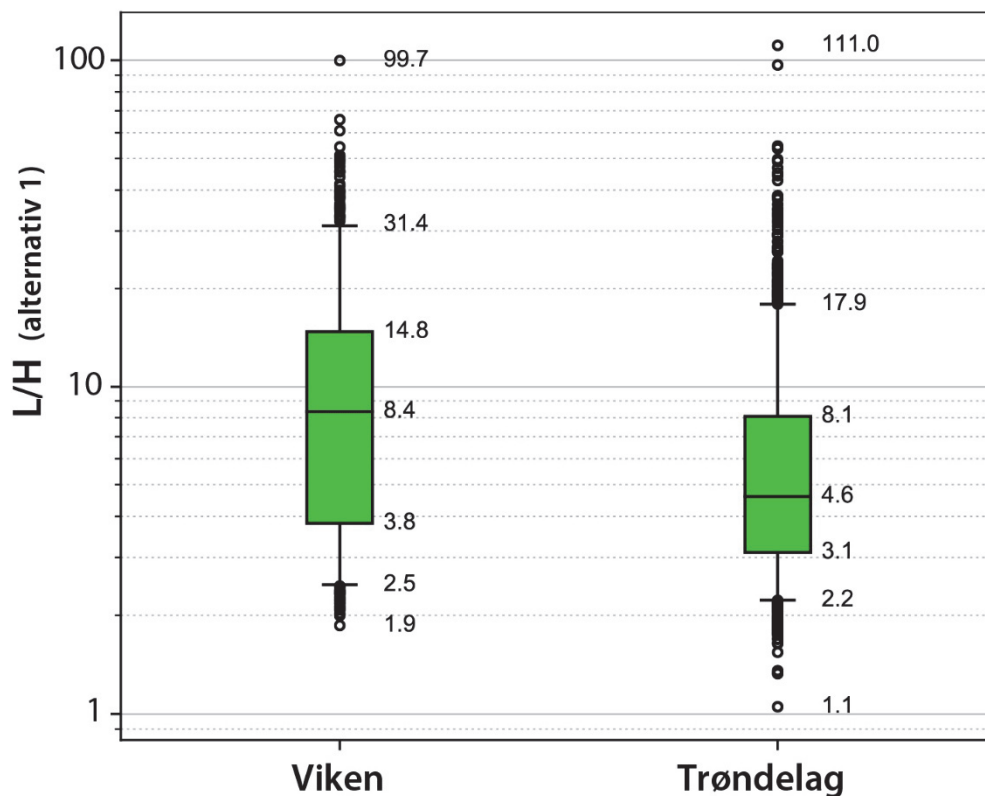
Figur 12. A) Boksplott som viser løsneområdets lengde til de analyserte leirskredene i Trøndelag og Viken. NB: Boksen representerer 25-75 % kvartil og haler representerer 5 og 95 persentiler. Medianen er vist som svart linje inni boksen. B) og C) Kumulativ frekvens for løsneområdets lengde for Viken og Trøndelag iht. arealklasser.



Figur 13. Boksplott for løsneområdets lengde (A) og høydeforskjell (B) i **Trøndelag**. NB: Boksen representerer 25-75 % kvartil og haler representerer 5 og 95 persentiler. Medianen er vist som svart linje inni boksen.

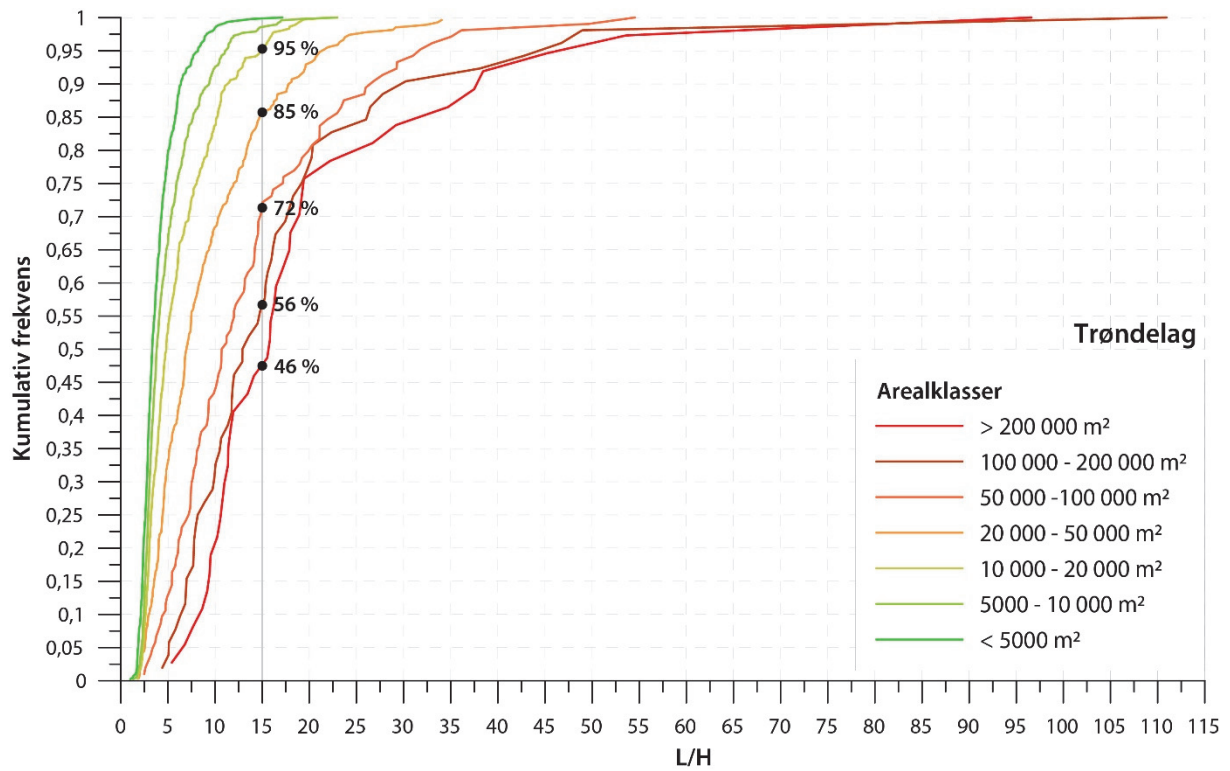


Figur 14. Boksplott for løsneområdets lengde (A) og høydeforskjell (B) i Viken. NB: Boksen representerer 25-75 % kvartil og haler representerer 5 og 95 persentiler. Medianen er vist som svart linje inni boksen.

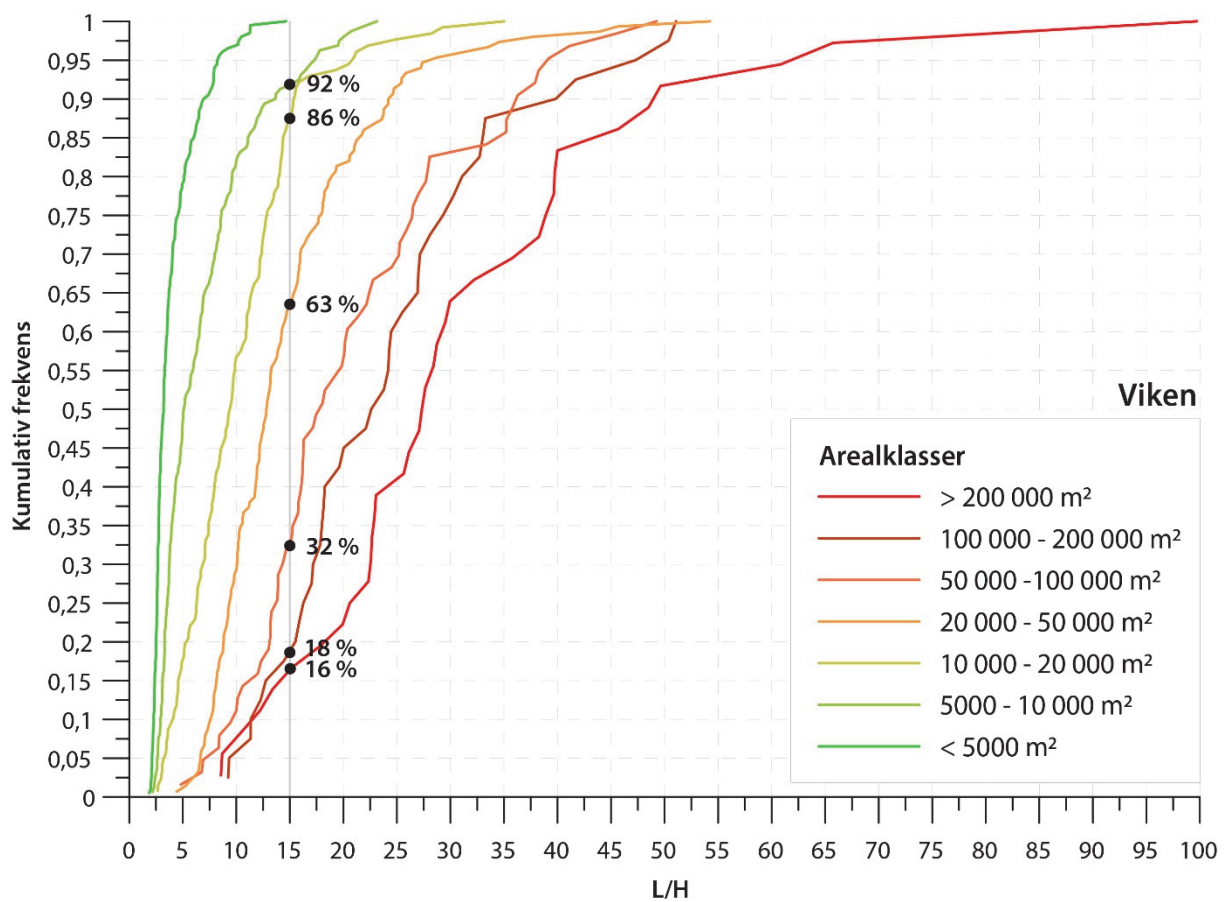


Figur 15. Boksploott som viser L/H-forholdet for de analyserte leirskredene i Viken og Trøndelag (alternativ 1 i figur 2b). NB: Boksen representerer 25-75 % kvartil og haler representerer 5 og 95 persentiler. Medianen er vist som svart linje inni boksen.

Figur 16 og 17 viser fordelingen av L/H for de ulike arealklassene. Jo større skredgropene er, jo større er andelen hendelser som overskrider maksimumsverdien målt av Aas (1979) ($L/H < 15$). For skredgroper på opptil 20 000 m² er i overkant av 90 % av hendelsene innenfor denne maksimumsverdien for begge studieområdene. For skredgroper med areal mellom 50 000 m² og 100 000 m² dekker $L/H < 15$ omtrent 72 % av hendelsene i Trøndelag og 32 % i Viken. Som nevnt i kap. 5.2: for 25-30 % av skredhendelsene der $L/H > 15$ har L et avvik på 10-45 grader fra normalen. Dette avviket er i hovedsak i indre del av skredgropene.



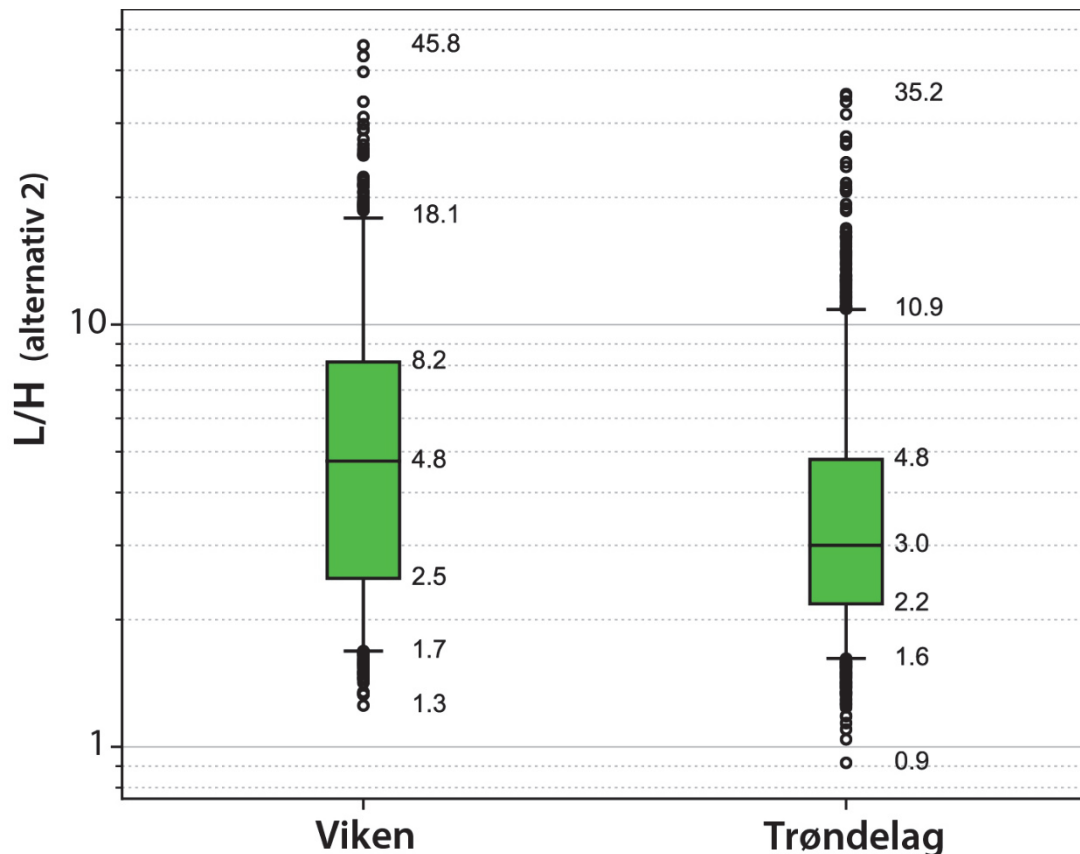
Figur 16. Kumulativ frekvens for L/H for klassifiserte skredareal i **Trøndelag** (alternativ 1 i figur 2b).



Figur 17. Kumulativ frekvens for L/H for klassifiserte skredareal i **Viken** (alternativ 1 i figur 2b).

6.4 L/H når 10 m skredmasser inkluderes

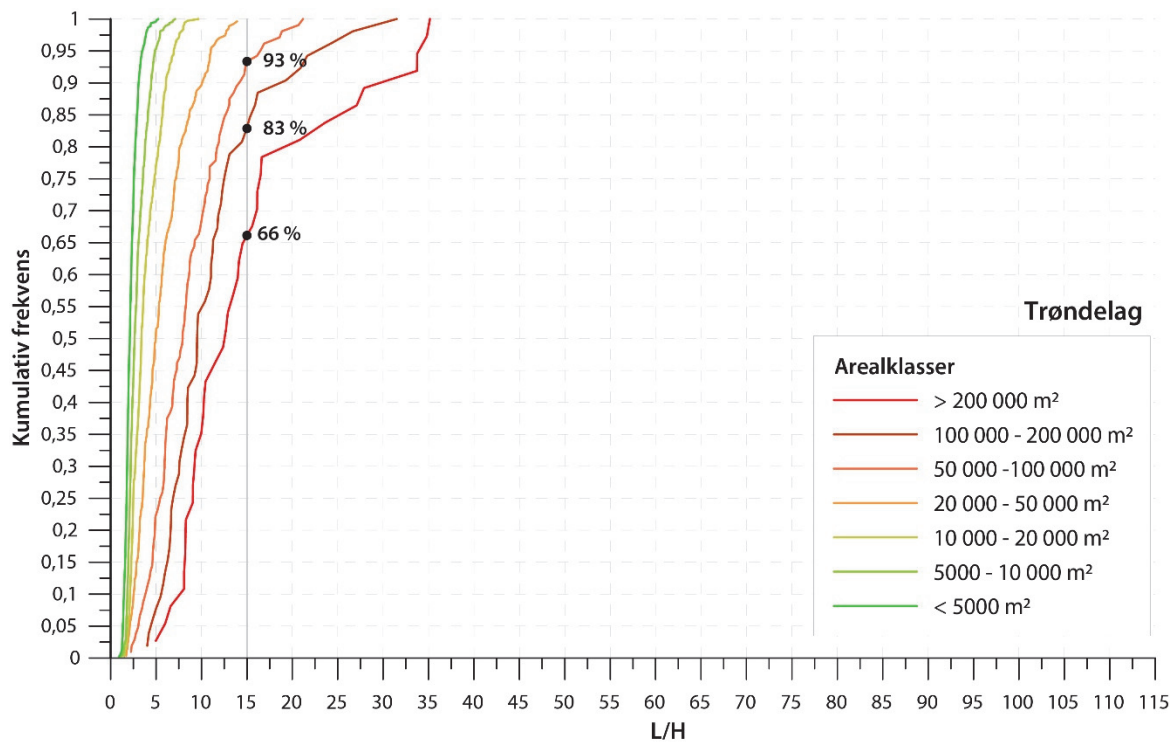
Analysene generelt i denne studien benytter alternativ 1 i figur 2b, dvs. at H beregnes fra høyde bakkant skredgrop til toppen av skredmassene i skredporten. Vi kjenner ikke til tykkelsen til skredmassene over glideplanet, men ønsket å se utfallet av analysene ved å beregne en større høydeforskjell. Vi har derfor benyttet 10 m som en gjennomsnittlig verdi for tykkelse av skredmasser i skredporten, og beregnet L/H-forholdet (se også kap. 5.2). Med dette blir median for L/H 4,8 i Viken og 3,0 i Trøndelag (Figur 18).



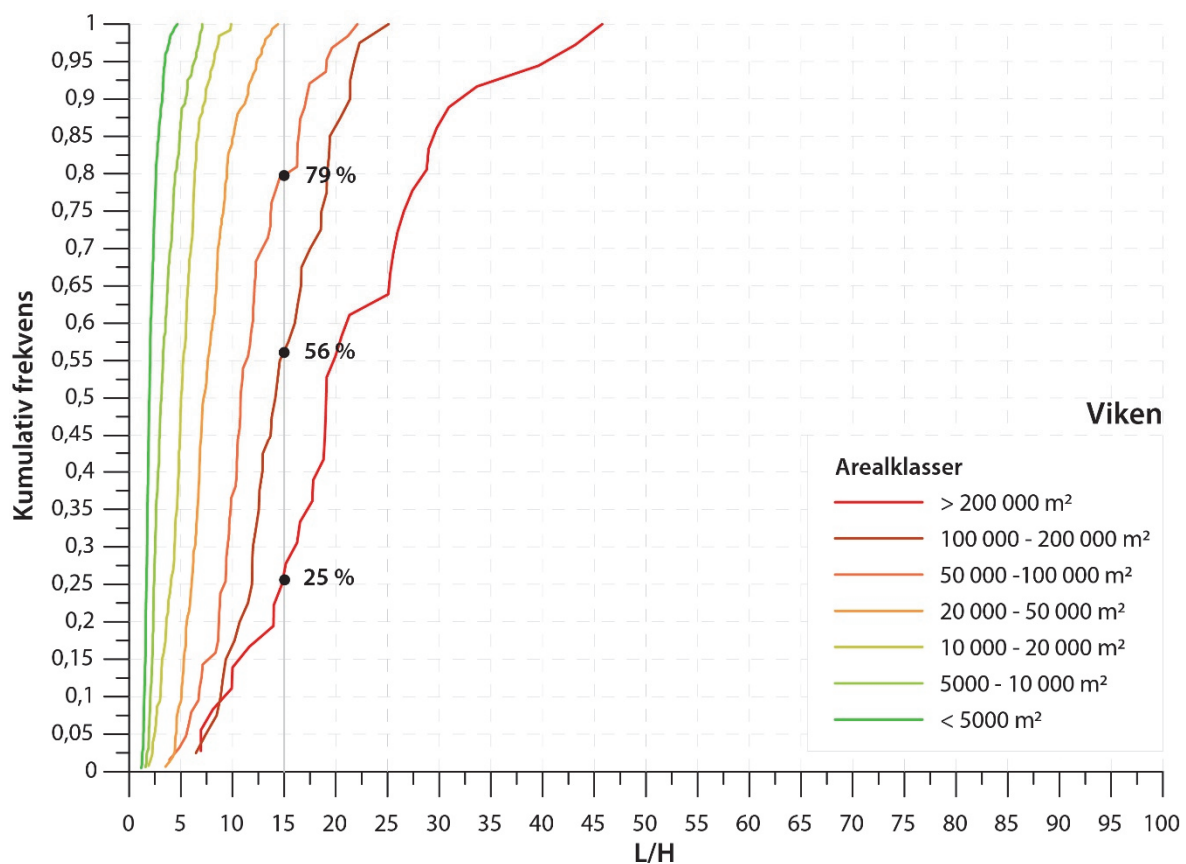
Figur 18. Boksplott som viser L/H-forholdet for de analyserte leirskredene i Viken og Trøndelag når 10 m skredmasser inkluderes i høydeforskjellen (alternativ 2 i figur 2b). NB: Boksen representerer 25-75 % kvartil og haler representerer 5 og 95 persentiler. Medianen er vist som svart linje inni boksen.

Figur 19 og 20 viser fordelingen av L/H for de ulike arealklassene der $H = H_2 - (H_1 - 10 \text{ m})$.

For skredgroper på opptil 100 000 m² dekker L/H < 15 omtrent 93 % av hendelsene i Trøndelag og 79 % i Viken i denne analysen. For skredgroper med areal på mellom 100 000 m² og 200 000 m² dekker L/H < 15 omtrent 83 % av hendelsene i Trøndelag og 56 % i Viken.



Figur 19. Kumulativ frekvens for L/H-forholdet for klassifiserte skredareal i **Trøndelag** når 10 m skredmasser er lagt til i høydeforskjellen (alternativ 2 i figur 2b).



Figur 20. Kumulativ frekvens for L/H-forholdet for klassifiserte skredareal i **Viken** når 10 m skredmasser er lagt til i høydeforskjellen (alternativ 2 i figur 2b).

7. DISKUSJON OG KONKLUSJONER

De største skredgropene i studieområdene er store, også i internasjonal sammenheng. De er én størrelsesorden (millioner m²) større enn Saint-Jean-Vianney-skredet i 1971 i Canada (268 000 m²; Tavenas mfl. 1971) og 1957 Göta-skredet i 1957 i Sverige (370 000 m²; Odenstad 1958). De er av samme størrelsesorden som det største, kjente kanadiske skredet som gikk i 1894 i Saint-Alban (ca. 4,6x10⁶m²; Wilson & Mackay 1919, referert til i Quinn mfl. 2008).

I studieområdene Trøndelag og Viken er fordelingen av skredgropstørrelse og løснеområdet lengde for de kartlagte leirskredene nokså lik. Det som skiller de to områdene mest, er høydeforskjellen mellom bakkanten til skredet og skredporten. Relieffet ser dermed ut til å være noe høyere i Trøndelag enn i Viken. I studieområdet i Trøndelag er det større elver (Gaula, Nidelva, Stjørdalselva), og muligens dypere erosjonsbasis. Studieområdet i Viken har små vassdrag og stedvis grunt til fjell. Hvordan dette, sammen med bl.a. de geologiske forholdene, påvirker skredfordeling og landskapsutvikling er noe som kan være grunnlag for ytterligere studier.

Beregningen av avstand mellom skredhendelser indikerer at for skred større enn 20 000 m² ligger minst 90 % av skredene 500 m eller nærmere et annet skred. Quinn mfl. (2011) kom fram til samme sannsynlighet ved analysen av 1259 store skred, og viste til at skredgropen kunne benyttes som en indikator for framtidige hendelser. Det må understrekes at dette er knyttet til romlig sannsynlighet, ikke tidsmessig, noe som også Quinn mfl. (2011) påpekte. Hvis skred har en tendens til å opptre i klynger dersom forholdene ligger til rette for dette, kan det ikke konkluderes direkte at dagens sannsynlighet er høyere i et slikt klyngeområde - siden forholdene kan ha endret seg over tid (ytre forhold og grunnforhold). Men dersom forholdene som ledet til de tidligere skredene ikke har endret/forbedret seg, er sannsynligheten for et nytt skred større i nærheten av tidligere hendelser.

Tidligere skredaktivitet er en av faktorene som vurderes ved bestemmelse av faregrad for løsnakeområder (NVE 2020a). Skredaktiviteten betegnes som *Høy* dersom det finnes en eller flere nyere skredgropen i eller i nærheten av den aktuelle sonen. Begrepet «i nærheten» er ikke tallfestet. Resultatene fra vår studie viser at en grense på 500 m kunne benyttes. Det kunne også være nyttig å benytte analyseresultater for å bestemme hvor stort område man burde se på tidligere skredaktivitet i, og ikke kun relatere det til den aktuelle sonen – siden sonegrenser ikke er eksakte og kan bli endret.

Analysene av de 2524 skredene indikerer at L/H er over maksimumsverdien fra Aas (1979) for en god del hendelser, spesielt for de som er større enn 50 000 m². Dette er også dokumentert i andre studier, selv om disse tok for seg relativt få hendelser (L'Heureux 2012; Aunaas mfl. 2016). At mange store skredhendelser i vår studie overskrider dette forholdet kan skyldes at:

- 1) den opprinnelige vurderingen av forholdet L/H gjaldt flakskred (Aas 1979), og tok ikke høyde for retrogressiv skredutvikling som ofte skjer i kvikkleireskred.
- 2) få skredhendelser har blitt benyttet i de opprinnelige vurderingene av L/H. I Aas (1979) ble 13 historiske skred benyttet. I vår studie er over 2500 skredhendelser benyttet, og de dekker store arealer under marin grense. De fleste av skredene er av ukjent alder. Noen av skredene kan ha gått kort tid etter landhevningen, mens andre ble utløst etter hvert som vassdrag skar seg ned i terrenget.
- 3) det er usikkerheter i kartleggingen av skredgropene, noe som bl.a. skyldes at det er stor variasjon i hvor godt de er bevart. Noen kartlagte skredhendelser kan ha gått i flere etapper med flere års

mellomrom, men dette er i noen tilfeller vanskelig å vurdere. En skredgrop kan på den måten representere flere hendelser. Noen av de større skredhendelsene i studieområdene, som sannsynligvis var flere hendelser, ble oppdelt før analysene – noe som påvirker både løsneareal, løsneområdets lengde og høydeforskjell. Ikke alle skredgropene ligger ved dagens vassdrag, noe som skyldes at de kan være svært gamle, og den videre landskapsutviklingen med migrasjon og videre erosjon/nedkutting. Dette kan også ha påvirket formen på noen av skredgropene.

- 4) skredkantene etter en hendelse utjevnes både naturlig for å oppnå likevekt, og som følge av bakkeplanering. Løsneområdets lengde kan i disse tilfellene bli noe lengre enn hva den var under hovedforløpet til skredhendelsen. Andre terrengendringer, som oppfylling, kan også ha påvirket både løsneområdets lengde og høydeforskjell som benyttes i L/H-beregningen.
- 5) det i skredporten ligger skredmasser over glideplanet som gjør at høydeforskjellen til bakkanten blir underestimert dersom man bruker terrengmodeller for å finne parametrene. I tillegg kan transportretningen være noe usikker for enkelte skred og påvirke løsneområdets lengde.

Enkelte av de kartlagte skredene i studieområdene var muligens ikke kvikkleireskred. Mange av de minste skredene kan ha vært enkle rotasjonsskred i raviner og bekkenedskjæringer, som ikke utviklet seg videre. Skredmekanisme har ikke blitt vurdert (rotasjon, retrogresjon, flakskred, spredning kombinasjon).

Det er viktig å påpeke at andelen skred over 50 000 m² er i mindretall i begge studieområder (kap. 6.1). Store skred får ofte større konsekvenser, samtidig som også små skred kan gjøre stor skade i tettbebygde områder.

I Aas (1979) ble den lengste avstanden fra bakkant til skredport målt til 285 m for de 13 skredene i studien. I våre studieområder er lengde på løsneområdet lik eller kortere enn 285 m for omtrent 95 % av alle skred med løsneareal på 20 000 - 50 000 m². Mer enn 50 % av skredene på 50 000 - 100 000 m² har lenger lengde på løsneområdet. For hendelser større enn 100 000 m² overskrider omtrent alle 285 m. Antall skred i studiene har derfor betydning, og selv den lille økningen av studerte skred (37) i L'Heureux & Solberg (2012), i forhold til Aas (1979), viste flere nyanser i L/H-forholdet som stemmer bedre overens med vår analyse.

Ved en korleksjon på 10 m skredmasser i skredporten for alle skredgropene i studieområdene ble L/H lavere, og alle hendelsene under 50 000 m² havnet innenfor L/H < 15. Med økende skredgropstørrelse var L/H fremdeles over 15 for en del hendelser når skredmasser ble inkludert. For skred mellom 50 000 m² og 100 000 m² var L/H > 15 for ca. 21 % av tilfellene i Viken, og ca. 7 % i Trøndelag. For skred mellom 100 000 m² og 200 000 m² var L/H > 15 for ca. 44 % av tilfellene i Viken, og ca. 17 % i Trøndelag.

Som nevnt i kap. 5.2 kan 10 m skredmasser i skredporten være et noe høyt anslag, og det gjelder kanskje spesielt de små hendelsene. På den annen side har også skredmekanisme, skredmassenes mobilitet og skredutløpets morfologi betydning for hvor tykke skredmasser som blir liggende igjen både i gropa, i skredporten og i utløpsområdet. En del skredmasser kan også ha blitt fjernet ved senere erosjon og massetransport. Når man gjør analyser på så store datasett som i denne studien, vil det være krevende å finne en mer riktig høydeforskjell for hvert enkelt skred. I tillegg finnes det som tidligere nevnt en rekke forhold som kan påvirke løsneområdets lengde og høydeforskjell. For vår analyse vil L/H-forholdet derfor muligens ligge noe mellom de to analysene (med og uten 10 m skredmasser).

I L'Heureux & Solberg (2012) var mange flere skredparametre med i analysene, men selv for denne studien med kun 37 skred kunne ikke alle parametre bestemmes for alle hendelser. Det vil derfor være riktig å gjøre analyser av store datasett med enkle parametre for å finne trender for store områder. Man bør i tillegg velge ut enkelte, representative skred hvor det vil være mulig å finne detaljert informasjon for dypere studier. Siden dette er enklest når skred nettopp har gått vil det være viktig for framtidige analyser å lagre sentrale parametre for nye skred av en viss størrelse, også for skred som ikke hadde store konsekvenser. Analyser av leirskred basert på hendelser omtalt i litteraturen gir i noen tilfeller et skjevt bilde av forholdene, siden disse trekker sine konklusjoner på nyere hendelser som har hatt store konsekvenser for befolkning, bebyggelse og infrastruktur. Dette har resultert i en underestimert av forekomst og potensiell utbredelse av hendelser, noe som også er påpekt av Quinn mfl. (2008).

Det må også påpekes at det i alle vurderinger av terrengforhold som baseres på erfaringsverdier er en restrisiko, noe som betyr at noen hendelser vil overstige gitte grenseverdier. Hvor mange hendelser over grenseverdiene som kan aksepteres må imidlertid evalueres mht. hvordan det påvirker eventuelle restriksjoner som følger med håndtering av risiko.

Muligheten til å lage gode oversikter over tidligere hendelser har økt betraktelig etter at terrengmodeller (DEM) med høy oppløsning har blitt tilgjengelige. Nye datasett, kartleggingsverktøy og programvarer gjør større analyser mulig og kan være godt grunnlag for forskning på ulike skredaspekter. Store datasett av skredkanter og raviner kan benyttes sammen med andre datasett for bedre forståelse for geologi, grunnforhold og landskapsutvikling. Statistiske analyser og tolkning av store datasett kan også benyttes som en del av arbeidet med å videreutvikle metodikken for aktsomhets- og farekartlegging. Behovet for en gjennomgang av metoden for faregrads-klassifiseringen, bl.a. faktoren skredaktivitet, ble også påpekt av Gjerdrumutvalget (Ryan mfl. 2022).

Vi anbefaler at slike analyser gjøres i flere områder hvor skredgroper kartlegges detaljert, som en del av grunnlaget for videreutvikling av metodikken for aktsomhets- og faresonerer. I tillegg bør man utvide oversikten fra tidligere studier over skredhendelser som er studert detaljert. En god, nasjonal dekningsgrad av skredgroper under marin grense vil også kunne gjøre det mulig å avdekke regionale forskjeller i skredforekomst. Dette kan, sammen med andre parametre, bidra til å dele landet inn i regioner med bl.a. lignende geologiske forhold, og potensielt en differensiert/tilpasset aktsomhets- og farehåndtering.

8. VIDERE ARBEID

Analysene som er presentert i denne studien er som tidligere nevnt et innspill til videreutvikling av metodikken i og håndteringen av områder under marin grense som kan være utsatt for kvikkleireskred. Vi ser for oss noen mulige oppfølgingsoppgaver for det videre arbeidet med kvikkleirerelaterte problemstillinger, med eksempler i listen under. Listen er ikke uttømmende, og ikke i prioritert rekkefølge.

- Detaljert kartlegging av skredkanter under marin grense foregår kontinuerlig i prosjekter på NGU. Tilsvarende analyser som i denne studien vil kunne gjøres for flere områder for å se på regionale trender.
- Regionale trender som framkommer ved analyser av store datasett kan kobles sammen med kunnskap om geologi, grunnforhold, størrelse på vassdrag m.m. for å se hvilken sammenheng disse har med skredforekomst og skredmekanisme. Dette kan gi en dypere forståelse for landskapsutviklingen og sannsynligheten for skred.
- Relativ tidfesting av ikke-historiske hendelser basert på bl.a. beliggenhet i terrenget (moh.), tidligere vassdragsnivå styrt av endringer i erosjonsbasis (landhevning m.m.), og forflytning av elve-/bekkeløp. F.eks. kan en del skred ha gått kort tid etter isavsmeltningen da landhevningen var rask. Dette kan også omfatte å vurdere forløpet til de ulike hendelsene der store skredgroper antas å være satt sammen av flere hendelser.
- Forsøke å skille mellom skredmekanisme for de kartlagte skredgropene (f.eks. basert på form), og vurdere hvordan dette forholder seg til analyseresultatene.
- Vurdere/undersøke om noen av skredhendelsene f.eks. nær Gardermodeltaet var kvikkleireskred eller «flyteskred» i mer siltige/sandige masser som ble utløst tidlig under landhevningen.
- Omfattende kartlegging av skredkanter kan gi mulighet til å finne gode eksempler som kan studeres i detalj. Også nye skredhendelser av en viss størrelse bør studeres og sentrale parametre lagres, siden disse er enklest å bestemme når skred nettopp har gått. Dette gjelder også skred som ikke hadde store konsekvenser. Til sammen ville dette utvide katalogen over skredhendelser med detaljerte skredparametre.
- Studere hva som er årsaken til at mange store skredhendelser har et høyt L/H-forhold.
- Vurdere om estimat på tykkelse av skredmasser i skredporten kan gjøres differensiert, f.eks. som en fast andel av høydeforskjellen (H).
- Vurdere hvordan faktoren skredtetthet kan kvantifiseres og klassifiseres, og hvordan benytte analyseresultater for å bestemme hvor stort område man bør se på tidligere skredaktivitet i, ifm. utredninger av skredfare.
- Studier som indikerer regionale forskjeller kan føre fram til en noe mer differensiert/tilpasset aktsomhets- og farehåndtering, selv om denne ikke bør gjøres for komplisert.

9. REFERANSER

- Aas, G., 1979. Kvikkleireskred. Forelesningsnoter til NIF-kurs "Skred-fare og planlegging". Lofthus Hardanger.
- Aas, G., 1981. Stability of Natural Slopes in Quick Clays. 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Stockholm).
- Aas, G., 1988. Ras i Balsfjord. Vurdering av årsaken til utglidningen den 24.08.88. NGI-rapport 880063-2, datert 11.11.1988.
- Artsdatabanken 2022. Rødlistede landformer: Tilgjengelig fra:
<https://www.artsdatabanken.no/rodlisterforaturtyper>
- Aunaas, K., Ottesen, H.B., Oset, F., Nyheim, T., Strand, S.A., Lyche, E., Fauskerud, O.A., Karlsrud, K., L'Heureux, J.S., Gjelsvik, V. & Thakur, V., 2016: Metode for vurdering av løsne- og utløpsområder for områdeskred. NIFS rapport 14/2016.
- Christoffersen, M., van-Boeckel, M., Fredin, O., Larsen, E., Liinamaa-Dehls, A., Lyså, A., Nordahl, B. & Solberg, I.L., 2021. Kartlegging av rødlistede landformer: videreføring av pilotprosjekt 2019. NGU-rapport 2021.001.
- Costa, J.E. & Schuster, R.L., 1987. The formation and failure of natural dams. US Geological Survey, Open-File Report 87-392.
- Enebakk Historielag 2001. Ign. Lokalhistorisk skrift for Enebakk. Nr. 4. <http://enebakk-historielag.no/wp-content/uploads/2014/05/4-2001.pdf>
- Gjelsvik, V., Thakur, V., Vklund, M., Traae, E., Nyheim, T. & Strand, S.-A., 2015. Skredet ved Mofjellbekken bruer (Skjeggstadskredet). Utredning av teknisk årsakssammenheng. NVE rapport 49/2015.
- Gregersen, O., 1981. The quick clay landslide in Rissa, Norway; the sliding process and discussion of failure modes. 11th ICSMFE, Stockholm, 1981. Proc. Vol. 3, p. 421–426.
- 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).
- Gregersen, O. & Løken, T., 1979. The quick-clay slide at Baastad, Norway, 1974. Engineering Geology, v. 14, p. 183-196.
- Gylland, A.S., Bjarghov, E., Nordal, S., L'Heureux, J.S. & Degago, S., 2021. Årsaksvurdering – Kvikkleireskredet ved Kråknes i Alta 3. juni 2020. NVE Ekstern rapport nr. 4/2021.
- Hayden, J., 2020. Verdalen Port Landslide: Slope Stability Back Analysis from CPTU and Finite Element Modelling. Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- Historiefortelleren H.O. Løkken 2022. Rasene rundt Selbusjøen 1951. Tilgjengelig fra:
<http://historiefortelleren.no/wp-content/uploads/PDF/StederOgGarder/1951-Rasene-rundt-Selbusj%C3%B8en.pdf>
- Holmsen, G., 1929. Lerfaldene ved Kokstad, Gretnes og Braa. NGU rapport nr. 132.
- Holmsen, G., 1934. Lerfall i årene 1930-1932. NGU nr. 140.

- Holmsen, G. & Holmsen, P., 1946. Lerfall i årene 1940-1945. NGU nr. 167.
- Hoseth, K.A., Håland, G. & Kristensen, L.L., 2014. Sikringstiltak mot skred- og flom Befaring i Troms og Finnmark høst 2012. NIFS rapport 4/2014.
- Hutchinson, J.N., 1961. A landslide on a thin layer of quick clay at Furre, Central Norway. *Geotechnique*, (11), 2, 69–94. Også publisert i: NGI publikasjon 44.
- Hutchinson, J.N., 1965. The landslide of February 1959, at Vibstad in Namdalen. NGI publikasjon 61.
- Issler, D., Cepeda, J.M., Luna, B.Q. & Venditti, V., 2012. Back-analyses of run-out for Norwegian quick-clay landslides. NIFS-N1 Q-Bing – Utløpsmodell for kvikkleireskred. NGI rapport nr. 20120753-01-R.
- Jørstad, F.A., 1968. Leirskred I Norge. *Norwegian Journal of Geography*, v. 22, s. 214-219.
- Karlsruud, K., 1979. Skredfare og planlegging. Forelesningsnoter til NIF-kurs "Skredfare og planlegging". Lofthus, Hardanger.
- Kartverket, 2022. Høydedata. Tilgjengelig fra: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn>
- 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. v. 1, s. 981-988.
- L'Heureux, J.S. & Solberg, I.L., 2012. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge. NGU rapport nr. 2012.040.
- L'Heureux, J.S., Longva, O., Hansen, L. & Vanneste, M., 2014. The 1930 Landslide in Orkdalsfjorden: Morphology and Failure Mechanism. I: Krastel, S., et al. *Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol 37. Springer, Cham.
- L'Heureux, JS., Nordal, S. & Austefjord, S.W., 2017. Revisiting the 1959 Quick Clay Landslide at Sokkelvik, Norway. I: Thakur, V., L'Heureux, JS., Locat, A. (red) *Landslides in Sensitive Clays. Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol. 46. Springer, Cham.
- Longva, O., Janbu, N., Blikra, L.H. & Bøe, 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, Dordrecht, s. 531-538.
- Løken, T., Jørstad, F. & Heiberg, S., 1970. Gamle leirskred på Romerike. *Romerike Historielag, Årbok VII*.
- Natterøy, A., 2011. Skredkatalog om kvikkleire. Presentasjon av det førebels resultatet i katalogen og utgreiing om typiske kjennetegn ved kvikkleireskred. Prosjektoppgave. Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU.
- NGU, 2022. Nasjonal løsmassedatabase. NGU. Tilgjengelig fra: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil
- 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. Institutt for bygg, anlegg og transport, Faggruppe for geoteknikk, NTNU.
- NSDB, 2022. Norsk skredhendelsesdatabase. Tilgjengelig fra: <https://atlas.nve.no>

NVE, 2014. Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. NVE veileder 7/2014.

NVE, 2020a. Oversiktskartlegging og klassifisering av faregrad, konsekvens og risiko for kvikkleireskred. Metodebeskrivelse, NGI. NVE Ekstern rapport nr. 9/2020.

NVE, 2020b. Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. NVE veileder 1/2019. Tilgjengelig fra: https://publikasjoner.nve.no/veileder/2019/veileder2019_01.pdf

Odenstad, S., 1958. Jordskredet i Göta den 7 juni 1957. Geologiska Föreningen i Stockholms Förhandlingar, v.80(1), s. 76-86.

Pettersen, S.M., 2021. Reconstruction of the Kråknes landslide event, Alta. Master thesis. UiT, The Arctic University of Norway.

Quinn, P.E., Hutchinson, J., Diederichs, M.S., Rowe, R.K. & Alvarez, J., 2008. Susceptibility mapping of landslides in Champlain clay from digital landslide inventory. 4th Canadian Conference on Geohazards, Québec, Canada.

Quinn, P.E., Hutchinson, D.J., Diederichs, M.S. & Rowe, R.K., 2011. Characteristics of large landslides in sensitive clay in relation to susceptibility, hazard, and risk. Canadian Geotechnical Journal, v. 48, s. 1212-1232.

Riiber, K., Høgaas, F. Solberg, I.L. & 2015. Oppdatering av kvartærgeologisk kart for Trondheim kommune, tolket fra LiDAR og feltbefaring. NGU. Tilgjengelig fra: www.geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

Robson, B.A., Hölbling, D., Nielsen Ringkjøb, P. & Koller, M., 2022. Estimating the volume of the 1978 Rissa quick clay landslide in Central Norway using historical aerial imagery. Open Geosciences, vol. 14, nr. 1, 2022, s. 252-263.

Rokoengen, K., Jespersen, M. N., Kleiv, R. A. & Sæterbø, E., 2001. The 1345 slide and flood disaster in the Gauldal valley, Mid-Norway: a new interpretation. Norwegian Journal of Geography, v. 55, s. 57-70.

Ryan, I., Bruvoll, A., Foldal, K.M., Hæreid, G.O., Muthanna, T.M., Nordal, S. Ottesen, H.B. & Solberg, I.L. 2021. Årsakene til kvikkleireskredet i Gjerdrum 2020. Rapport til OED avlevert 29. september 2021. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/3dad8f7fad94608861163fa524023c0/no/pdfs/arsakene-til-kvikkleireskredet-i-gjerdrum-2020.pdf>

Ryan, I., Bruvoll, A., Foldal, K.M., Hæreid, G.O., Muthanna, T.M., Nordal, S. Ottesen, H.B. & Solberg, I.L., 2022. På trygg grunn. Bedre håndtering av kvikkleirerisiko. Norges offentlige utredninger, NOU 2022:3. Rapport til OED avlevert 28. mars 2022. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/a65c53c3028443fea787bf0c331035c8/no/pdfs/nou202220220003000dddpdfs.pdf>

Solberg, I.L. & Riiber, K., 2019a. Oppdatering av kvartærgeologisk kart for Klæbu kommune, tolket fra LiDAR og feltbefaring, M 1:20 000. NGU. Tilgjengelig fra: www.geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

Solberg, I.L. & Riiber, K., 2019b. Oppdatering av Midtre Gauldal kommune. Kvartærgeologisk kart under marin grense, tolket med LiDAR og feltsjekk, M 1:20 000. NGU. Tilgjengelig fra: www.geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

Solberg, I.L., Riiber, K. & Gislefoss, L., 2019. Oppdatering av kvartærgeologisk kart for Melhus kommune, tolket fra LiDAR og feltbefaring, M 1:20 000. NGU. Tilgjengelig fra: www.geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

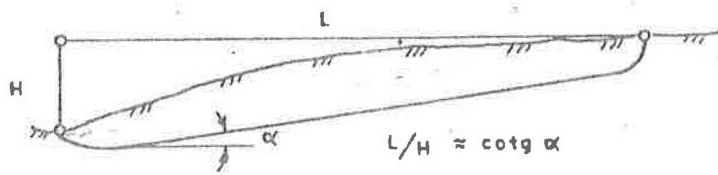
Tavenas, F., Chagnon, J.-Y. & La Rochelle, P., 1971. The Saint-Jean-Vianney Landslide: Observationf and eyewitnesses accounts. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 8 (3), s. 463-478.

van-Boeckel, M., Christoffersen, M., Solberg, I.L. & Nordahl, B., 2022. Kartlegging av rødlistede landformer, resultater fra kartlegging i 2022. NGU rapport 2022.028.

Walberg, Ø., 1993. Verdalsboka. Ras i Verdal, vol A and B. Verdal kommune.

VEDLEGG 1

Figur fra Aas (1979): Lengde-høyde-forhold for noen skandinaviske kvikkleireskred.

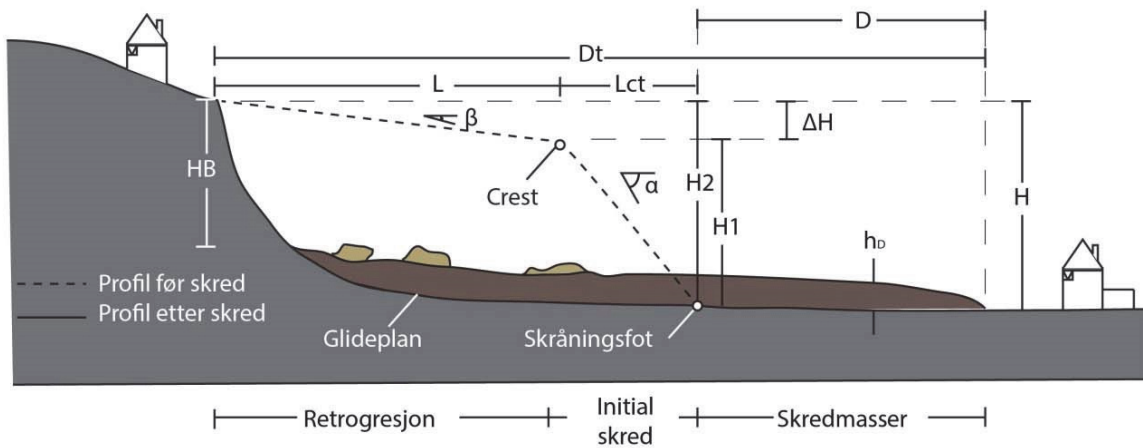


SKRED	L, m	H, m	L/H
BEKKELAGET	145	16	9
BORGEN	210	15	14
BASTAD	230	28	8
FURRE	215	22	10
GUNTORP	85	11	8
GØTA	285	29	10
HEDDAL	110	12	9
HEKSEBERG	225	32	7
IHLANG	205	28	7
RISSA	260	26	10
SELNES	175	13	13
SKØTTORP	200	21	10
VIBSTAD	255	29	9

For Rissaraset gikk en del av skredet ut som et flakskred, og det er dette som er med tabellen/beregningen til Aas (1979). Løsnelengden til hele skredet var over 1 km lang.

VEDLEGG 2

Figur fra L'Heureux & Solberg (2012): Skisse over registrerte skredparametrene for skred i studien (se tabell under). For beregning av L/H-forholdet ble H2 benyttet. Denne måtte i mange tilfeller estimeres, siden bunnen av skredgrova ofte er dekket av skredmasser (Natterøy 2011).



Tabell fra L'Heureux & Solberg (2012) med oversikt over skred i deres studie.

F: Flow; FF: Flake and flow, S: Spread.

No	Lokalitet	Dato	Type skred	Volum (m ³)	L/H	D (m)	Referanse
1	Bakklandet	10.11.1634	F	500 000	3,1	?	1
2	Bekkelaget	07.10.1953	S	100 000	16,5	20	2
3	Brå	01.05.1928	F	500 000	2,5	400	3
4	Byneset	01.01.2012	F	350 000	14,3	900	*
5	Båstad	05.12.1974	S	1 500 000	5,8	700	4
6	Drammen	06.01.1955	S	4 000	3,8	?	5
7	Hyggen	23.01.1978	FF	500 000	4,4	450	6-7
8	Duedalen	18.07.1625	F	500 000	8,4	?	*
9	Fallet, Rissa	1997	FF	200 000	8,3	670	8
10	Finneidfjord	20.06.1996	FF	1 000 000	7,5	1000	9
11	Fredrikstad	17.08.1980	S	10 000	7,1	30	10
12	Furre	14.04.1959	FF	3 000 000	20	90	17
13	Gretnes	17.04.1925	F	400 000	9,1	?	3
14	Gullaug 1	29.11.1974	FF	100 000	1,3	325	6-7
15	Gullaug 2	Forhistorisk	F	2 850 000	21,7	?	*
16	Heimstad	Forhistorisk	F	900 000	13,7	?	*
17	Hekseberg	20.03.1967	F	200 000	4	300	12
18	Kattmarka	13.03.2009	S	600 000	15	?	*
19	Kokstad	21.10.1924	F	400 000	7,2	600	3
20	Lade	11.04.1944	S	50 000	1,4	100	13
21	Langørjan	Forhistorisk	F	11 000 000	12,5	?	*
22	Leirfossen	Forhistorisk	?	75 000 000	43,8	?	*
23	Lodalen, Oslo	06.10.1954	S	10 000	2,2	?	14
24	Lund	Forhistorisk	F	4 600 000	15	?	*
25	Lyngseidet	03.09.2010	F	220 000	5,9	420	*
26	Olderdalen	Forhistorisk	F	25 000 000	20	?	*
27	Othilienborg	Forhistorisk	F	70 000 000	13,6	11000	*
28	Rissa 1	29.04.1978	FF	150 000	45	620	15-16
29	Rissa 2	29.04.1978	FF	5 000 000	37,8	1200	15-16
30	Rørdal	Forhistorisk	?	3 300 000	13,1	?	*
31	Selnes	18.04.1965	F	140 000	16,5	400	17
32	Sjetnemarka	Forhistorisk	F?	30 000 000	20,2	?	*
33	Stavset	Forhistorisk	F	800 000	3,9	?	*
34	Tiller	07.03.1816	F	550 000	7	?	*
35	Ullensaker	23.12.1953	F	200 000	13,9	?	18
36	Verdal	19.05.1893	F	65 000 000	23,5	5000	19
37	Vibstad	22.02.1959	S	1 400 000	10	250	18

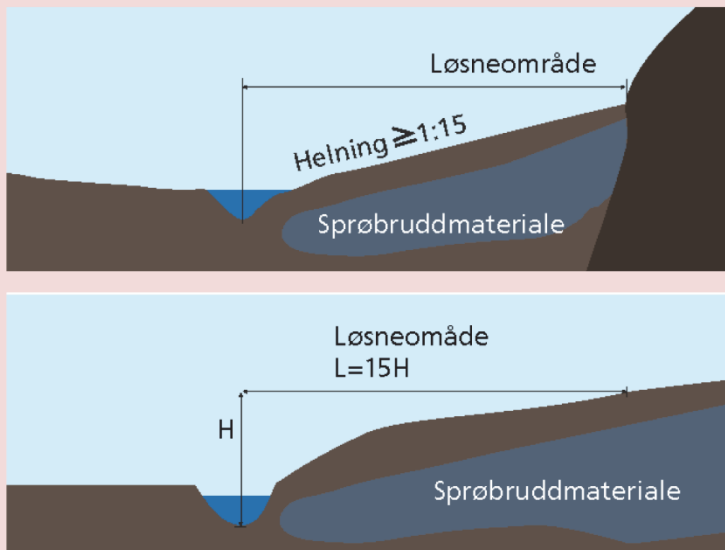
1- Bjerrum & Kjærnsli (1957), 2- Eide & Bjerrum (1955), 3- Holmsen (1929), 4- Gregersen & Løken (1979), 5- Bjerrum & Kjærnsli (1957), 6- Karlsrud (1979), 7- Hansen et al. (2011), 8- L'Heureux et al. (2011), 9- Longva et al. (2003), 10- Karlsrud (1983), 11- Hutchinson (1961), 12- Drury (1968), 13- Holmsen & Holmsen (1946), 14- Sevaldson (1956), 15- Gregersen (1981), 16- L'Heureux et al. 2012, 17- Kenney (1967), 18- Bjerrum (1955), 19- Trak & Lacasse (1996), 20- Hutchinson (1965). * Dette studiet.

VEDLEGG 3

Avgrensning av løsneområde i tidligere versjon av NVEs kvikkleireveileder. Tekst og figurer fra NVE (2014).

7. Avgrens løsneområder mer nøyaktig

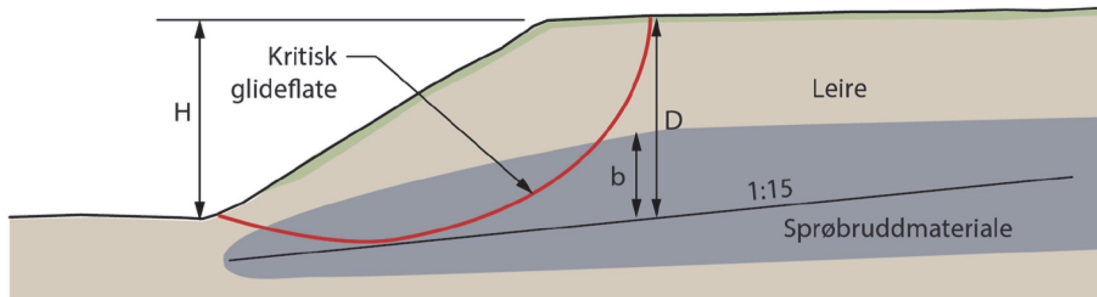
Data fra grunnundersøkelsene, befaringsrapport og en detaljert vurdering av topografi gir grunnlag for å avgrense mulige løsneområder nærmere. Supplerende grunnundersøkelser kan være nødvendig. Det forutsettes at dette utføres av geoteknisk fagkyndig. Geotekniker vil i sin analyse kunne vurdere de lokale forholdene og bruke mindre konservative terrengkriterier enn de som er nevnt i punkt 5, og dermed innsnevre løsneområdene i forhold til de som er nevnt der. Empiriske data tyder på at de aller fleste løsneområder for kvikkleireskred begrenses seg til en terrenghelning større enn 1:15 for jevnt hellende terreng og maksimal utstrekning lik 15 ganger skråningshøyde i ravinert terreng (ref. /6/), se figur 4.1. Dette er brukt som kriterier i den nasjonale kartleggingen (ref. /2/). Det gjøres oppmerksom på at det er diskutert om disse kriteriene er konservative nok for de aller største skredene (ref. /22/).



Avgrensning av løseområde i nåværende versjon av NVEs kvikkleireveileder. Tekst og figurer fra NVE (2020b).

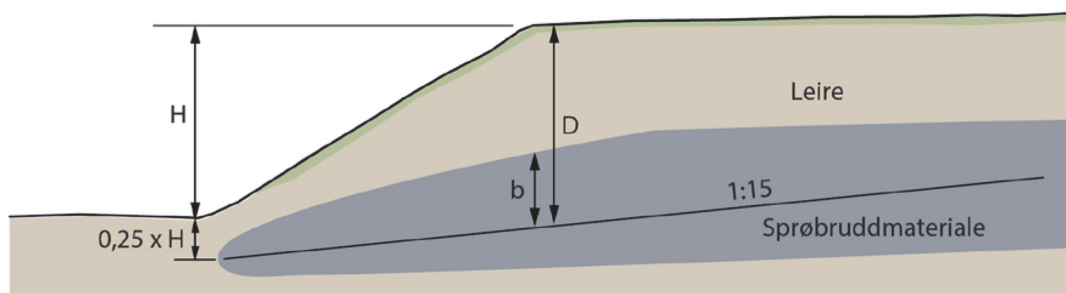
Andel sprøbruddmateriale over kritisk glideflate (b/D) i platå- eller ravineterreng

Stabilitetsanalyser utføres for å definere en kritisk glideflate. 1:15-linjen tegnes som en tangent til den kritiske glideflaten og videre oppover i skråningen. Andelen sprøbruddmateriale (b/D) bestemmes i bakkant av kritisk glideflate, se Figur 4.4.



Figur 4.4 Prinsipp for vurdering av b/D (andel sprøbruddmateriale over den mest kritiske glideflate) for en typisk ravine- eller platåskråning

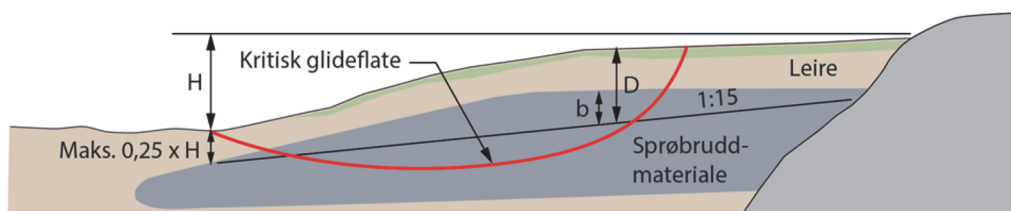
I tilfeller hvor den beregnede kritiske glideflaten er dyp eller når det ikke er utført stabilitetsberegninger, settes starten på 1:15-linjen til $0,25 \cdot H$ under foten av skråningen (H er total høyden av skråningen). Andel sprøbruddmateriale (b/D) bestemmes under toppen av skråningen, se Figur 4.5.



Figur 4.5. Prinsipp for vurdering av b/D (andel sprøbruddmateriale over den mest kritiske glideflate) ved dype glideflater eller i skråninger hvor det ikke er utført stabilitetsberegninger.

Andel sprøbruddmateriale over kritisk glideflate (b/D) i jevnt hellende terreng

Stabilitetsanalyser må utføres for å identifisere en kritisk glideflate. Basert på resultater fra stabilitetsanalyser, tegnes 1:15-linjen som en tangent til den kritiske glideflate og videre bakover i skråningen. Det største b/D-forholdet over 1:15-linja benyttes. I tilfeller hvor den kritiske glideflaten er dyp, settes starten av 1:15-linja til en maksimal dybde på $0,25 \cdot H$ målt fra der hvor glideflaten kommer ut nede i skråningen, og 1:15-linja tegnes som en sekant til glideflaten, som vist på Figur 4.6.



Figur 4.6. Prinsipp for vurdering av b/D (andel sprøbruddmateriale ovenfor den mest kritiske glideflate) for typisk jevnt hellende terreng uten definert bunn av skråning.

VEDLEGG 4

Tabell 1. Leirskred i Norge etter 1920-tallet med løsneareal > 20 000 m².

Dato	Navn	Løsneområde, ca. areal (m ²)	Referanse	Bredde- grader	Lengde- grader
30.12.2020	Gjerdrum	120 000	Ryan mfl. 2021	60.06287°N	11.03711°Ø
03.06.2020	Kråknes	60 000 (den delen som gikk på land)	Petterson 2021	70.02837°N	23.06407°Ø
08.01.2019	Verdal havn	> 20 000 (hovedsakelig under vann)	Hayden, 2020	63.79632°N	11.42763°Ø
10.11. 2016	Asak, Sørums	20 000	Kartverket 2022	60.03344°N	11.17913°Ø
02.02.2015	Skjeggestad	21 000	Gjelsvik mfl. 2015	59.46978°N	10.30043°Ø
01.01.2012	Byneset	32 600	Issler mfl. 2012	63.39437°N	10.13796°Ø
03.09.2010	Lyngseidet	22 000	Hoseth mfl. 2014	69.55827°N	20.21902°Ø
13.03.2009	Kattmarka	40 000 (den delen som gikk på land)	Nordal mfl. 2009	64.47458°N	11.43555°Ø
16.05.2007	Reina, Overhalla	100 000	NSDB 2022	64.51686°N	11.9708°Ø
20.06.1996	Finneidfjord	50 000	Longva mfl. 2003, Issler mfl. 2012	66.18245°N	13.79584°Ø
24.08.1988	Balsfjord	45 000 (delvis under vann)	Aas 1988	69.23597°N	19.34707°Ø
29.04.1978	Rissa	330 000	Gregersen 1981	63.55611°N	9.94732°Ø
29.11.1974	Gullaug 1	30 000 (hovedsakelig under vann)	Karlsruud 1979	59.73863°N	10.28659°Ø
05.12.1974	Båstad	80 000	Gregersen & Løken 1979	59.70409°N	11.27951°Ø
20.03.1967	Hekseberg	31 000	L'Heureux & Solberg 2012	60.04661°N	11.08653°Ø
29.10.1967	Trogstad	70 000	Jørstad 1968	59.64869°N	11.31765°Ø
14.09.1962	Hoven, Hegra	140 000	Jørstad 1968	63.51071°N	11.05869°Ø
22.02.1959	Vibstad	70 000	Hutchinson 1965	64.47639°N	11.91831°Ø
14.04.1959	Furre	180 000	Hutchinson 1961	64.44747°N	11.76677°Ø
07.05.1959	Sokkelvik	180 000 (hovedsakelig under vann)	L'Heureux mfl. 2017	69.82182°N	20.90356°Ø
23.12.1953	Borgen, Ullensaker	25 000	Løken mfl. 1970	60.09414°N	11.19932°Ø
25.12.1951	Glenne, Sundby	20 000	Enebakk Historielag 2001	59.71477°N	11.18685°Ø
02.05.1951	Stamnes, Selbu	47 000 (hovedsakelig under vann)	Historiefortelleren H.O. Løkken 2022	63.27391°N	11.03293°Ø
10.10.1950	Huserud, Øyeren	120 000	Jørstad 1968	59.73083°N	11.18071°Ø
09.10.1944	Stokke, Kverne	76 000	Holmsen & Holmsen 1946	59.28378°N	10.27051°Ø

Dato	Navn	Løsneområde, ca. areal (m ²)	Referanse	Bredde- grader	Lengde- grader
11.04.1944	Ladalen	22 000	Holmsen & Holmsen 1946	63.4448°N	10.43272°Ø
18.05.1943	Nedre Mule, Byneset	20 000	Holmsen & Holmsen 1946	63.34482°N	10.1621°Ø
13.11.1934	Varild, Tjølling	30 000	Holmsen 1934	59.05363°N	10.15799°Ø
01.04.1932	Grungstadvatnet, Høylandet	120 000	Holmsen 1934	64.56629°N	12.21792°Ø
02.01.1931	Moum	27 000	Holmsen 1934	59.26093°N	11.04613°Ø
02.05. 1930	Orkdalsfjorden	> 20 000 (hovedsakelig under vann)	Holmsen 1934; L'Heureux mfl. 2014	63.31416°N	9.86424°Ø
01.05.1928	Brå, Byneset	170 000	Holmsen 1929	63.35267°N	10.17778°Ø
17.04.1925	Gretnes	35 000	Holmsen 1929	59.26203°N	11.08494°Ø
21.10.1924	Kokstad	45 000	Holmsen 1929	60.09753°N	11.03534°Ø



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no