

Skredfarekartlegging i Votedalen

Basert på feltobservasjoner, klimastudier, empiriske
modeller og dateringsmetoder

Sofie Bakkevig Valheim



Masteroppgave i kvartærgeologi

Institutt for geovitenskap

Universitetet i Bergen

Juni 2016

Abstract

Avalanche hazard mapping is an important mitigation measure for hazardous areas. It helps to better understand what areas that need to be secured and what safety measures that should be considered. The combination of such mapping and Building Acts and Regulation (TEK10) determine the areas that are safe for new building developments. The aim of this project was to map the avalanche hazard in Votedalen, including hazards like snow avalanches, rock falls and landslides. The work involved analysis of climate records, future climate prognoses and past avalanches in the fieldwork area. It also included using dating methods, lichenometry and schmidthammer on the avalanche deposits to help understand the frequency of avalanches. Furthermore, the scope of the project implied calculation of the run-out distance by applying the alpha-beta method and use of the Height-Length ratio. In addition, a few simulations were done in Rocfall. Results from the alpha-beta method became the key source for calculating the run-out distance whilst, simulations in Rocfall and the results from calculating by Height-Length ratio were used to support such data. Information gained through fieldwork and conversations with locals was also very important when analysing the quality of the data.

The results from the lichenometry and schmidthammer in assessing the age of the various rocks in the area did not correspond with observations from the fieldwork and the stories shared by the locals. However, though the lichenometry method did underestimate the age of the deposits, it can be used to determine the minimum age of the rocks. The results from the schmidthammer were also concluded to be inaccurate. There are several reasons why these methods failed to provide more correct data, the main ones being the extent of vegetation on the site and the challenging conditions of the rock surfaces. The results from these methods combined with field observations and local stories did however support the conclusion that there is a high frequency of avalanches in Votedalen. The frequency of avalanche in Bergheim was lower.

The run-out distance was different depending on the method used. While the Height-Length ratio was overestimating the range, the Rocfall simulations were underestimating it. The alpha-beta method did however compare well with observations gained during fieldwork and local stories. There is no doubt that Votedalen is a high-risk area with a high frequency rate for avalanches. In 2016 it was finally decided to build a tunnel through the valley, and the results documented in this projects support this decision.

Forord

Denne masteren har vært svært lærerik, spennende og langvarig. Feltarbeidet var spesielt moro når det var stor rasfare og vi fikk oppleve flere sørpeskred. Takk for godt selskap i felt, Kjersti Norland Vistnes. Tidlige morgener ble brått bedre av å våkne opp til ferdig frokost. Vil samtidig rette stor takk til familien Helland som lot oss låne den nydelige hytten deres i Utvik. Denne var gull verdt etter våte dager i felt.

Vil takke Atle Nesje for god veiledning og for at han alltid har vært tilgjengelig når jeg har trengt råd. Ønsker også å takke Even Vie for innføring i programvaren RocFall og rask respons på alle spørsmål. Takk til far som har lest gjennom hele oppgaven og kommet med råd.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til Midtrommet for nødvendige distraksjoner og pauser med kortspill.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	1
2. Områdebeskrivelse	5
2.1. Topografi, hydrologi og vegetasjon	5
2.2. Klima	6
2.2.1. Klimastatistikk	6
2.2.2. Klimaprognoser	8
2.2.3. Hvordan værforhold kan påvirke skredfaren	9
3. Geologi	10
3.1. Berggrunnsgeologi	10
3.2. Løsmassegeologi	12
4. Aktsomhetskart og tidligere hendelser	13
4.1. Aktsomhetskart	13
4.2. Tidligere skredhendelser	16
4.3. Faresonekart	17
5. Potensielle skredfarer	18
5.1. Snøskred	18
5.1.1. Klassifikasjon	18
5.1.2. Utløsende faktorer for snøskred.....	19
5.1.3. Spor etter snøskred	21
5.1.4. Sikringstiltak mot snøskred	23
5.2. Skred fra fast fjell	23
5.2.1. Klassifikasjon	24
5.2.2. Utløsende faktorer	24
5.2.3. Spor.....	26
5.2.4. Sikringstiltak mot skred fra fast fjell	27
5.3. Løsmasseskred	29
5.3.1. Klassifikasjon	29
5.3.2. Utløsende faktor.....	29
5.3.3. Spor etter grov massestrøm	29
5.3.4. Sikringstiltak mot grov massestrøm	30
6. Metoder	31
6.1. Datering av skredmasser	34
6.1.1. Lichenometri.....	34
6.1.2. Schmidthammermålinger.....	36
6.1.3. Behandling av data	39
6.2. Beregning av rekkevidde	42
6.2.1. $\alpha\beta$ -metoden (alfa-beta metoden)	42
6.2.2. Høyde (H)-/lengde (L)-forholdet til ulike skredtyper	45
6.3 Programvarer	49
6.3.1. ArcGIS.....	49
6.3.2. RocFall.....	49
7. Resultater	51
7.1. Feltobservasjoner	51
7.2. Lichenometriske resultater	63
7.3. Schmidthammermålinger	65
7.4. Alfa-beta metoden	72
Beskrivelse av utvalgte profiler	72

7.5. Høyde/Lengde(H/L)-forhold	82
7.6. RocFall	85
7.6. Oppsummering.....	91
Oppsummering av lichenometriske resultater	91
Oppsummering av schmidthammerresultater	91
Beregnete utløpslengder for steinsprang.....	93
8. Skredfarevurdering.....	94
9. Diskusjon av metoder.....	107
9.1. Beregning av skredfrekvens.....	107
9.2. Alfa-beta metoden, H/L-forhold og RocFall.....	110
9.3. Sikringstiltak	112
9.4. Videre arbeid	114
10. Konklusjon	115
Kilder og litteratur	117
Nettsider	121

Vedlegg A. Klima

Vedlegg A.1. Klimastatistikk

Vedlegg A.2. Klimaprognoser

Vedlegg B. Resultater

Vedlegg B.1. Statistikk over lichenometriske målinger

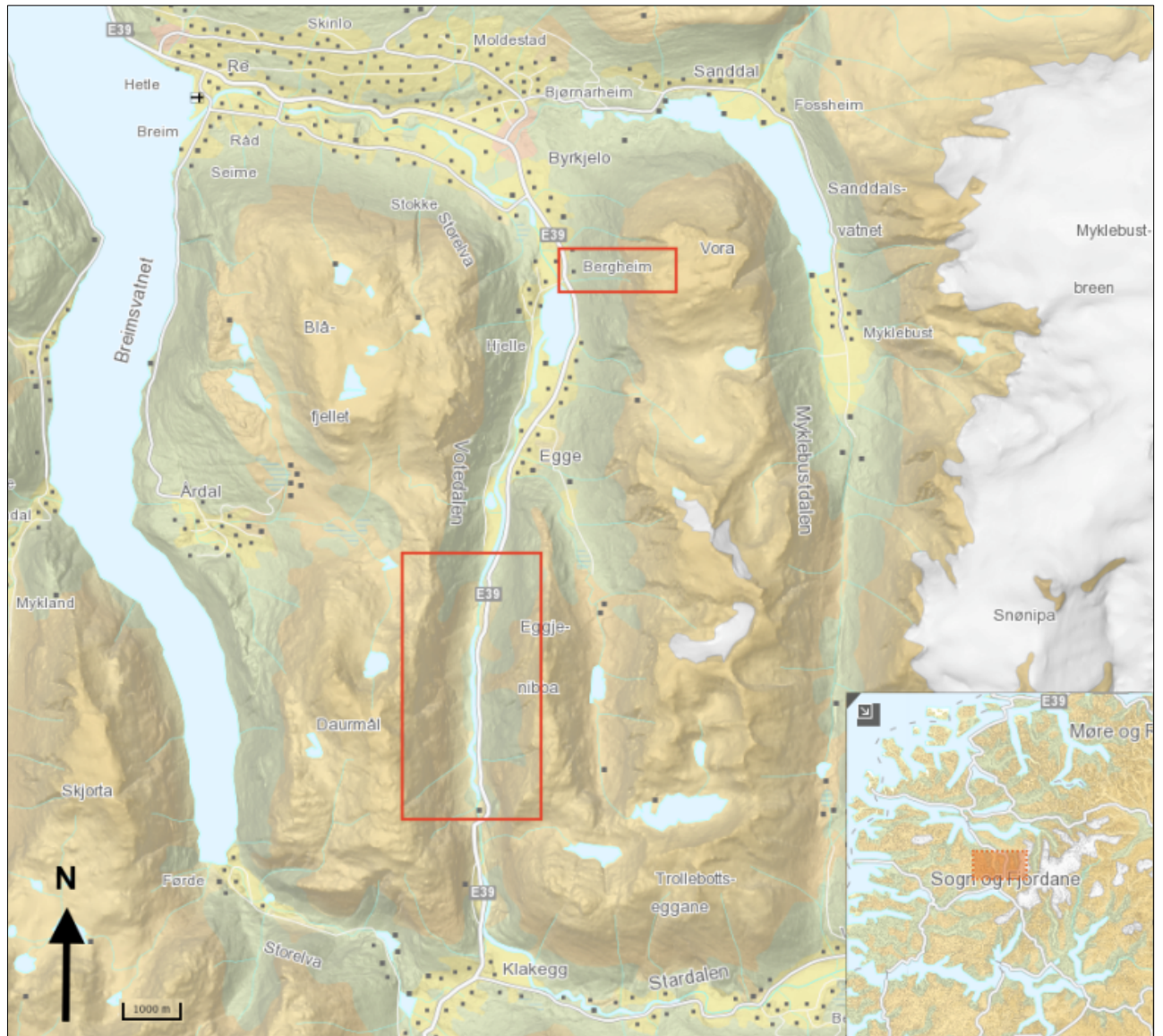
Vedlegg B.2. Statistikk over schmidthammermålinger

Vedlegg B.3. Beregning av rekkevidde ved hjelp av alfa-beta metoden

1. Innledning

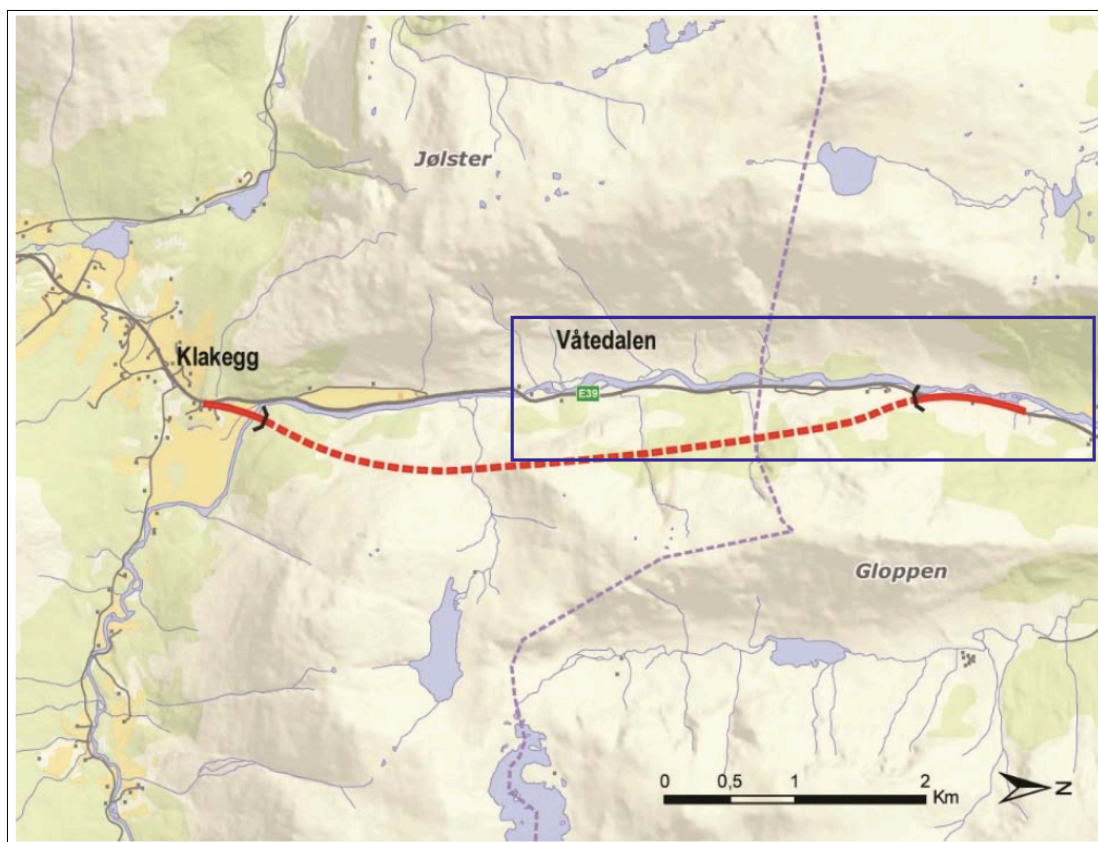
Skredfarekartlegging er et viktig tiltak for å overvåke og sikre skredfarlige områder i Norge. Arbeidet innebærer blant annet å foreta feltarbeid, undersøke tidligere hendelser, utarbeide aktsomhetskart og beregne utløpslengder for mulige skred. I dag er det NVE som har det overordnede ansvaret for statlige oppdrag. De hjelper samfunnet ved å tilby kompetanse og ressurser innen kartlegging, arealplanlegging, overvåking, beredskap, sikring og varsling (St.meld. nr. 15 (2011-2012) s. 6-7). Gjennom skredfarekartlegging kan man avgjør hvilke områder som burde sikres og hvilke tiltak som vil fungere best. Denne type kartlegging bidrar i tillegg til å sikre fremtidige byggprosjekter mot ras. Direktoratet for byggkvalitet har utviklet en plan- og bygningslov, TEK10. Denne tar for seg ulike sikkerhetskrav mot skred avhengig av hvilke typer bygg som skal opprettes.

Sogn og Fjordane er kjent for sin flotte, ville natur og fylket kan deles inn i tre områder, henholdsvis Sogn, Sunnfjord og Nordfjord (Askheim, 2015). Undersøkelsesområdene for denne oppgaven er i Votedalen som ligger på grensen mellom Sunnfjord og Nordfjord. Dalen ligger i retning nord-sør mellom Skei og Byrkjelo, se figur 1.1. Det ene undersøkelsesområdet begynner ved broa på E39 over Votedalselva, og strekker seg 4,4 km nordover mot Byrkjelo. Det er utført nøye kartlegging av både vest- og østsiden av dalen. Det andre undersøkelsesområdet er ved Bergheim som ligger lenger mot nord (figur 1.1). E39 går gjennom dalen.



Figur 1.1: Votedalen strekker seg fra Klakegg i sør til Byrkjelo i nord. Undersøkesområdene er markert med røde firkanter. Modifisert kart fra Kartverket (2016).

Det er tidligere utført skredfarekartlegging i Votedalen. NVE har i samarbeid med NGU, Statens vegvesen, Jernbaneverket og Forsvarets militærgeografiske tjeneste utarbeidet aktsomhetskart og registrert tidligere hendelser som omfatter skred i dalen. Rasfaren i Votedalen er blitt en prioritet ettersom omkjøringen er svært omfattende dersom E39 gjennom dalen er stengt. I februar i 2016 ble det vedtatt å bygge en 5 km lang tunnel i Votedalen, se figur 1.2 hentet fra Statens Vegvesen sitt faktaark for Nasjonal Transportplan (NTP). Prosjektet er forventet å starte i perioden 2024 – 2029, og anslått kostnad er 1 100 millioner kroner (Statens Vegvesen, 2016).



Figur 1.2: Planlagt tunnel gjennom Votedalen. Det vil bli bygget ny bro over Votedalselva og tunnelen vil gå fra Klakegg i sør og 5 km mot nord. Den stiplede linjen forestiller tunnelen. Den blå firkanten viser undersøkelsesområdet til denne masteroppgaven. Modifisert figur fra NTP 2018-2029 (Statens Vegvesen, 2016).

Under skredfarekartlegging er det også viktig å se på værforhold og klima i området av interesse, da dette kan påvirke skredfare. Ved å studere klimaendringer kan en forutse økning av mulige geofarer i utvalgte områder (Jaedicke et al., 2008). I 2015 ble det publisert en oppdatert rapport om klimautviklingen i Norge frem til normalperioden 2071-2100, "Klima i

Norge 2100". Rapporten vurderer blant annet virkningene som klimaendringer kan ha på rasfaren (Hanssen - Bauer et al., 2015).

For å vurdere skredfaren i Votedalen blir det, ved siden av klimastudier, fokusert på feltobservasjoner, tidligere hendelser, datering av skredmasser og beregninger av rekkevidde ved hjelp av $\alpha\beta$ -metoden (Alfa-beta metoden), Høyde/Lengde- (H/L-) forhold og programvaren RocFall. Alfa-beta metoden blir mest vektlagt for å estimere utløpslengden. Beregning av rekkevidder ved hjelp av H/L-forhold er blitt utført for alle de samme lokalitetene som alfa-beta metoden, og disse vil dermed kunne sammenlignes. Programvaren RocFall er kun benyttet ved noen få lokaliteter. Resultatene fra disse blir sammenlignet med de andre beregningene, men ikke vektlagt i selve skredfarevurderingen da det ikke ble tillagt hastighet i simuleringene av steinsprang. Prosjektet ble påbegynt med mål om å kunne vurdere de ulike parameterne mot hverandre. Det ble derimot ikke nok tid, og resultatene fra RocFall er dermed kun fra startfasen av prosjektet.

Mål med oppgaven

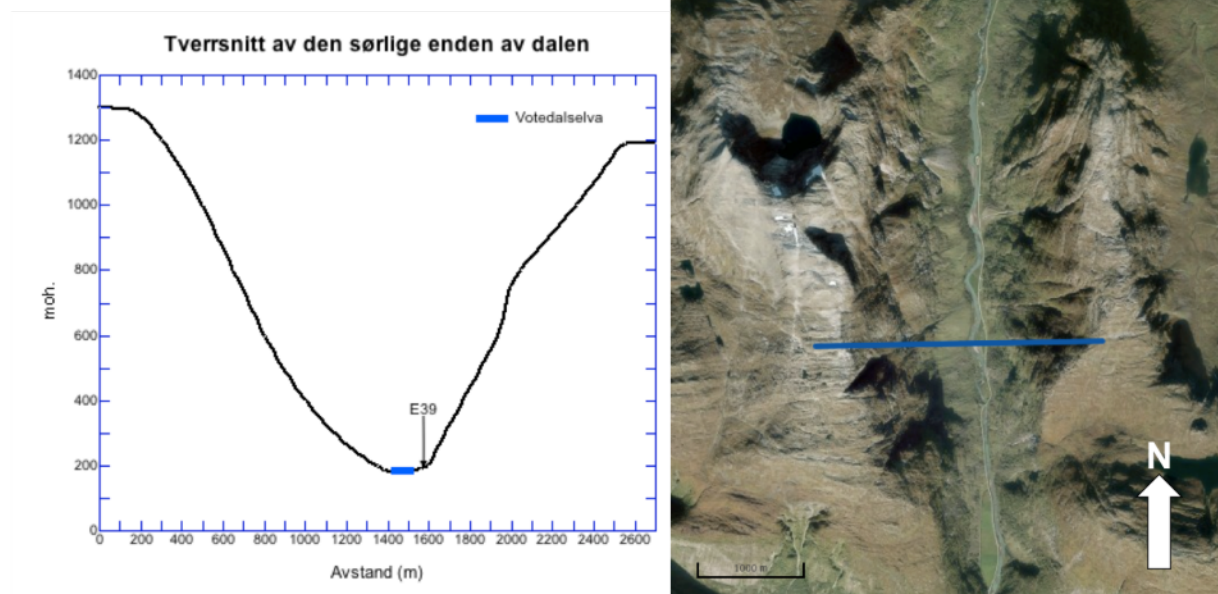
Målet med oppgaven er å kartlegge rekkevidden til potensielle skred i Votedalen, og videre vurdere om E39 gjennom dalen er utsatt. Ved utarbeidelsen av faresonekart over dalen tar oppgaven utgangspunkt i Plan- og bygningsloven, TEK10. Det drøftes om datering av skred ved hjelp av lichenometri og schmidthammermålinger er gode metoder å benytte for å anslå skredfrekvensen i dalen. Videre blir det også sett nærmere på utvalgte skredmasser ved Bergheim, og sannsynligheten for at andre skred vil nå like langt som disse. Til slutt vil det bli vurdert mulige sikringstiltak mot skredfaren i Votedalen og ved Bergheim.

2. Områdebeskrivelse

2.1. Topografi, hydrologi og vegetasjon

Votedalen er preget av bratte dalsider på både vest- og østsiden. Dalbunnen ligger på rundt 200 m o.h. og den høyeste toppen, Eggjenibba, rager 1338 moh. Høyden på dalsidene ligger normalt mellom 1200 moh. og 1300 moh. Helningen er hovedsakelig rundt 40° , se figur 2.1.1 for tverrsnitt av dalen. Østsiden av dalen er derimot brattere i sør, hvor dalsiden har en helning på inntil 50° . Votedalselva som renner gjennom dalen har utløp fra Fonn ved Jostedalsbreen og munner ut i Bergheimsvannet sør for Byrkjelo.

På vestsiden av dalen er det hovedsakelig mark, og i nordlig del er det tett skog. På østsiden vil den tette skogen strekke seg lenger sør. Det er likevel mest vegetasjon i form av kratt og mark i undersøkelsesområdet.



Figur 2.1.1: Figuren til venstre viser tverrsnitt av dalen mot sør. Ved hjelp av H/L-forholdet er gjennomsnittshelningen på vestsiden av dalen beregnet til å være omtrent 43° og på østsiden av dalen omtrent 45° . Fyfotoet til høyre viser hvor i dalen tverrsnittet er tatt fra (Kartverket, 2016).

Figur 2.1.2 viser oversiktsbilde over Bergheim. E39 ved ligger på 145 moh., og fjellet rager 1280 moh. Det er et tydelig skredarr på toppen av fjellet som gjør at det blir et bratt heng øverst i fjellsiden. Skråningen er konkav, men under det bratte hengt øverst mot fjelltoppen blir helningen på omtrent 35°. Fjellsiden er ellers preget av tett skog. Den røde firkantet markerer hvor skredavsetningene som er undersøkt ligger.



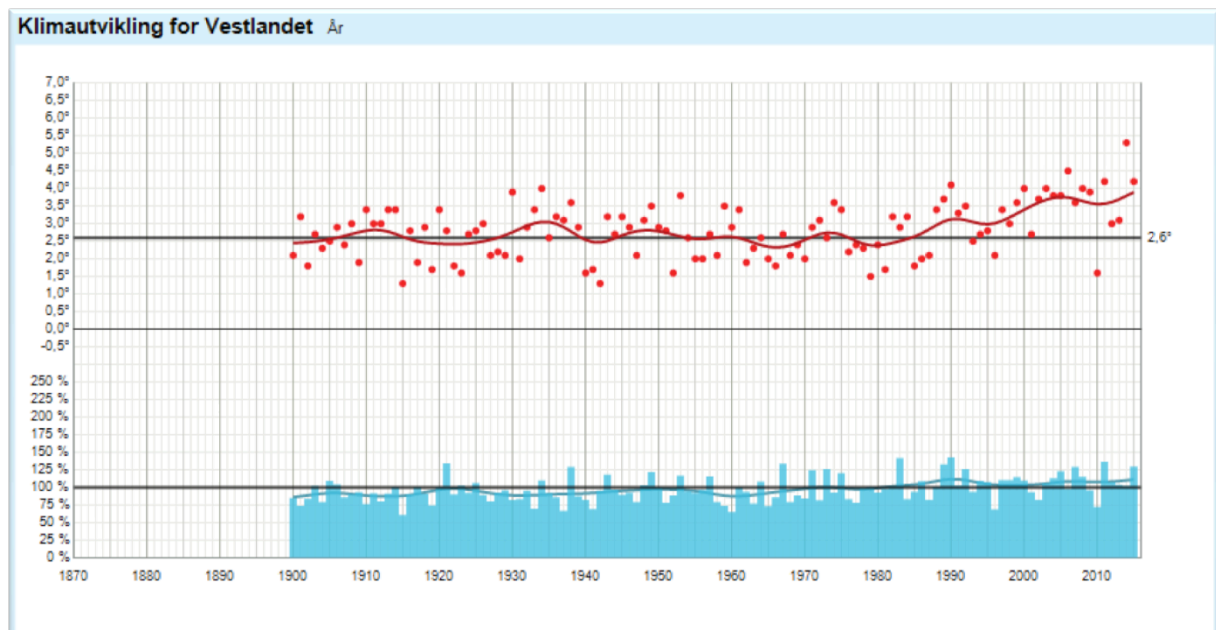
Figur 2.1.2: Oversiktsbilde over Bergheim. Den røde firkantet markerer skredmassene som er undersøkt. Her er det bygget hus like foran skredavsetningene. E39 går like nedenfor. Det er et tydelig skredarr på toppen av fjellsiden.

2.2. Klima

Klimastatistikker tar hensyn til ”normaler”. Dette innebærer gjennomsnittsværet i en periode over 30 år. I denne oppgaven blir rapporten til Hanssen-Bauer et al. (2015) brukt som kilde for klimautviklingen i Norge. Her er det tatt utgangspunkt i normalperioden 1971-2000. Meteorologisk institutt har flere internettportaler som gir statistisk oversikt over tidligere vær og klima i Norge. I denne oppgaven er det hentet data fra Yr.no og eKlima, hvor gjeldende standard normalperiode er 1961-1991.

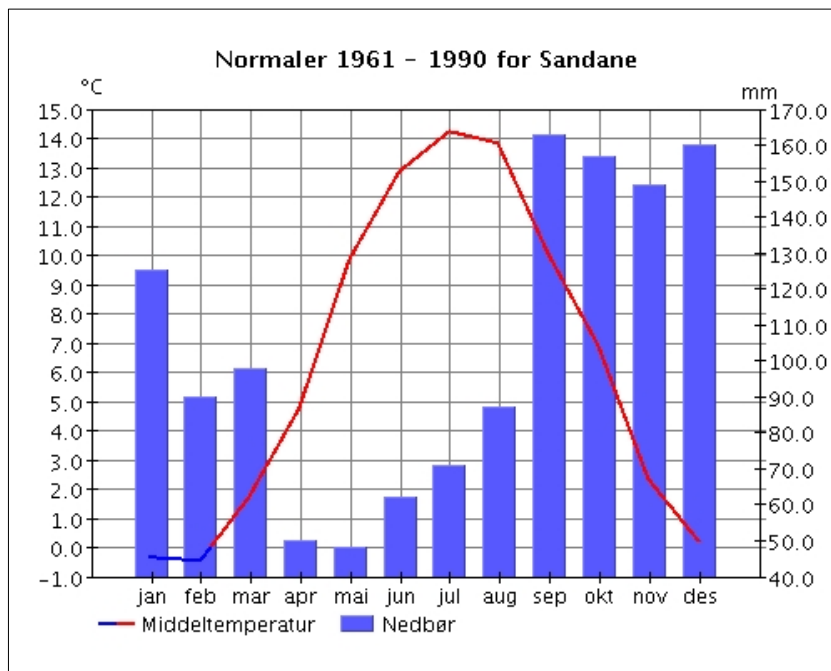
2.2.1. Klimastatistikk

Sandane målestasjon er nærmeste offisielle målestasjon for Votedalen, og ble opprettet i 1957. Gjennom å kombinere data fra flere forskjellige målestasjoner, har Meteorologisk institutt utviklet en langtidsstatistikk for hele Vestlandet som går tilbake til 1900. Årlige gjennomsnittsverdier for hele Vestlandet er presentert i figur 2.2.1 (yr.no, 2016).



Figur 2.2.1: Langtidsstatistikk for temperatur og nedbør på Vestlandet gjennom hele året. De røde prikkene tilsvarende gjennomsnittlig middeltemperatur. Den rød linjen viser utjevningen over 10 år, og den svarte linjen viser normalen. Normalen er gjennomsnittsværet over en periode på 30 år, og viser her til perioden fra 1961-1990. De blå stolpene indikerer mengde nedbør i prosent av normalen (=100%) som er vist med tykk linje (yr.no, 2016).

Data hentet fra eKlima viser normaler for nedbør og temperatur i Sandane i perioden 1961-1990, og kan ses i figur 2.2.2 (eKlima, 2015). Se vedlegg A for mer detaljert oversikt over nedbør- og temperaturstatistikkene.



Figur 2.2.2: Månedsnormaler fra 1961-1990. Nedbør er illustrert med lilla søyler og verdien vises på høyre på y-aksen. Middeltemperatur kan ses som den sammenhengende linjen. Blå farge tilsier at det er verdier under 0°C og rød farge viser varmegrader. Disse kan leses av på venstre y-akse. Grafen er hentet fra eKlima.no (2015).

2.2.2. Klimaprognoser

”Klima i Norge 2100” er en rapport utarbeidet av Meteorologisk institutt i samarbeid med NVE og Uni Research. Her er det utviklet klimaprognoser for normalperioden 2071-2100. Resultatene som er nevnt nedenfor er medianverdier av RCP4,5 og RCP8,5, ettersom det er usikkerheter i simuleringene. Se vedlegg A for forklaring på utslippsscenarioene, og for tabeller og figurer som viser statistikken presentert i dette delkapittelet.

I Sogn og Fjordane vil normal årsnedbør mest sannsynlig øke med 8-17% til normalperioden 2071-2100, se tabell A.1. Det vil også være økning i antall dager med kraftig nedbør for alle årstider. På årlig basis kan det bli mellom 41% og 86% økning i antall dager med kraftig nedbør, se tabell A.2. Nedbøren kommer samtidig til å ha høyere intensitet enn det har i dag, se tabell A.3. Prognosene viser også at det kan bli mellom 60 til 150 færre dager med snødekke i Votedalen, se figur A.11. Snømengden vil kunne minke med 200-500 mm i året i følge RCP4,5 og RCP8,5, se figur A.12 (Hanssen - Bauer et al., 2015).

Det er forskjellige utslag for prognosene for årstemperaturen i Norge. På Vestlandet vil det trolig ligge mellom 2,4-3,5°C økning, se tabell A.4. (Hanssen - Bauer et al., 2015).

Årlig avrenning på Vestlandet kan ifølge RCP8,5 øke med 9%, og ifølge RCP4,5 med 2%. Det vil være betydelig større sesongvariasjoner da RCP8,5 viser en økning på 31% om vinteren og nedgang på 18% om sommeren. RCP4,5 viser økning på 17% om vinteren og nedgang på 21% om sommeren (Hanssen - Bauer et al., 2015). Se tabell A.5 for oversikt over prosentvis endring i avrenning for Vestlandet i normalperioden 2071-2100. Figur A.13 illustrerer prosentvis endring i avrenning for hele landet.

Meste av nedbøren på Vestlandet kommer fra sør-sørvest. Dette medfører at skråninger som vender nord-nordøst vil fange opp mer snø enn sørvendte skråninger (Lied et al., 2003, s. 25). De høye og bratte fjellsidene gjør at vind slår hardt ned i Votedalen. Når vinden kommer fra sørvest-vest er Votedalen utsatt for sterke vindkast fra høyden (Harstveit og Steen, 2012, s. 24).

2.2.3. Hvordan værforhold kan påvirke skredfaren

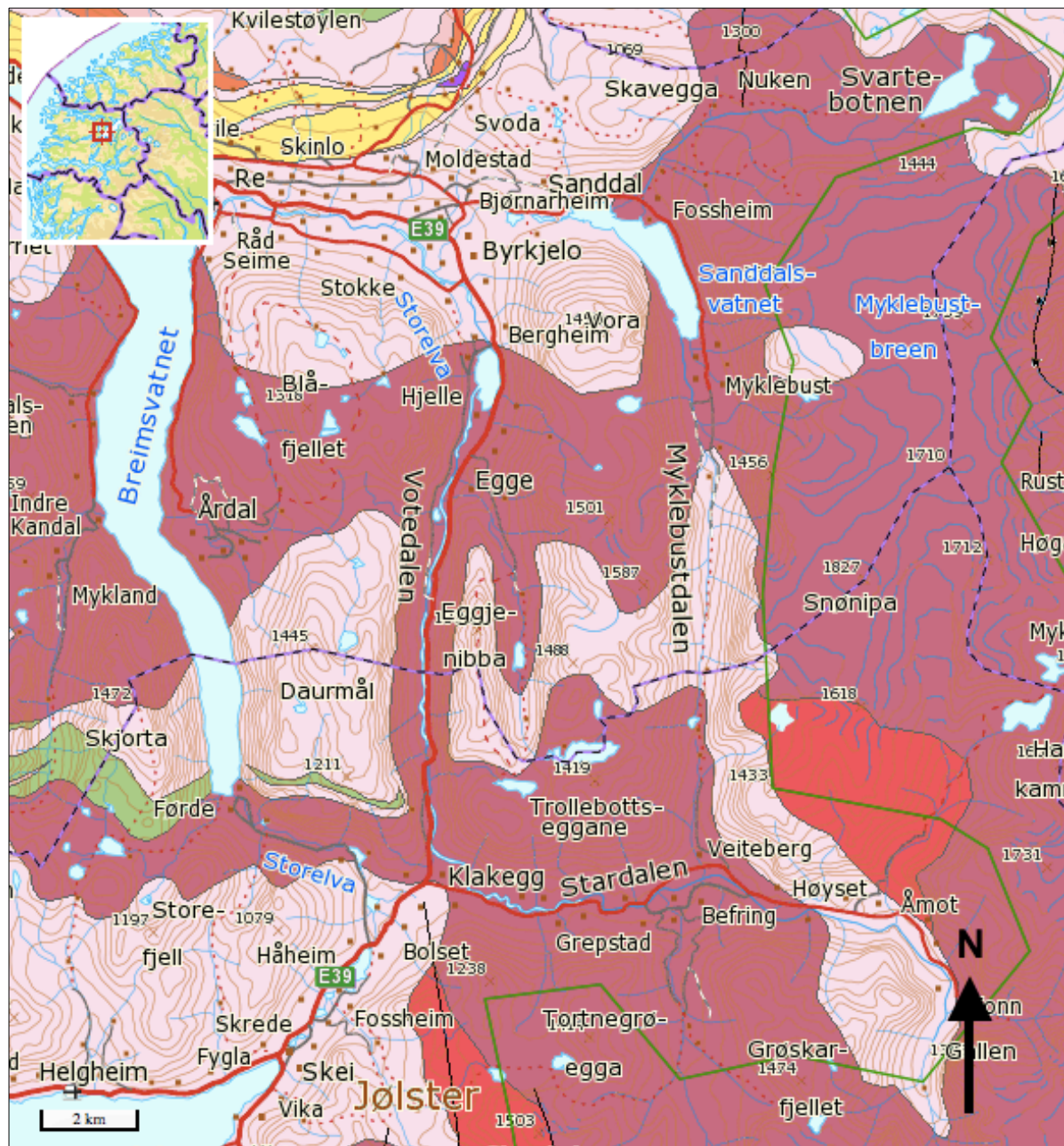
Vær er en viktig utløsningsfaktor for skred. Kraftig og hyppigere nedbør, sammen med høyere temperaturer, vil gi økt vannføring og kan gjøre løsmasser ustabile. Dette gjelder helst jordskred, flomskred og sørpeskred. I tillegg kan steinsprang bli utløst dersom det kommer store mengder vann i sprekker som da øker trykket. Økt temperatur vil føre til mindre snømengder og færre dager med snødekke, se figur A.11 og A.12. Dette vil gi mindre sannsynlighet for tørre snøskred. Det vil derimot øke faren for våte snøskred. Den store økningen i avrenning og nedbør vil føre til hyppigere og kraftigere flommer. Økt temperatur vil føre til at nedbøren faller som regn i stedet for snø i flere høytliggende områder. Disse faktorene vil gi hyppigere skred av alle typer. Vindforhold har stor innvirkning da det kan både føre til store oppsamlinger av snø og som utløsende faktor (Hanssen - Bauer et al., 2015). Store nedbørsmengder over kort tid og rask snøsmelting er vanlig på Vestlandet og kan gjøre bergmassene ustabile (Sandersen, 1996, referert til i Braathen et al., 2004). Snøskred er massebevegelsen som blir mest påvirket av vær- og klimaendringer (Jaedicke et al., 2008).

3. Geologi

3.1. Berggrunnsgeologi

Berggrunnen i Sogn og Fjordane er en del av *den vestre gneisregionen* som strekker seg fra Sogn til Nord-Trøndelag. Gneisregionen består av prekambriske bergarter som danner et variert landskap av tinder, bratte fjellsider, daler og lange, dype fjorder. Det er hovedsakelig 1700 til 1500 millioner år gammel granittisk gneis og migmatitt som preger området. Under den kaledonske fjellkjedefoldningen, da Laurentia og Baltika kolliderte, ble den geologiske strukturen og sammensetningen i området endret (Ramberg og NGF, 2013, s. 112-113). I Nordfjord består berggrunnen hovedsakelig av Jostedalskomplekset og Fjordane komplekset (Rye et al., 1997).

NGU sin kartlegging av berggrunnen i området viser at Votedalen domineres av to bergarter, se figur 3.1.1. Mørk rosa symboliserer kvartsmonzonitt, som også kan ha blitt omdannet til øyegneis. Bergarten er grovkornet og omtrent 1031 millioner år gammel. Dette tyder på høy grad av metamorfose. Den lys rosa fargen representerer diorittisk til granittisk gneis og migmatitt. Ved Bergheim er det hovedsakelig diorittisk til granittisk gneis og migmatitt.

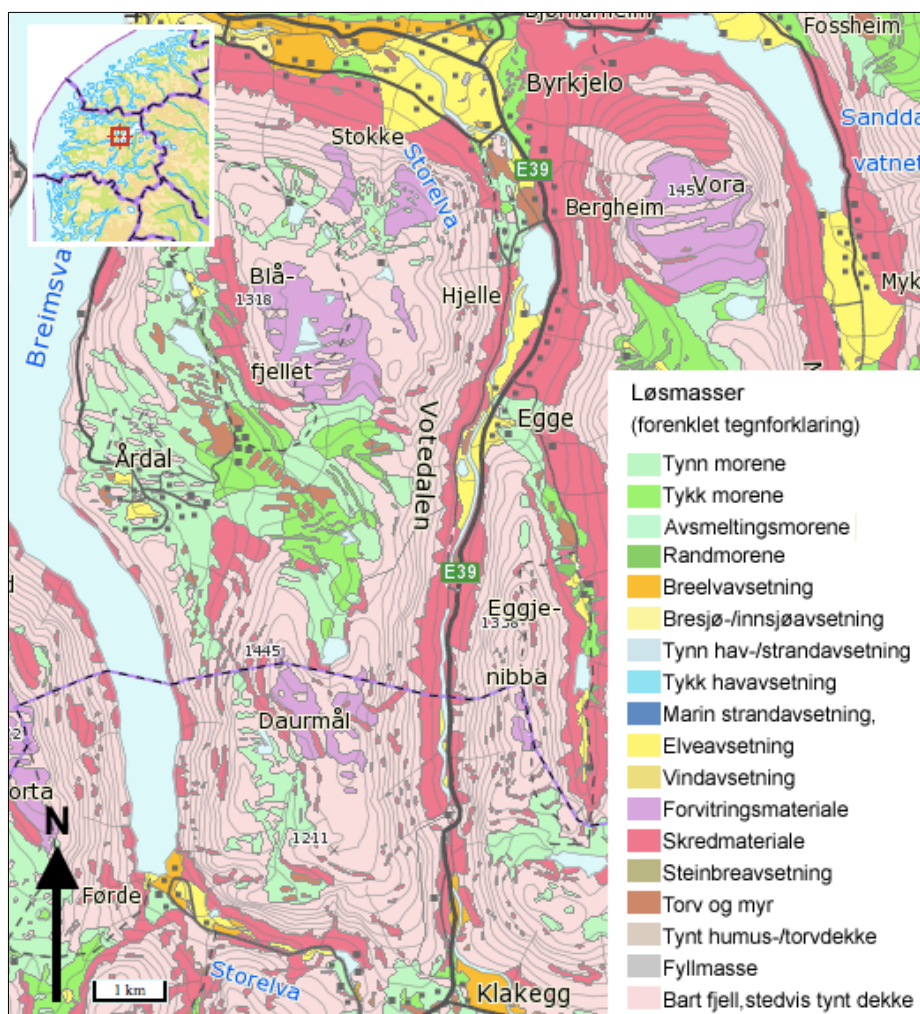


Figur 3.1.1: Berggrunnskart over Votedalen. Kan se kvartsmonzonitt, markert med mørk rosa, i bunnen av dalen. Den lys rosa fargen i høyden representerer diorittisk til granittisk gneis og migmatitt (NGU, 2015a).

3.2. Løsmassegeologi

Mesteparten av løsmassene kommer fra isbreer som har erodert og avsatt materiale. Pleistocen tid er karakterisert av en rekke istider og varte fra 2,6 millioner til 11 700 år siden. Breene gravde ut daler og fjorder som er typisk for Vestlandet (Ramberg og NGF, 2013, s. 496-497). Under isfrie interglasialer var det erosjonsprosesser som skred og elveerosjon dominerte i Nordfjord. Området av interesse har vært isfritt i minst 9340 ± 130 ^{14}C år (Rye et al., 1997).

NGU sin kartlegging av løsmasser viser at det er skredmateriale og bart fjell som dominerer i Votedalen og ved Bergheim, se figur 3.2.1. Det er noen elveavsetninger langs elvebredden, da Votedalselva gjerne flommer over sine bredder minst et par ganger i året. Ved Egge nord i dalen ligger det et tynt morenedekke.



Figur 3.2.1: Løsmassekart over Votedalen. Mørk rosa viser til skredmasser som dominerer bunnen av dalen. Oppe i dalsidene er det bart fjell, markert med lys rosa (NGU, 2015b).

4. Aktsomhetskart og tidligere hendelser

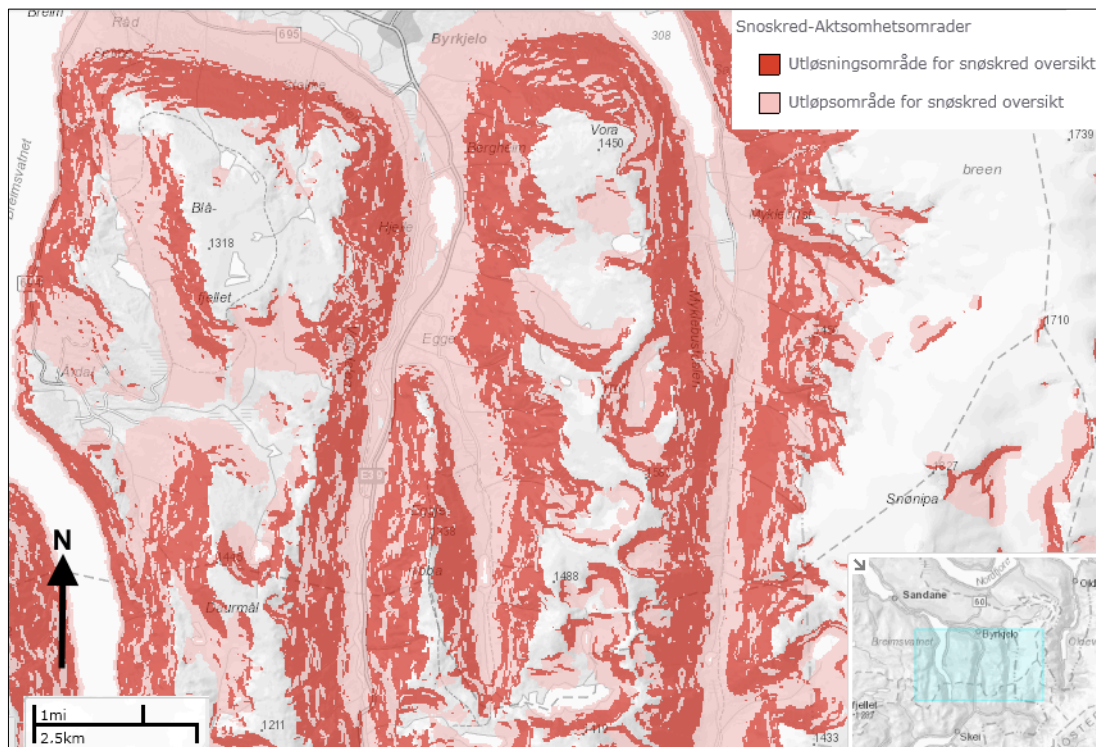
4.1. Aktsomhetskart

Aktsomhetskart for de ulike typene skred er presentert på NVE sin nettside skrednett.no. Tjenesten er utviklet i samarbeid med NGU, Statens vegvesen, Jernbaneverket og Forsvarets militærgeografiske tjeneste. Aktsomhetskart viser potensielle utløsningsområder for skred og rekkevidden av dem (Skrednett.no, 2012).

Aktsomhetsområdene er kartlagt ved hjelp av en GIS-analyse som måler helning på terrenget og derav muligheten for utløsning av skred. Utløpsområdene er beregnet ved hjelp av den empiriske alfa-beta metoden. Det blir ikke tatt hensyn til faktorer som klima, berggrunn eller vegetasjon da det ikke gjennomføres feltbefaring ved utarbeidingen av disse kartene (NVE, 2015).

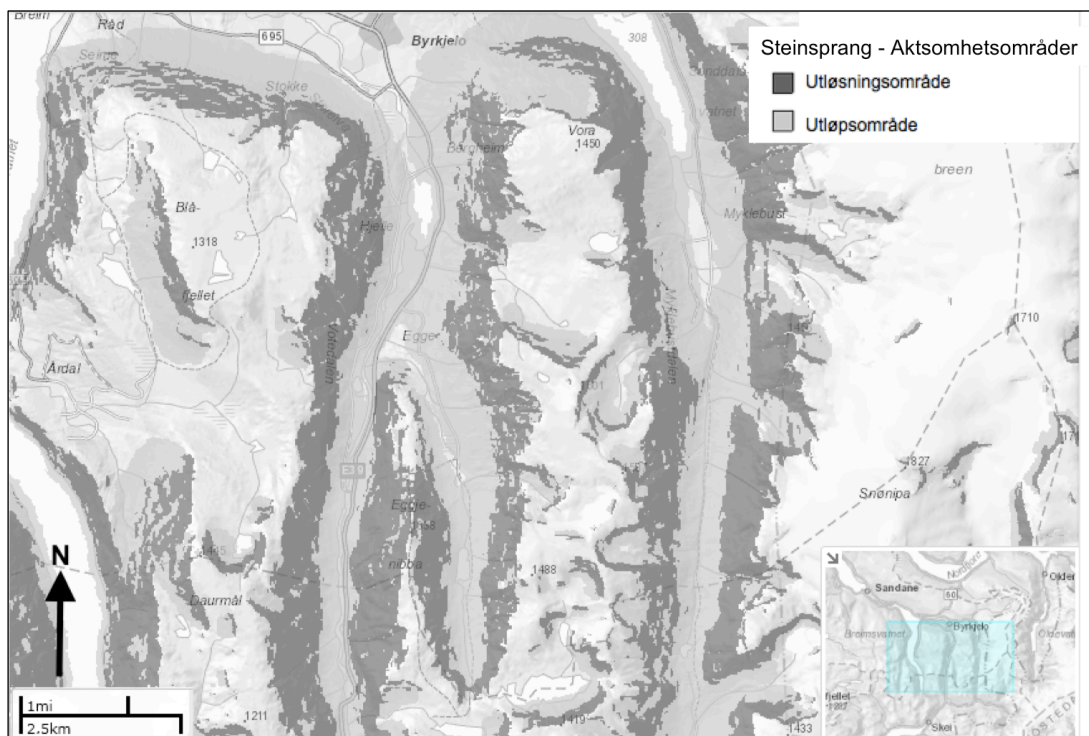
Aktsomhetskart er veiledende kart for skredutsatte områder. Dersom det er planlagt bebyggelse i aktsomhetsområder må det utføres en mer omfattende undersøkelse. Da beregnes grensene for de ulike skredsannsynlighetene basert på blant annet feltbefaringer, informasjon om klima og lokale forhold (DiBK, 2011).

Figur 4.1.1 viser at hele Votedalen kan være svært utsatt for snøskred. De røde områdene viser potensielle utløsningsområder og de rosa viser mulige utløpsområder. De bratte dalsidene i Votedalen gjør at det er estimert potensielle utløsningsområder nærmest helt ned til E39. Utløpsområdene dekker E39 fra sørlig del av dalen ved Klakegg nordover til Byrkjelo.



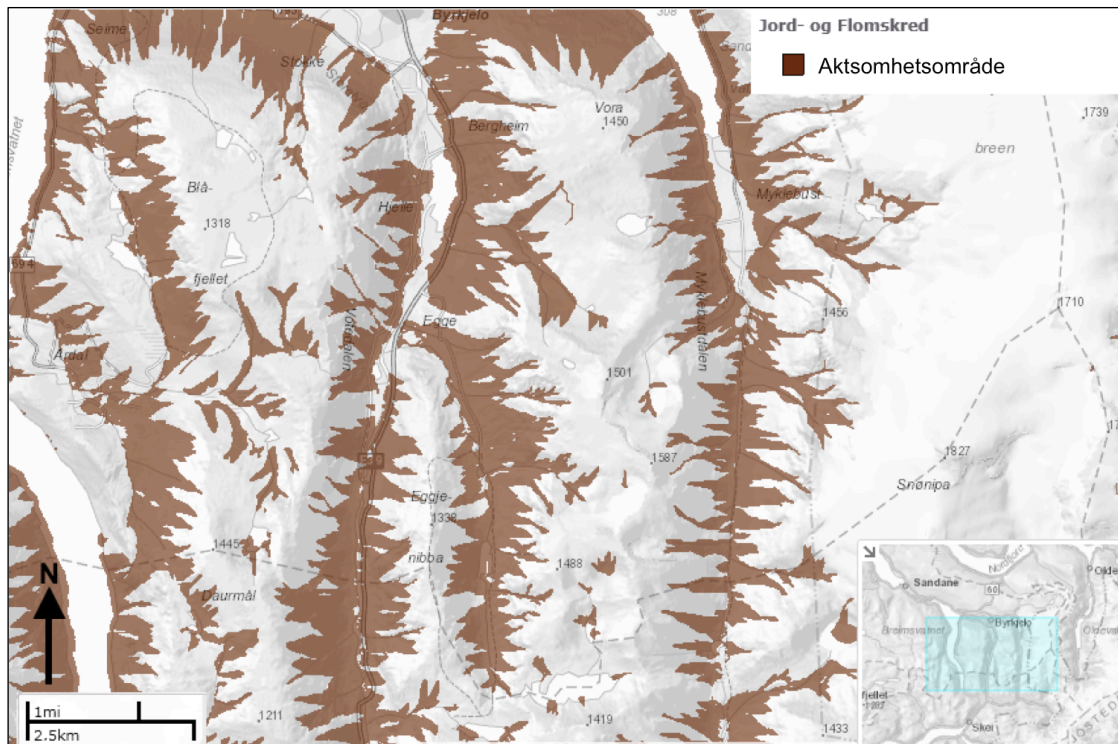
Figur 4.1.1: Aktsomhetskart for snøskred i Votedalen, hentet fra skrednett.no (NVE et al., 2014). Rød viser til potensielle utløsningsområder og rosa referer til mulige utløpsområder.

Figur 4.1.2 viser aktsomhetskart for steinsprang. Hele Votedalen er utsatt for denne skredtypen, og de potensielle utløsningsområdene går ned mot E39. Utløpsområdene dekker E39 gjennom hele dalen.



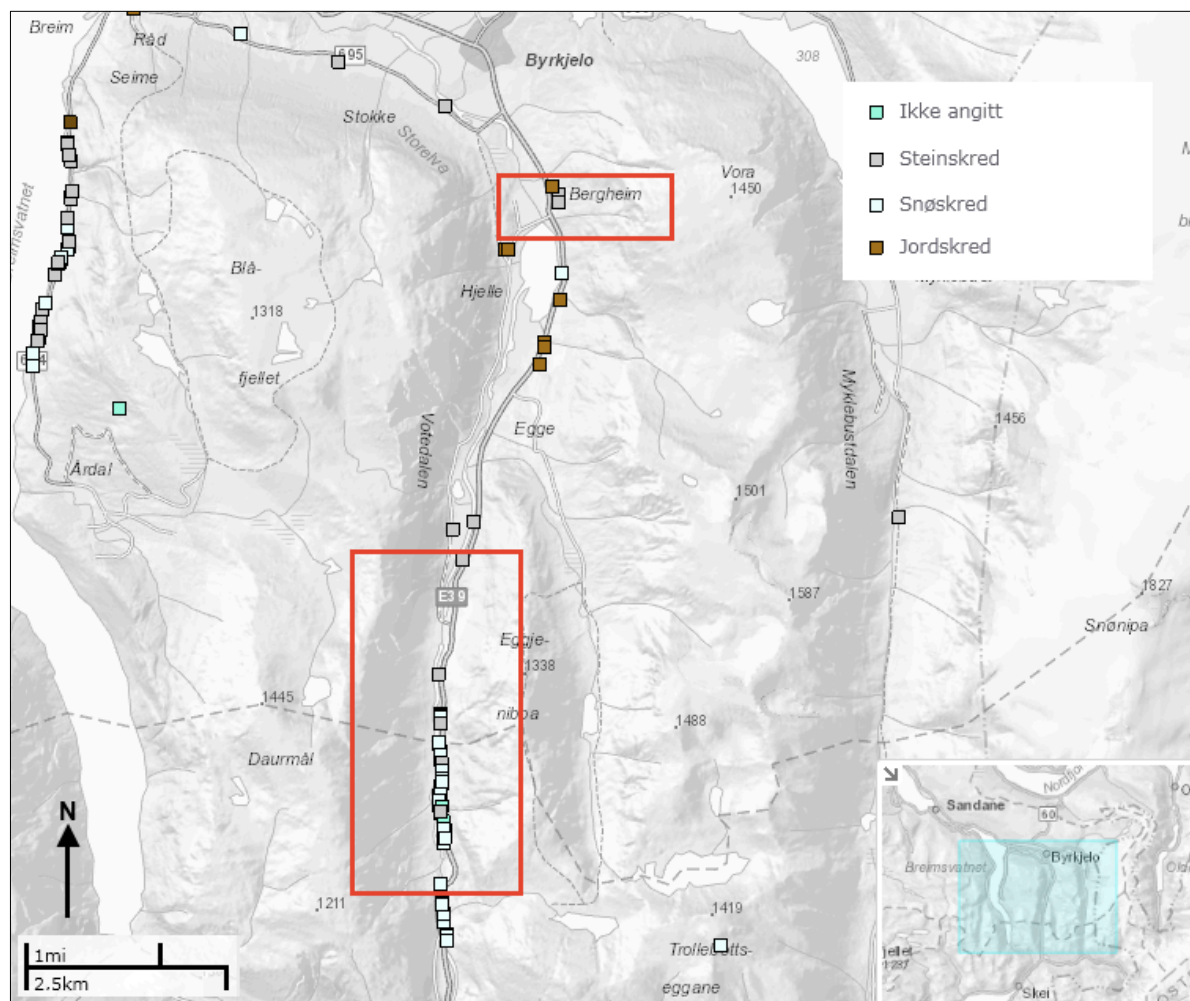
Figur 4.1.2: Aktsomhetskart for steinsprang i Votedalen, hentet fra skrednett.no (NVE et al., 2014). Mørk grå viser til potensielle utløsningsområder og lys grå referer til mulige utløpsområder.

Figur 4.1.3 viser aktsomhetskart for jord- og flomskred. Det er en potensiell fare for denne typen skred i Votedalen og ved Bergheim. E39 ligger i aktsomhetsområde langs hele dalstrekningen og nedenfor Bergheim.



Figur 4.1.3: Aktsomhetskart for jordskred og flomskred, hentet fra skrednett.no. De brune områdene markerer aktsomhetsområdene (NVE et al., 2014).

4.2. Tidligere skredhendelser



Figur 4.2.1: Oversikt over tidligere skredhendelser i Votedalen, hentet fra skrednett.no. Undersøkellesområdene er markert med rød firkant. Det er hovedsakelig snøskred og steinskred (steinsprang) som er blitt registrert i dalen. Ved Bergheim i nord har det gått ett jordskred i tillegg til steinsprang.

NVE har registrert 45 skred i den sørlige delen av dalen og tre skred ved Bergheim, se figur 4.2.1. Snøskred dominerer i sørlige del av dalen, med 34 ulike hendelser. Det er registrert syv steinskred og fire udefinerte skred. Ved Bergheim gikk det et stort jordskred i 1936, og ellers er det her registrert to steinskred.

4.3. Faresonekart

I den byggetekniske forskrift fra Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK) er det utledet ulike sikkerhetskrav mot skred. Her tas det hensyn til den største nominelle årlige sannsynligheten for skred når det skal plasseres byggverk i et skredfarlig område, se tabell 4.3.1. Bygg som allerede er plassert i skredfarlige områder skal også klassifiseres slik at det kan bli utført eventuelle sikringstiltak. Årlig sannsynlighet på 1/100 vil si at et skred med denne rekkevidden opptrer i gjennomsnitt én gang hvert hundre år (DiBK, 2011).

Tabell 4.3.1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfarlige områder. Dette gjelder snøskred og steinsprang (DiBK, 2011).

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

Sikkerhetsklassene bestemmer hvilke bygg som kan plasseres i det skredfarlige området. Det tas hensyn til personlig sikkerhet og økonomiske verdier. **Sikkerhetsklasse S1** gjelder tiltak hvor skred har liten konsekvens. Her kan det plasseres bygg hvor det vanligvis ikke er personer til stede og som har liten økonomisk og samfunnsmessig konsekvens. Eksempler på dette kan være garasje, båtnaust, mindre brygge eller lagerbygning (DiBK, 2011).

Sikkerhetsklasse 2 omfatter skred som kan føre til middels konsekvenser. Dette gjelder bygg hvor det normalt oppholder seg maksimalt 25 personer og som har middels økonomiske konsekvenser. Dette kan blant annet være enebolig, arbeids- og publikumsbygg, parkeringshus og driftsbygning i landbruket (DiBK, 2011).

Sikkerhetsklasse S3 gjelder skred som kan ha store konsekvenser. Dette gjelder bygg hvor det normalt oppholder seg over 25 personer og hvor det vil få store økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser. Eksempler på dette kan være sykehjem, skoler, eneboliger i rekke, arbeids- og publikumsbygg hvor det normalt oppholder seg over 25 personer. Utearealene for S2 og S3 kan nedgraderes én sikkerhetsklasse ettersom eksponeringstiden og skredfaren er vesentlig lavere utenfor bygningene (DiBK, 2011).

5. Potensielle skredfarer

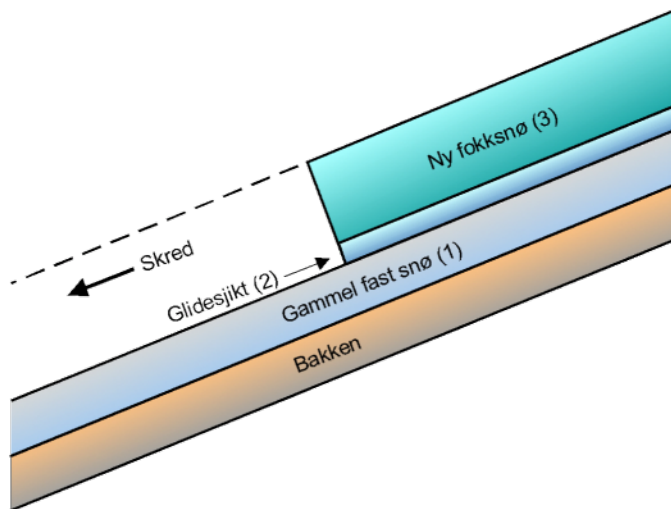
I dette kapittelet blir det fokusert på snøskred og steinsprang, da det er disse skredfarene som dominerer i Votedalen og ved Bergheim. Vil samtidig kort presentere løsmasseskred. Det blir gjort rede for klassifisering av snøskred, skred fra fast fjell og løsmasseskred, samt utløsende årsaker, spor og sikringstiltak.

5.1. Snøskred

Snøskred er en plutselig forflytning av store mengder snø ned en skråning eller fjellside (Jaedicke, 2014). For å forstå hvordan snøskred utløses, må en først forstå snøens egenskaper. Snø har en komplisert reologi. De mekaniske egenskapene til snø varierer etter hvordan snøkrystallene er bundet og arrangert i forhold til hverandre. Reologien avhenger dermed av mengde krystaller, størrelsen og formen på dem, samt porerommet i massen. En snømasse er vanligvis lagdelt og heterogen ettersom den gjerne akkumuleres under varierte værforhold. Ettersom snømengden i en skråning blir tykkere, vil stresset normalt på massen øke. Med sterke vinder og tettere masse, vil elastisitetsstyrken også øke. Når stresset øker raskere enn elastisitetsstyrken, vil det føre til at massen beveger seg (Blikra og Nemeč, 1998).

5.1.1 Klassifisering

Det er hovedsaklig to typer snøskred; flakskred og løssnøskred. Disse kan igjen deles inn i tørre og våte skred. Flakskred utløses som et sammenhengende flak som glir på underlaget. Figur 5.1.1 viser hvordan snødekket består av tre lag. Nederste del består av fast snø eller bakke (1), dekket av et tynt lag med løsere snø (2), og øverst ligger ny foksno (3). Det er i glidesjiktet (2), et tynt og svakt lag, at snøskredet utløses. Her kan det forekomme et skjærbrudd som vil forplante seg raskt langs sjiktet, og føre til at et sammenhengende flak vil gli ut (Lied et al., 2003, s. 64).



Figur 5.1.1: Sammensetningen av snøen i et flakskred (Lied et al., 2003, s. 64).

Løssnøskred er skred som helst utløses i lett nysnø eller i våt snø. Når snøen først legger seg, vil krystallene hekte seg fast i hverandre. Etter hvert vil forgreiningene på krystalloverflaten forsvinne, og kohesjonen og friksjonen avtar. Løssnøskred utløses når kohesjonen og friksjonen mellom snøkrystallene blir overvunnet av gradienten på skråningen (Lied et al., 2003, s. 60-61). Skredet løsner da i ett punkt og sklir ut i en pæreform. Våte skred kan minne om jordskred, ettersom de har lignende reologiske egenskaper (Mellor, 1978; Salm, 1982; Salm og Gubler, 1985; Lang et al., 1988; Nishimura og Maeno, 1989).

Det er også en tredje type snøskred, kalt sørpeskred. Dette er et snøskred som består av så store mengder vann at det nærmest flyter nedover skråningen. Vannet kan komme av mye regn og snøsmelting, og denne formen for snøskred er derfor typisk tidlig om vinteren eller om våren (Lied et al., 2003, s. 71).

5.1.2. Utløsende faktorer for snøskred

Det er flere forhold som kan øke faren for, eller utløse, snøskred. Hovedsakelig er det fem elementer som spiller inn i dannelse av snøskred: terreng, nedbør, vind, temperatur og stratigrafien til snømassen (Schweizer et al., 2003).

Terrenget er en essensiell faktor, både når det gjelder helning og vegetasjon (Schweizer et al., 2003). Lite vegetasjon gjør at snøen legger seg tettere og blir til en mer samlet masse. Snø raser generelt når skråningen har helning på 30°-45°, men er den våt nok kan det forekomme

skred helt ned til 10° helning. Skråninger som er preget av kryp er ofte ustabile og dette kan også utløse skred (Blikra og Nemec, 1998). Ved skråninger brattere enn 60° vil snøen gli ut før det er blitt samlet opp store nok mengder til et stort snøskred. Terrengformer som botner, forsenkninger, gjel, skar, svaberg og konvekse partier er utløsningsområder som går igjen. Dette er områder hvor det er mulighet for oppsamling av snø og som gjerne ligger i le for vinden. Gjel og skar er dype og kronglete formasjoner som kan samle opp snø fra ulike retninger. Disse har samtidig bratte skråninger som vil øke muligheten for at skred blir utløst (Lied et al., 2003, s. 23-28). Topografien i utløsningsområdet kan bestemme hvor stort volum snøskredet vil ha. Slakt terreng vil trenge mer snømengde for å skape brudd i motsetning til bratte fjellsider. Dette gjør at områder dominert av plataer og slake topper normalt vil løse ut større snøskred enn områder med alpint landskap.

Større mengder nedbør eller nedbør med høy intensitet vil øke faren for snøskred (Föhn et al., 2002). Dersom det faller regn eller snø med høyere tetthet enn snømassen som allerede ligger der vil dette også øke risikoen. Da blir belastningen større enn styrken på snømassene. I tillegg kan poretrykket økes samt bindingene mellom krystallene svekkes. Vind er et viktig element ettersom det kan transportere snø raskt og sporadisk, og kan med det danne ustabile masser (Lied et al., 2003, s. 95-99).

Temperaturrendringer kan forandre egenskapene til snøen. Kalde temperaturer og klart vær kan føre til dannelse av et nytt rimlag. Dette vil være et svakt lag som gjør stratigrafien i snømassen ustabil. Når rimlaget blir begravd kan det bli et potensielt glidesjikt, og dermed øke sjansen for flakskred. Dersom det er veldig kaldt en vinter, vil det bli store temperaturforskjeller mellom overflaten og bunnen av snødekket. Dette fører til dannelse av begerkrystaller, som i likhet med rimlag, vil utgjøre et potensielt glidesjikt. Vedvarende kalde temperaturer vil ellers føre til at en ustabil situasjon opprettholdes. Når temperaturen stiger vil bindingene i snøen bli svakere og føre til at snømassen strekker seg og blir mer ustabil. Temperaturer over 0°C over lengre tid fører til at snøen smelter og friksjonen minker (Lied et al., 2003). Stratigrafien til snøpakken er viktig, ettersom lagene har ulike egenskaper. Kreftene som binder snøen sammen i ett eller flere lag kan svikte og gjøre massen utsatt for flakskred (Schweizer et al., 2003).

De fem forholdene som er nevnt, vil gi et skredutsatt område. Dette betyr derimot ikke at det alltid går under disse omstendighetene. Ofte er det behov for en ekstra utløser for at det skal

forekomme. Snøskred utløses ofte av lokal belastning på overflaten som følge av menneskelig aktivitet, fallende snøhyller eller eksplosiver (Schweizer et al., 2003).

5.1.3. Spor etter snøskred

Snøskred kan transportere store mengder løsmateriale, fra silt til blokk. Disse sedimentene kommer enten fra underlaget eller er avsatt på snømassen av steinskred, eoliske prosesser eller lignende. Mengden materiale avhenger av årstiden, og det er for eksempel lite som fraktes med om vinteren (Blikra og Nemec, 1998). Mengde vann i skredet er også avgjørende, da våte skred har større erosjonsevne (Lied et al., 2003, s. 34).

Avsetningene fra snøskred varierer stort. Det kan være fra en type materiale spredt ut på store flater, til usammenhengende tunger med usortert materiale (Blikra og Nemec, 1998). Det er ofte en kaotisk avsetning. Her blir grus og mindre steiner avsatt oppå blokker, se figur 5.1.2. En finner ofte organisk materiale som er blitt vasket inn mellom blokkene. Et annet tegn på at det har gått snøskred er skog som er slått ned eller trær som ligger ned mot skråningen og som prøver å rette seg opp. Dette gjør de ved at det vokser nye greiner vinkelrett opp fra stammen, se figur 5.1.3. Dersom det er et hyppig skredutsatt område vil det normalt ikke være skog tilstede (Lied et al., 2003, s. 33-38). Blokker som ligger oppå snøen vil ligge løst på overflaten når snøen har smeltet. Snøskred kan også danne små krater i bakken dersom de går utfor en klippe med stor fart. Dette fører til at snøen faller kraftig i bakken og slår ut underlaget i prosessen (Liestøl, 1974; Corner, 1980).

Våte snøskred kan ta med seg større blokker ettersom de har mer skjærstyrke og høyere tetthet. De fører med seg sedimentene på lignende måte som jordskred. I motsetning til jordskred hvor matriksen består av finere materiale, vil matriksen i et snøskred bestå av snø. Når den da smelter, vil materialet bli avsatt direkte på bakken. Våte skred etterlater seg, i likhet med jordskred, spor som leveer og tungeformede avsetninger (Blikra og Nemec, 1998). De kan transportere mye og store sedimenter, og kan også avsette blokkmark. Løssnøskred frakter helst materiale fra silt til stein. Prosessen minner om turbidittstrømmer, hvor silt til stein transporteres i suspensjon, samtidig som grovere sedimenter fraktes langs bunnen (Hopfinger, 1983, referert til i Blikra og Nemec, 1998).



Figur 5.1.2: Avsetninger fra snøskred ved lokalitet 1, se lokalitetskart i figur 6.1. Grus og små steiner blir liggende løst på større blokker etter at snøen smelter. Personen på bildet er 1,67 m høy. Foto: Sofie Bakkevig Valheim, 2015.



Figur 5.1.3: Trær som er slått ned av snøskred, og som prøver å rette seg opp igjen. Foto: Kjersti Norland Vistnes, 2015.

Snøskred vil ha lengst rekkevidde i slake skredløp der det presist er bratt nok til at bevegelsen opprettholdes. I bratte skredløp vil skredet gjerne stoppe nær fjellfoten da den brå overgangen vil føre til stort tap av energi (Lied og Bakkehøi, 1980).

5.1.4. Sikringstiltak mot snøskred

Det er flere mulige sikringstiltak mot snøskred, både avvergende og for å begrense skadeomfanget. Ved å plassere samleskjermer på toppen av fjellsiden vil en kunne redusere transport av fokksnø ut i løsneområdet. Disse samleskjermene plasseres på tvers av dominerende vindretning og gjerne flere rekker etter hverandre. Topografi som er ideell for denne metoden er plataer med brå overgang til løsneområdet. En annen forebyggende metode er å bygge støtteforbygninger i løsneområdet for å stoppe snøen fra å rase ut. Disse gjerdene må bygges langs hele løsneområdet, hvor terrenget er brattere enn 30° , for å gi full sikkerhet. Støtteforbygninger vil hindre at skred blir utløst. Et annet sikringstiltak som er mye brukt er kunstig utløsning av snøskred. Dette innebærer en kontrollert utløsning av skred før snømassene blir for store, og gjøres som oftest ved hjelp av sprengstoff (Høeg et al., 2014, s. 34-42).

Andre sikringstiltak brukes for å beskytte mot utløste snøskred. Dette kan være skredoverbygg, bremse-, lede- eller fangvoller som blir plassert i utløpsområdet. Skredoverbygg gjelder helst sikring av veier og jernbaner. Sikringsvoller bør bli plassert lengre nede i skredbanen hvor skredmassene har lavere hastighet og mindre volum (Høeg et al., 2014, s. 34-42).

Det mest effektive sikringstiltaket for sørpeskred er å lede skredmassene vekk fra områder hvor de kan gjøre skade. Dette kan bli gjort ved å utvide og forsterke bekkeløp de vanligvis går i (Jóhannesson et al., 2009; NVE, 2011).

5.2. Skred fra fast fjell

Skred fra fast fjell er en massebevegelse styrt av tyngdekraften, og utløses når skjærstresset overgår skjærstyrken til en fjellmasse, Terzaghi (1962) sitert i Braathen et al. (2004). Dette innebærer stein som ruller, glir, spretter eller faller ned en fjellskråning (NVE, 2011).

5.2.1. Klassifikasjon

NVE og NGI skiller skred fra fast fjell etter volum på skredet, og deler det inn i steinsprang, steinskred og fjellskred. Steinsprang gjelder volum opptil 100 m³, steinskred er mellom 100 og 10 000 m³, og fjellskred omfatter volum større enn dette (NVE, 2011; Høeg et al., 2014, s. 46). Betegnelsene steinsprang og steinskred blir dog ofte brukt om hverandre (NGU, 2015c).

Steinsprang er enten oppstykket materiale som brått løsner fra fast fjell eller allerede løst materiale som faller fra skrent (Bjerrum og Jørstad, 1966). I steinskred vil store blokker ofte knuses til mindre deler når de treffer bakken, og materialet er kantet og umodent (Bjerrum og Jørstad, 1966); (Kent, 1966; Carson og Kirkby, 1972; Selby, 1982; Whalley, 1984; Statham og Francis, 1986) sitert i Blikra og Nemeč (1998). Steinskred raser som en samlet masse og kan rive med seg løsmasser underveis. Under et steinsprang vil blokkene opptre mer uavhengig av hverandre (NVE, 2011).

Fjellskred er samlede bergmasser som glir langs en glideflate (Bjerrum og Jørstad, 1966). Under et fjellskred vil mye materiale bli knust og det kan oppføre seg som en massestrøm.

5.2.2. Utløsende faktorer

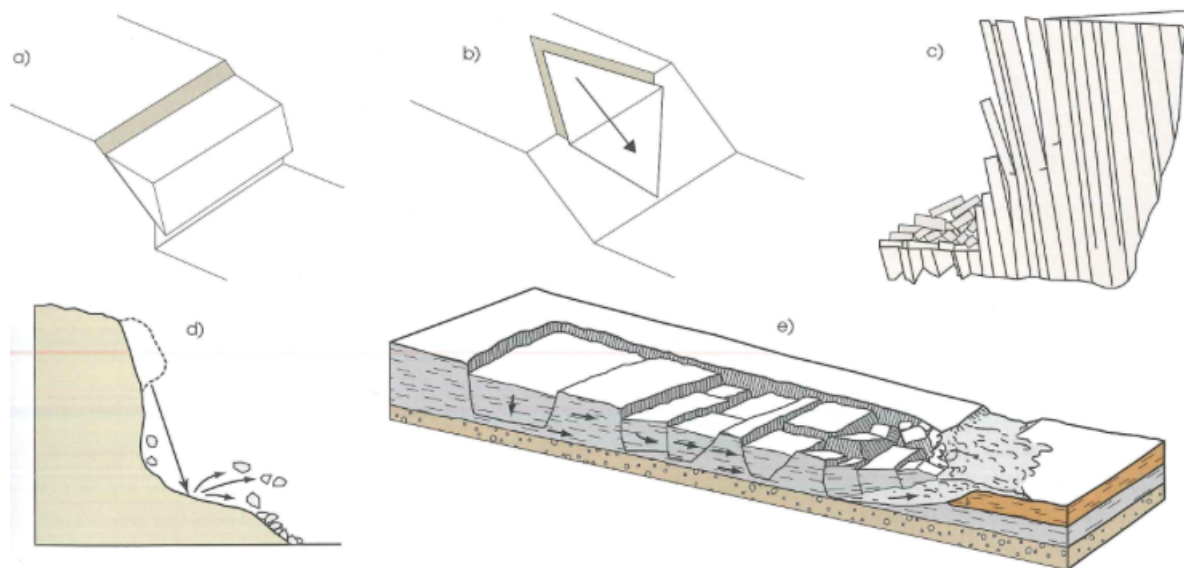
I Sogn og Fjordane er det vanlig med mye skredavsetninger. I Braathen et al., 2004 vises det til felles forutsetninger som svakt fjell og bratte fjellvegger. Skråningsvinkel er en viktig faktor, hvor steinsprang helst opptrer i fjellsider med helning fra 35° til 50° (Blikra og Nemeč, 1998).

Stabiliteten til en fjellmasse avhenger av egenskaper og strukturer til fjellet. Dette innebærer blant annet bergartstypen, grad av oppsprekking og sprekkeflatens ruhet og helning. Dypbergarter som granitt og dioritt er massive bergarter med grovt sprekke-mønster. Her utvikles det ofte sprekker vinkelrett på hverandre som danner kubiske blokker, se figur 5.2.1. (Høeg et al., 2014, s. 49).



Figur 5.2.1: Bildet er tatt ved lokalitet 29, se lokalitetskart i figur 6.1. Personen på bildet er 1,67 m høy. Fjellet har tydelige horisontale sprekker og danner kubiske blokker (Foto: Sofie Bakkevig Valheim, 2015).

Sprekkeretning og antall sprekker vil gi forskjellig type ustabilitet, se figur 5.2.2 som er hentet fra Høeg et al., (2014). Det kan forekomme utgliding av blokk, som illustrert i (a) og (b). Videre finnes det utvelting av blokk grunnet vertikal sprekeretning (c), utfall av hengende blokk (d) eller gliding langs flere sprekkeflater (f) (Høeg et al., 2014, s. 51).



Figur 5.2.2: Forskjellige typer utgliding og utvelting (Høeg et al., 2014, s. 51)

Vann er en av de mest essensielle faktorene til at et skred blir utløst. Eroderende elver og bølger undergraver skråninger og gjør dem da mer ustabile (Høeg et al., 2014, s. 53). Vann kan bidra til kjemisk forvitring som påvirker mineralsammensetningen i en bergart, hvor mineraler enten blir brutt ned eller bygd opp (Terzaghi, 1951, referert til i Braathen et al., 2004). Harde bergarter kan over lang tid bli til leire, og svakhetssoner kan utvikle seg enda mer (Høeg et al., 2014, s. 53). Amfibolitt, glimmermineraler og kalk er mineraler som er spesielt utsatt for kjemisk forvitring (Bjerrum og Jørstad, 1966).

Vann bidrar også til mekanisk forvitring av bergarter. Det kan øke poretrykket og gjøre en bergart mer ustabil. Med økt poretrykk reduseres det effektive normale stresset, og dette vil minske skjærmotstanden til glideflaten. Dermed fungerer vann som glidemiddel og med den ekstra vekten bidrar det også til drivkraft (Carson og Kirkby, 1972, referert til i Braathen et al., 2004). Frostsprenging fører til at sprekker utvides og bergmasser kan bli ustabile (Bjerrum og Jørstad, 1966; Braathen et al., 2004). Bjerrum og Jørstad (1966) understreker at frostsprengning forekommer mest om våren og høsten da temperaturene varierer rundt 0°C. Frosten kan også blokkere dreneringen og dermed øke vanntrykket (Høeg et al., 2014, s. 53).

Det er enda flere mekaniske prosesser som kan utløse skred fra fast fjell. Rotsprengning kan utvide sprekker og forskyve blokker, men fungerer kun noen få meter fra overflaten. Dette foregår som oftest i vekstsesongen når røttene utvider seg. Videre kan jordskjelv og menneskelig aktivitet som anleggsarbeid, sprenging og endring av elveløp også forårsake skred (Høeg et al., 2014, s. 53).

5.2.3. Spor

Avsetningene til fjellskred er store, usorterte ansamlinger av alt fra store blokker til grus. De kan rekke flere km ut eller opptil flere hundre meter opp på motsatt dalside (NVE, 2011).

Avsetningene fra steinsprang og steinskred er klastbårede vifter eller urer med materiale fra blokk til sand, hvor de fineste materialene ligger øverst. Vifteformen kommer av at materialet blir mer spredd ved slakere helning (Azzoni og De Freitas, 1995). Ved gjentatte steinsprang vil urene bli mer sortert da de mindre blokkene blir stoppet tidligere grunnet ruheten i underlaget (De Blasio og Sæter, 2009). Stratigrafisk i bunnen av viftene vil det være hulrom

mellom klastene, og mot overflaten vil hulrommene være fullt med sand og grus (Blikra og Nemec, 1998).

Utløpslengden er bestemt av flere faktorer. Formen og vekten til blokkene samt ruhet, helning og materiale til skråningen påvirker hvor langt de kan gå. Klaster går lenger på jevnere flater (Parsons og Abrahams, 1987). Mykere underlag som vegetasjon, mark eller sand vil dempe nedslagskraften til blokkene som faller, og steinurer vil kunne stoppe blokker helt. Utflatinger vil føre til tap av energi og gi mindre utløpslengde (Høeg et al., 2014, s. 60-61). Desto større klastene er, desto større nedslagskraft har de. Dette fører til at store blokker går raskere og lengre enn små (Blikra og Nemec, 1998). Mengden materiale som faller vil også spille inn på utløpslengden, da steinskred og større steinsprang vil gi lengre og slakere vifter (Statham og Francis, 1986, referert til i Blikra og Nemec, 1998). Steinsprang og steinskred er drevet av tyngdekraften og vil derfor ikke bevege seg oppover i en skråning.

5.2.4. Sikringstiltak mot skred fra fast fjell

Det er mulig å overvåke potensielle fjellskred og steinskred. Da blir det sett etter bevegelse i sprekker og på overflaten. Dersom det er anormale verdier vil en kunne vurdere om det skal igangsettes en evakuering (Høeg et al., 2014, s. 65).

Det er flere metoder for å sikre mot steinsprang og steinskred, enten det er for å begrense skadeomfanget eller å hindre utfall (NVE, 2011; Høeg et al., 2014, s. 67-72).

Metoder for å hindre utfall blir gjerne brukt dersom løsneområdet er begrenset. Da kan en fjerne løse blokker gjennom nedsprenging eller renskespett. Det er også normalt å bolte og ankre blokker eller større bergmasser. Dersom fjellet er oppsprukket mellom boltene er det mulig å sette opp fangnett for å unngå at det løsner stein. Noen plasser blir det brukt sprøytebetong for å tette sprekker i fjellet. En annen metode er å drenere sprekker og overflater for å minske vanntrykket i fjellet (Høeg et al., 2014, s. 67-72).

For å begrense konsekvenser av skred og utfall burde en ta hensyn til størrelsen på skredblokkene, volum, hastighet og spranghøyde. Da kan man beregne hvilken styrke og høyde sikringstiltaket burde ha. Det er vanlig å bygge fangvoller ettersom disse trenger lite vedlikehold. Eneste å passe på er å fjerne skredmasser etter hvert slik at de ikke fyller opp

vollen. Disse er best egnet for slakere terreng. Ved bratt og ulendt terreng er det best å bruke fleksible steinspranggjerdet. Her vil energien fra en blokk spres utover gjerdet på grunn av elastisiteten, og dermed hindre at det blir ødelagt av slaget. Dette kan være et problem med betongmurer, som vil kunne sprekke opp når de blir truffet av stein. For å unngå dette kan man polstre murene. Betongmurer blir gjerne brukt for å beskytte husvegger eller på områder hvor det er liten plass (Høeg et al., 2014, s. 67-72). Tidligere bygget folk like foran store blokker, og brukte dermed eldre skredavsetninger som beskyttelse mot nye skred.

Dersom det er stor risiko for skred som kan ramme veier og jernbaner kan det være hensiktsmessig å bygge tunnel (Høeg et al., 2014, s. 67-72).

5.3. Løsmasseskred

Løsmasseskred er raske massebevegelser av blokker, stein og grus i en matriks av finere jordarter som flyter nedover (Blikra et al., 1989).

5.3.1. Klassifikasjon

Løsmasseskred forekommer med ulike typer løsmasser. I Norge er det vanlig å dele inn i avsetninger som er marine, fluviale, glasifluviale, lakustrine, glasilakustrine, morene, fra forvittringsmateriale eller skred (Høeg et al., 2014, s. 79).

Løsmasseskred er også kjent som jordskred og grov massestrøm, avhengig av størrelsen på materialet. I Votedalen består løsmasseskredene mye av skredmateriale og forvittringsmateriale, og blir betegnet som grov massestrøm. Det blir derfor tatt utgangspunkt i grov massestrøm videre.

5.3.2. Utløsende faktor

Utløsende faktorer for grov massestrøm kan være kraftig nedbør, nedbør over en lengre periode eller smeltevann. Økt vannføring under smeltesesongen gir større skredfare. Andre utløsende årsaker kan være undergraving, menneskelig påvirkning av dreneringsforholdene, jordskjelv eller ukontrollert erosjon i elveløpet (Høeg et al., 2014, s. 83-85).

5.3.3. Spor etter grov massestrøm

Grove massestrømmer kan avsette leveer, vifter eller tunger med materiale avhengig av vannmetningen i skredet (Blikra et al., 1989). Store blokker flyter til høyden og det vil oppstå en oppgroving når skredet avsettes. Leveer blir dannet ettersom de største blokkene vil stoppe tidligst, og de mindre skredmassene blir dyttet til side og fortsette lengre ned (Rapp og Nyberg, 1981; Blikra et al., 1989). Se figur 5.3.1 for foto av en levé observert i Votedalen.



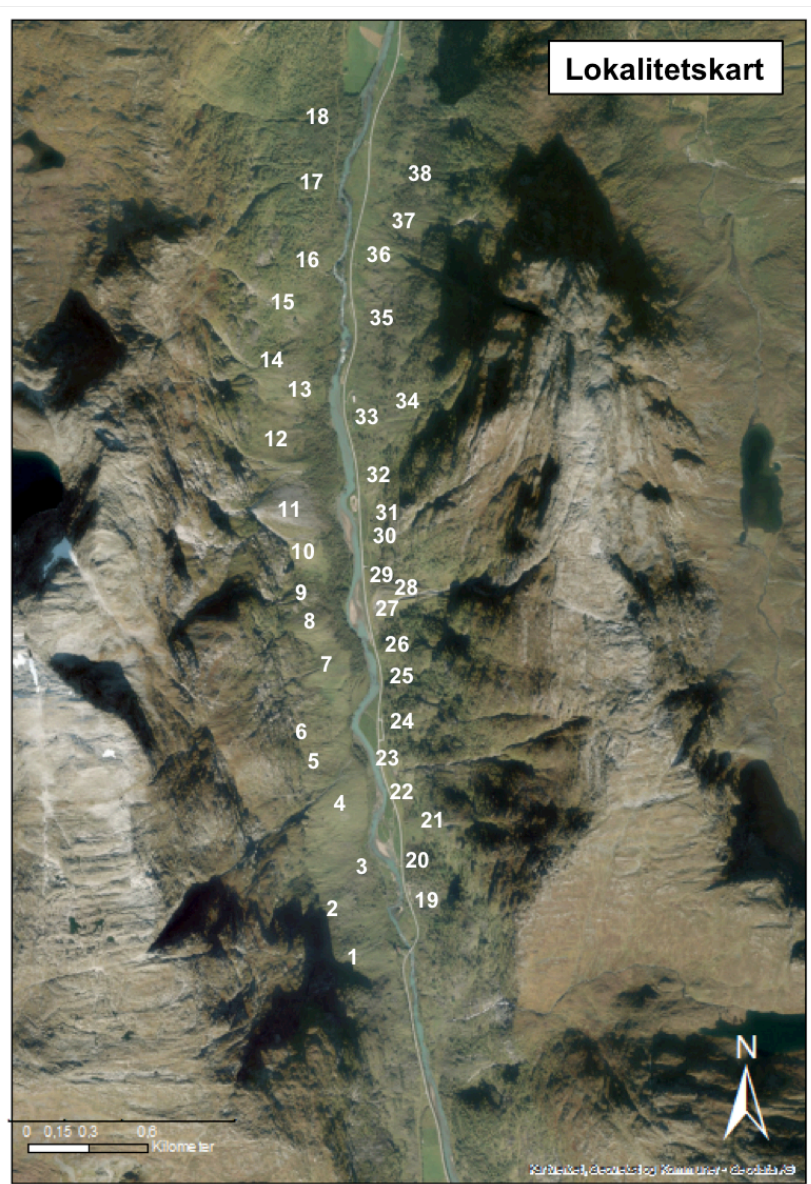
Figur 5.3.1: Levé avsatt fra grov massestrøm ved lokalitet 36, se figur 6.1. for lokalitetskart. Det ligger store blokker i overflaten. I Votedalen går det jevnlig steinsprang, og mye skredmateriale blir liggende i gjelene. Disse blokkene og annet materiale kan bli fraktet med videre grove massestrømmer. Foto: Kjersti Norland Vistnes, 2015.

5.3.4. Sikringstiltak mot grov massestrøm

Det er flere typer sikringstiltak mot grov massestrøm avhengig av om det er for å hindre at de blir utløst eller om det er for å begrense skadeomfanget. En god metode for å unngå at det utløses grov massestrøm er å stabilisere skråningen. Dette kan gjøres ved å lage dreneringsgrøfter for å hindre at det bygges opp et porevannstrykk. Dersom det er en bar skråning kan man dyrke vegetasjon eller bruke erosjonsmatter for å øke stabiliteten til overflaten. Det er også flere tiltak for å hindre erosjon i skråningen. Dette blir ikke gjort rede for her da det ikke er særlig aktuelt i Votedalen hvor skråningene er av fast fjell. For å begrense skadeomfanget er det mulig å lede, bremse eller stoppe skredmassene (Høeg et al., 2014, s. 90-92).

6. Metoder

I denne masteroppgaven er det hovedsakelig brukt to metoder for å beregne rekkevidden til de ulike skredtypene i området. Disse er henholdsvis beregning ved hjelp av alfa-beta metoden og H/L-forhold. Ved noen lokaliteter er det også blitt simulert steinsprang i RocFall 5.0. For å se nærmere på skredfrekvens er det tatt lichenometriske målinger og schmidthammermålinger til datering av skredmassene. Figur 6.1 gir oversikt over de ulike lokalitetene i Votedalen. Hver lokalitet er en uavhengig skredavsetning. Tabell 6.1 viser oversikt hvilke metoder som er benyttet ved hvilke de ulike lokalitetene.



Figur 6.1: Lokalitetskart over Votedalen. Et mer detaljert kart over skredmassene er presentert i kapittel 7. Kartet er hentet fra Kartverket (2016).

Tabell 6.1: Oversikt over utførte metoder ved de ulike lokalitetene. Henviser til lokalitetene markert i figur 6.1.

Oversikt over utførte metoder ved de ulike lokalitetene						
Lokaliteter	UTM	Alfa-beta metoden	RocFall	H/L-forhold	Lichenometri	Schmidthammer
1	32V 368572 6835814	X		X	X	X
2	32V 368505 6836080	X	X	X	X	X
3	32V 368433 6836230				X	X
4	32V 368490 6836580	X		X	X	X
5	32V 368370 6836717					X
6	32V 368467 6836813					
7	32V 368440 6837249	X		X		X
8	32V 368355 6837424			X	X	X
9	32V 368329 6837633				X	X
10	32V 368355 6837794				X	X
11	32V 368232 6838052	X	X	X	X	X
12	32V 368270 6838369					X
13	32V 368250 6838721				X	X
14	32V 368256 6838993	X	X	X	X	X
15	32V 368298 6839079					
16	32V 368340 6839266				X	X
17	32V 368380 6839765	X		X		
18	32V 368426 6840011	X		X		
19	32V 368837 6836112				X	X
19	32V 368837 6836112				X	X

20	32V 368841 6836229	X	X	X	X	
21	32V 368830 6836403	X		X	X	
22	32V 368790 6836575					
23	32V 368740 6836720	X		X		
24	32V 368721 6836891					
25	32V 368691 6837145					
26	32V 368660 6837845				X	
27	32V 368632 6837567	X		X		X
28	32V 368644 6837710				X	
29	32V 368683 6837777				X	
30	32V 368632 6837880					
31	32V 368624 6837993					
32	32V 368596 6838119					
33	32V 368528 6838407	X		X		
34	32V 368592 6838477					
35	32V 368569 6839096	X		X		
36	32V 368582 6839393	X	X	X	X	
37	32V 368783 6839518	X		X		
38	32V 368826 683950					
Bergheim	32V 369412 6844888	X		X	X	X

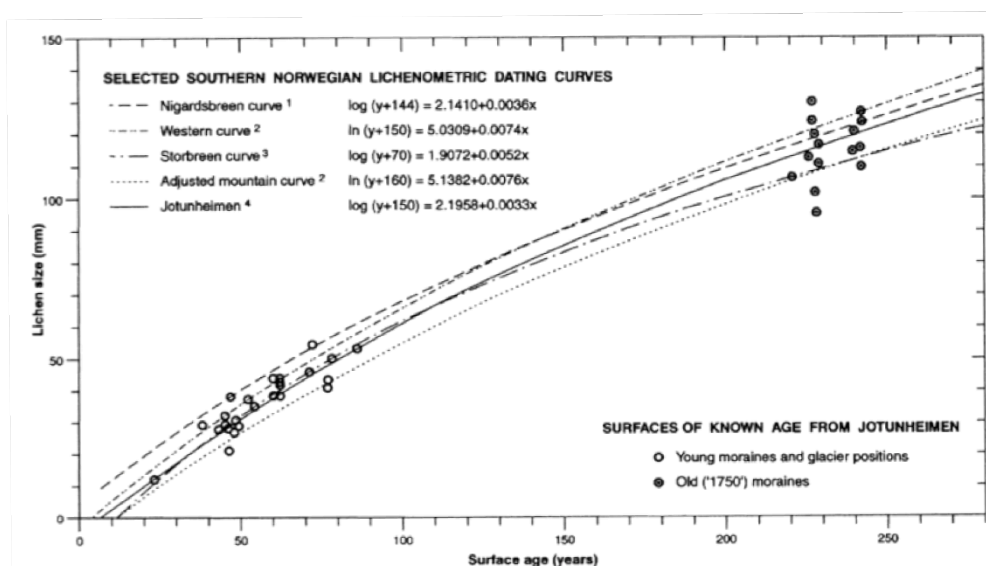
6.1. Datering av skredmasser

To ulike metoder er benyttet for datering av skredmassene, henholdsvis lichenometriske målinger og schmidthammermålinger. I denne undersøkelsen ble det utført målinger på flere ulike blokker for hver lokalitet. De lichenometriske målingene gir dermed oversikt over de eldste blokkene som er observert i uren. Resultatene fra schmidthammermålingene blir brukt til å beregne frekvens av skred ved hver lokalitet ved å se på R-verdiene relativt til hverandre.

6.1.1. Lichenometri

Lichenometri er en mye brukt metode innen relativ og absolutt datering av morenerygger avsatt under 'den lille istid'. Den baserer seg på størrelsen til lav som vokser på flater, hvor en tar utgangspunkt i at jo større laven er desto eldre er den. Metoden er mulig å bruke ettersom lav vil begynne å vokse på flater så snart de blir eksponert. Man må vite tilveksthastigheten til gjeldende lavart for at det skal være mulig å regne seg frem til når materialet ble avsatt (Innes, 1985; Nesje et al., 2012, s. 128-129). Lichenometri egner seg best for dateringer innen de siste 500 årene (Matthews og McEwen, 2013).

Matthews (2005) publiserte en oversikt over vekstkurver fra Sør-Norge, hvor referansepunktene er daterte overflater i Jotunheimen. Se figur 6.1.1. Denne er benyttet i dateringen av skredmassene i Votedalen.



Figur 6.1.1: Lichenometriske vekstkurver fra ulike breer og områder i Sør-Norge. Vekstkurvene er basert på dateringer fra flater i Jotunheimen. De mørke prikkene markerer gamle morener, og de hvite prikkene markerer yngre morener og isbreposisjoner. Kurvene er fra ulike undersøkelser, henholdsvis 1. Bickerton og Matthews (1992) 2. Bickerton og Matthews (1992) 3. Matthews (1994) 4. Matthews (2005)

Feilkilder

Det er en usikkerhet på 10-15% ved bruk av denne metoden (Innes, 1985; Nesje et al., 2012, s. 128-129). Det kan være flere årsaker dersom vekstkurven ikke stemmer helt ettersom vekstraten blir påvirket av faktorer som teksturen til bergartsflaten, temperatur, mengde lys tilgjengelig, høydemeter, vind, snødekke, vegetasjon og forurensing (Innes, 1985). Andre feilkilder kan være operatørmessige. Måling av feil lavart, lesefeil, kalibrering med feil tilvekstkurve (Webber og Andrews, 1973).

Utførelse i felt

Det ble utført lichenometrimålinger på 19 lokaliteter, se oversikt over lokalitetene i tabell 6.1. Her ble det tatt 200 målinger for hver ur bortsett fra lokalitet 21 hvor undersøkelsen ble avbrutt av steinsprang. Til sammen ble det samlet inn 3605 lichenometrimålinger. Videre ble de 5 største verdiene for hver lokalitet plukket ut til videre statistikk. Figur 6.1.2. viser hvordan målingene ble utført i felt.



Figur 6.1.2: Brukte linjalen på kompasset til å måle lavdiameteren.

6.1.2. Schmidthammermålinger

Schmidthammeren var opprinnelig benyttet i byggeindustrien, til å måle hardheten til betong. Den har i senere tid også blitt brukt til å anslå hardheten til bergarter (Miller, 1965, referert til i Barton og Choubey, 1977). Metoden benyttes til å beregne kompresjonsstyrken og elastisitetstyrken til materialet (Yilmaz og Sendir, 2002; Aydin og Basu, 2005). Ved å se på disse egenskapene, kan en estimere hvor mye forvitring bergarten har gjennomgått. Schmidthammeren har med dette blitt et hjelpemiddel innen relativ datering og for å estimere forvittringsrate (Matthews og Shakesby, 1984).

Når Schmidt-hammeren blir presset mot en flate vil stempelet inni verktøyet automatisk bli sluppet. Deler av energien fra stempelets nedslagstyrke vil bli absorbert og omformet til varme og lyd. Energien til overs slår tilbake på stempelet og redegjør da for bergartens hardhet. Avstanden stempelet går tilbake, blir kalt 'Rebound'-verdien (R-verdi). R-verdiene vises i prosent og varierer fra 10-100, hvor høye verdier tilsvarer harde bergarter (Aydin og Basu, 2005; Goudie, 2006; Aa et al., 2007; Viles et al., 2011). Desto mer forvitret bergartene er, desto lavere R-verdier får en. Disse verdiene blir sammenlignet med R-verdier fra samme bergartstype som nylig er blitt eksponert (Aydin og Basu, 2005). Dette gjør det mulig å relativt datere blant annet morener, skredmateriale og hvor lenge en flate har vært eksponert.

Matthews og Shakesby (1984) var de første som brukte schmidthammeren til å relativt datere morener ved å sammenligne resultatene med lichenometri. Relativ datering med schmidthammermålinger utføres ved hjelp av en kalibreringskurve for å estimere alder. Her er det to referansepunkt som allerede er datert ved hjelp av en annen dateringsmetode, som lichenometri eller ^{14}C . Dersom en antar at forvittringsraten er konstant, vil det være en lineær kurve mellom referansepunktene (Colman, 1981). Lokalteter som allerede er datert vil bli testet med schmidthammeren. En kan da se forholdet mellom tidligere dateringer og R-verdiene. Deretter er det mulig å teste hvilken som helst overflate i området. Denne verdien blir registrert i kalibreringskurven, og kan da bli datert ut i fra dette.

Feilkilder

Det er en del som må tas hensyn til før man skal ta prøver med schmidthammer. Resultatene kan bli påvirket av **teksturen** til overflaten (Williams og Robinson, 1983; McCarroll, 1989; Katz et al., 2000; Aydin og Basu, 2005). Bergarter med glatte og rette overflater, vil få høyere verdier enn de med irregulære flater (Williams og Robinson, 1983; McCarroll, 1989; Ffoulkes

og Harrison, 2014). Dette skyldes at ujevnheter på overflaten ofte blir knust i prosessen, og da svekkes nedslagsstyrken til stampelet (Aydin og Basu, 2005). Schmidt-hammeren er i tillegg sensitiv til ujevnheter i bergarter, noe som gjør det vanskeligere å undersøke laminerte og folierte bergarter (Goudie, 2006). For å minske unøyaktigheter i undersøkelsene kan en fjerne løse flak, forvittringsrester og lav fra overflaten. Det er også viktig å unngå hjørner og sprekker når en tar prøver (Matthews og Shakesby, 1984; Shakesby et al., 2006; Matthews og Owen, 2010; Ffoulkes og Harrison, 2014).

Schmidthammeren er sensitiv til **vanninnhold**, og da spesielt i svake bergarter. Vanninnhold vil føre til lavere R-verdier. Magnituden av dette avhenger av egenskapene til bergarten, som porøsitet og permeabilitet (Sumner og Nel, 2002). Vann på overflaten vil også påvirke resultatene da dette vil dempe nedslagsstyrken til hammeren.

Blokkene som testes må være av en viss **størrelse** for at R-verdiene skal bli nøyaktige, helst over 25 kg (Sumner og Nel, 2002; Klapyta, 2013). Det er også viktig at en tester samme **bergartstype** i et område. Dette er en grunnleggende forholdsregel ettersom bergarter har ulike egenskaper, og her er hardhet og forvittringsmotstand spesielt vesentlige (McCarroll, 1989; Aydin og Basu, 2005). Mineraler har ulik forvittringsrate og jo mer forvitret bergarten er, desto større kan spredningen av R-verdier bli. Kvarts og feltspat er harde mineraler som vil ta lang tid å forvitres. Dersom de gjeldende blokkene har stor forskjell på **kornstørrelsen** er de lite egnet til å bli sammenlignet. Dette kommer av at finere kornstørrelser vil gi mindre spredte R-verdier enn grovkornet (Aydin og Basu, 2005).

Ved å ta i bruk disse forholdsreglene vil man kunne minske unøyaktighetene med schmidthammeren betraktelig. I lignende undersøkelser hvor de måler R-verdien til skredavsetninger ligger to standardavvik mellom 1,53-2,36 i Matthews et al. (2011) og 2,9-4,6 i (Aa et al., 2007).

Utførelse i felt

I denne undersøkelsen ble det benyttet en type N-hammer. Det er tatt schmidthammermålinger på 17 ulike skredavsetninger i Votedalen, se tabell 6.1 for oversikt. På hver lokalitet er det tatt 100 målinger fordelt på 10 blokker over 25 kg. På lokalitet 1 og 11 ble det tatt målinger på to forskjellige skredmasser som tydelig stammer fra ulike tidsrom. Dette kunne sees på farge, rundingsgrad og mengde kartlav og mose som dekket blokkene. Til sammen ble det tatt 2000 schmidthammermålinger.

Målingene ble utført ved at schmidthammeren sto vinkelrett på horisontale flater. Det var problematisk å finne ideelle flater da bergartene i området hovedsakelig er middels- til grovkornet og inneholder mye kvarts. Blokkene har ujevne flater og det kan være vanskelig å definere bruddflaten på de eldre blokkene. Hjørner og sprekker ble unngått under prøvetakingen. Mange av blokkene var enten dekket av mose eller kartlav, og flere av blokkene var fuktige. Figur 6.1.3 viser prøvetaking på en middels grovkornet blokkflate som er fri for lav.



Figur 6.1.3: Måler R-verdiene til en blokk ved lokalitet 27, se figur 6.1. for lokalitetskart.

6.1.3 Behandling av data

Schmidthammermålingene og lichenometrimålingene er behandlet statistisk. De statistiske parameterne som er brukt for å sortere og fremheve interessant data er nevnt nedenfor.

Medianen gir uttrykk for verdien som er midt i datasettet som er av interesse. Det vil si at når observasjonene er arrangert i stigende rekkefølge vil det være like mange verdier over og under medianen. Dersom datasettet er et partall vil medianen bli gjennomsnittet av de to midterste verdiene (Store norske leksikon, 2011).

Noen av de mest brukte spredningsmålene rundt en verdi er **standardavvik** og **varians**. **Variansen** viser variasjonen i datasettet, og regnes ut ved hjelp av formel 6.1.1 (McGrew og Monroe, 1993, s. 45-46).

Formel 6.1.1: Formel for varians (McGrew og Monroe, 1993, s. 46).

$$\text{var}(X) = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Σ = sum

X_i = verdien av observasjon i

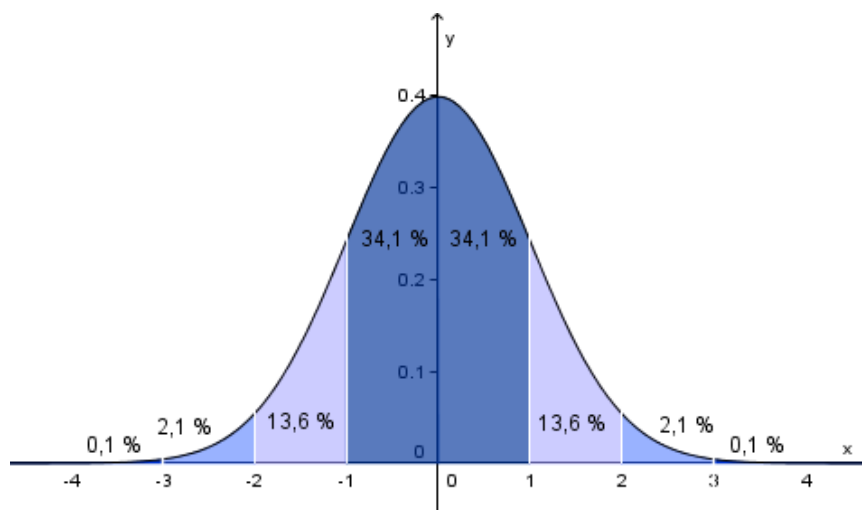
\bar{X} = gjennomsnittet av X

n = antall observasjoner

Standardavvik er et mål på spredning fra gjennomsnittet, og kan betegnes som kvadratroten av variansen (Aaheim og Bjørnstad, 2015). Det blir beregnet ved hjelp av formel 6.1.2. Her tas kvadratroten til alt slik at resultatet alltid har en positiv verdi (McGrew og Monroe, 1993, s. 45-46). Det er ofte vanlig å bruke ett og to standardavvik. Ett standardavvik tar for seg 68,2% av alle verdiene, og to standardavvik 95,4% av verdiene. Figur 6.1.4 illustrerer normalfordelingen av et datasett og hvor mye de ulike standardavvikene omfatter. De mørke delene i midten av den kurven viser ett standardavvik. Videre ut viser de lyseblå delene hvor stor del av målingene som inkluderes i to standardavvik.

Formel 6.1.2: Formel for standardavvik (McGrew og Monroe, 1993, s. 45)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$



Figur 6.1.4: Normalfordelingskurve som viser et sett med målinger. De ulike delene markerer ett, to og tre standardavvik (Aanensen og Kristensen, 2015).

For å beskrive frekvensfordeling kan en bruke **skjevhet** og **kurtose**. **Skjevhet** illustrerer symmetrien i frekvensfordelingen i datasettet. Her kan en se om verdiene er jevnt fordelt på hver side av gjennomsnittet, eller om de trender mot én side. **Kurtose** beregner om verdiene vil gi et flatt eller spisst datasett (McGrew og Monroe, 1993, s. 49).

Standardfeil er et mål på usikkerheten til innsamlingen av data. Det er en funksjon av varians og antall målinger. Formelen er vist i formel 6.1.3 (McGrew og Monroe, 1993, s. 115).

Formel 6.1.3: Formel for standardfeil (McGrew og Monroe, 1993, s. 115)

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$s_{\bar{x}}$ = Standardfeil

s = Standardavvik ($\sqrt{\text{var}}$)

n = Antall målinger

Frekvensen beskriver hvor ofte de ulike R-verdiene har blitt registrert, og gir inntrykk av hvilke verdier som dominerer. Standardavvikene gir uttrykk for usikkerheten til datasettet. Dersom spredningen fra gjennomsnittet er stor, gir dette uttrykk for større usikkerhet. Variansen er med andre ord benyttet til å sammenligne presisjonen i de ulike datasettene.

Alle schmidthammermålingene og lichenometrimålingene tatt i felt ble ført inn i statistikkprogrammet KaleidaGraph som bearbeidet dataene. Resultatene fra schmidthammermålingene er presentert i histogrammer som illustrerer frekvensen av de ulike R-verdiene for hver lokalitet. Hver søyle gjelder for et intervall på fem R-verdier. Resultatene fra de lichenometriske målingene er presentert i en oversikt over lokalitetene på vestlig og østlig side av Votedalen, og i vekstkurven til Matthews (2005).

6.2. Beregning av rekkevidde

Et viktig element i en skredfarevurdering er å estimere maksimal rekkevidde for potensielle skred. I denne oppgaven fokuseres det hovedsakelig på to metoder, henholdsvis alfa-beta metoden og beregning ved hjelp av H/L-forhold. Ved noen lokaliteter er det blitt simulert steinsprang i programvaren RocFall 5.0. Disse er dog ikke vektlagt ettersom resultatene er noe ufullstendige.

6.2.1. $\alpha\beta$ -metoden (alfa-beta metoden)

Alfa-beta metoden er en empirisk, statistisk modell som benyttes til å estimere rekkevidde til skred. Den er utviklet av Lied og Bakkehøi (1980) og baserer seg kun på topografiske parametre.

Metoden er basert på detaljerte målinger av 850 snøskred og er utført av Lied, Haug og Hestnes. Undersøkellesområdene er bebodde plasser hvor det finnes rapporter om skred gjennom lokale historier, kirkebøker og politirapporter. Skredløp som ender i innsjøer, elvebanker og lignende hinder ble ikke tatt med i undersøkelsen da dette ses på som avbrutte skred. Det ble valgt ut 111 skredløp til videre regresjonsanalyser. Alle disse skredløpene oppfulgte kravene som var satt og alle hadde hatt optimale snøforhold for å oppnå maksimal rekkevidde. Analysen kunne dermed utføres kun basert på terrengparametre (Lied og Bakkehøi, 1980).

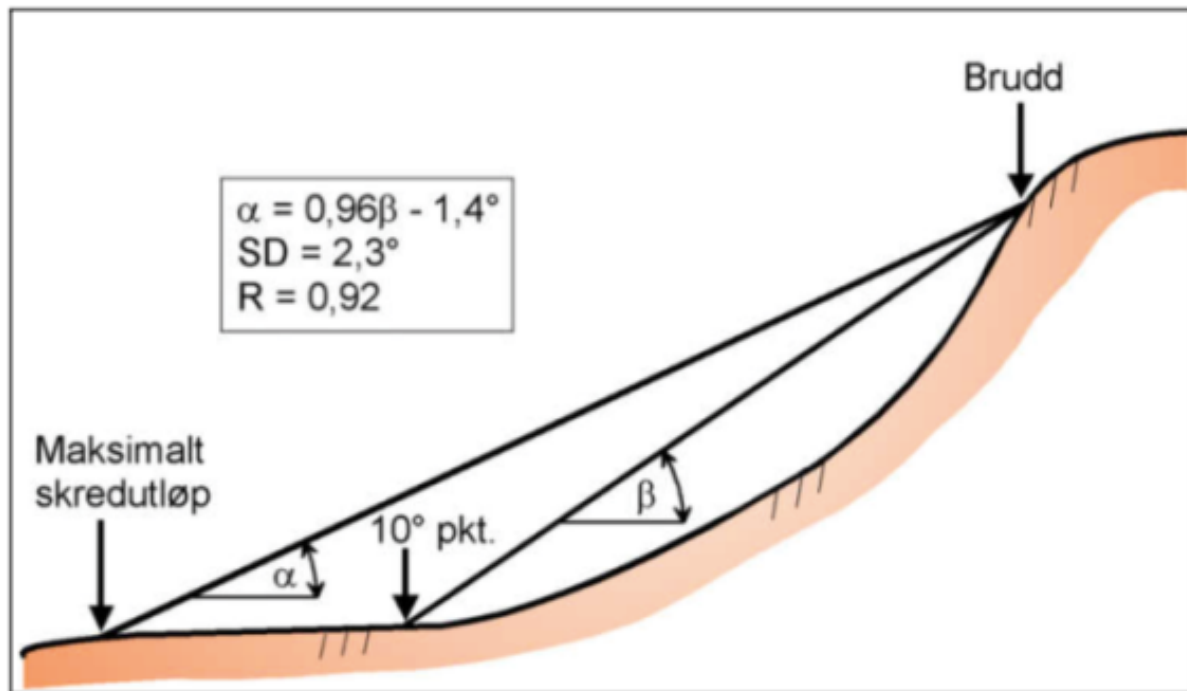
Terrengparameterne det er tatt hensyn til er gjennomsnittlig gradient på skredløpet, topografien i utløsningssonen, inklinasjon i utløsningssonen, tilførsel av fokksnø, bredden på utløsningssonen, gjennomsnittlig gradient på vinkel mellom bruddpunkt og skredfot, total vertikal forflyttelse og terrengprofil (Lied og Bakkehøi, 1980). Alfa-beta metoden tar utgangspunkt i overgangssonen mellom skredløpet og utløpsområdet. For snøskred ligger dette rundt 10° (De Quervain, 1972; Buser og Frutiger, 1980, referert til i Bakkehøi et al., 1983). For steinsprang ligger tilsvarende måling på rundt 23° .

Utførelse

Alfa-beta metoden ble utført ved å først tegne profil av skredbanen. Deretter ble det brukt gradskive for å finne 10° punktene for snøskred, 23° punktene for steinsprang og 20° punktene for grov massestrøm. Fra dette punktet ble det trukket en rett linje til utløsningspunktet for å finne β . Denne ble brukt til å finne α , se formlene i formel 6.2.1. Brukte videre α -vinkelen fra utløpspunktet for å trekke linje ut til rekkevidden for skredløpet. Første linje markerer sikkerhetsklasse S1 for skred som er beskrevet i den byggetekniske forskriften (TEK10) fra DiFB. Videre blir det trukket linje for ett og to standardavvik, som gjenspeiler henholdsvis sikkerhetsklassene S2 og S3. Se figur 6.2.1 for illustrasjon av metoden, hentet fra Lied et al. (2003).

Formel 6.2.1: Alfa-beta formelen for steinsprang (A), snøskred (B) og grov massestrøm (C).

<p>A) Steinsprang $\alpha = 0,77 \times \beta \times 3,9^\circ$ Standardavvik = $2,16^\circ$</p>	<p>B) Snøskred $\alpha = 0,96\beta - 1,4^\circ$ Standardavvik = $2,3^\circ$ Korrelasjonskoeffisient, $R = 0,92$</p>	<p>C) Grov massestrøm $\alpha = 0,96\beta - 4,0^\circ$ Standardavvik = $1,5^\circ$ Korrelasjonskoeffisient, $R = 0,845$</p>
---	--	---



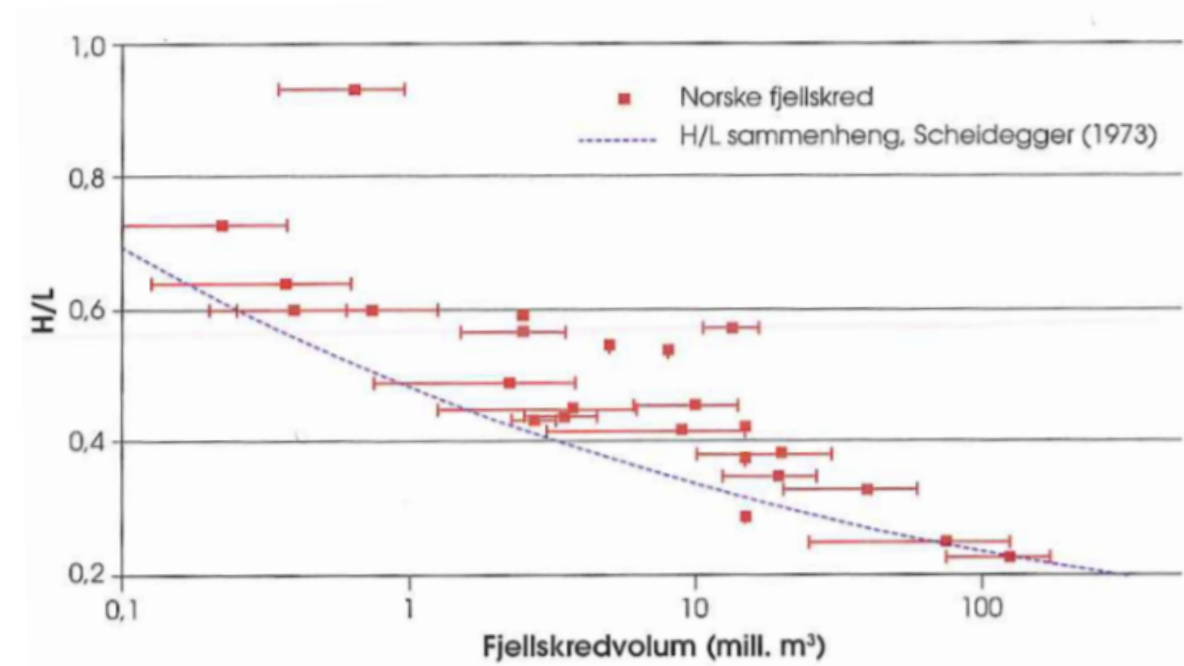
Figur 6.2.1: Illustrasjon av alfa-beta metoden, her med verdiene for snøskred (Lied et al., 2003, s. 83).

Alfa-beta metoden er blitt brukt til å beregne rekkevidden for skred ved 16 lokaliteter i Votedalen, hvor de fleste preges av både steinsprang og snøskred. Det er også utført en beregning av rekkevidde for steinsprang ved Bergheim. Se figur 6.1 og tabell 6.1 for oversikt over lokalitetene til utførte målinger. De fleste beregningene for snøskred og steinsprang har samme utløpspunkt, til tross for at snø gjerne raser fra slakere vinkler en steinsprang. Ved lokalitet 2, 20, 27 og 36 er det blitt beregnet steinsprang fra to mulige utløpspunkt. Ved lokalitetene 23 og 37 er det kun beregnet rekkevidde for snøskred. Formel 6.2.1.C, beregning av rekkevidde for grov massestrøm, er kun brukt ved lokalitet 35 og 36.

6.2.2. Høyde (H)-/lengde (L)-forholdet til ulike skredtyper

Rekkevidden til ulike skredtyper er avhengig av fallhøyde, friksjon i skredbanen og størrelsen (volumet) til skredmassene. Hsü (1975) viste til en artikkel fra Heim (1932) hvor han utviklet et høyde-/lengde-forhold ut fra Coloumbs friksjonslov: $H = \tan \alpha \times L$, hvor $\tan \alpha$ er friksjon i skredbanen. Dette gir $f = H/L$, hvor f er friksjonskoeffisienten, H er vertikal høyde og L er horisontal utløpslengde (Hsü, 1975).

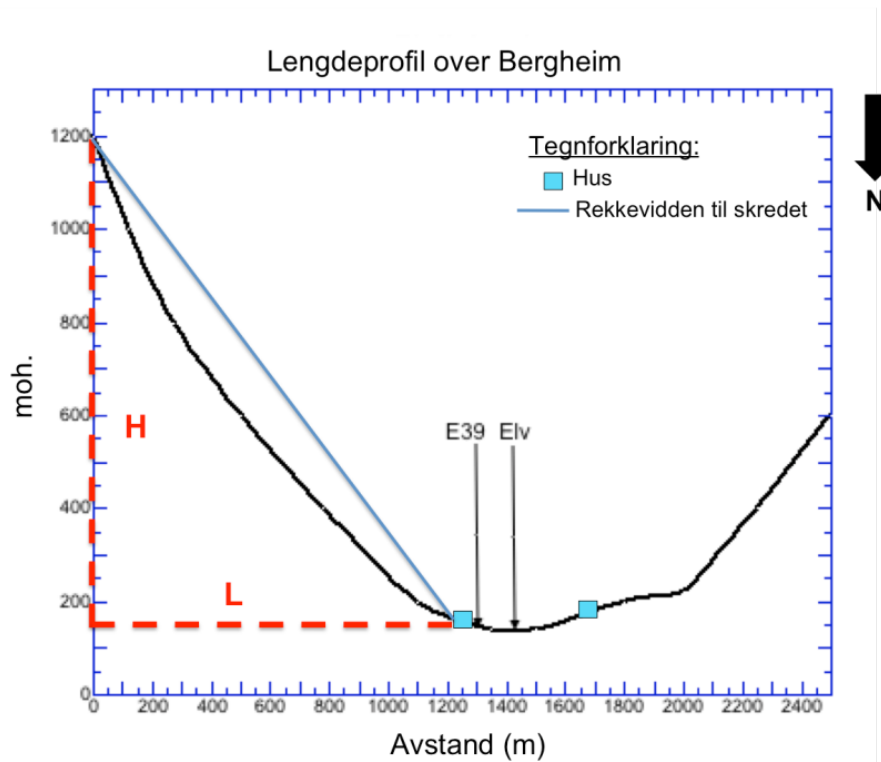
Friksjonskoeffisienten blir mindre ettersom volumet av skredmassene øker (Heim, 1932; Scheller, 1970, referert til i Scheidegger, 1973). Dette betyr at rekkevidden øker desto større skredet er. I Norge vil H/L-forholdet for fjellskred vanligvis ligge mellom 0,2 og 0,7, hvor 0,2 gjelder for de største skredene (Høeg et al., 2014, s. 59). I figur 6.2.2 har Scheidegger (1973) satt opp H/L-forholdet som funksjon av volumet på skredet.



Figur 6.2.2: H/L-forholdet som funksjon av volum til skredmassene. Legg merke til at volumet er presentert logaritmisk. Figuren er hentet fra side 59 i Høeg et al. (2014) som har modifisert den fra Romstad et al. (2009) som modifiserte figuren til Scheidegger (1973).

Utførelse

Har regnet ut H/L-forholdet for skredet ved Bergheim, som illustrert på figur 6.2.3.



Figur 6.2.3: Lengdeprofil langs skredbanen og skredmassene i den østlige dalsiden ved Bergheim. Figuren illustrerer rekkevidden til skredmassene, samt høyde- og lengdeparameterne.

Beregnet også volumet av skredmassene for å kunne sammenligne skredet med Scheideggers (1973) diagram og andre fjellskred i Norge. Dette ble gjort ved å først finne arealet av skredmassene. Videre ble tykkelsen beregnet ved hjelp av høydekvoter som markerer forhøyning i terrenget. Dette blir illustrert i resultater.

Tabell 6.2.1, meddelt av A. Nesje, foreslår H/L-forhold for ulike typer skred. Disse er blitt brukt til beregning av rekkevidden for skred i Votedalen. Her er det brukt 0,4 for snøskred og 0,6 for steinsprang. Har valgt 0,6 for steinsprang da dette gjelder både steinsprang og steinskred, og det var ønskelig å se resultater for maksimal rekkevidde. Rekkevidden ble beregnet ved hjelp av formel 6.2.2.

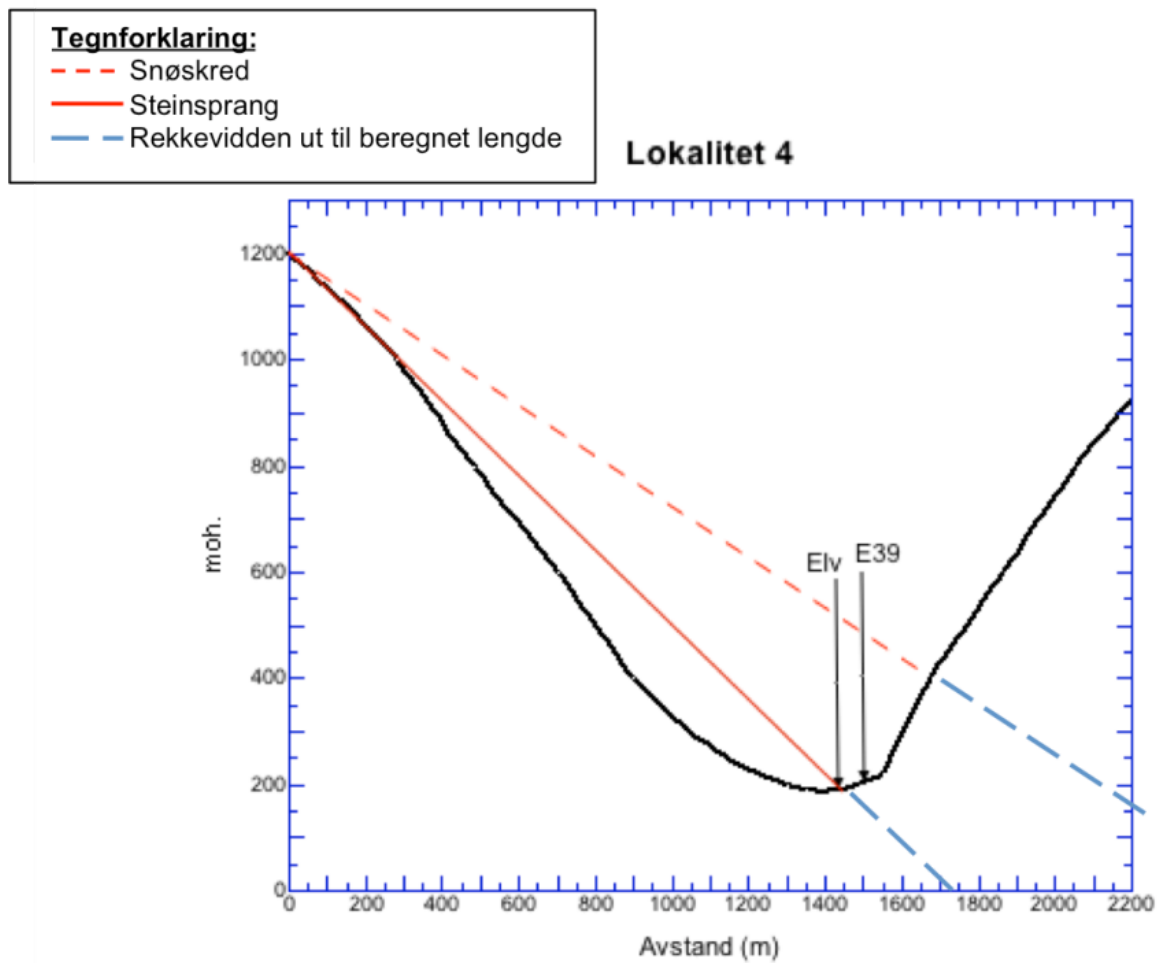
Tabell 6.2.2: H/L-forhold og L/H-forhold for de ulike typene skred. Tallene er meddelt av A. Nesje, professor i kvartærgeologi ved UiB (e-post, 23.01.16).

H/L-forhold	L/H-forhold	Skredtype
0,4	2,5	Snø-, flom-, sørpe-, og store fjellskred
0,5	2	Større løssnøskred og flakskred og jordskred
0,6	1,67	Steinsprang, steinskred, små fjellskred
0,7	1,43	Bløkkutfall

Formel 6.2.3. Formel for å finne utløpslengden ved hjelp av høydedifferansen og H/L-forholdet.

$H/L=X$	<p>H = Høydedifferansen. Høyden fra utløpspunktet til bunnen av dalen</p>
$L=H/X$	<p>L = Horisontal lengde X = H/L-forholdet</p>

Utløpslengdene ble først markert på millimeterpapir slik at terrenget ble tatt i betraktning. Se figur 6.2.4. Videre ble resultatene satt inn i GIS ved hjelp av Euclidean Distance Tool. Resultatene er presentert med polygoner i GIS.



Figur 6.2.4: Profil over rekkevidden for snøskred og steinsprang, utviklet ved hjelp av beregninger av H/L-forhold. Profilet er fra lokalitet 4 (se lokalitetskart i figur 6.1), og viser hvordan terrenget spiller inn på den beregnede rekkevidden. Skredene ville nådd lenger dersom dalsiden fortsatte dypere eller flatet ut mot øst.

6.3 Programvarer

6.3.1. ArcGIS

ArcGIS er et geografisk informasjonssystem hvor en blant annet kan kombinere innsamlet data med kart og benytte dette til å videreutvikle dataene slik en vil. Environmental Systems Research Institute, Esri, har utviklet programvaren. I denne oppgaven er programmet brukt til å lage oversiktskart og utarbeide faresonekart. Faresonekartene er utviklet ved hjelp av verktøyet "Euclidean distance" som er en del av Spatial Analyst tool. Euclidean distance beregner oppgitt avstand i luftlinje fra et valgt punkt eller område (Esri, 2015). I denne undersøkelsen ble Euclidean Distance tool brukt fra de ulike utløsningspunktene.

6.3.2. RocFall

RocFall er utviklet av Rocscience og er et av flere ulike programvarer de tilbyr. Dette er et 2D simuleringprogram for utløpslengden til steinsprang og er basert på statistiske målinger. Her lages det et profil over skredbanen og deretter er det mulig å tilegne ulike parametre som bergartstype, form, masse, mengde og hastighet til blokkene. Videre kan en bestemme hvilket underlag skråningen består av og hvor det er barrierer. Egenskapene til underlaget er basert på elastisiteten til bergarten (R_n) og friksjonsmotstanden (R_t). Programmet gir et estimert utslag på hvor langt steinspranget vil gå (Rocscience, 2016).

Utførelse

Endret på størrelsen på blokker, antall blokker og type underlag på samme lokalitet for å illustrere ulike scenarioer. Valgte å utføre simuleringer på lokalitet 2, 11, 14, 20 og 35. Se tabell 6.3.1 for oversikt over de ulike parameterne. Alle simuleringene ble fremstilt med kantede blokker. Har brukt to typer underlag, talus og jord. Talus vil ha $R_n=0,32$ og $R_t=0,82$. Jord vil ha $R_n=0,3$ og $R_t=0,8$. Det var planlagt å simulere videre med å legge til ulike hastigheter til de utvalgte parametrene, men prosjektet måtte avbrytes da det ble knapt med tid.

Tabell 6.3.1: Oversikt over de like parameterne valgt under simuleringen av steinsprang i RocFall.

Lokalitet	Blokkstørrelse (m). Tetthet: 2700 kg/m ³	Volum på steinsprang (m ³)	Antall blokker	Underlag
2	3x3x4	36	1	Talus og jord
		12 500	347	Talus og jord
		100 000	2778	Talus og jord
	0,5x0,5x0,5	36	288	Talus og jord
		12 500	100 000	Talus og jord
11	6x3x3	54	1	1. Jord 2. Talus
	1,5x1,5x1,5	100 000	29 629	1. Jord 2. Talus
14	1x1x1	10 000	10 000	Talus og jord
20	3x2x1,5	10 000	1111	Talus og jord
35	5x7x5	350	2	Jord

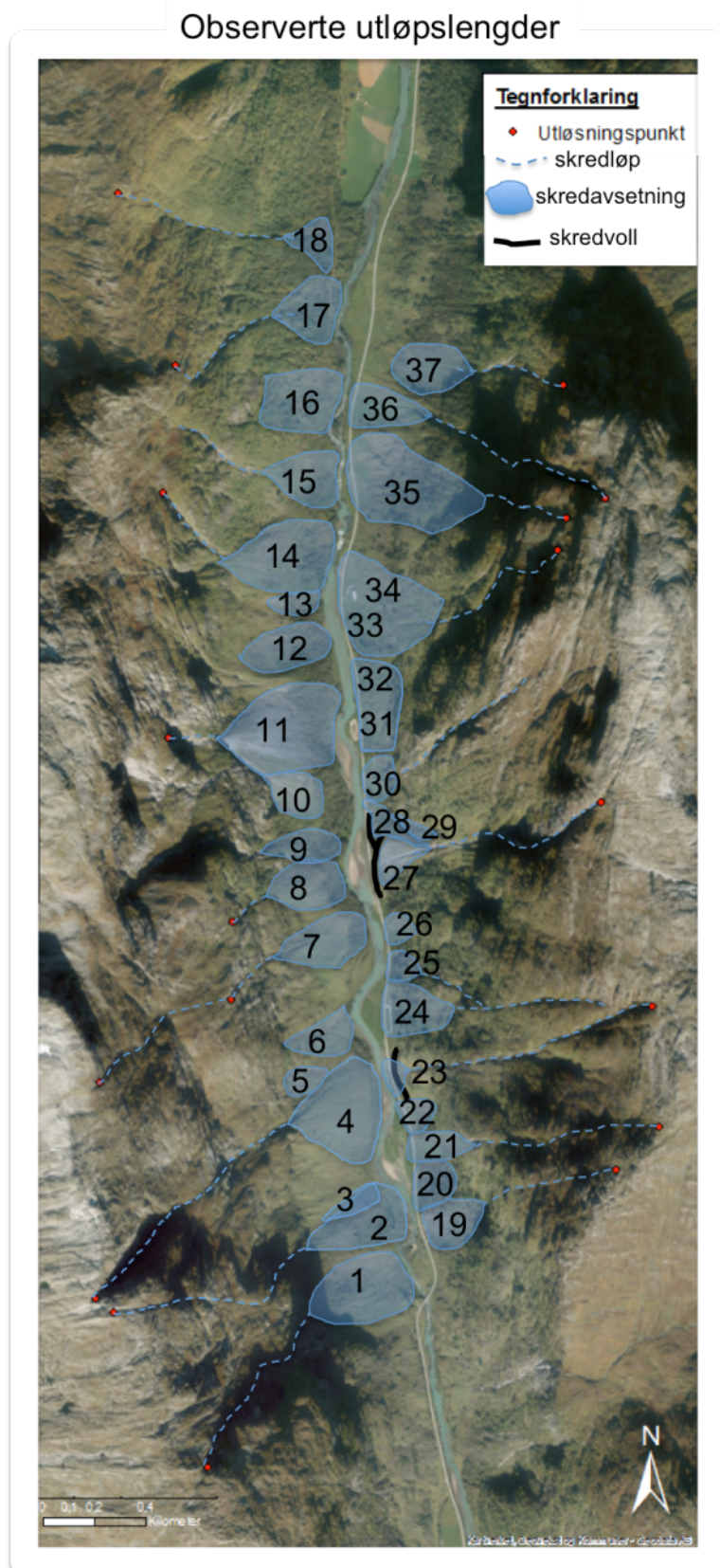
7. Resultater

Resultatene blir presentert med lokalitetsnavn, og det rådes derfor til å ha lokalitetskartet, figur 7.1.1, tilgjengelig. Det blir først en gjennomgang av de ulike lokalitetene det ble fokusert på under feltarbeidet. Deretter presenteres resultatene fra lichenometriske målinger og schmidthammermålinger. Videre blir beregnede rekkevidder illustrert fra henholdsvis alfa-beta metoden, beregning ved hjelp av H/L-forhold og RocFall. Til slutt blir det en kort oppsummering over resultater som skiller seg ut i dateringsmetodene. Det blir også en oversikt over rekkevidden for potensielle skred ved utvalgte lokaliteter. Dette er lokaliteter hvor alle metodene for å beregne rekkevidde er brukt.

7.1. Feltobservasjoner

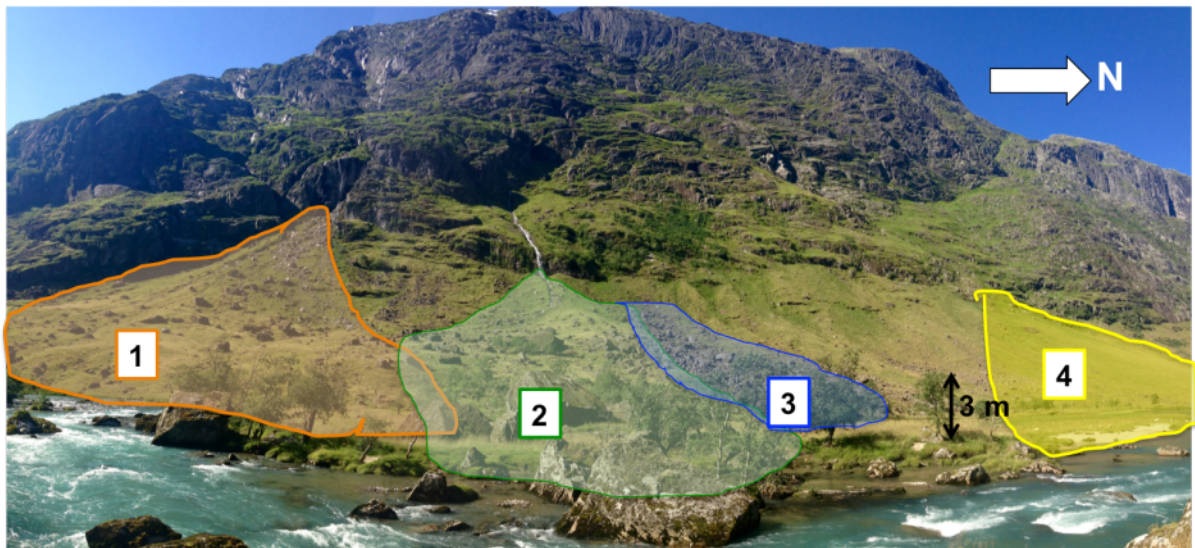
Feltarbeidet ble utført i to omganger, én uke i mai og halvannen uke i september. Kjersti Norland Vistnes har utført detaljert feltkartlegging og laget et kvartærgeologisk kart over området. I denne oppgaven er det derfor en kortere oppsummering av de ulike lokalitetene, med fokus på observerte utløpslengder. Her er henholdsvis lokalitet 10 og 11, samt 19 og 20, ulike lokaliteter, men i Kjersti N. Vistnes sin feltkartlegging er disse slått sammen. Dette gjør at lokalitetsnavnene blir annerledes i disse to masteroppgavene.

I undersøkelsesområdene er det tett med gjel og skredvifter. Bergarten i området er oppsprukket og det er mulige utløsningsområder langs hele dalen. Figur 7.1.1 illustrerer lokalitetene og observerte utløpslengder. Majoriteten av de utvalgte utløsningsområdene er i toppen av gjel og skar.



Figur 7.1.1: Oversikt over observerte utløpslengder ved hver lokalitet i Votedalen. De stiplede linjene er foreslåtte skredløp, og de blå markeringene er skredavsetninger. Utløsningspunktene det er gjort beregninger fra er markert med rød prikk. Nærmere beskrivelse av rekkevidden ved de ulike lokalitetene er beskrevet i teksten.

Lokalitet 1 ligger like nedenfor et stort gjel. Her ligger det blokker ned til elven, og spor av snøskred lenger oppe i skråningen. Det ligger en mengde nye blokker over snømasser her. Lokalitet 2 ligger nedenfor et mindre gjel, og her er det også blokker ned til elven. Lokalitet 3 ligger like til høyre for lokalitet 2, og er mest sannsynlig skredavsetninger fra dalsiden over. Disse rekker også ned til elven. Lokalitet 4 er en stor snøskredvifte nedenfor et stort gjel. Dette er et gjel med mye aktivitet, og skredavsetningene når ut i elven og til E39. Se figur 7.1.2 for oversikt over lokalitet 1, 2, 3 og 4.



Figur 7.1.2: Panoramabilde over lokalitet 1, 2, 3 og 4. De markerte områdene viser hvor skredavsetningene ligger. Det er tydelig eksfoliasjon og oppsprekking langs hele dalsiden.

Lokalitet 5 består av skredavsetninger som mest sannsynlig har veltet ut fra nedre del av dalsiden. Det er tydelig oppsprekking i fjellet, se figur 7.1.3.



Figur 7.1.3: Blokkutfall fra lokalitet 5. Potensielt utløsningsområde er markert med hvitt.

Ved lokalitet 6 er det flere levere fra grov massestrøm som når ut til elven. Lokalitet 7 og 8 er to vifter nedenfor et smalt skar. Skredavsetningene når ut til elven, men er dekket av skog langs elvebredden på høyre del av lokalitet 7 og langs hele lokalitet 8. Tydelig at dette fortsatt er aktive snøskredvifter da de ellers er dekket av gress. Lokalitet 9 er en rotete samling av skredavsetninger som når ut til elven. Her er det også skog langs elvebredden.

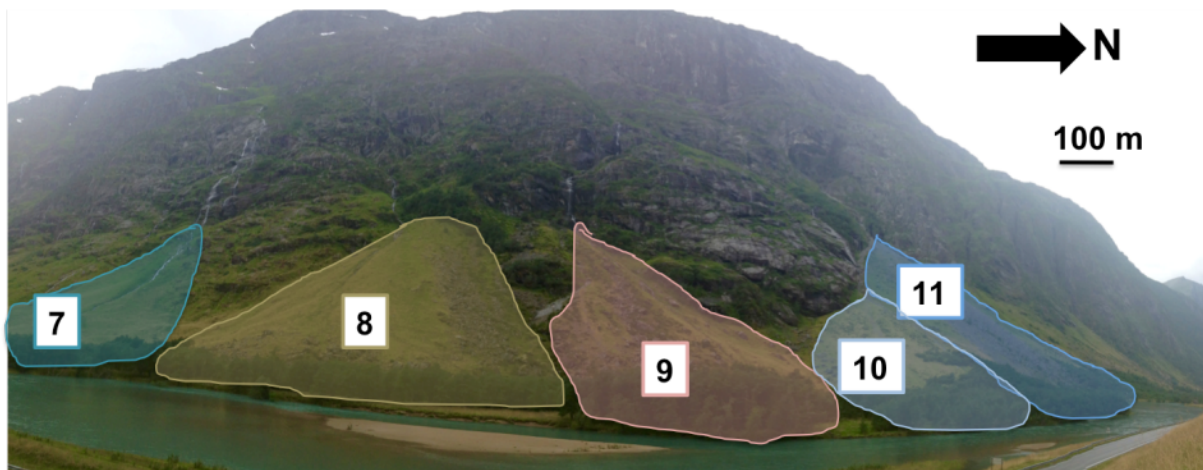


Figur 7.1.4: Steinsprangviften ved lokalitet 11 og et 100 m høyt skredarr. Utløsningsområdet er innlysende og ligger like over viften. Det er betydelig eksfoliasjon i og rundt skredarrret.

Lokalitet 10 og 11 ligger tett sammen, hvor lokalitet 11 er en stor steinsprangvifte nord for en mindre vifte. Det er et tydelig skredarr i form av et 100 m høyt hull i dalsiden like over steinsprangviften, se figur 7.1.4. Eksfoliasjonen som generelt preger begge dalsidene er godt vist rundt skredarrret. Utløsningsområdet for lokalitet 10 ser ut til å være fra hyllen over skredarrret ved lokalitet 11. Det er fortsatt aktive vifter, hvor 10 ser ut til å være dominert av snøskred. Skredavsetningene ved lokalitet 10 når ikke ut til elven, men det gjør de ved lokalitet 11. Her er det også trær langs elvebredden, bortsett fra foran midtre del av steinsprangviften. Det ligger en stor blokk i elven foran lokalitet 11, se figur 7.1.5. Se figur 7.1.6 for oversikt over rekkevidden til skredavsetningene ved lokalitet 7, 8, 9, 10 og 11.



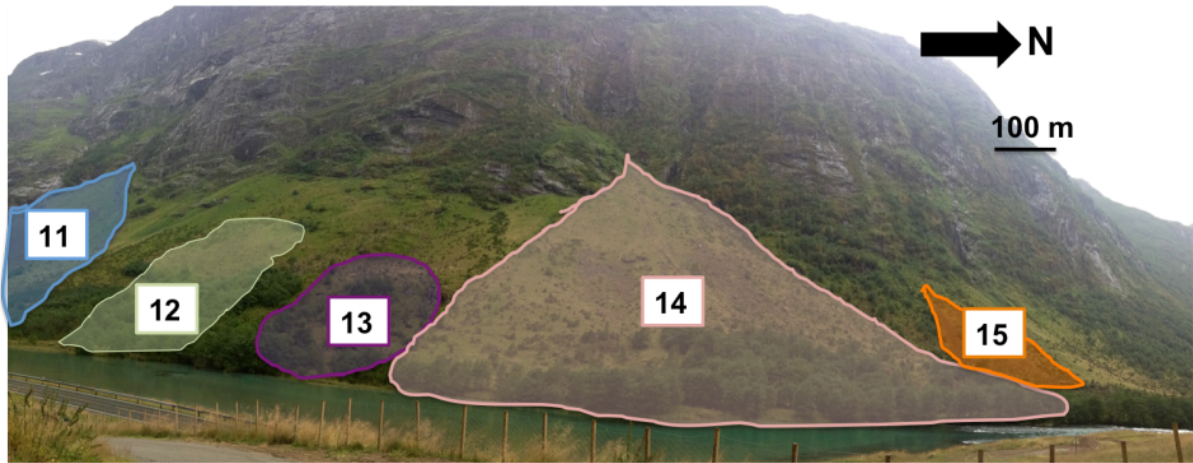
Figur 7.1.5: Stor blokk som ligger ute i Votedalselva foran lokalitet 11.



Figur 7.1.6: Oversiktsbilde over skredavsetningene ved lokalitet 7, 8, 9, 10 og 11.

Ved lokalitet 12 er det avsetninger fra snøskred og steinsprang ut til elven, men det er i mindre mengder. Det er et skredarr like over som mulig er utløsningsområdet til steinsprangavsetningene. Lokalitet 13 ligger nede ved elven og består av snøskredavsetninger. Dette kan komme fra hyllen i dalsiden over hvor det er sannsynlig at det blir ansamlinger av snø. Lokalitet 14 er en vifte som får snø og blokker fra flere utløsningsområder. Her er det skredmateriale ut til elven og trær langs elvebredden. Det ser ut til at snøskredene som går her stopper nærmere dalsiden. I denne undersøkelsen er det tatt utgangspunkt i at utløsningspunktet er i toppen av gjelet nord for viften ettersom det ble observert sørpeskred

herfra. Ved lokalitet 15 er det en vifte av skredmaser som ser ut til å stoppe ca 70 m før elven. Skredløpet ser ut til å være i gjelet nord for skredmassene, og det er sannsynligvis snøskred som dominerer. Noe skredmateriale har nådd ut til elven. Se figur 7.1.7 for oversikt over rekkevidden til skredavsetningene ved lokalitet 11, 12, 13, 14 og 15.



Figur 7.1.7: Oversikt over rekkevidden til skredavsetningene ved lokalitet 11, 12, 13, 14, og 15. Det er tydelig eksfoliasjon langs hele dalsiden. Utløsningsområde til steinsprang ved lokalitet 12 ser ut til å ligge like over lokaliteten.

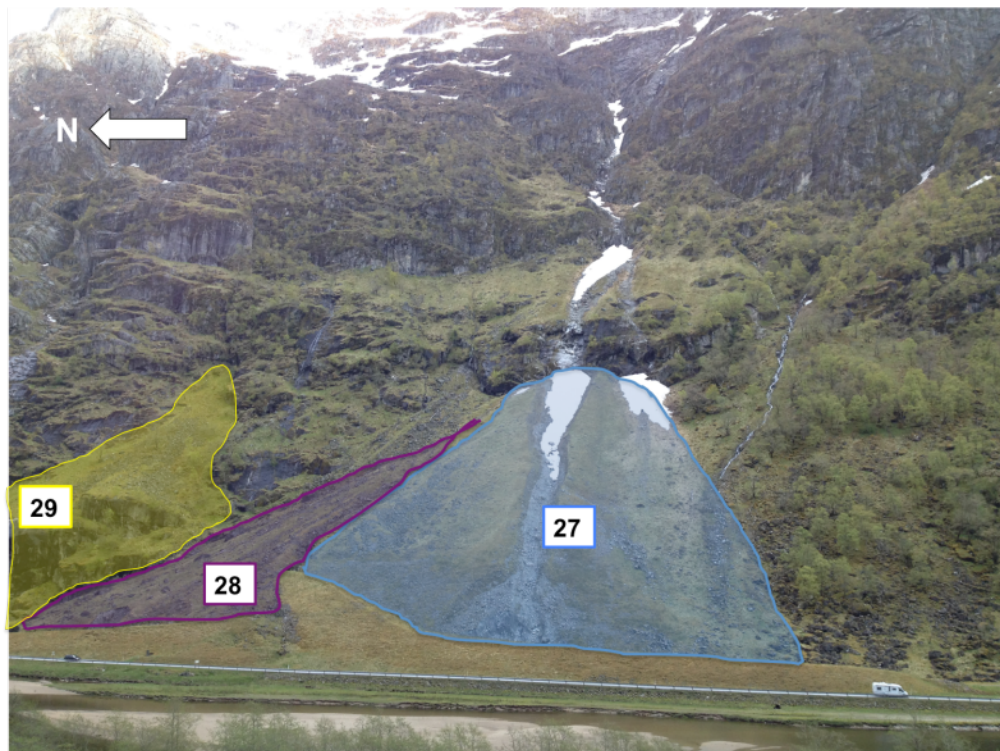
Ved lokalitet 16 er det skredavsetninger ut i Votedalselva og trær langs elvebredden. Dette kan være fra både steinsprang og snøskred. Lokalitet 17 og 18 ligger i tett skog, med en liten vei som ligger mellom 30 m og 100 m fra Votedalselva. Det ligger skredmasser ned til veien som er bygget. Utløsningsområdet til skredmassene ved lokalitet 17 er mest sannsynlig gjelet mot sør. Skredmassene fra lokalitet 18 ser ut til å komme fra dalsiden like over.

De to sørligste lokalitetene på den østlige dalsiden er lokalitet 19 og 20. Her er det flere store blokker, og skredmassene går ut i elven. Det ser ut til å komme fra flere steder i den bratte dalsiden over. Lokalitet 21 ligger nedenfor et lite gjel hvor det går både steinsprang og snøskred. Skredmassene rekker over E39. Lokalitet 22 har sporadiske utløsningspunkt i dalsiden over, og det ser ut til at både steinsprang og snøskred går over E39. Lokalitet 23 ligger nedenfor et stort gjel hvor det ofte går snøskred. Dette blir kalt Hestefonna. Her er det bygget en skredvoll som er 5 m høy på det høyeste og 190 m lang. Til tross for skredvollen har steiner og mindre blokker nådd andre siden av E39, se figur 7.1.8.



Figur 7.1.8: Bildet til venstre viser blokker og mindre steiner som ligger på toppen av skredvollen. E39 strekker seg nede venstre for skredvollen, og til høyre kan en se større skredmasser som ligger samlet bak vollen. Bildet til høyre viser skredvollen til venstre, E39 og her pekes det på blokken som er falt over veien og autovernet.

Lokalitet 24, 25 og 26 ligger tett til dalsiden, men skredmassene strekker seg også over E39 da veien ligger inntil dalsiden. Lokalitet 27 er en jordskredvifte som ligger nedenfor et stort gjel hvor det aktivt går snøskred, og her blir det kalt Bredestølsfonna. Her er det en skredvoll som er 6 høy og 230 m lang. Lokalitet 28 ligger like nord for lokalitet 27 og ser ut til å være skredlevere fra grove massestrømmer. Disse leveene går ut til E39. Lokalitet 29 er en lokalitet preget av steinsprang. Se figur 7.1.9. for oversikt over lokalitet 27, 28 og 29.



Figur 7.1.9: Oversikt over lokalitet 27, 28 og 29. Skredvollen beskytter mot skred fra både lokalitet 27 og 28.

Lokalitet 30 ligger tett til dalsiden og er preget av både steinsprang og snøskred. Avsetningene fra snøskred når ut til E39, og steinspranget stopper litt før. Lokalitet 31 og 32

ligger også tett til den bratte dalsiden og disse er dominert av steinsprang. Her går skredavsetningene ut til E39. Ved lokalitet 33 ligger det skredavsetninger fra steinsprang ut til Votedalselva. Lokalitet 34 som ligger bak geitefjøset er preget av både snøskred og steinsprang. Her er det grøft og skredvoll som beskytter geitefjøset. Steinsprang kan nå ut til E39 og mulig ned til elven. Ved lokalitet 35 ser det ut til å være skredavsetninger fra grove massestrømmer, steinsprang og snøskred. Grove massestrømmer og steinsprang har rukket ut til E39. Snøskred ser ut til å stoppe tidligere i skråningen. Ved lokalitet 36 er det gått både snøskred og steinsprang som har nådd ut til elven. Det ser også ut til å ha gått massestrømmer som har stoppet før E39. Det står et skur langs veien ved lokalitet 36, som er bygget like foran en stor blokk, se figur 7.1.10. Ved lokalitet 37 er det gått snøskred som har avsatt materiale mellom E39 og Votedalselva.



Figur 7.1.10: Dette skuret ved lokalitet 36 er bygget like foran en stor skredblokk. Dette er et tiltak for å sikre at skuret ikke skal bli skadet av fallende blokker.

Langs hele dalstrekningen ligger det svært store blokker i Votedalselva. Det er også skredskadd vegetasjon, i form av knekte trær, langs hele dalen. Under feltarbeidet ble det utløst flere snøskred og sørpeskred. Da vi var i felt gikk de største snø- og sørpeskredene ved lokalitet 1, 4, 14 og 21. Det er også observert nyere skredblokker ved lokalitet 1, 3, 4, 8, 9, 11, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 30, 32, 35 og 37. Disse blokkene er betraktelig lysere enn de eldre skredmassene, mer kantet og ligger løst i uren eller gresset. Noen ligger fortsatt over snøen, se figur 7.1.11 fra lokalitet 1. Det er samtidig ingen tegn til lav eller annen vegetasjon på disse blokkene.



Figur 7.1.11: Snøskredavsetninger fra lokalitet 1.

Ved Bergheim er det et hus som er bygget like foran store mengder med skredmateriale, se figur 7.1.12. Det er tett skog og annen vegetasjon ved denne lokaliteten, og skoggrensen er like over halvveis opp mot toppen av Bergheim, se figur 7.1.13. Det er fortsatt trær som gror over skoggrensen, men her er det vanskeligere vokseforhold på grunn av den bratte fjellsiden og det eksfolierte fjellet. Fjellet er tydelig oppsprukket og eksfoliert. I toppen av fjellsiden er det et juv på omtrent 150 m høyde og 200 m bredde, se markert område i figur 7.1.13. Størrelsen på juvet tilsier at det har rast store mengder fjell ut, og det er usikkert om disse avsetningene er fra steinsprang eller fjellskred. Blokkene bak huset er kantet til kantrundet og varierer i størrelse fra 0,1x0,2x0,3 m til 4x3x3 m. De er dekket av et tykt lag med mose.



Figur 7.1.12: Det øverste bildet viser huset til Elin Bergheim og skredmassene som ligger like bak er markert med blått. Det nederste bildet viser skredmaterialet fra nærmere hold. Det er god blanding av store og mindre blokker.



Figur 7.1.13: Sikt opp mot fjelltoppen ved Bergheim. Det er et stort juv i toppen, markert med blått. Den røde prikken viser hvor det er blitt beregnet utløpslengder fra. I bunnen av bildet vises deler av skredmassene som er blitt datert.

I løpet av de to ukene med feltarbeid snakket vi med flere lokale innbyggere, Eirik Klakegg, Vidar Sandal, Kjell Hjelle og Elin Bergheim. De fortalte oss om tidligere hendelser de hadde opplevd eller blitt fortalt. Vi ble også vist gjel med mye aktivitet og hvor det hadde gått store skred.

Eirik Klakegg er bonde og har brukt veien gjennom Votedalen i nesten 60 år. Han fortalte at østavind transporterer snø fra Jostedalsbreen som samles til store skavler i den østlige dalsiden. Videre bekreftet han at det hender blokker rekker over den første skredvollen. Slitteskredfonna og Bredestølsfonna, henholdsvis lokalitet 4 og 7, er aktive gjel som har skred som går ut til veien. Det hendte at disse snøskredavsetningene slo seg sammen. Ved Bredestølsfonna er det ikke uvanlig med fonnvind, en trykkbølge som her kan velte større kjøretøy. Dette skjedde i mars 2010 da en buss ble presset av veien grunnet sterk fonnvind. Det er størst snøskredaktivitet når mildværet kommer og det regner i høyden. Klakegg fortalte at de nye blokkene ved lokalitet 1 kom med snøskred våren 2015, og at ved lokalitet 21 falt det i 2015 en liten blokk fra 1000 m høyde ut på E39.

Sandal er geitebonde og eier de to geitefjøsene på østsiden av Votedalen. Han fortalte at de har bygget skredvoll bak det ene geitefjøset som beskytter mot både steinsprang og snøskred. Det er sjeldent snøskredene rekker ut til skredvollen, men det hender det kommer

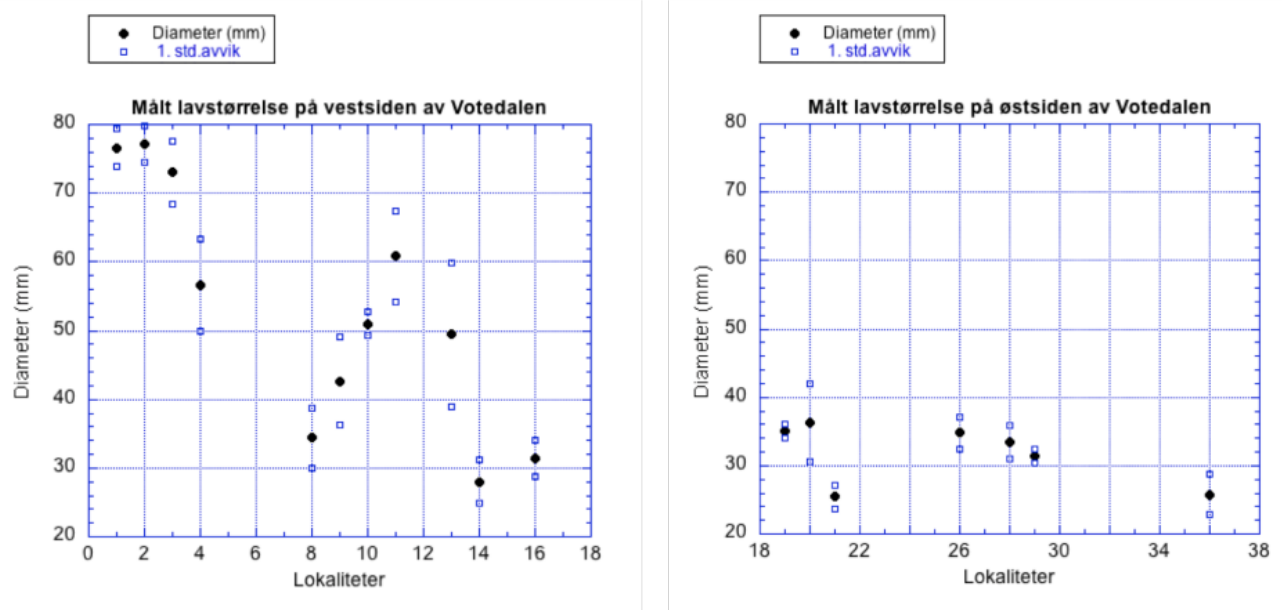
steinsprangblokker. Veggen på baksiden av geitefjøset er dekket med metallplater og festet med barduner på langsiden. Dette er for å beskytte mot fonnvind og sterk storm. Han forteller at i 2013 falt en stor blokk ut på E39 og rev med seg autovernet ved geitefjøset. Dette var en kald vinter med mye tele i bakken. Samme tidsperiode gikk det et stort snøskred fra vestsiden av dalen, ved lokalitet 4. Dette medførte sterk fonnvind som flyttet autovernet.

Klakegg og Sandal fortalte at det med jevne mellomrom løsner blokker ved lokalitet 11, den store steinsprangviften på vestsiden av dalen. De sa også at det må fjernes skredmateriale fra bak skredvullen ved Hestefonna, lokalitet 23, minst en gang i året for at den ikke skal miste kapasiteten sin. Det ligger en steinur oppe i dalsiden over Hestefonna, hvor halvparten raste ned høsten 2013 etter lengre periode med mye nedbør. Flere forventer at resten av uren også vil rase.

Elin Bergheim bor i huset som er bygget like bak skredavsetningene ved Bergheim. Hun fortalte at det går små steinsprang ned i juvet med jevne mellomrom. I 1968 ble elven som renner ned fjellsiden, 150 m sør for huset, demmet opp. Oppdemningen raste omsider ut og blokker rakk helt ned til vannet. Kjell Hjelle bor tvers over Bergheim, ved den vestlige dalsiden. Han fortalte at det går steinsprang omtrent hvert andre år. Begge skildret mindre snøskred som faller, men som stopper tidlig i skråningen. Det går større snøskred i gjelet nord for juvet og langs sørsiden av fjellet. Hjelle fortalte at for 40 år siden lå tregrensen mye lavere enn den gjør i dag. Da var halve fjellsiden dekket av tynt gressdekke. Han sa også at skogsveien på den vestlige dalsiden ikke har blitt berørt av skred på lenge. Her går det gjerne mindre snøskred fra gjelene, men disse rekker ikke ut til veien.

7.2. Lichenometriske resultater

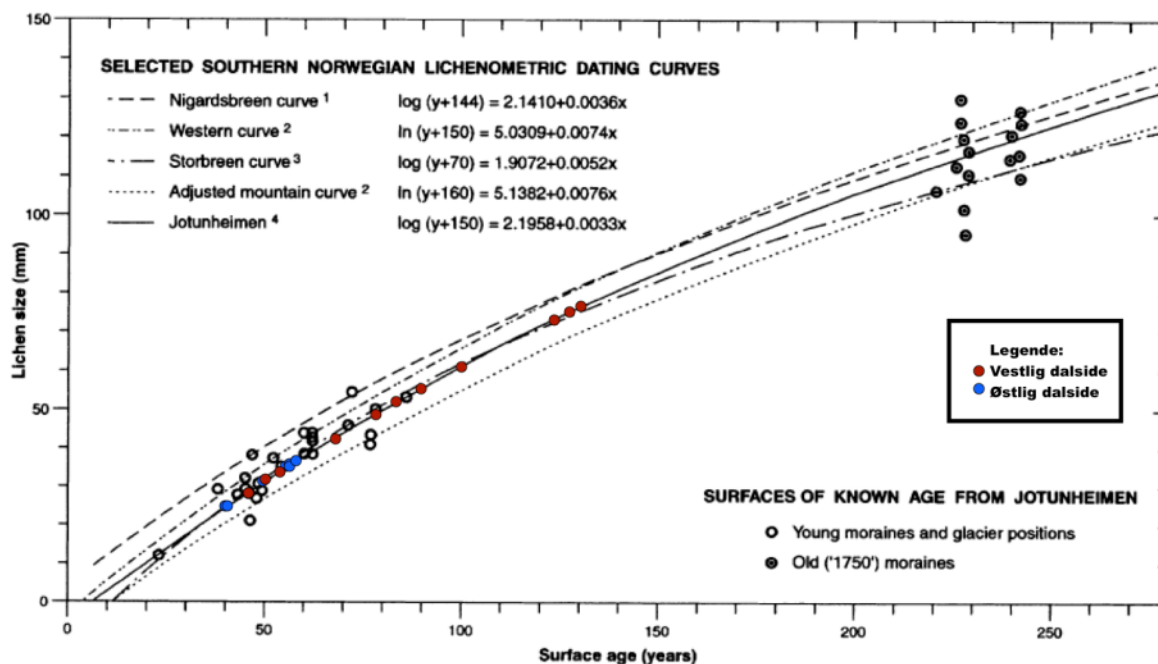
Statistiske verdier fra de lichenometriske målingene er presentert i tabell B.1. i vedlegg B. Figur 7.2.1 illustrerer resultatene fra de lichenometriske målingene som er utført i Votedalen. I figur 7.2.2 er de lichenometriske resultatene plottet mot grafen som er utarbeidet av Matthews (2005).



Figur 7.2.1: Diameteren på de fem største lavene som er målt på hver lokalitet på i Votedalen. Figuren til venstre viser målingene fra vestsiden av Votedalen og figuren til høyre viser fra østsiden. De svarte prikkene er gjennomsnittsverdien til de fem største lavene, de blå firkantene viser ett standardavvik. Diameteren vises på y-aksen, lokalitet vises på x-aksen.

Figur 7.2.1 viser en oversikt over diameteren til de fem første lavene ved hver lokalitet. De lichenometriske målingene viser tydelig at de fleste skredmassene på den vestlige dalsiden er eldre enn på den østlige. De tre sørligste lokalitetene på vestsiden er de eldste. Lokalitet 4, 9, 10, 11 og 13 er også forholdsvis gamle sammenlignet med den østlige dalsiden. Standardavvikene er mye større på målingene fra vestsiden i forhold til målingene på østsiden. Dette gjelder spesielt lokalitet 4, 11, og 13.

Ved å plote resultatene mot vekstkurven i figur 7.2.2, kan en estimere alder på de ulike skredmassene. De tre sørligste skredmassene på vestsiden er ifølge lichenometrisk datering de eldste med en alder fra 120-130 år. Resultatene fra den vestlige dalsiden er mer spredd enn på østsiden, og alderen varierer fra 45 til 130 år. Resultatene fra den østlige dalsiden tilsier at alle skredmassene som ble målt er mellom 30 og 60 år gamle.

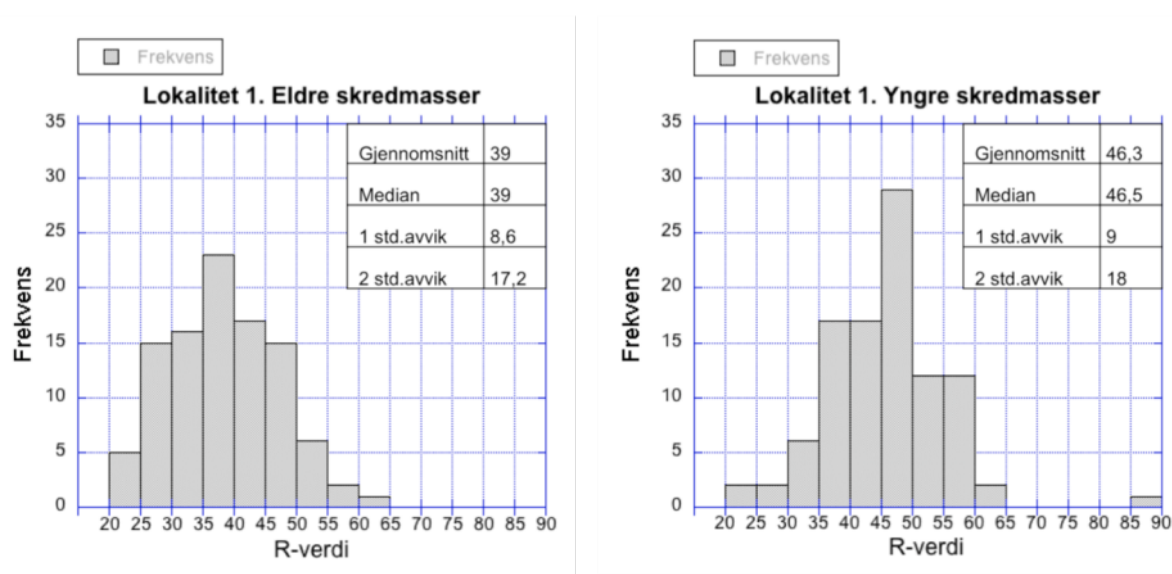


Figur 7.2.2: Vekstkurver for lav i Sør-Norge (Matthews, 2005). Resultatene fra Votedalen er plottet mot vekstkurven til Matthews (2005) fra Jotunheimen for å aldersbestemme skredmassene. De røde prikkene illustrerer resultatene fra vestlig side av dalen, og de blå den østlige siden.

De lichenometriske målingene fra **Bergheim** viser at gjennomsnittlig diameter på de fem største eksemplarene av lav er 30 mm. Her er det ett standardavvik på 4,7. Satt opp mot vekstkurven til Matthews (2005) vil det gi en estimert alder på 50 år.

7.3. Schmidthammermålinger

Histogrammene presentert i resultater viser frekvensen av de ulike R-verdiene som er målt. Her vil hver søyle representere et intervall på fem R-verdier, 21-25, 26-30 osv. Frekvensen viser om det er enkelte verdier som dominerer eller resultatene er spredt utover. For å få en mer detaljert oversikt over R-verdiene, er det også presentert gjennomsnittsverdien, medianen og ett og to standardavvik. Gjennomsnittet vil gi inntrykk av hvilken verdi som dominerer, og kan benyttes til å aldersbestemme skredmassene. Disse blir her brukt for å vise relativt aldersforhold mellom de ulike skredmassene, da bestemt alder på skredmassene ikke er blitt prioritert i denne oppgaven. Medianen kan avsløre dersom det er noen verdier som drar gjennomsnittsverdien opp eller ned. Standardavviket vil gi inntrykk av hvor spredte verdiene er, og er sammen med frekvensen den viktigste statistiske parameteren i denne undersøkelsen. Full oversikt over statistikken fra de ulike lokalitetene er å finne i tabell B.2. i vedlegg B.



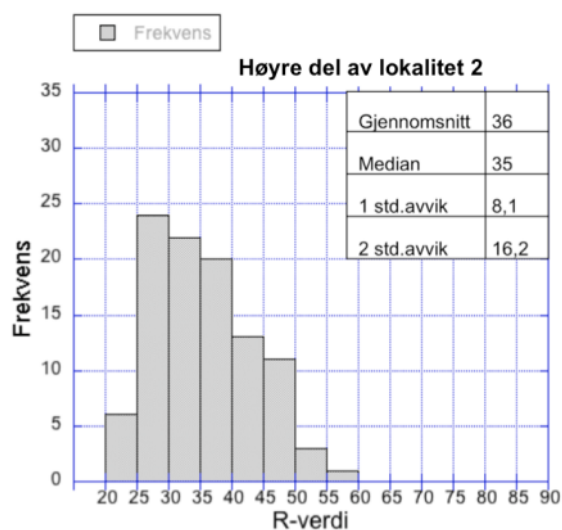
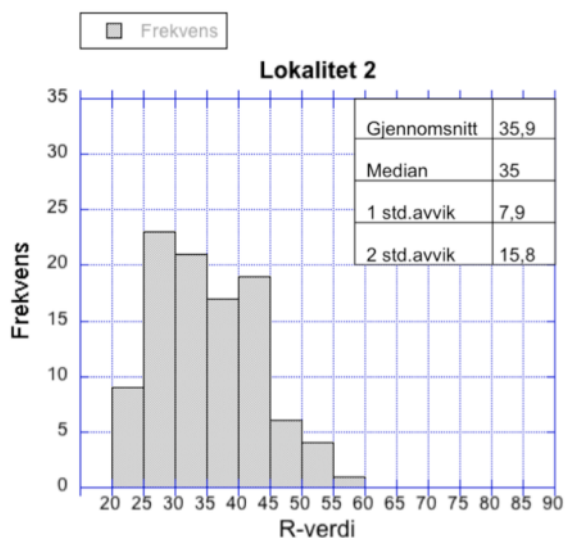
Figur 7.3.1: Histogrammer over målte R-verdier for lokalitet 1, fordelt på eldre skredmasser og yngre skredmasser. Gjennomsnittlig R-verdi, median og standardavvik er presentert i tabellen i høyre hjørne av histogrammet. X-aksen viser R-verdi og hver søyle representerer et intervall på fem R-verdier, 21-25, 26-30 osv. Y-aksen viser frekvensen, antall ganger de ulike R-verdiene er blitt målt.

Ved **lokalitet 1** er det tatt schmidthammermålinger på eldre skredavsetninger og på skredmassene som ble avsatt i 2015, se figur 7.3.1. Gjennomsnittsverdien bekrefter at de eldre skredavsetningene har ligget lengst. Det er liten forskjell i standardavvikene for de eldre og yngre skredmassene, men de yngre skredmassene har størst standardavvik. Ved å ta vekk de to laveste og den høyeste verdien blir resultatet noe annerledes, se tabell 7.3.1. Gjennomsnittet er likt, men standardavviket er betydelig redusert. Det er likevel et høyt

standardavvik. De eldre skredmassene har varierte R-verdier, og ligger hovedsakelig mellom 26 og 50. For de yngre skredmassene er det R-verdier mellom 46 og 50 som dominerer.

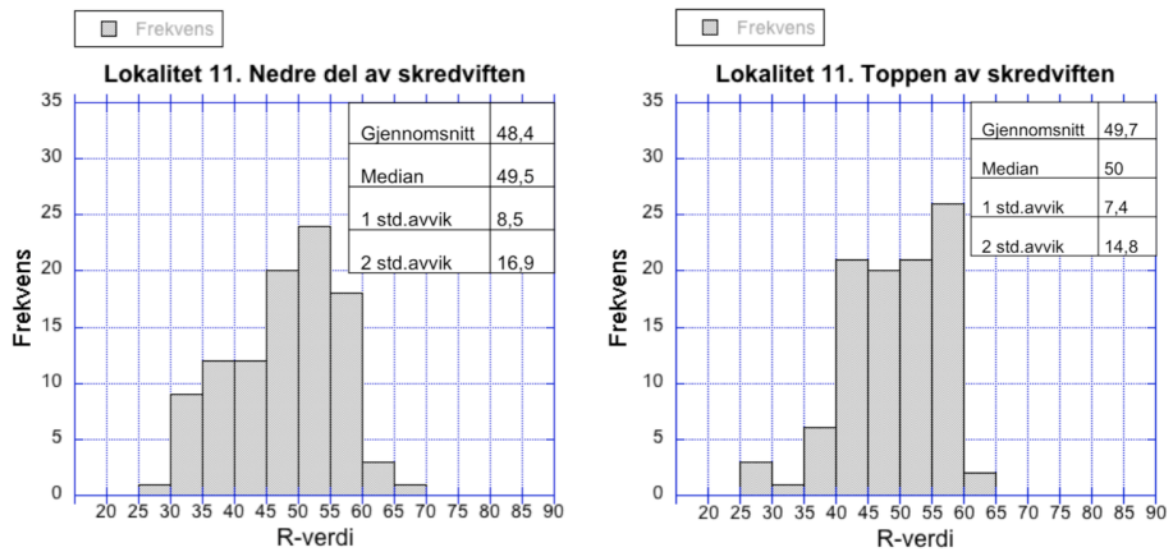
Tabell 7.3.1: Oversikt over gjennomsnittsverdien, medianen og standardavviket for R-verdien av de yngre skredmassene ved lokalitet 1 dersom den høyeste og de to laveste verdiene blir fjernet.

Lokalitet 1: Yngre skredmasser	
Tre verdier er tatt vekk, to mellom 21-25 og én mellom 86-90.	
Gjennomsnitt	46,3
Median	47
1. std.avvik	7,5
2.std.avvik	15



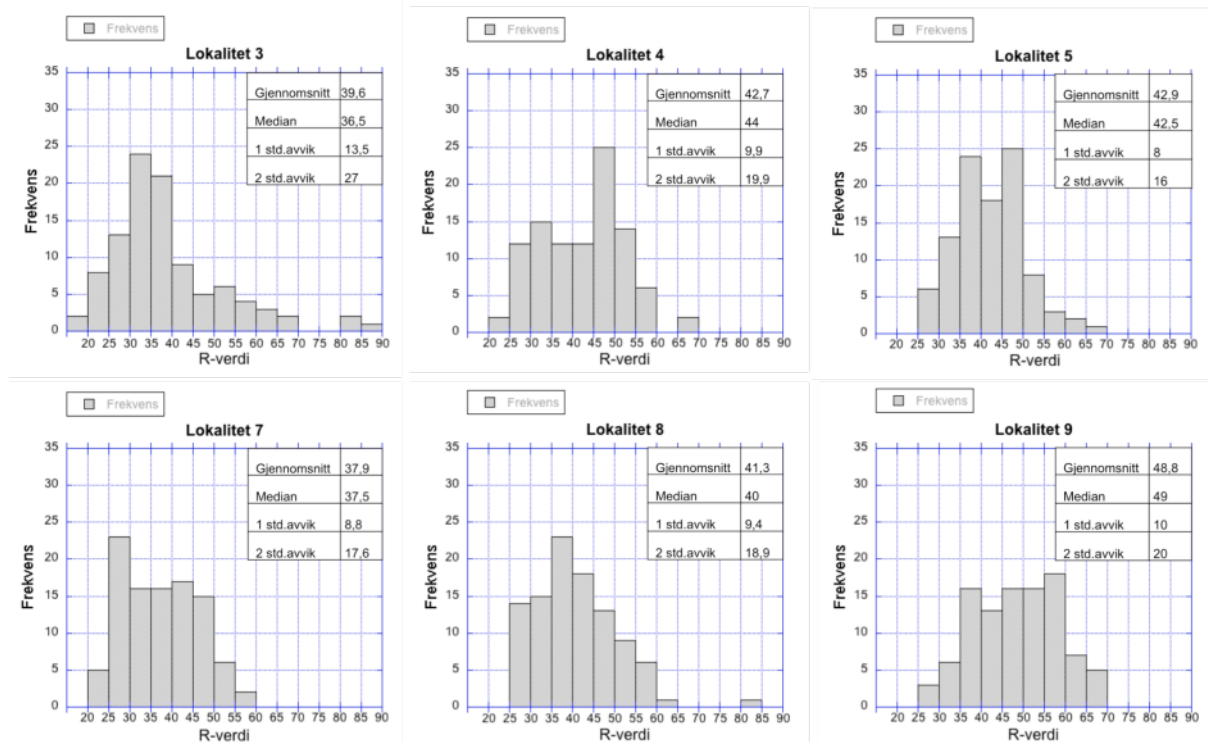
Figur 7.3.2: Histogrammer over målte R-verdier for lokalitet 2, fordelt på to ulike skredmasser. Gjennomsnittlig R-verdi, median og standardavvik er presentert i tabellen i høyre hjørne av histogrammet. X-aksen viser R-verdi og hver søyle representerer et intervall på fem R-verdier, 21-25, 26-30 osv. Y-aksen viser frekvensen, antall ganger de ulike R-verdiene er blitt målt.

Ved **lokalitet 2** ble det gjort målinger på to deler av skredavsetningene hvor det så ut til å være to ulike hendelser. R-verdiene fra begge stedene har liknende gjennomsnitt, median og standardavvik, se figur 7.3.2. Det er også spredte R-verdier på begge stedene, hvor 26 til 45 dominerer.



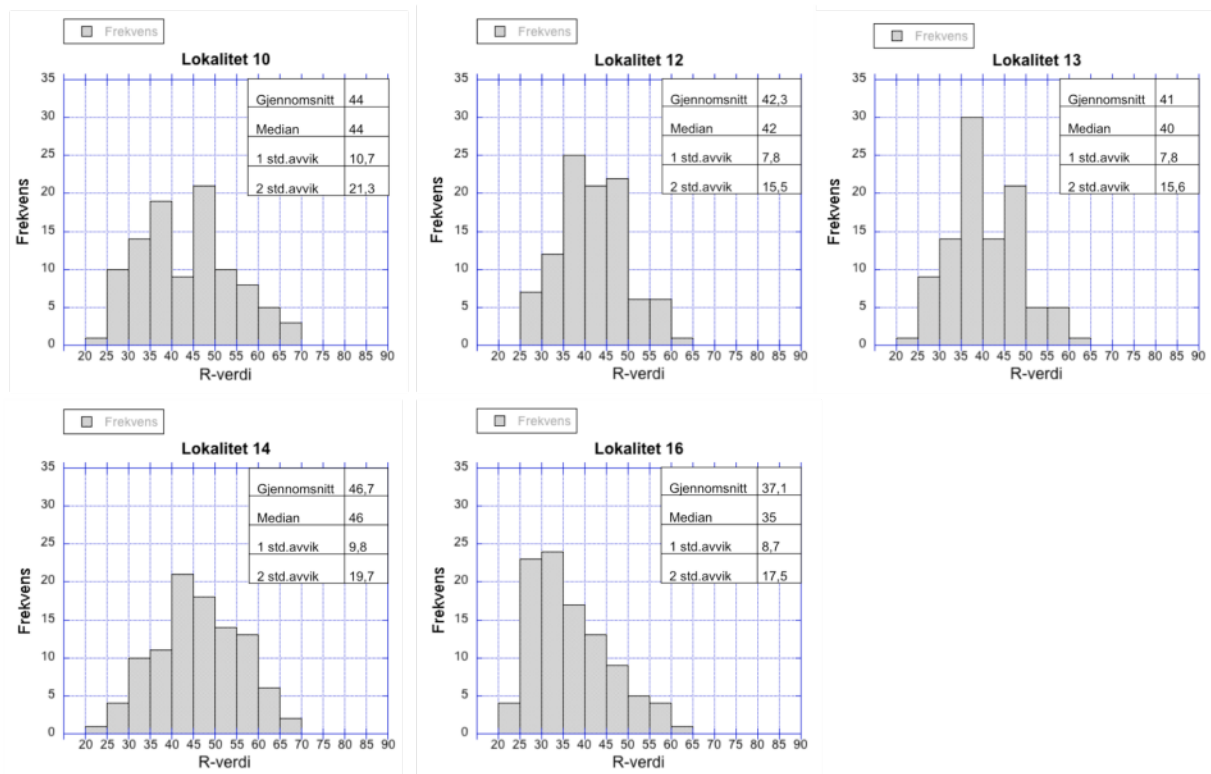
Figur 7.3.3: Histogrammer over målte R-verdier for lokalitet 11, fordelt på øvre og nedre del av viften. Gjennomsnittlig R-verdi, median og standardavvik er presentert i tabellen i høyre hjørne av histogrammet. X-aksen viser R-verdi og hver søyle representerer et intervall på fem R-verdier, 21-25, 26-30 osv. Y-aksen viser frekvensen, antall ganger de ulike R-verdiene er blitt målt.

Ved **lokalitet 11** er det blitt utført målinger i bunnen av skredviften og mot toppen, se figur 7.3.3. I bunn ligger gjennomsnittlig R-verdi på 48,4 og målingene har ett standardavvik på 8,5. Det er tydelig spredte verdier. I toppen av skredviften ligger gjennomsnittet på 49,7, litt høyere enn ved skredfoten. Standardavviket er 7,4, og det er tydelig at verdiene mellom 41 og 60 dominerer.



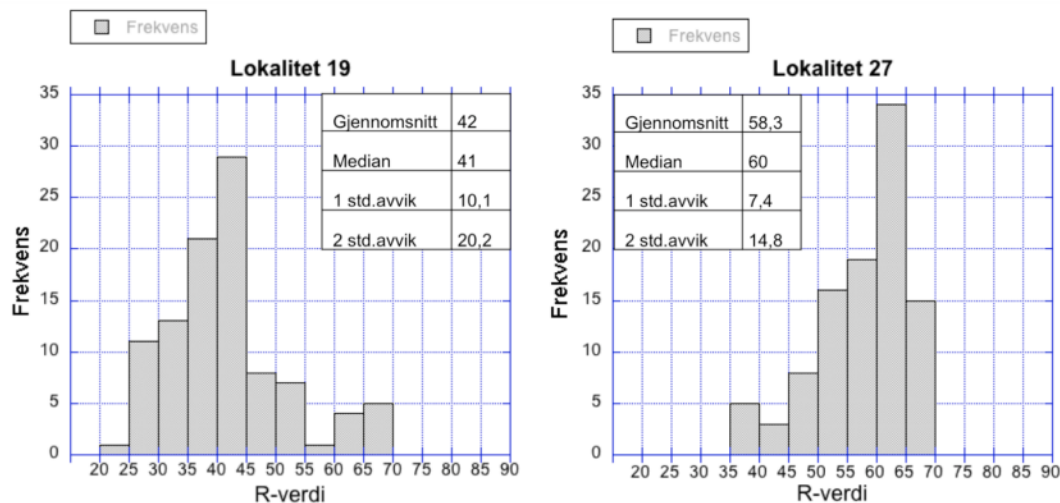
Figur 7.3.4: Histogrammer over målte R-verdier for lokalitet 3, 4, 5, 7, 8 og 9. Gjennomsnittlig R-verdi, median og standardavvik er presentert i tabellen i høyre hjørne av histogrammet. X-aksen viser R-verdi og hver søyle representerer et intervall på fem R-verdier, 21-25, 26-30 osv. Y-aksen viser frekvensen, antall ganger de ulike R-verdiene er blitt målt.

Felles for **lokalitet 3, 4, 5, 7, 8 og 9** er stor variasjon i R-verdiene, se figur 7.3.4. Ingen R-verdier er blitt målt flere enn 25 ganger. For **lokalitet 3** er det R-verdier mellom 31 og 40 som dominerer, og gjennomsnittsverdien er 39,6. Medianen på 36,5 tilsier at det er noen avvikende verdier, og blir bekreftet av tre målinger mellom 81 og 90. Videre er det generelt veldig spredte verdier gjennom hele spekteret, noe som standardavviket på 13,5 bekrefter. **Lokalitet 4** har en gjennomsnittsverdi på 42,7 og ett standardavvik på 9,9. Her er det også spredte verdier, men R-verdiene 46-50 dominerer. **Lokalitet 5** har gjennomsnittsverdi på 42,9 og ett standardavvik på 8, det laveste standardavviket blant disse lokalitetene. Det er likevel spredte verdier mellom 26 og 70. **Lokalitet 7** har gjennomsnittsverdi på 37,9 og ett standardavvik på 8,8. Her er det omtrent like mange målinger av intervallene 31-35, 36-40, 41-45, 45-50. Det er derimot intervallet 26-30 som dominerer med 23 målinger. For **lokalitet 8** er det intervallet mellom 36-40 som dominerer, men gjennomsnittsverdien er 41,3. Medianen på 40 tilsier noe avvikende verdier og blir bekreftet av én måling mellom 81-85. Det er ingen R-verdier som skiller seg ved **lokalitet 9**, men de fleste målingene ligger mellom 36 og 59. Gjennomsnittsverdien ligger på 48,8 og medianen på 49. Standardavviket er 10 og vitner dermed om spredte verdier.



Figur 7.3.5: Histogrammer over målte R-verdier for lokalitet 10, 12, 13, 14 og 16. Gjennomsnittlig R-verdi, median og standardavvik er presentert i tabellen i høyre hjørne av histogrammet. X-aksen viser R-verdi og hver søyle representerer et intervall på fem R-verdier, 21-25, 26-30 osv. Y-aksen viser frekvensen, antall ganger de ulike R-verdiene er blitt målt.

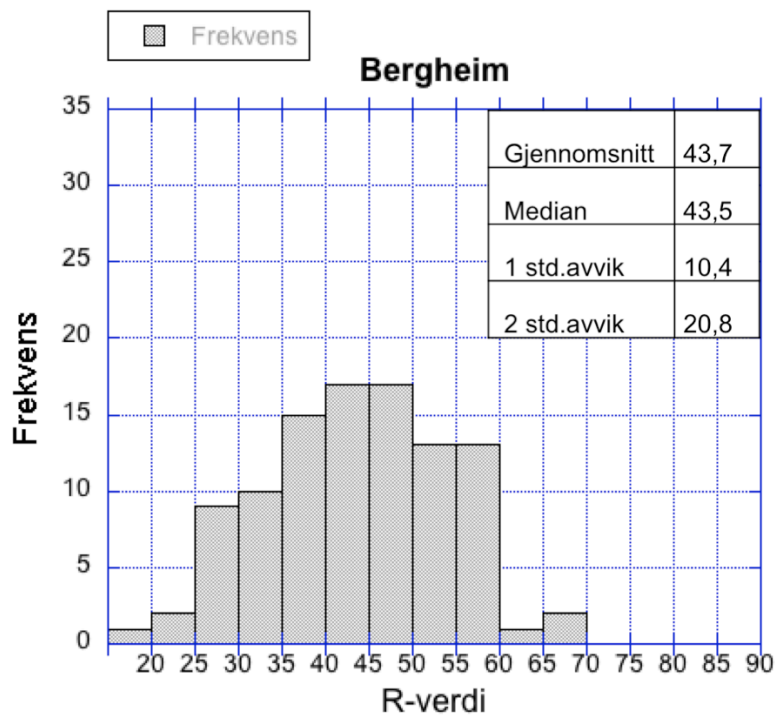
Figur 7.3.5 viser oversikt over målte R-verdier for **lokalitet 10, 12, 13, 14 og 16**. **Lokalitet 10** har en gjennomsnittsverdi på 44 og ett standardavvik på 10,7 som viser til stor spredning i verdiene. **Ved lokalitet 12** er gjennomsnittet 42,3 og standardavviket 7,8. Her er det intervallene 36-40, 41-45 og 46-50 som dominerer. **Lokalitet 13** har et gjennomsnitt på 41 og ett standardavvik på 7,8. Intervallet mellom 36-40 dominerer med 30 målinger. **Lokalitet 14** har et gjennomsnitt på 46,7 og ett standardavvik på 9,8. **Lokalitet 16** har gjennomsnitt på 37,1 og median på 35. Det er tydelig at det er noen få høye verdier som har dratt gjennomsnittet opp. Intervallet mellom 26 og 35 dominerer.



Figur 7.3.6: Histogrammer over målte R-verdier for lokalitet 19 og 27. Gjennomsnittlig R-verdi, median og standardavvik er presentert i tabellen i hjørnet av histogrammet. X-aksen viser R-verdi og hver søyle representerer et intervall på fem R-verdier, 21-25, 26-30 osv. Y-aksen viser frekvensen, antall ganger de ulike R-verdiene er blitt målt.

Figur 7.3.6 viser målte R-verdier på lokaliteter på den østlige dalsiden av Votedalen. **Lokaltet 19** er første lokaliteten på den østlige siden. Her er gjennomsnittet 42 og standardavviket 10,1. Ved **lokalitet 27** er det tatt målinger på blokker som antas å være relativt nye da skredavsetningene bak skredvullen blir fjernet etter hvert som de bygger seg opp. Intervallet mellom 61 og 65 dominerer R-verdiene, gjennomsnittet er 58,3 og medianen 60. Det er tydelig at noen avvikende verdier trekker gjennomsnittet ned, se intervallene 36-40, 41-45 og 46-50. Standardavviket på 7,4 tilsier derimot at målingene ikke er like spredte som ved de fleste andre lokalitetene.

Figur 7.3.7 viser målte R-verdier ved **Bergheim**. Her er gjennomsnittet 43,7 og standardavviket 10,4. Det er tydelig spredte verdier, og ingen som dominerer i undersøkelsen.



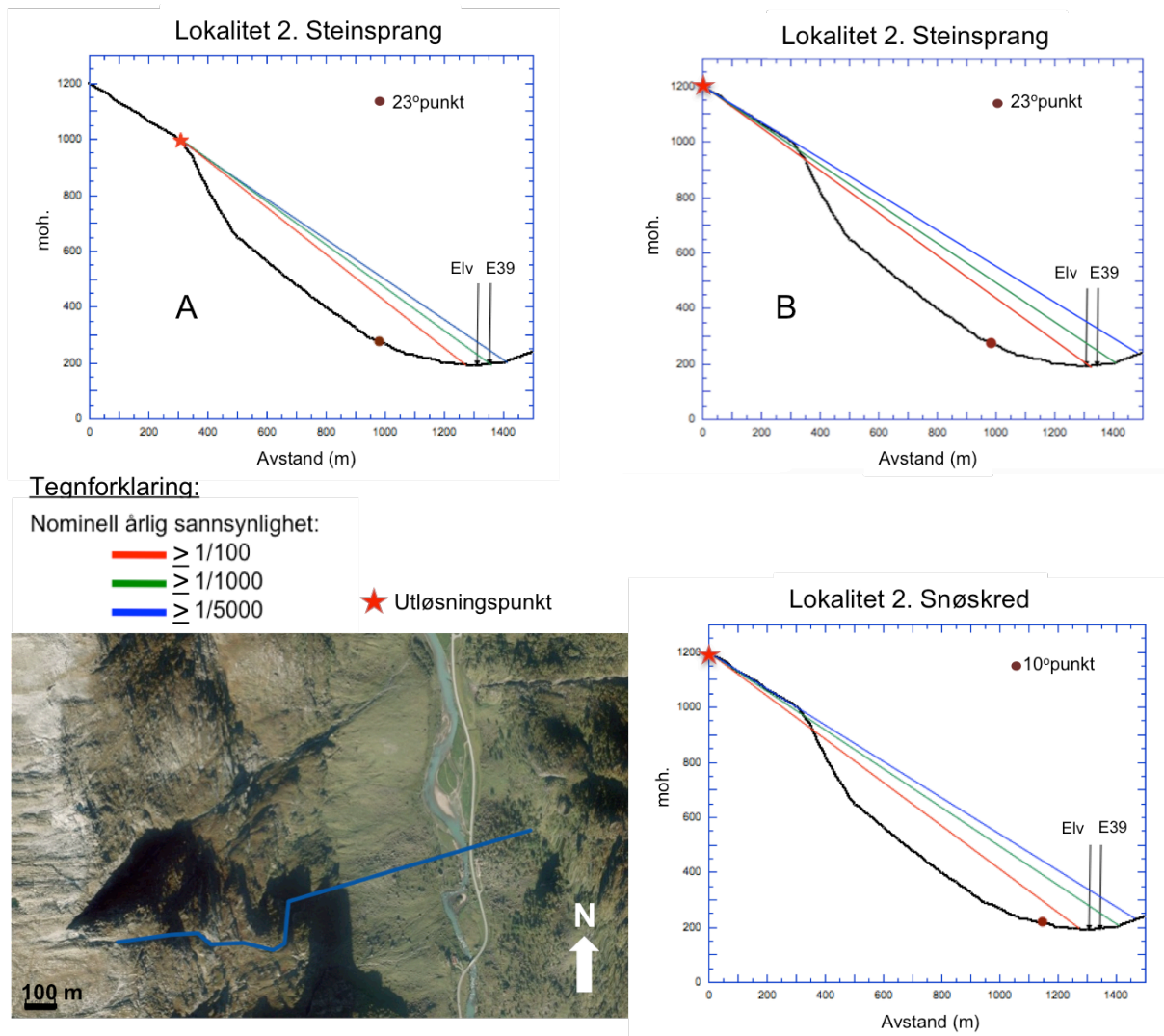
Figur 7.3.7: Histogrammer over målte R-verdier for skredavsetningene ved Bergheim. Gjennomsnittlig R-verdi, median og standardavvik er presentert i tabellen i høyre hjørne av histogrammet. X-aksen viser R-verdi og hver søyle representerer et intervall på fem R-verdier, 21-25, 26-30 osv. Y-aksen viser frekvensen, antall ganger de ulike R-verdiene er blitt målt.

7.4. Alfa-beta metoden

Gjennom lengdeprofiler av de ulike lokalitetene er det utviklet faresonekart for snøskred og steinsprang fra vestlig og østlig dalside. Det er først presentert utvalgte profiler som illustrerer rekkevidden for snøskred og steinsprang. Disse profilene er fra lokalitet 2, 11, 14, 20, 27, 35, 36 og Bergheim. Ved to lokaliteter er det beregnet rekkevidde for grov massestrøm, henholdsvis lokalitet 35 og 36. De resterende profilene er illustrert og beskrevet i vedlegg B.3. Faresonekartene utviklet ved hjelp av alfa-beta metoden blir presentert i delkapittel 7.7.

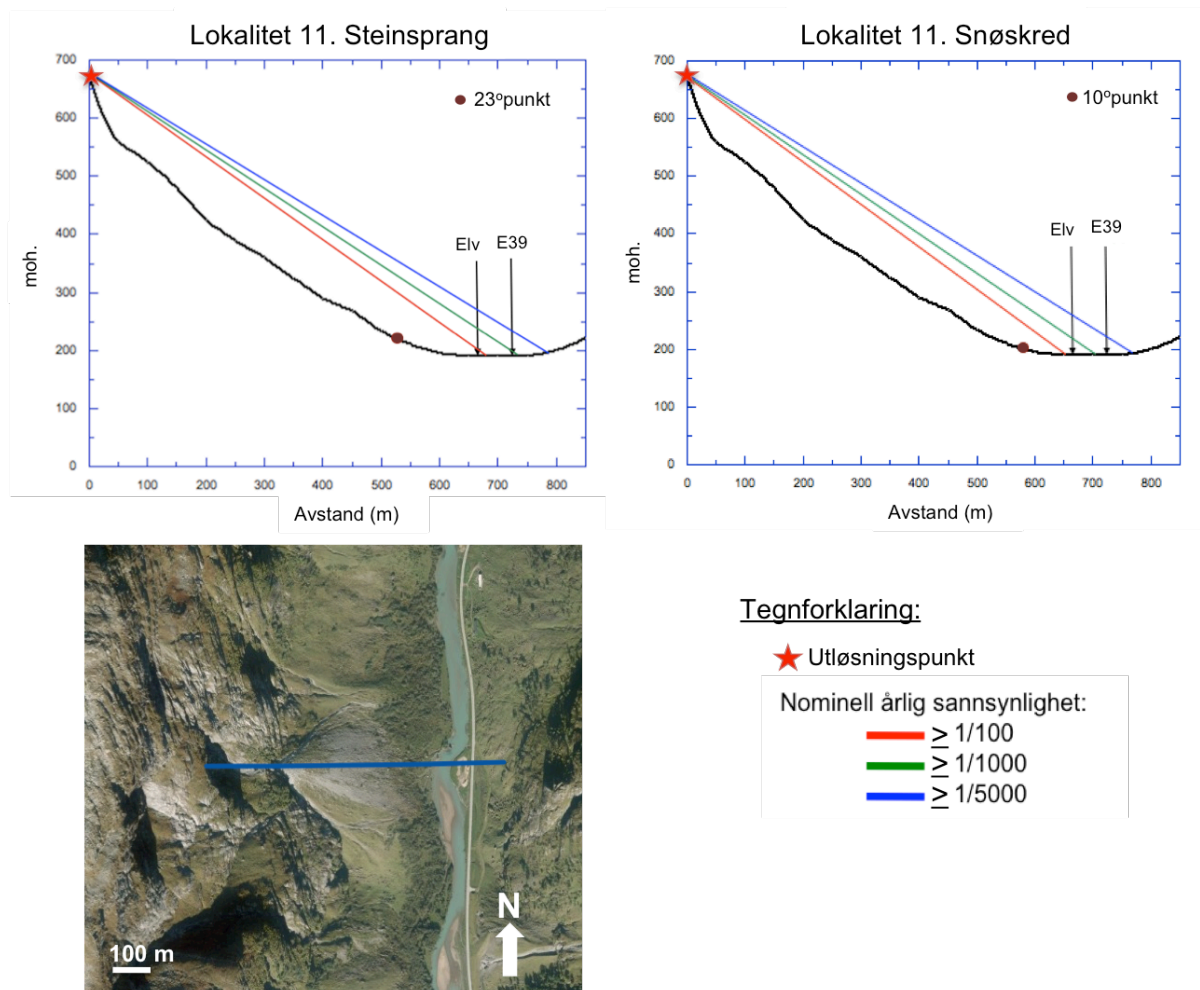
Beskrivelse av utvalgte profiler

Lokalitet 2 begynner med en helning mellom 30° og 35° , før det når et dropp på omtrent 180 m og fortsetter som en konkav skråning ned mot elven. Ved lokalitet 2 er det foreslått to mulige utløsningspunkt for steinsprang, se scenario A og B i figur 7.4.1. I scenario A er utløsningspunktet 1000 moh., der terrenget brått blir brattere. Det er sannsynlig at et hundreårsskred vil kunne nå 1250 m, men å krysse både elv og E39 er mer trolig å forekomme for et tusenårsskred. Et femtusenårsskred vil kunne nå godt over både elv og E39. I scenario B vil utløsningspunktet ligge høyere, på 1200 moh. Dette gir lengre rekkevidder enn i scenario A. Her vil et hundreårsskred kunne rekke ut i Votedalselva og et tusenårsskred kan nå godt over både elven og E39. For snøskred er utløsningspunktet kun satt til å være 1200 moh., da det ikke er nødvendig med like bratt helning som ved steinsprang. Når det gjelder snøskred kan et hundreårsskred rekke så langt som 1275 m. Videre kan et tusenårsskred nå over både elv og E39.



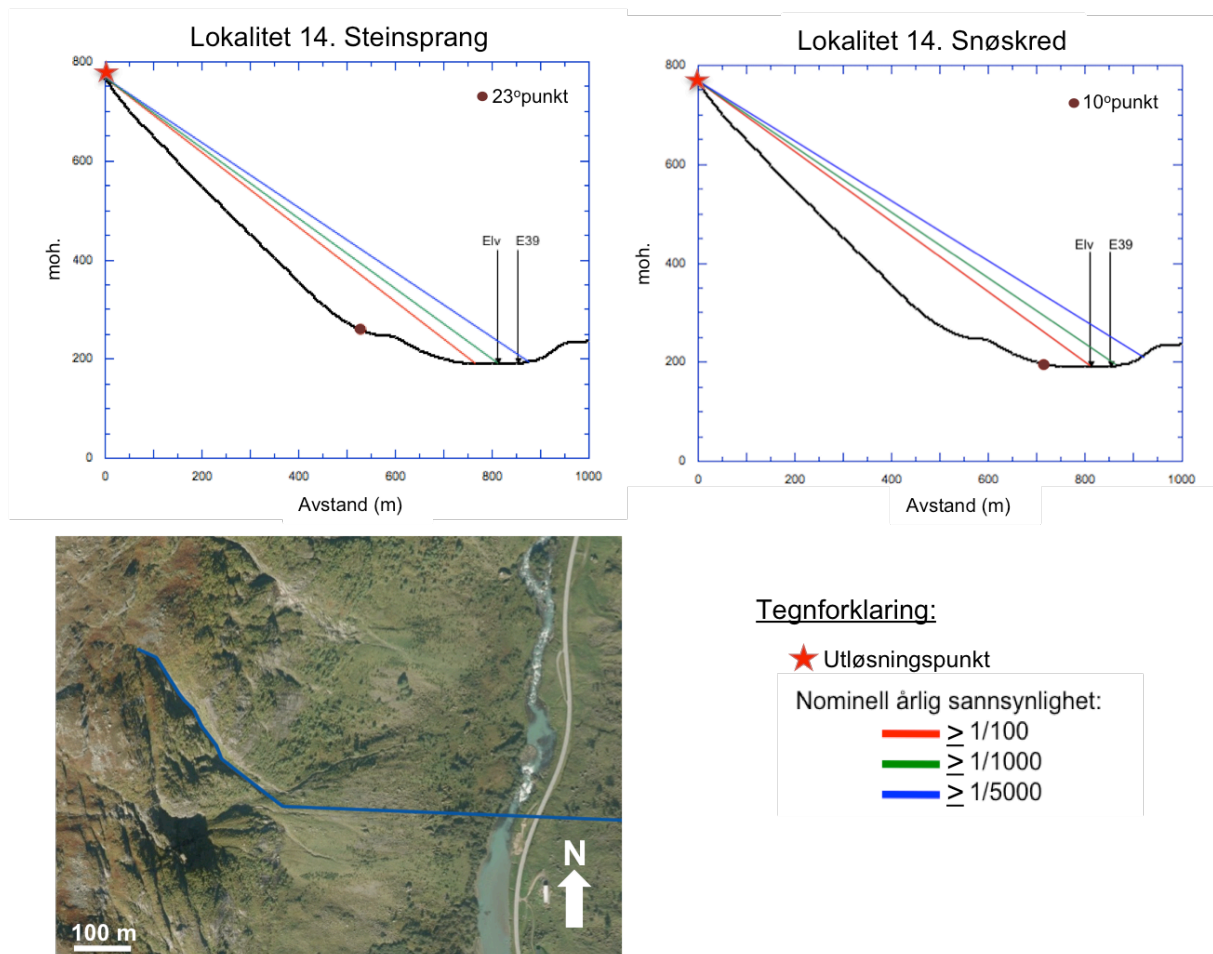
Figur 7.4.1: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 2. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. De to øverste profilene viser beregnet rekkevidde for steinsprang, og profilet nede til høyre viser beregnet rekkevidde for snøskred. Profil A viser rekkevidden fra utløsningspunkt 1000 moh., og B fra utløsningspunkt 1250 moh. Den røde prikken viser hvor 23°punktet eller 10°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lokalitet 11 har en slak og jevn profil, men det begynner med et bratt heng på omtrent 100 m, se figur 7.4.2. Her er beregningene av rekkevidde for både snøskred og steinsprang tatt fra samme utløsningspunkt, omtrent 680 moh. Det er tydelig at dette er utløsningspunktet for steinsprangsviften under. Like over utløsningspunktet er det en hylle hvor det blir samlet opp snø. For steinsprang vil et hundreårsskred kunne nå Votedalselva, og et tusenårsskred vil kunne rekke bort til E39. Det er mindre sannsynlig for snøskred å nå elven. Her må det et tusenårsskred til for å rekke ut til Votedalselva, og videre må det et femtusenårsskred til for å nå over E39 fra dette utløsningspunktet.



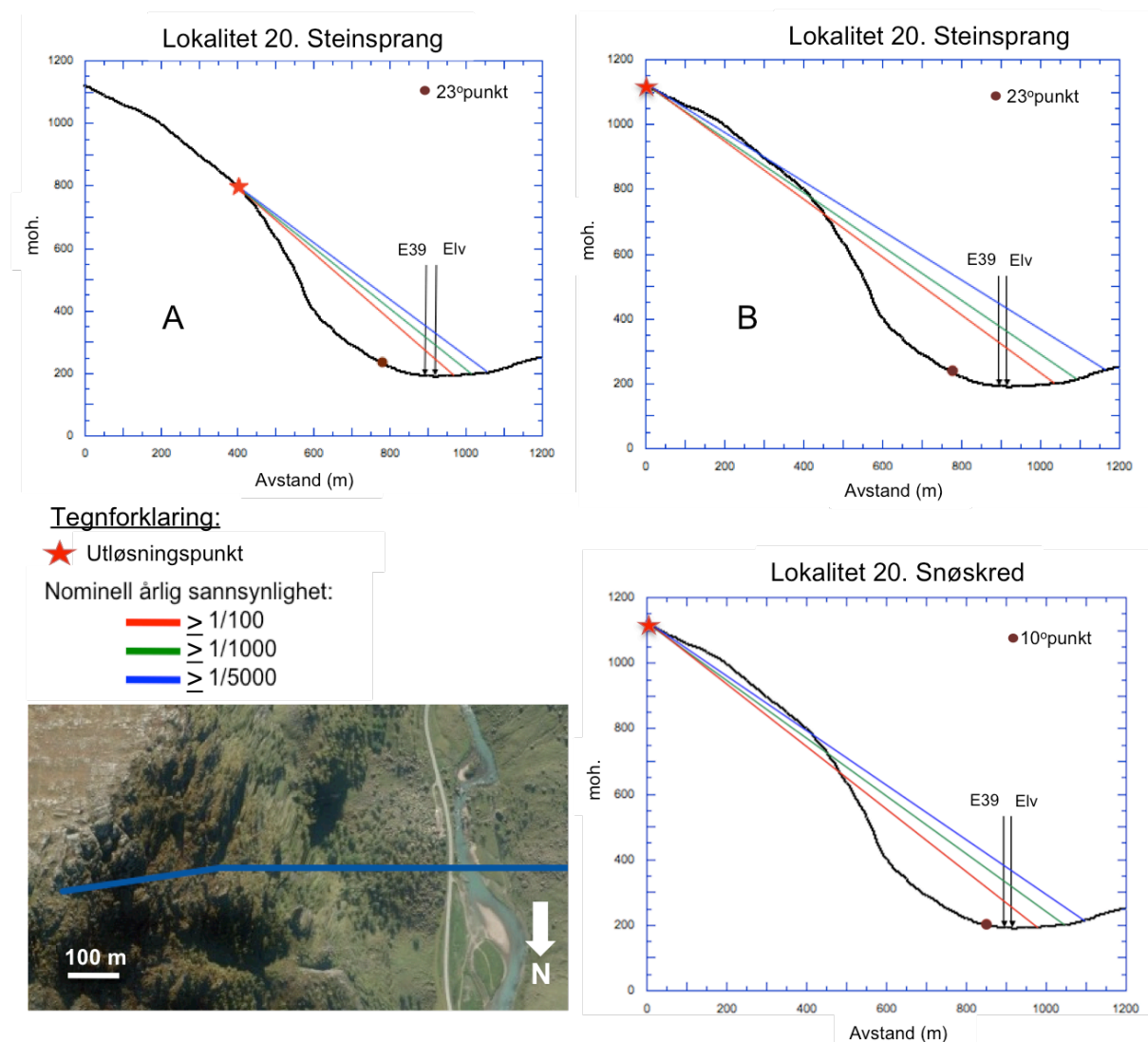
Figur 7.4.2: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 11. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene over viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23°punktet eller 10°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Figur 7.4.3 viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred ved **lokalitet 14**. Et eventuelt utløsningspunkt er lokalisert 775 moh. Helningen på skråningen er jevnt rundt 40° . Det er også mulig utløsningspunkt nærmere vinkelrett over skredviften, men under feltarbeidet falt det snø fra valgt utløsningspunkt. For steinsprang må det et tusenårsskred for å nå ut til elven, og femtusenårsskred for å nå over E39. Når det gjelder snøskred vil et hundreårsskred kunne nå ut til Votedalselva og et tusenårsskred nå over E39.



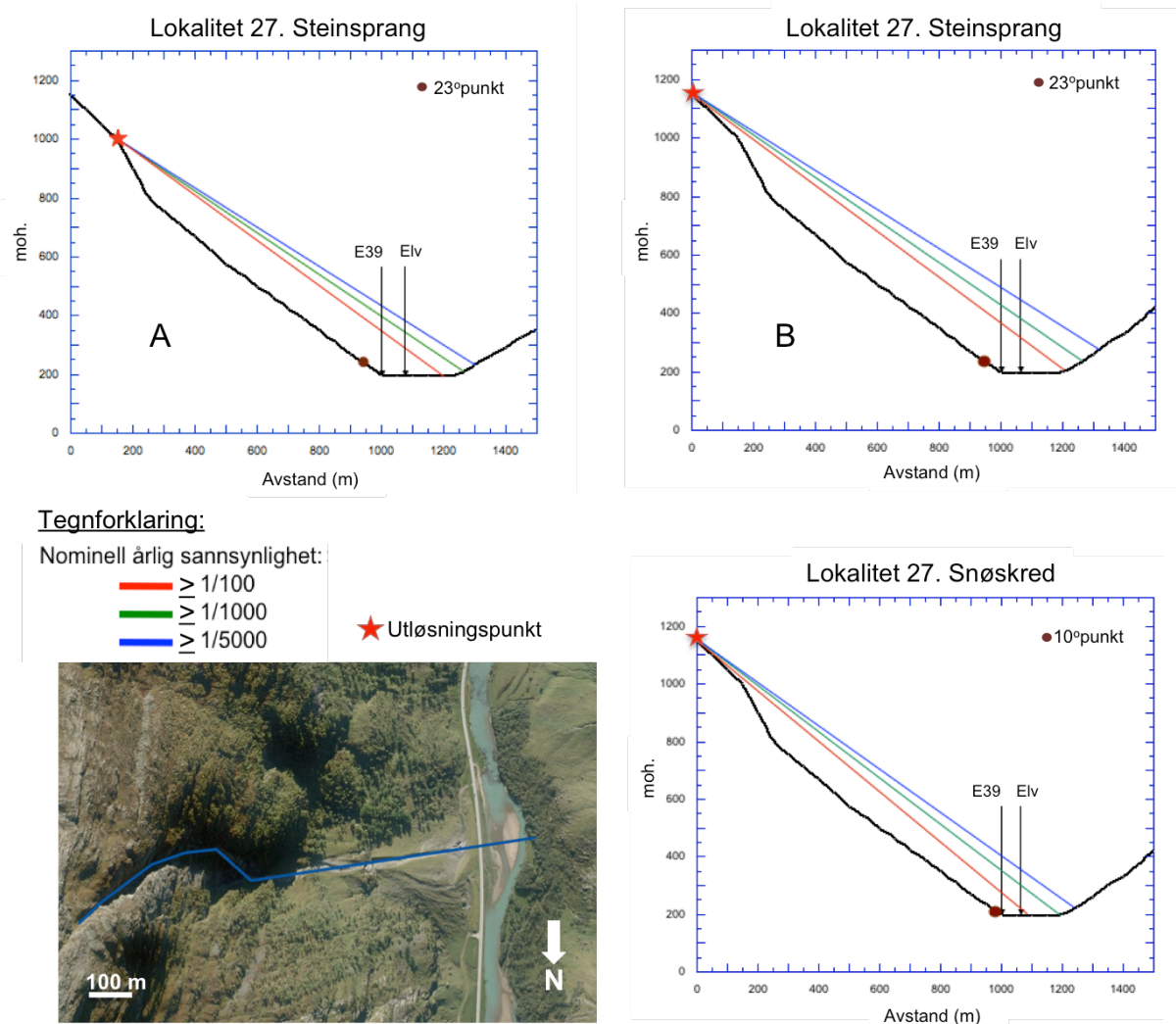
Figur 7.4.3: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 14. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene over viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23° punktet eller 10° punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lokalitet 20 ligger sør på vestsiden av dalen, og er en konveks skråning. Her er det foreslått to mulige utløsningspunkt for steinsprang og ett for snøskred, se figur 7.4.4. I scenario A løsner steinspranget 800 moh. hvor skråningen blir brattere. Her vil et hundreårsskred kunne krysse både E39 og Votedalselva. I scenario B er utløsningspunktet på toppen av dalsiden, 1100 moh. Her vil et hundreårsskred rekke enda lengre, og kan krysse E39 og elven med god margin. Utløsningspunktet for snøskred er også lokalisert 1100 moh. og har samtidig som de andre scenarioene en sannsynlighet for at et hundreårsskred vil krysse E39 og elven.



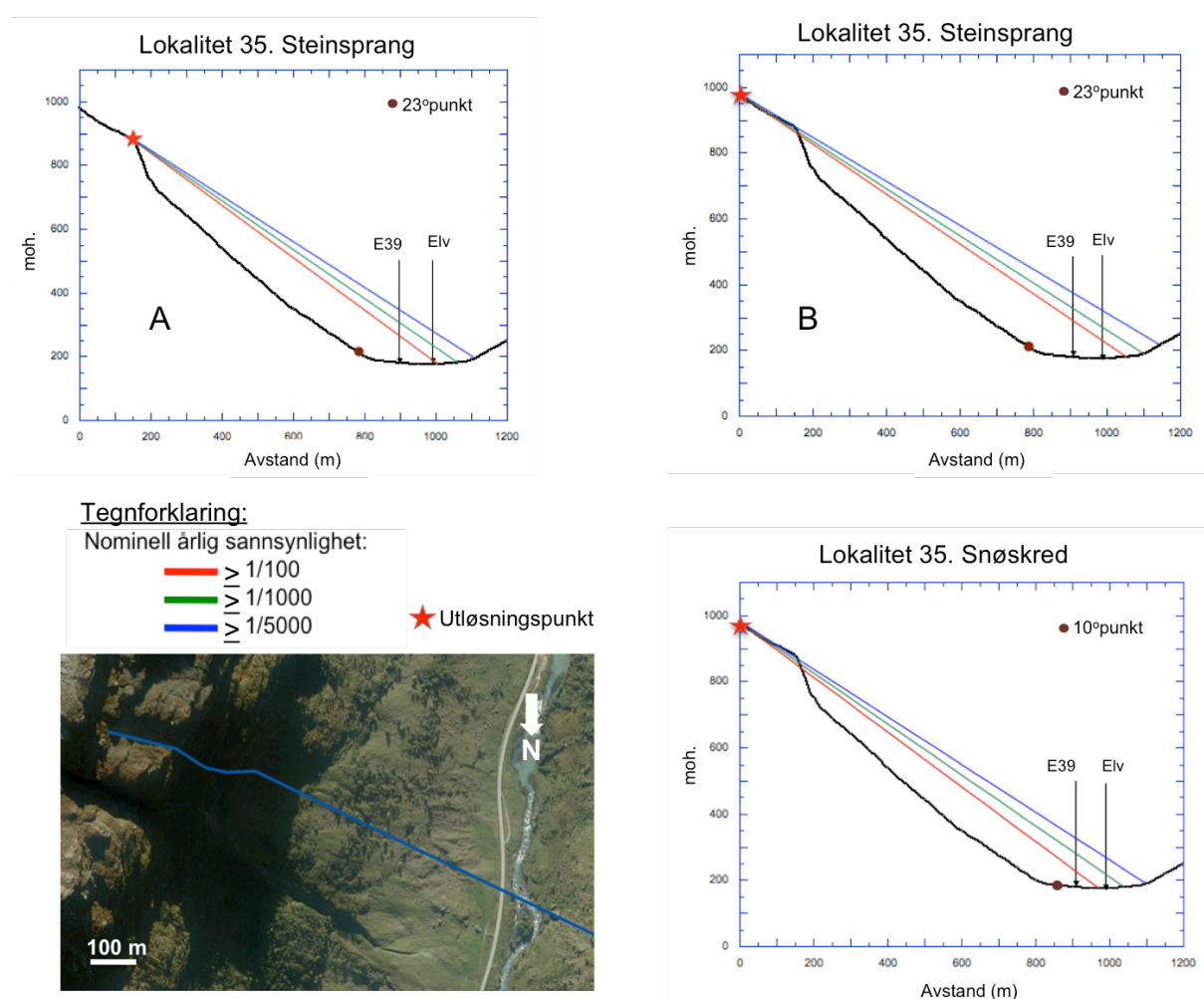
Figur 7.4.4: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 20. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. De to øverste profilene viser beregnet rekkevidde for steinsprang, og profilet nede til høyre viser beregnet rekkevidde for snøskred. Profil A viser rekkevidden fra utløsningspunkt 800 moh., og B fra utløsningspunkt 1100 moh. Den røde prikken viser hvor 23°punktet eller 10°punktet ligger. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

For **lokalitet 27** er det også foreslått to mulige utløsningspunkt for steinsprang, se figur 7.4.5. I scenario A vil det løsne fra stupet på 1000 moh. og det er mulighet for at et hundreårsskred når godt over E39 og Votedalselva. I scenario B løsner det blokker fra toppen av dalsiden, 1150 moh., og her kan et hundreårsskred nå ut til motsatt dalside. Et femtusenårsskred kan nå 50 m opp på den vestlige dalsiden. Utløsningspunktet for snøskred er også satt til å være i toppen av dalsiden, som ligger på 1150 moh. Her er det sannsynlig at et hundreårsskred når ut i Votedalselva. Et femtusenårsskred kan ut fra beregningene nå 20 m opp på motsatt dalside.



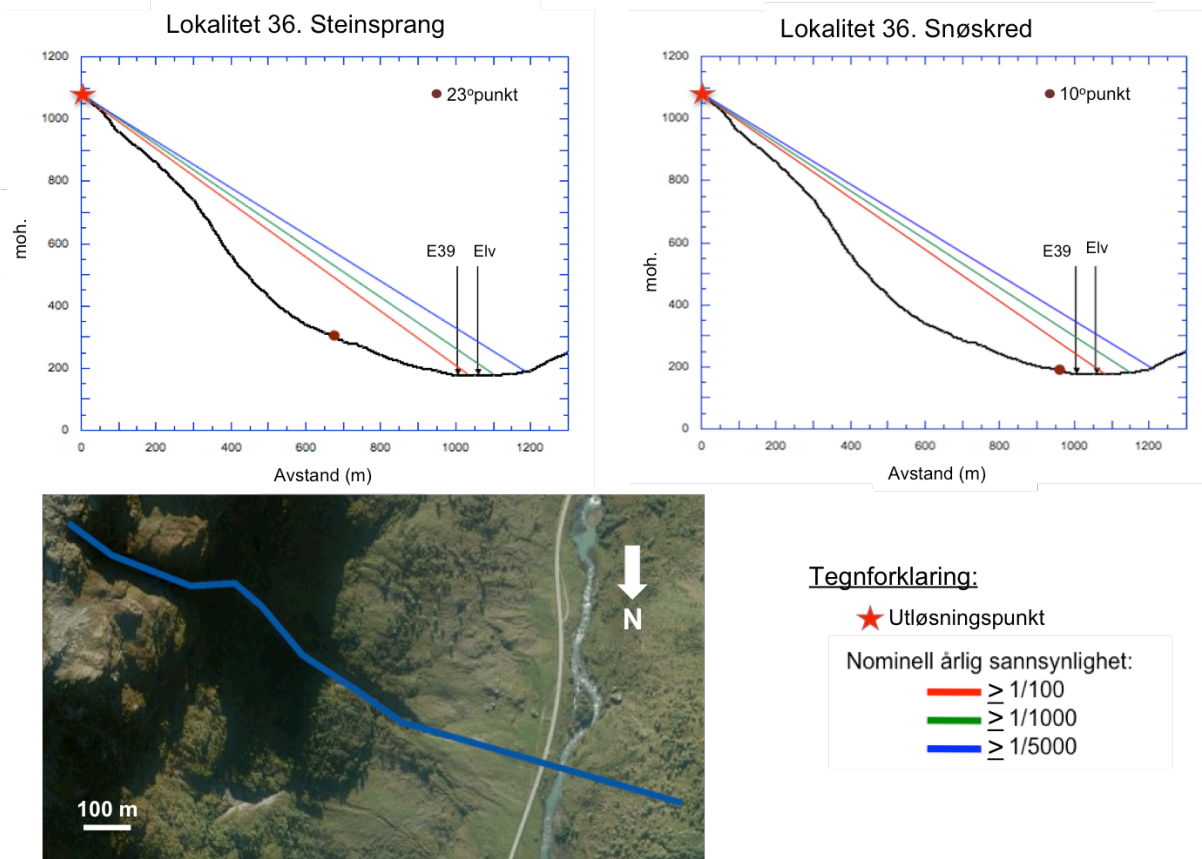
Figur 7.4.5: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 27. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. De to øverste profilene viser beregnet rekkevidde for steinsprang, og profilet nede til høyre viser beregnet rekkevidde for snøskred. Profil A viser rekkevidden fra utløsningspunkt 1000 moh., og B fra utløsningspunkt 1150 moh. Den røde prikken viser hvor 23°punktet eller 10°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lengdeprofilen til **lokalitet 35** er presentert i figur 7.4.6. Her er det en hylle, ett heng og en jevn skråning videre ned mot elven. Helningen på skråningen er rundt 33° før hendet og 38° etter. For lokalitet 35 er det også foreslått to mulige utløsningspunkt for steinsprang. I scenario A vil det løsne fra 900 moh. Her vil et hundreårsskred nå ut i Votedalselva. I scenario B er utløsningspunktet plassert 975 moh. og her vil et hundreårsskred kunne krysse både E39 og elv med god margin. Det er samme utløsningspunkt for snøskred som det er i scenario B. Her vil et hundreårsskred kunne nå over E39, men stoppe før det rekker ut til elven. Sannsynligheten for å nå ut over elven er én gang hvert 5000 år.



Figur 7.4.6: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 35. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. De to øverste profilene viser beregnet rekkevidde for steinsprang, og profilet nede til høyre viser beregnet rekkevidde for snøskred. Profil A viser rekkevidden fra utløsningspunkt 900 moh., og B fra utløsningspunkt 975 moh. Den røde prikken viser hvor 23° punktet eller 10° punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

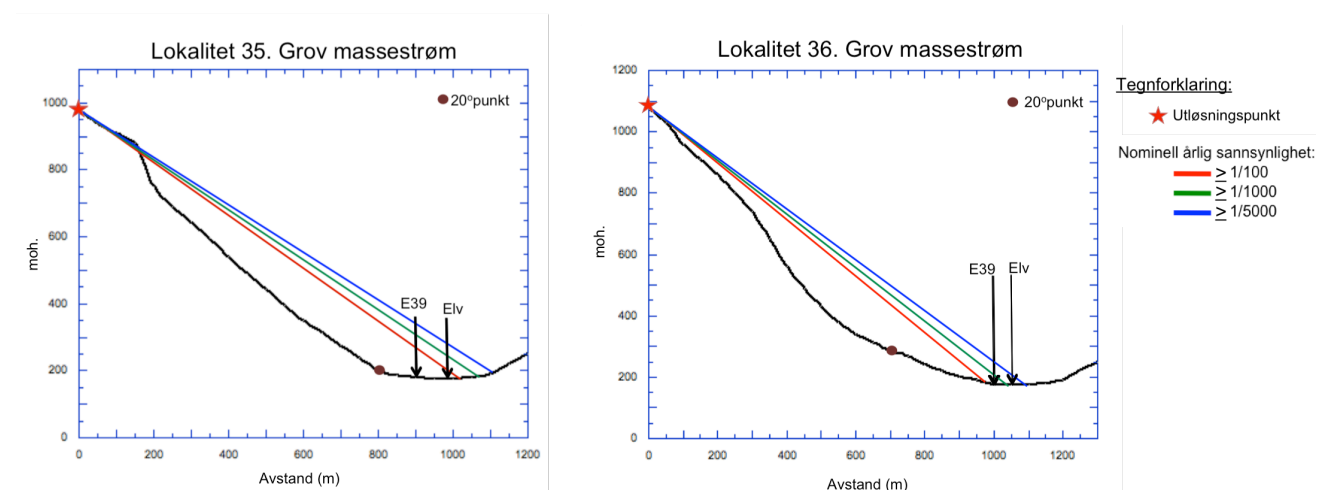
Lokalitet 36 har en konveks skråning som slakker ut mot E39 og Votedalselva, se figur 7.4.7. Det er tatt utgangspunkt i utløsningspunkt 1075 moh. for både steinsprang og snøskred. For steinsprang vil et hundreårsskred kunne nå over E39. Videre vil et tusenårsskred kunne nå over E39 og ut i elven. Snøskred vil her gå lenger enn steinsprang, og et hundreårsskred kan nå over både E39 og Votedalselva.



Figur 7.4.7: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 36. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene over viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23°punktet eller 10°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

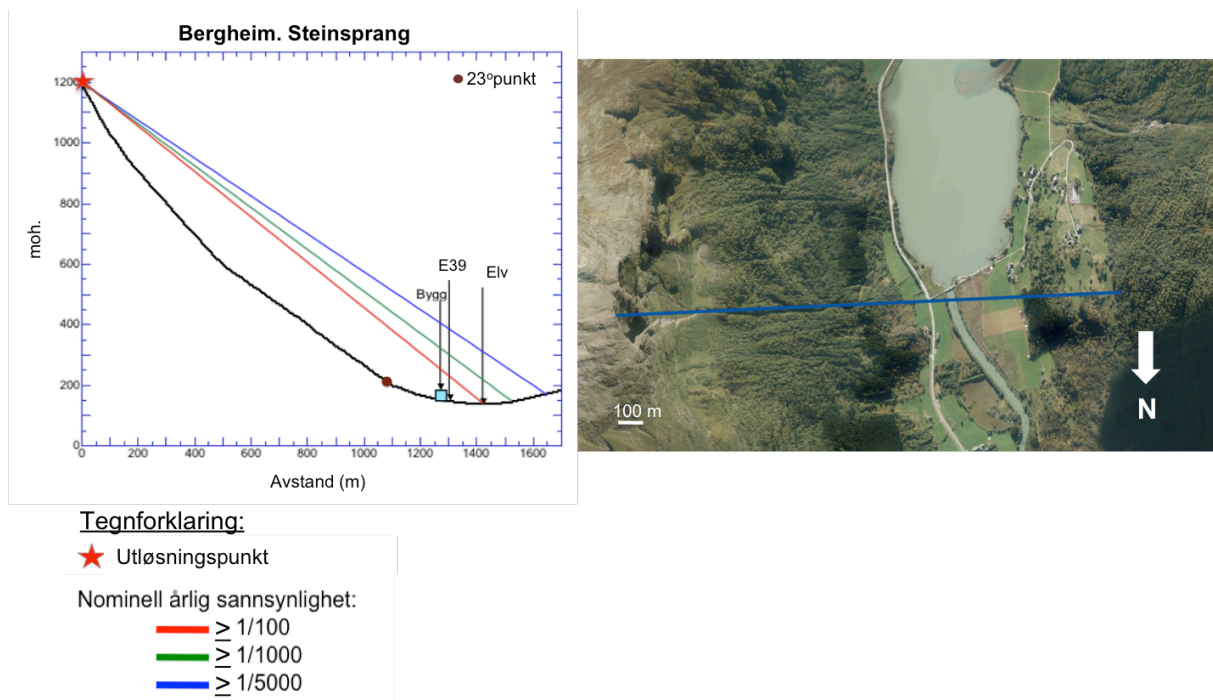
Det er kun to lokaliteter hvor det er beregnet rekkevidde for grov massestrøm, **lokalitet 35** og **36**. Dette er fordi utløpslengden for grov massestrøm rekker mellom rekkevidden til snøskred og steinsprang, eller stopper før. Beregning av rekkevidden for grov massestrøm ved lokalitet 35 og 36 er presentert sammen i figur 7.4.8. Ved lokalitet 35 vil et hundreårsskred kunne nå 1020 m, over E39 og ut i Votedalselva. Et tusenårsskred vil kunne nå 1080 m og et femtusenårsskred 1110 m. Ved lokalitet 36 vil et hundreårsskred kunne nå 970 m, et tusenårsskred 1040 m og et femtusenårsskred 1090 m. Her vil ikke et hundreårsskred nå ut til E39, men veien vil derimot kunne bli rammet av et tusenårsskred. Et femtusenårsskred vil kunne rekke over Votedalselva.

Ved lokalitet 35 vil utløpslengden til grov massestrøm rekke lenger enn snøskred ved samme lokalitet, men kortere enn steinsprang. Utløpslengden til grov massestrøm ved lokalitet 36 er kortere enn rekkevidden for både snøskred og steinsprang ved samme lokalitet.



Figur 7.4.8: Beregning av rekkevidde for grov massestrøm ved lokalitet 35 og 36. Den røde prikken viser hvor 20°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Ved **Bergheim** er det kun tatt hensyn til steinsprang da dette er den dominerende skredaktiviteten i undersøkelsesområdet, se figur 7.4.9 for lengdeprofil. Det er foreslått et utløsningspunkt 1200 moh., på toppen av fjellsiden. Skråningen har en konkav form. Et hundreårsskred vil i følge beregningene kunne rekke over husene, E39 og ut i elven.



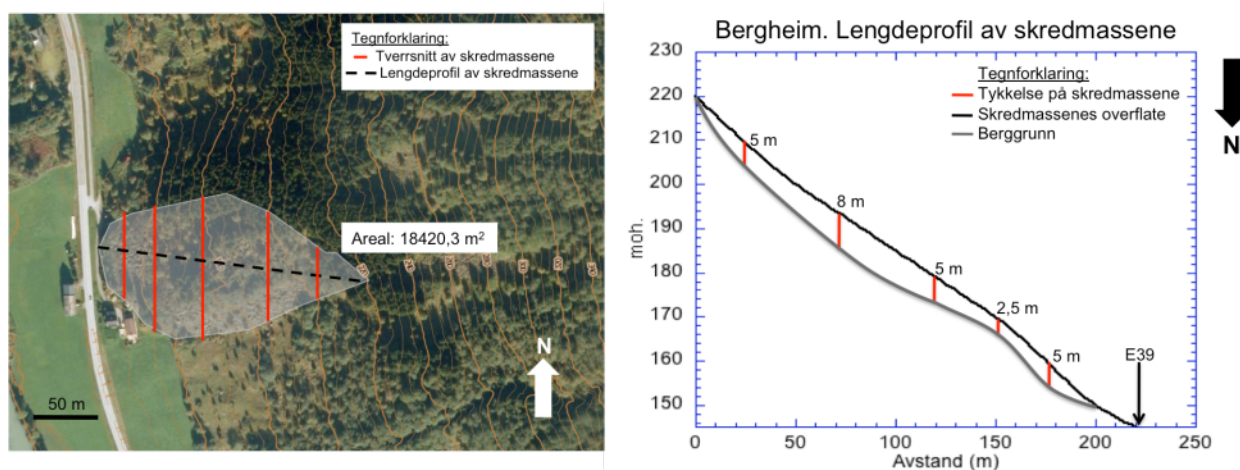
Figur 7.4.9: Lengdeprofil av skredbanen ved Bergheim. Flyfoto til høyre viser hvor profilet til venstre er tatt fra. Profilet viser rekkevidden for steinsprang fra utløsningspunkt 1200 moh. Den røde prikken viser hvor 23°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

7.5. Høyde/Lengde(H/L)-forhold

Beregning av rekkevidde ved hjelp av H/L-forhold ble først og fremst utviklet for fjellskred. I dette delkapittelet blir metoden brukt på skredmassene ved Bergheim og i Votedalen. Ved å beregne H/L-forholdet til skredmassene ved Bergheim blir det redegjort for om avsetningene er fra steinsprang eller fjellskred. Dette blir testet ved å beregne areal av skredmassene og å utvikle et lengdeprofil over dem. Videre blir metoden brukt for å beregne maksimal rekkevidde for snøskred og steinsprang i Votedalen.

Figur 6.2.3 illustrerer hvor tallene i utregningen av H/L-forholdet ved Bergheim kommer fra. H/L-forholdet ved Bergheim: $(1200 \text{ m} - 150 \text{ m})/1220 \text{ m} = \underline{\underline{0,86}}$.

Bildet til venstre i figur 7.5.1 viser området ved Bergheim hvor skredavsetningene ligger. Disse er markert med grått. Den stiplede linjen over skredmaterialet viser hvor profilet til høyre i figur 7.5.1 er hentet fra. Profilet er tatt der skredavsetningene er på sitt tykkeste. De røde strekene på tvers av skredmassene er for å illustrere hvor de ulike tykkelsene er tatt fra.



Figur 7.5.1: Skredmassene ved Bergheim er markert med grått på bildet til venstre. Høydekotene viser tykkelsen på massene der de bøyes av. Dette er brukt videre i profilet til høyre for å beregne volumet av skredmassene. Her vises tykkelsen på de ulike høydemeterne

Ut fra observasjoner gjort under utvikling av profilet vil maksimal gjennomsnittstykkelse være 5 m. For å regne ut potensielle volum av skredmassene er det blitt tatt utgangspunkt i en gjennomsnittstykkelse på henholdsvis 5 m, 4 m og 3 m, se tabell 7.5.1.

Tabell 7.5.1: Utregninger av skredmassenes volum med ulik gjennomsnittstykkelse.

Areal x tykkelse = volum
$18\,420\text{ m}^2 * 5\text{ m} = \underline{\underline{92\,102\text{ m}^3}}$
$18\,420\text{ m}^2 * 4\text{ m} = \underline{\underline{73\,681\text{ m}^3}}$
$18\,420\text{ m}^2 * 3\text{ m} = \underline{\underline{55\,261\text{ m}^3}}$

Utregningene av maksimal rekkevidde for snøskred og steinsprang i Votedalen er presentert i tabell 7.5.2. Bokstavene A og B viser til de to ulike utløsningspunktene som er illustrert i profilene fra delkapittel 7.4. Samlede utløpslengder blir presentert i delkapittel 7.7.

Tabell 7.5.2: Utregningene av de ulike rekkeviddene. Ved enkelte lokaliteter er det henvist til bokstavene A og B som refererer til to ulike utløsningspunkt ved samme lokalitet. Posisjonen til disse utløsningspunktene er vist i lengdeprofilene fra delkapittel 7.4 om alfa-beta metoden.

Lokalitet	Høydedifferanse (m)	Steinsprang (H/L=0,6)	Snøskred (H/L=0,4)
1	743	1238	1858
2	A: 810 B: 1010	1350 1683	2525
4	1010	1683	2525
7	960	1600	2400
8	335	558	838
11	486	810	1215
14	580	967	1450
17	690	1150	1725
18	750	1250	1875
20	A: 610 B: 910	1017 1517	2275
21	990	1650	2475
23	985		2463
27	A: 810 B: 985	1350 1642	2463
33	785	1308	1963
35	A: 710 B: 815	1183 1358	2038
36	915	1525	2288
37	685		1713

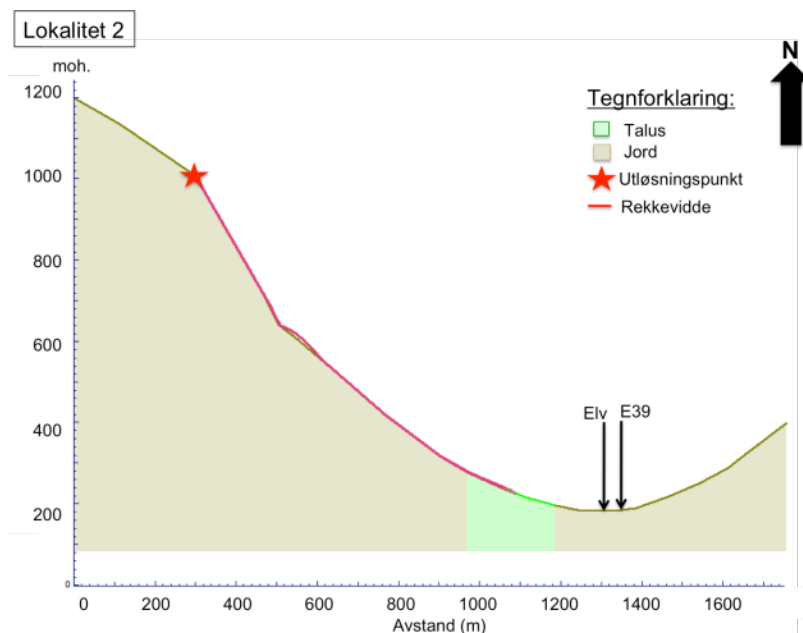
7.6. RocFall

Simuleringene av steinsprang i RocFall er utført på lokalitet 2, 11, 14, 20 og 36. Alle rekkeviddene blir presentert med avstanden fra øverst i dalsiden til tross for at valgt utløsningspunkt kan ligge lenger ute i skråningen. Dette gjør det enklere å sammenligne med rekkeviddene beregnet ved hjelp av de andre metodene.

Ved **lokalitet 2** er det fire ulike scenarioer fordelt på ras med henholdsvis lite volum, på 36 m³, og stort volum på 12 500 m³. Se figur 7.6.1 for profil av skredbanen og figur 7.6.2 for fordelingen av utløpslengder.

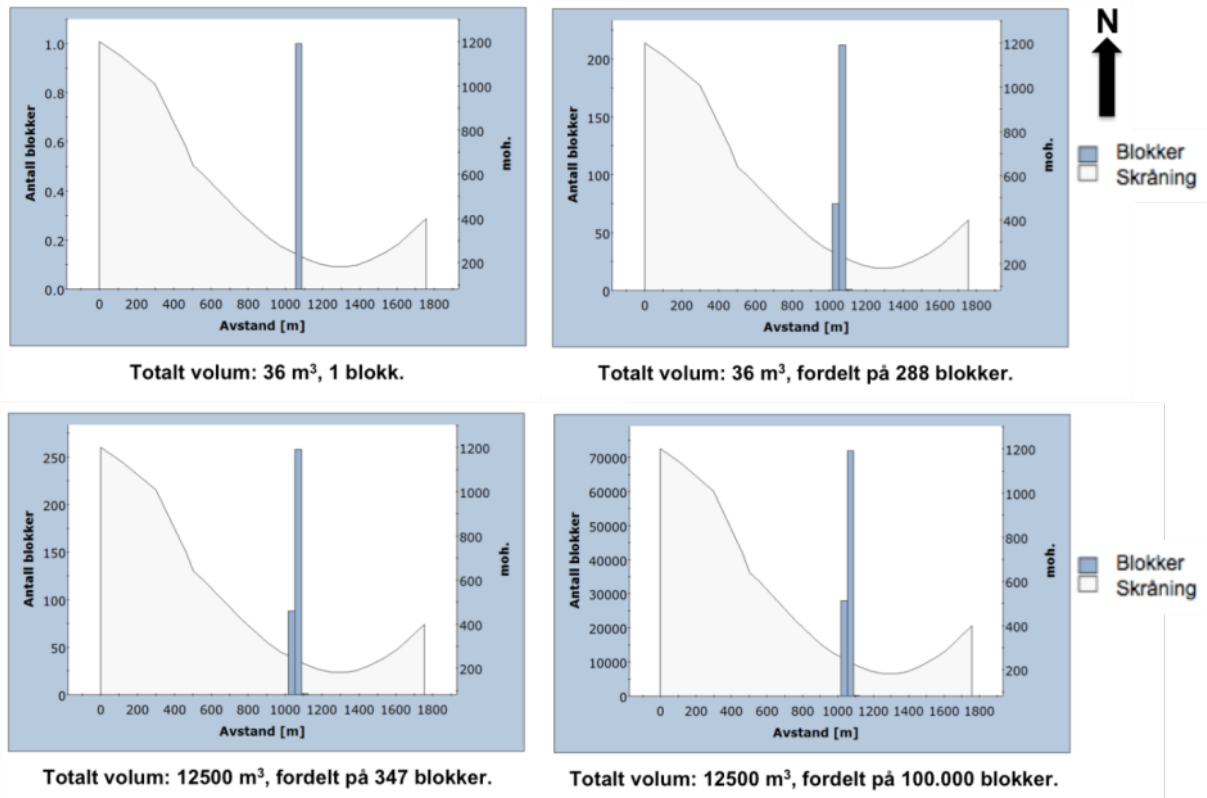
Første scenario er fordelt på én stor blokk og på 288 små. Rekkevidden for den ene blokken er 1050 m. Med flere små blokker vil rekkevidden bli mer fordelt, og varierer fra 1000-1100 m. Majoriteten vil nå like langt som den ene blokken, 1050 m. Omtrent 75 blokker vil stoppe tidligere, og én vil nå lenger. Ingen av blokkene nådde ut i elven.

Andre scenario gjelder for større volum og flere blokker. Fordelingen blir prosentvis lik som i første scenario hvor det var flere blokker involvert. Ingen av blokkene nådde ut i elven.



Figur 7.6.1: Lengdeprofil over skredbanen ved lokalitet 2. X-aksen viser avstand fra utløsningspunktet og y-aksen viser meter over havet. Den røde stjernen viser hvor foreslått utløsningspunkt er, og den røde linjen forestiller skredets maksimale rekkevidde. Den brune delen av profilet betyr at underlaget er mykt og består av jord eller gress. Den grønne delen viser hvor i skredløpet det ligger skredmasser.

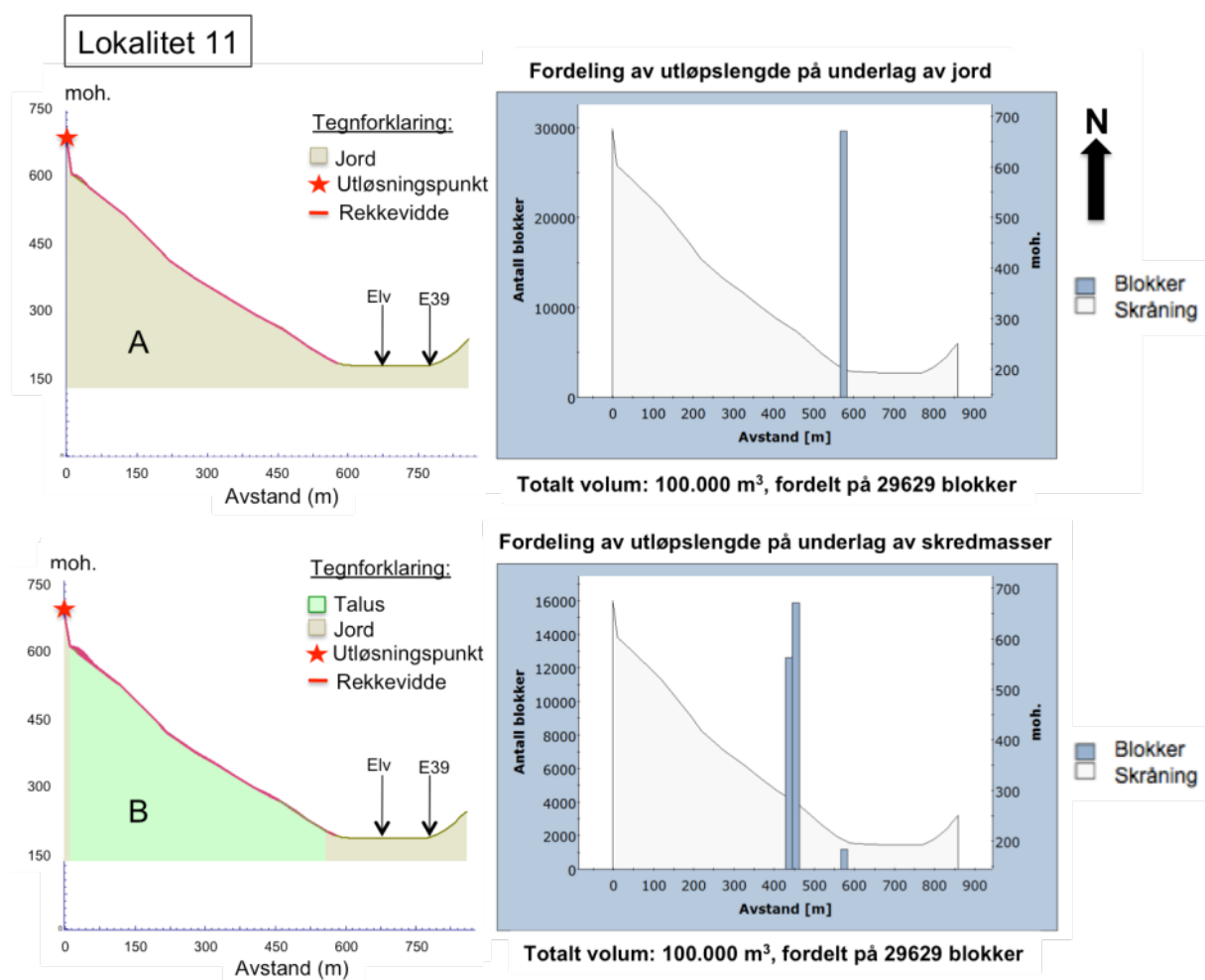
Fordeling av utløpslengder ved lokalitet 2



Figur 7.6.2: Fordeling av utløpslengden ved de ulike scenarioene ved lokalitet 2. De to øverste figurene viser utløpslengden for et steinsprang med volum på 36 m³. Figuren til venstre gjelder for én blokk med angitt volum, og figuren til høyre viser volumet fordelt på 288 blokker. De to nederste figurene gjelder for steinsprang med volum på 12 500 m³. Figuren til venstre viser volumet fordelt på 347 blokker og figuren til høyre viser volumet fordelt på 100 000 blokker.

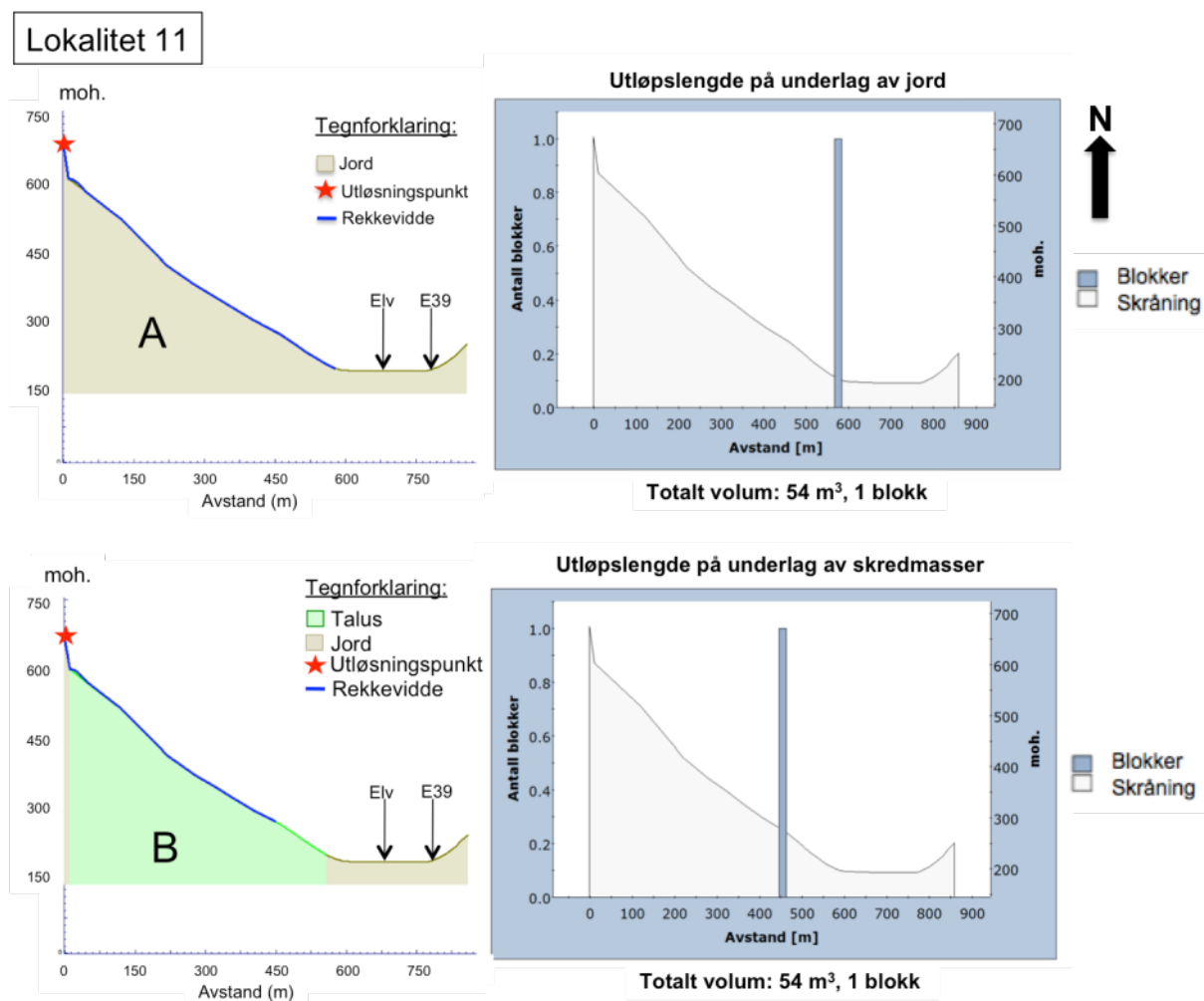
Ved **lokalitet 11** er det utført fire ulike simuleringer for å se om underlaget og volumet av massene vil påvirke rekkevidden, se figur 7.6.3 og 7.6.4.

Første scenario er illustrert i figur 7.6.3. Her gjelder det et volum på **100 000 m³**, hvor størrelsen på blokkene er 0,5m x 0,5m x 0,5m. Skråning A viser et underlag av jord og B viser underlag av skredmasser. For skråning A vil rekkevidden på blokkene være lik for alle, 575 m fra utløsningspunktet. Ved skråning B, vil rekkevidden til blokkene være mer fordelt. Her vil et fåtall av blokkene nå ut til 575 m fra utløsningspunktet. De fleste blokkene når ut til rundt 450 m. Ingen av blokkene nådde ut i elven.



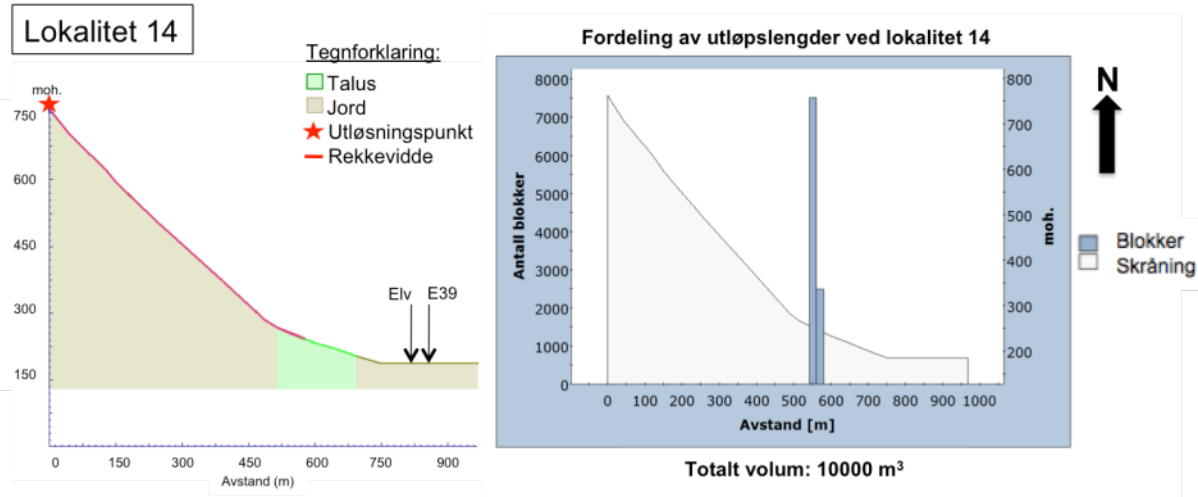
Figur 7.6.3: Til venstre vises lengdeprofilene over skredbanen ved lokalitet 11. X-aksen viser avstand fra utløsningspunktet og y-aksen viser meter over havet. Den røde stjernen viser hvor foreslått utløsningspunkt er, og den røde linjen forestiller skredets maksimale rekkevidde. Den brune delen av profilet betyr at underlaget er mykt og består av jord eller gress. Den grønne delen viser hvor i skredløpet det ligger skredmasser. Høyre del av figuren viser fordelingen av utløpslengden for de ulike scenarioene. Øverst er utløpslengden simulert på underlag av jord og gress. Nederst er simuleringen utført på underlag som består hovedsakelig av stein.

Andre scenario, vist i figur 7.6.4, gjelder for én blokk med et volum på 54 m^3 . Dette er tenkt å være blokken som ligger nede ved elvebredden ved lokalitet 11. Dette forsøket ble utført for å se om blokken har falt før eller etter steinsprangviften. Her er det tatt utgangspunkt i at blokken og steinsprangviften har falt fra samme utløsningsområde. Skråning A er dekket av jord og skråning B av skredmateriale. Ved skråning A vil blokken nå 575 m fra utløsningspunktet. Ved skråning B vil blokken nå 450 m ut. Ingen av blokkene nådde ut i elven.



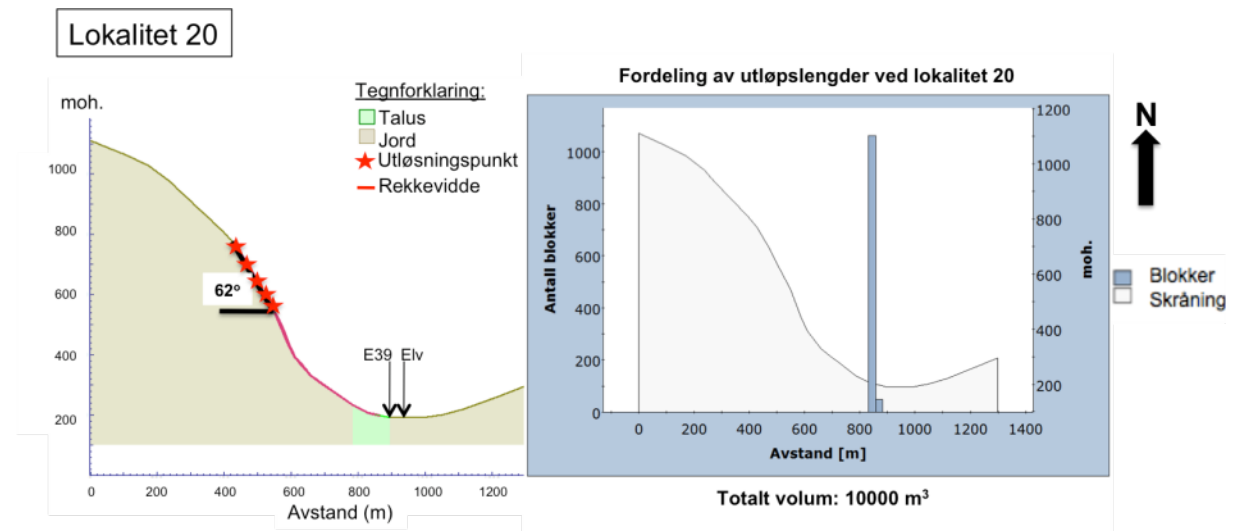
Figur 7.6.4: Til venstre vises lengdeprofilene over skredbanen ved lokalitet 11. X-aksen viser avstand fra utløsningspunktet og y-aksen viser meter over havet. Den røde stjernen viser hvor foreslått utløsningspunkt er, og den røde linjen forestiller skredets maksimale rekkevidde. Den brune delen av profilet betyr at underlaget er mykt og består av jord eller gress. Den grønne delen viser hvor i skredløpet det ligger skredmasser. Høyre del av figuren viser fordelingen av utløpslengden for de ulike scenarioene. Øverst er utløpslengden simulert på underlag av jord og gress. Nederst er simuleringen utført på underlag som består hovedsakelig av stein.

Ved **lokaltet 14** er det kun simulert for steinsprang med volum på 10 000 m³, se figur 7.6.5. Her er rekkevidden til raset fordelt fra 550 m til 575 m. 75% av blokkene vil stoppe 550 m fra utløsningspunktet, og de resterende 25% vil nå 575 m. Ingen av blokkene nådde ut i elven.



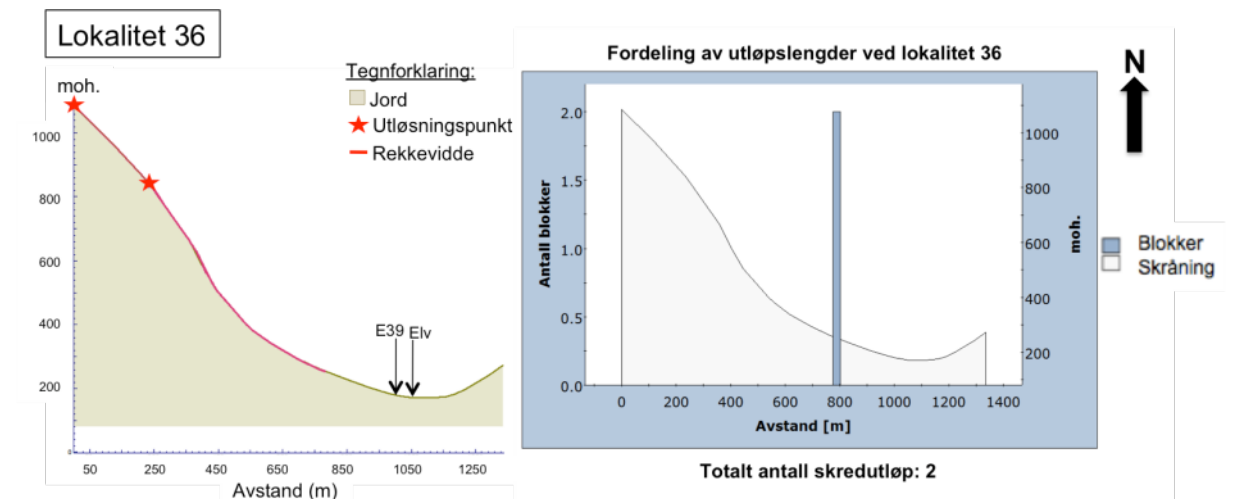
Figur 7.6.5: Til venstre vises lengdeprofilen over skredbanen ved lokalitet 14. X-aksen viser avstand fra utløsningspunktet og y-aksen viser meter over havet. Den røde stjernen viser hvor foreslått utløsningspunkt er, og den røde linjen forestiller skredets maksimale rekkevidde. Den brune delen av profilet betyr at underlaget er mykt og består av jord eller gress. Den grønne delen viser hvor i skredløpet det ligger skredmasser. Høyre del av figuren viser fordelingen av utløpslengden for de ulike scenarioene.

Ved **lokaltet 20** er det blitt simulert steinsprang fra flere ulike utløsningspunkt, men dette ga ikke store variasjoner i rekkevidden. Majoriteten av blokkene stoppet 850 m fra utløsningspunktet. En mindre mengde nådde 875 m. Ingen av blokkene nådde ut til E39. Se figur 7.6.6.



Figur 7.6.6: Til venstre vises lengdeprofilen over skredbanen ved lokalitet 20. X-aksen viser avstand fra utløsningspunktet og y-aksen viser meter over havet. De røde stjernene viser hvor foreslåtte utløsningspunkt er, og den røde linjen forestiller skredets maksimale rekkevidde. Det er også vist vinkelen på skredløpet, hvor den er hele 62° på den utvalgte ustabile delen. Den brune delen av profilet betyr at underlaget er mykt og består av jord eller gress. Den grønne delen viser hvor i skredløpet det ligger skredmasser. Høyre del av figuren viser fordelingen av utløpslengden for de ulike scenarioene.

Ved **lokalitet 36** er det simulert steinsprang fra to ulike utløsningspunkt, se figur 7.6.7. Underlaget er dekket av jord. Begge steinsprangene rekker 800 m fra utløsningspunktet, og når dermed ikke ut til E39.



Figur 7.6.7: Til venstre vises lengdeprofilen over skredbanen ved lokalitet 36. X-aksen viser avstand fra utløsningspunktet og y-aksen viser meter over havet. De røde stjernene viser hvor foreslåtte utløsningspunkt er, og den røde linjen forestiller skredets maksimale rekkevidde. Den brune delen av profilet betyr at underlaget er mykt og består av jord eller gress. Høyre del av figuren viser fordelingen av utløpslengden for de to ulike scenarioene

7.6. Oppsummering

Det er blitt presentert mye informasjon i delkapitlene og derfor blir det nå en kort oppsummering hvor resultatene viser stor variasjon. Først er det en oversikt over data som skilte seg ut fra de lichenometriske resultatene. Videre blir gjennomsnittsverdien og to standardavvik for alle schmidthammerresultatene presentert. Til slutt oppsummeres utløpslengdene for steinsprang ved utvalgte lokaliteter. Her blir det en oversikt over resultatene fra alfa-beta metoden, RocFall og beregninger ved hjelp av H/L-forhold som skal diskuteres videre i kapittel 9.3.

Oppsummering av lichenometriske resultater

- Lokalitet 1, 2 og 3 har lav med størst målt diameter. Blokkene ved lokalitet 1 og 2 blir estimert til å være minst rundt 130 år, og blokkene ved lokalitet 3 minst 120 år.
- Resultatene fra vestlig dalside er generelt mer spredd enn østlig.
- Skredmassene på østlig dalside er alle målt til å være mellom 30 og 60 år gamle.
- Størst standardavvik for lokalitetene 4, 11 og 13.
- Skredmassene ved Bergheim er målt til å være 50 år gamle.

Oppsummering av schmidthammerresultater

- Ved lokalitet 1 bekrefter gjennomsnittsverdiene at de eldre skredmassene har ligget lengst. Ved å fjerne avvikende verdier ved de yngre skredmassene, blir standardavviket også større for de eldre skredmassene. Det blir likevel tatt hensyn til alle målingene ved videre sammenligning slik at det blir likt utgangspunkt for alle lokalitetene. Se tabell 7.6.1 for fullstendig oversikt over gjennomsnittsverdi og to standardavvik for de ulike lokalitetene.
- De tre lokalitetene med høyest verdier er 9, 11 og 27. Lokalitet 11 og 27 er også blant de lokalitetene med lavest standardavvik.
- Generelt er alle frekvenshistogrammene skjevt fordelt, se tabell B.2 i vedlegg B for statistikk over innsamlede schmidthammermålinger. Seks av 20 datasett har negativ skjevhet, og 14 av 20 har negativ kurtose.

Tabell 7.6.1: Oppsummering av resultater fra schmidthammermålingene

Lokalitet	Gjennomsnittsverdi	To standardavvik (95,4% av alle målingene)
1. Eldre skredavsetninger	39	17,2
Yngre skredavsetninger	46,3	18,0
2. Hoveddel av skredavsetningene	35,9	15,8
2. Høyre del av skredavsetningene	36	16,2
3	39,6	27,0
4	42,7	19,9
5	42,9	16,0
7	37,9	17,6
8	41,3	18,9
9	48,8	20,0
10	44	21,3
11. Topp av vifte	49,7	14,8
Nedre del av vifte	48,4	16,9
12	42,3	15,5
13	41	15,6
14	46,7	19,7
16	37,1	17,5
19	42	20,2
27	58,3	14,8
Bergheim	43,7	20,8

Beregnete utløpslengder for steinsprang

Utvalgte lokaliteter for videre sammenligning er lokalitet 2, 11, 14, 20 og 36 hvor alle metodene er benyttet. Det er tatt utgangspunkt fra samme utløsningspunkt (A) for alle metodene; RocFall, beregninger ved hjelp av H/L-forhold og alfa-beta metoden. Maksimal rekkevidde er presentert i avstand fra toppen av dalsiden, for å lettere kunne sammenligne resultatene med beregninger fra utløsningspunkt B. Se tabell 7.6.2 for oversikt.

Tabell 7.6.2: Oversikt over maksimal rekkevidde beregnet ved hjelp av alfa-beta metoden, H/L-forhold og RocFall. Avstanden fra utløsningspunkt til elv og E39 er presentert for å gi inntrykk av omfanget av de potensielle steinsprangene.

Lokalitet	Avstand ut til elv og E39 (m)	Beregnet maksimal utløpslengde (m)		
		Alfa-beta metode	H/L-forhold	RocFall
2	Elv: 1300 E39: 1350	S1: 1250 S2: 1350	1400	1100
11	Elv: 650 E39: 730	S1: 675 S2: 730	575	Jord: 575
14	Elv: 800 E39: 850	S1: 750 S2: 800 S3: 875	700	575
20	E39: 890 Elv: 910	S1: 975	1130	875
36	E39: 1000 Elv: 1050	S1: 1030 S2: 1100	1230	800

8. Skredfarevurdering

Skredfarevurderingen av Votedalen og Bergheim er basert på klimastudier, feltobservasjoner, samtaler med lokale innbyggere, faresonekart basert på alfa-beta metoden og kart over maksimal rekkevidde beregnet fra H/L-forhold. Alle elementene skal bli vurdert mot hverandre for å komme frem til en best mulig evaluering.

Det er gjennom feltobservasjoner tydelig at skredfaren i Votedalen er stor for **steinsprang**, **løssnøskred** og **sørpeskred**. De bratte skråningene gjør at det samler seg lite snø i dalsidene, og i stedet store mengder snø i gjel, skar og på hyller. I tillegg dannes det store skavler langs toppen av begge dalsidene. Steinsprang forekommer helst i skråninger med helning mellom 35°-50°, noe som bekrefter at hele dalen er skredutsatt. Fjellet i Votedalen domineres av et grovt sprekkemønster, og blokker løsner generelt ved utgliding, utvelting eller utfall. Se figur 5.2.2 for illustrasjon av de ulike sprekkemønstrene. Det er observert avsetninger fra **løsmasseskred** ved noen få lokaliteter i dalen, som oftest nedenfor gjel og skar.

Utløsende årsak for snøskred er hovedsakelig store mengder nedbør eller temperaturøkning. Vanntilførsel i Votedalen, både i form av nedbør og av drenering av smeltevann, vil også påvirke stabiliteten til fjellet. Snøen som smelter langs dalsidene kan tilføre vann i sprekkene. Dette øker sannsynligheten for både kjemisk og mekanisk forvitring. Ved siden av ulike værforhold kan rotsprenging være en utløsende årsak for steinsprang. Dette gjelder da spesielt østlig dalside og nord på vestlig dalside hvor det er mest trær. Utløsende årsak for løsmasseskred i Votedalen er mest sannsynlig høy vannføring. Det er lite sannsynlig med menneskelig påvirkning av dreneringsforhold, jordskjelv og undergraving da området er av fast fjell.

Meteorologisk institutt sin **klimastatistikk** for Vestlandet viser kraftig økning i gjennomsnittlig middeltemperatur, og at nedbøren ligger like over normalen. Dette er presentert i figur 1.3.1. Nedbørsstatistikken er fluktuerende, men temperaturstatistikken understreker betydningen av klimaprogner ettersom det allerede er blitt en jevn økning. eKlima sin oversikt over månedsnormaler viser at månedene fra september til desember er tiden på året hvor det er mest nedbør, se figur 1.3.2. Temperaturen er varmest fra mai til

september, men det er varmegrader mesteparten av året bortsett fra januar og februar. Dette medfører at mye av nedbøren om høsten vil komme som regn og gi betydelig økt skredfare.

En av de mest bekymringsverdige **klimaprognosene** for normalperioden 2071-2100 er økt antall dager med kraftig nedbør. Dette kan gi store endringer i vannføring som vil gi høyere risiko for steinsprang, snøskred og løsmasseskred. Det vil også bli nedbør med generelt høyere intensitet enn i dag. Gjennomsnittlig årstemperatur fortsetter å øke og vil mest sannsynlig føre til mindre snømengde og kortere vintersesong. Det vil også kunne gi mer avrenning om vinteren. Disse temperaturendringene kan medføre hyppigere snøskred med mindre volum. Smeltesesongen vil mest sannsynlig starte tidligere, og avrenningen vil kunne minke om sommeren.

Feltobservasjonene indikerer at det er høy skredfrekvens på begge dalsider. Dette er basert på lite vegetasjon og nye blokker langs mesteparten av dalen. Den vestlige dalsiden er preget av trær langs elvebredden. Trærne starter ved østlig del av lokalitet 7 og fortsetter nordover. Unntaket er midten av steinsprangviften ved lokalitet 11 hvor det derimot er bart. Trærne tyder på at det er en stund siden skredene nådde ut her med stor kraft. Det er likevel skredmateriale ut til elven ved de fleste av lokalitetene, og flere trær er brukket. Dette viser rekkevidden skredene kan ha ved de ulike lokalitetene. På vestsiden av Votedalen er det, i følge samtaler med lokale innbyggere, lokalitet 4 og 7 som utgjør størst trussel for E39. Dette skyldes lang utløpslengde for snøskred som kan nå ut til E39 og sterk fonnvind som kan flytte autovern og velte kjøretøy på veien. På østsiden av Votedalen er de mest aktive gjelene ved lokalitet 23 og 27. Disse er også dominert av snøskred. Blokker som kan nå ut på E39 tross skredvullen ved lokalitet 23 utgjør en risiko for kjøretøy. Det er samtidig fare for at en del av en skredur oppe i dalsiden ved lokalitet 23 kan rase ned, slik som det gjorde i 2013. Det ble observert nyere skredblokker ved mesteparten av lokalitetene. Dette, sammen med sørpeskredene vi var vitne til, gir inntrykk av høy **skredfrekvens** langs hele dalen. Unntakene er hovedsakelig i nordligste del av vestlig dalside. Dette kan dog skyldes at det ikke var lett å saumfare området på grunn av den tette skogen. Her kan det ha ligget nyere blokker som ikke er blitt observert.

Lichenometrimålingene gir aldersestimater som er for unge. De kan derimot si den korteste perioden skredavsetningene har ligget der. For lokalitet 1, 2 og 3 betyr det at de har ligget der i minst 120 til 130 år. De andre målingene gir for lave aldersestimater til at de er av interesse.

Schmidthammermålingene er svært spredd ved hver lokalitet og gir dermed inntrykk av at blokkene er av ulik alder. Dette viser til sporadiske steinsprang og snøskred.

Faresonekartene for Votedalen er utarbeidet fra lengdeprofilene presentert i delkapittel 7.4. og ellers i vedlegg B.3. Disse illustrerer samlet rekkevidde for steinsprang og snøskred fra både østlig og vestlig dalside av Votedalen. Det er beregnet utløpslengde for hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred, henholdsvis sikkerhetsklassene S1, S2 og S3. Et hundreårsskred vil si at et skred av denne størrelsen vil opptre gjennomsnittlig én gang hvert hundre år. Videre gjelder S2 for én gang for hvert 1000 år og S3 for én gang hvert 5000 år. Sikkerhetsklassen S1 er markert fra 10°punktet for snøskred og fra 23°punktet for steinsprang. Utløsningspunktene er merket med rød runding. For lokalitetene 2, 20, 27 og 35 er det beregnet utløpslengde fra to ulike utløsningspunkt. Her er det da de lengste rekkeviddene som er blitt illustrert i faresonekartene.

Figur 8.1 viser rekkevidden for **steinsprang fra vestlig side** av Votedalen. Faresonekartet er utviklet fra beregninger fra lokalitet 1, 2, 4, 7, 11, 14, 17 og 18. De fleste hundreårsskredene vil stoppe før Votedalselva, bortsett fra mulige steinsprang fra lokalitet 4 og 17. Det er derimot kun ved lokalitet 14 at et tusenårsskred ikke når over elven og E39. Femtusenårsskred kan krysse både elv og E39 fra alle de gjeldende utløsningspunktene.

Figur 8.2 illustrerer rekkevidden for **steinsprang fra østsiden** av Votedalen. Faresonekartet er utviklet fra beregninger fra lokalitet 20, 21, 27, 33, 35 og 36. Det er mulighet for at hundreårsskred vil kunne nå over både E39 og Votedalselva fra alle valgte utløsningspunkt, bortsett fra ved lokalitet 36. Her kan hundreårsskred rekke over E39, men ikke elven. Alle tusenårsskredene fra østsiden av dalen har mulighet for å krysse E39 og elven. Femtusenårsskredene vil kunne nå opp mot motsatt dalside.

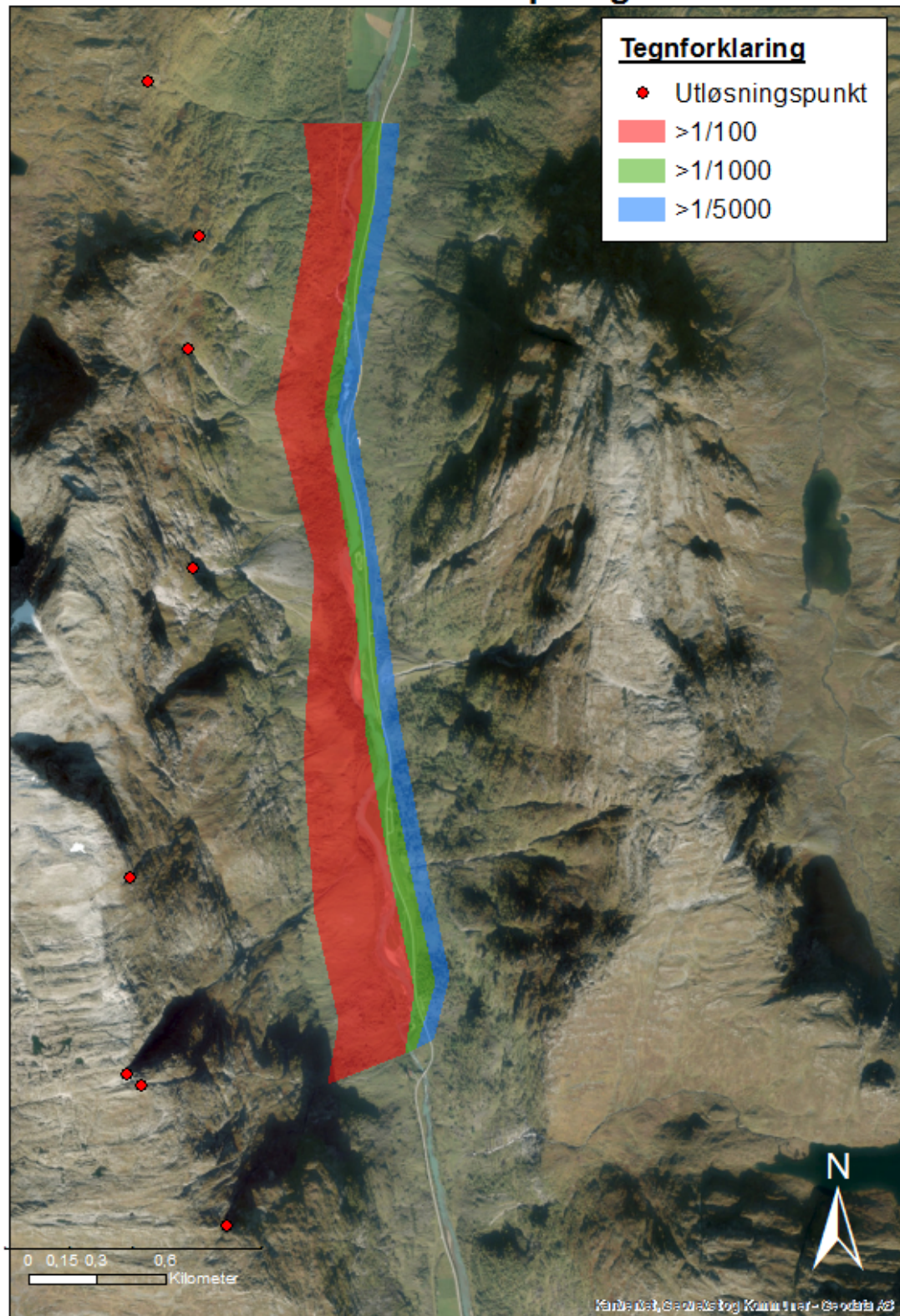
Figur 8.3 illustrerer rekkevidden for **snøskred fra vestsiden** av Votedalen. Faresonekartet er utviklet fra beregninger fra lokalitet 1, 2, 4, 7, 11, 14, 17 og 18. Ved lokalitet 1, 4, 17 og 18 er det sannsynlig at det vil gå skred ut i Votedalselva hvert århundre. Ved lokalitet 2, 7, 11 og 18 vil ikke hundreårsskredene nå ut til elven. Tusenårsskredene fra de fleste lokalitetene vil rekke over både elv og E39, med unntak av skred fra lok 7, 11 og 17. Ved lokalitet 7 stopper femtusenårsskred igjen før både elv og E39. Skred ved de resterende lokalitetene vil kunne krysse elv og E39 hvert 5000 år.

Figur 8.4 illustrerer rekkevidden for **snøskred fra østlig** dalside av Votedalen. Faresonekartet er utviklet fra beregninger fra lokalitet 20, 21, 23, 27, 33, 35, 36 og 37. Her rekker hundreårsskred fra de fleste valgte utløsningspunktene over både E39 og Votedalselva, med unntak av skred fra lokalitet 35 og 37. Ved lokalitet 35 vil hundreårsskred kunne rekke over E39, og tusenårsskred har mulighet til å nå over elven. Snøskred fra lokalitet 37 vil rekke over E39 først ved hvert årtusen, men det ser ikke ut til å nå over Votedalselva.

En **generell trend** i faresonekartene er at steinsprang rekker lenger enn snøskred. Alle hundreårsskred fra østsiden vil kunne rekke over E39 bortsett fra steinsprang ved lokalitet 36 og snøskred ved lokalitet 37. Fra vestsiden kan de fleste tusenårsskred rekke over E39, bortsett fra steinsprang ved lokalitet 14 og snøskred ved 7, 11 og 17.

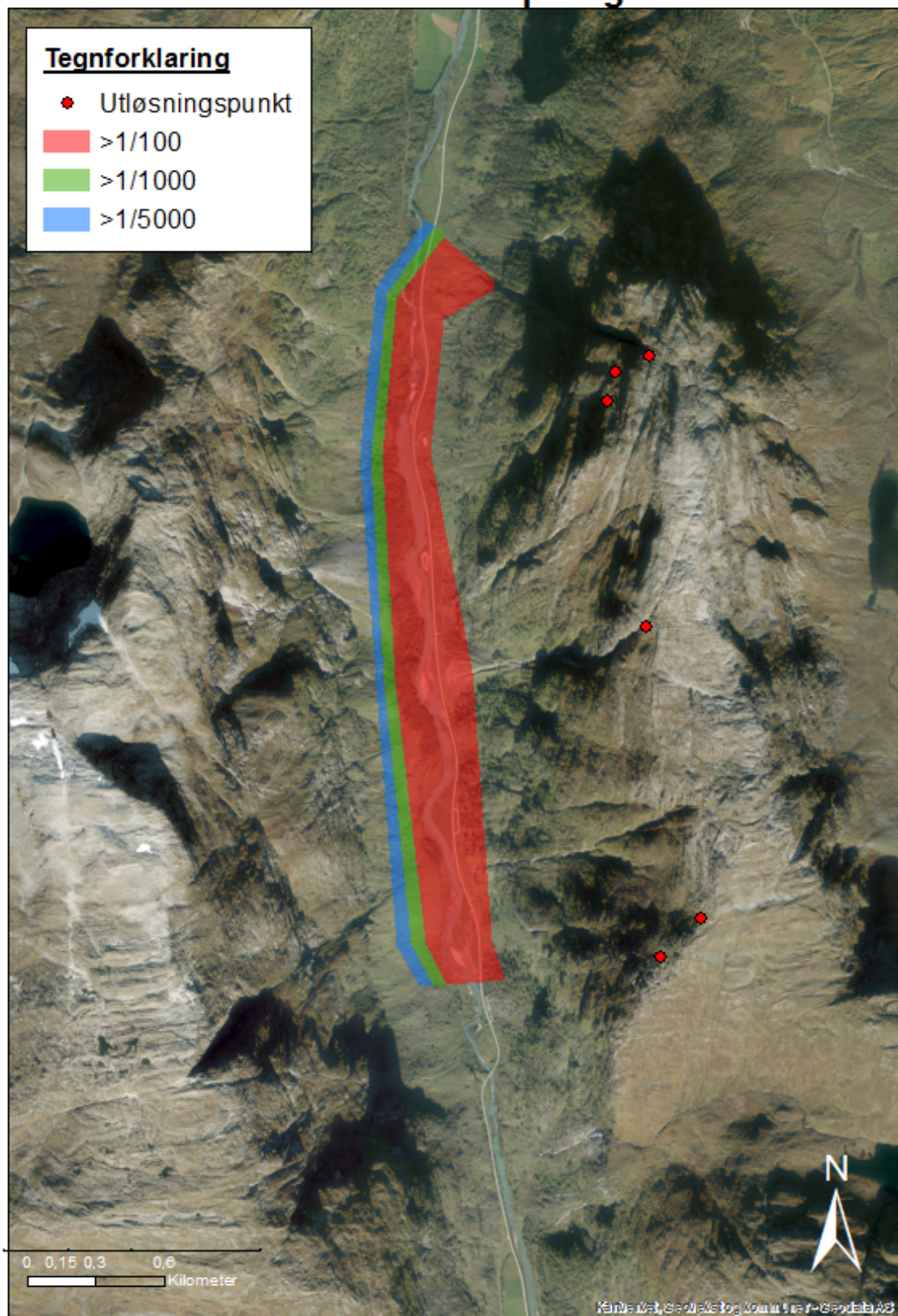
Maksimal rekkevidde beregnet fra H/L-forhold er samlet og presentert i figurene 8.5, 8.6, 8.7 og 8.8. For lokalitetene 2, 20, 27 og 35 er det beregnet utløpslengde fra to ulike utløsningspunkt. Her er det da de lengste rekkeviddene som er blitt illustrert i kartene. Snøskredene kan rekke over E39 fra alle de valgte utløpslengdene, både fra vest og øst i dalen. Flere steder vil samtidig snøskredene rekke oppover på motsatt dalside. Steinsprangene vil ha kortere rekkevidde enn snøskredene. De vil derimot fortsatt kunne rekke over E39 fra de fleste utløsningspunktene bortsett fra lokalitet 1 og 11. Skredene fra østlig dalside ser ut til å nå lenger enn de fra den vestlige dalsiden.

Rekkevidde for steinsprang fra vest



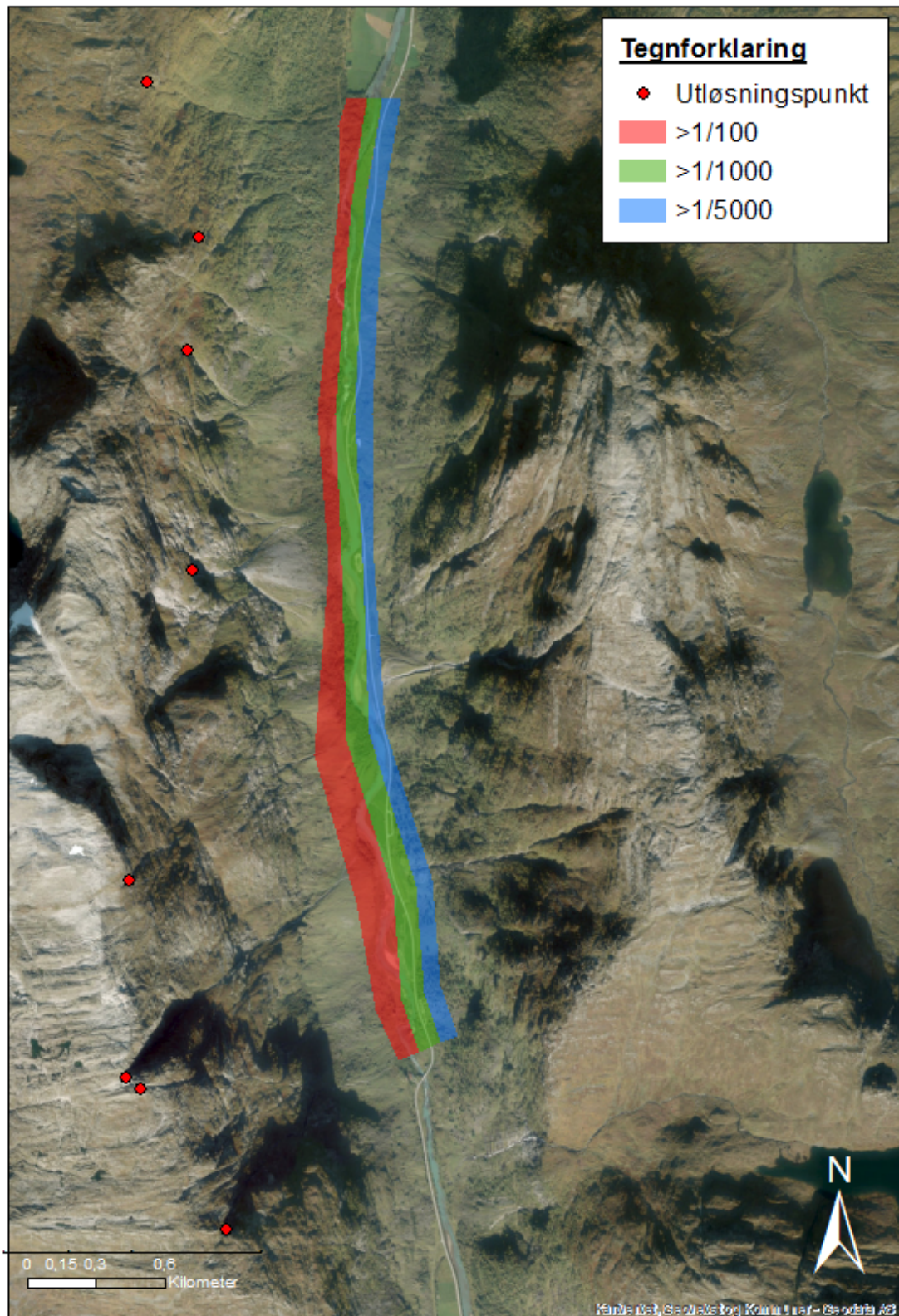
Figur 8.1: Faresonekart for steinsprang fra vestlig dalside i Votedalen, utviklet fra beregninger fra lokalitet 1, 2, 4, 7, 11, 14, 17 og 18. Det røde markerer området innenfor sikkerhetsklasse S1, som innebærer rekkevidden for hundreårsskred. Det grønne området viser sikkerhetsklasse S2, rekkevidden for tusenårsskred. Det blå markerer S3, rekkevidden for femtusenårsskred. De røde prikkene viser utløsningspunktene som faresonene er beregnet ut fra.

Rekkevidde for steinsprang fra øst



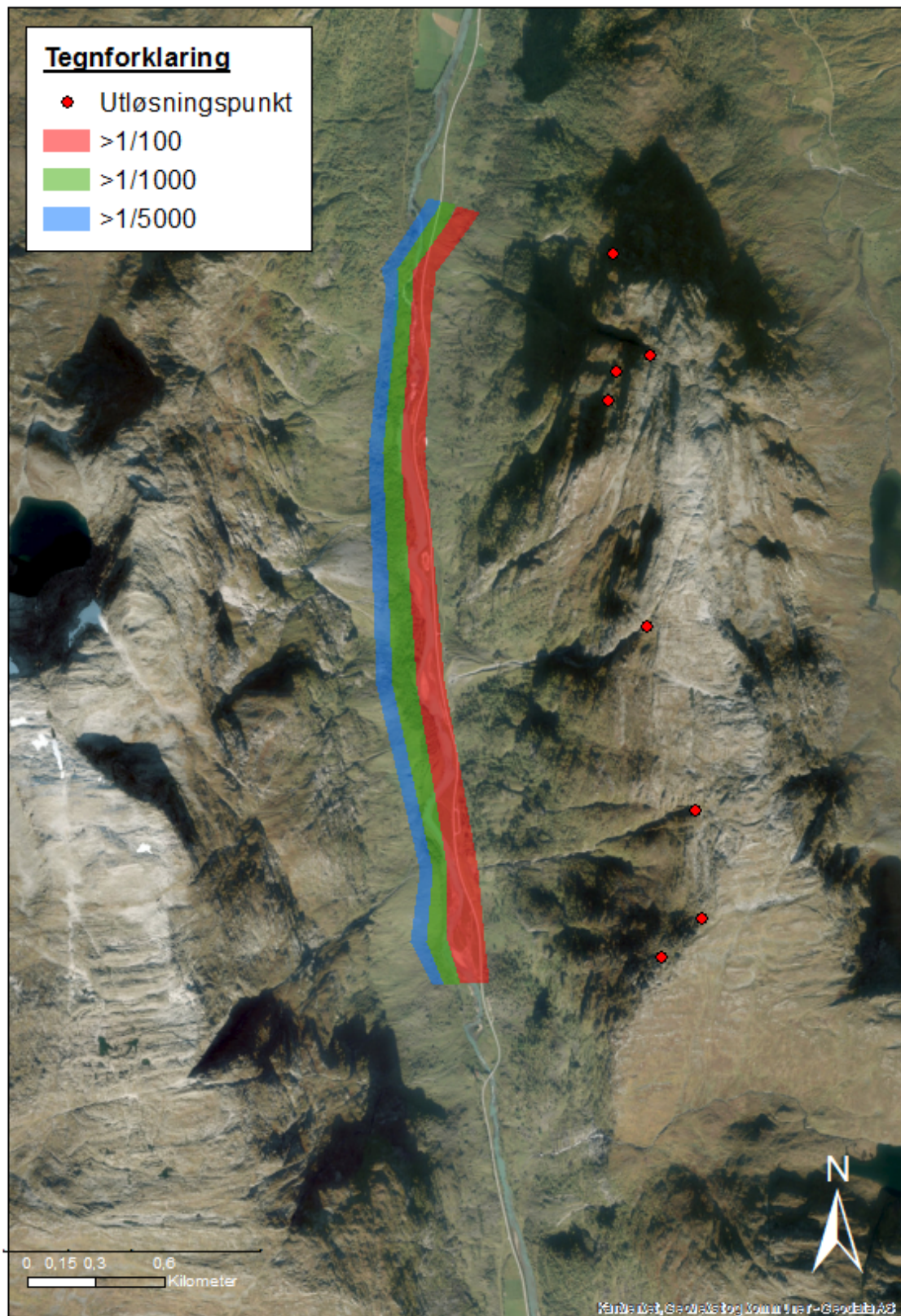
Figur 8.2: Faresonekart for steinsprang fra østlig dalside i Votedalen, utviklet fra beregninger fra lokalitet 20, 21, 27, 33, 35 og 36. Det røde markerer området innenfor sikkerhetssone S1, som innebærer rekkevidden for hundreårsskred. Det grønne området viser sikkerhetssone S2, rekkevidden for tusenårsskred. Det blå markerer S3, rekkevidden for femtusenårsskred. De røde prikkene viser utløsningspunktene som faresonene er beregnet ut fra.

Rekkevidde for snøskred fra vest



Figur 8.3: Faresonekart for snøskred fra vestlig dalside i Votedalen, utviklet fra beregninger fra lokalitet 1, 2, 4, 7, 11, 14, 17 og 18. Det røde markerer området innenfor sikkerhetszone S1, som innebærer rekkevidden for hundreårsskred. Det grønne området viser sikkerhetszone S2, rekkevidden for tusenårsskred. Det blå markerer S3, rekkevidden for femtusenårsskred. De røde prikkene viser utløsningspunktene som faresonene er beregnet ut fra.

Rekkevidde for snøskred fra øst



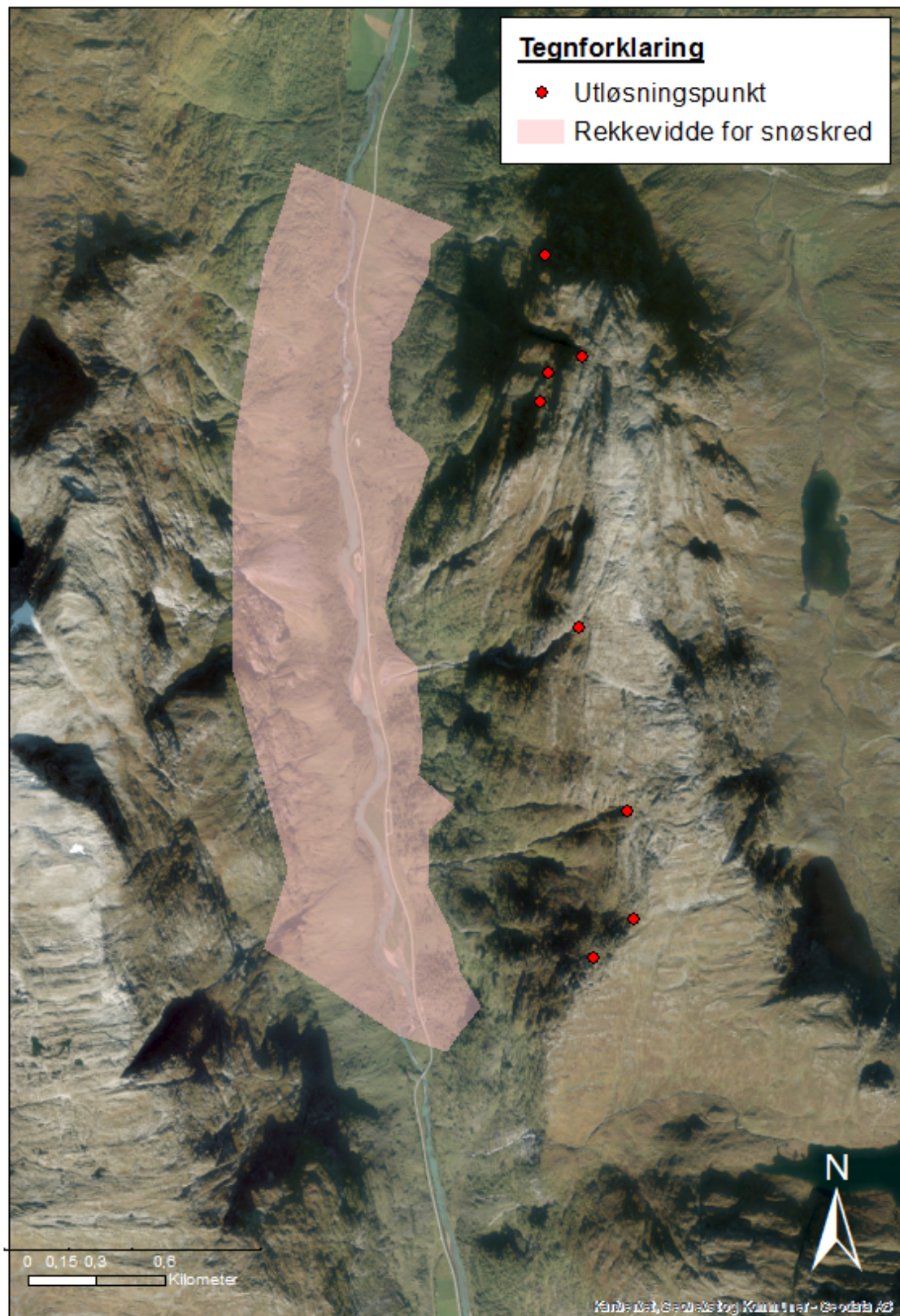
Figur 8.4: Faresonekart for snøskred fra østlig dalside i Votedalen, utviklet fra beregninger fra lokalitet 20, 21, 23, 27, 33, 35, 36 og 37. Det røde markerer området innenfor sikkerhetssone S1, som innebærer rekkevidden for hundreårsskred. Det grønne området viser sikkerhetssone S2, rekkevidden for tusenårsskred. Det blå markerer S3, rekkevidden for femtusenårsskred. De røde prikkene viser utløsningspunktene som faresonene er beregnet ut fra.

H/L-forhold: Rekkevidde for snøskred fra vest



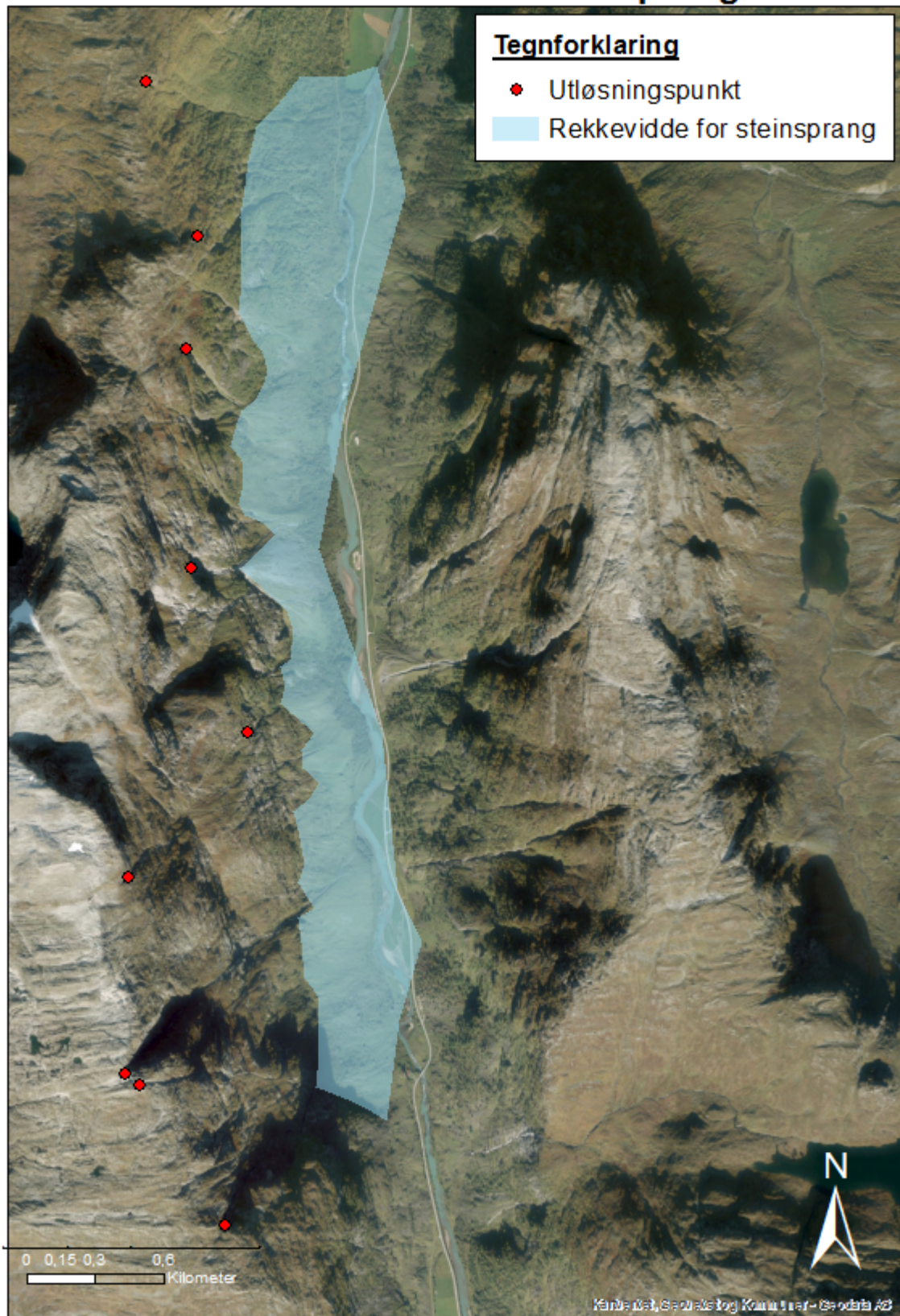
Figur 8.5: Beregnede utløpslengder for snøskred fra vestsiden av dalen. Det rosa området markerer maksimal rekkevidde for snøskred. Områdene er satt sammen av 9 ulike profiler. Lokalitet 8 er ikke medregnet ettersom lokalitet 7 overgår rekkevidden. Snøskred vil kunne rekke over E39 fra alle de ulike utløspunktene.

H/L-forhold: Rekkevidde for snøskred fra øst



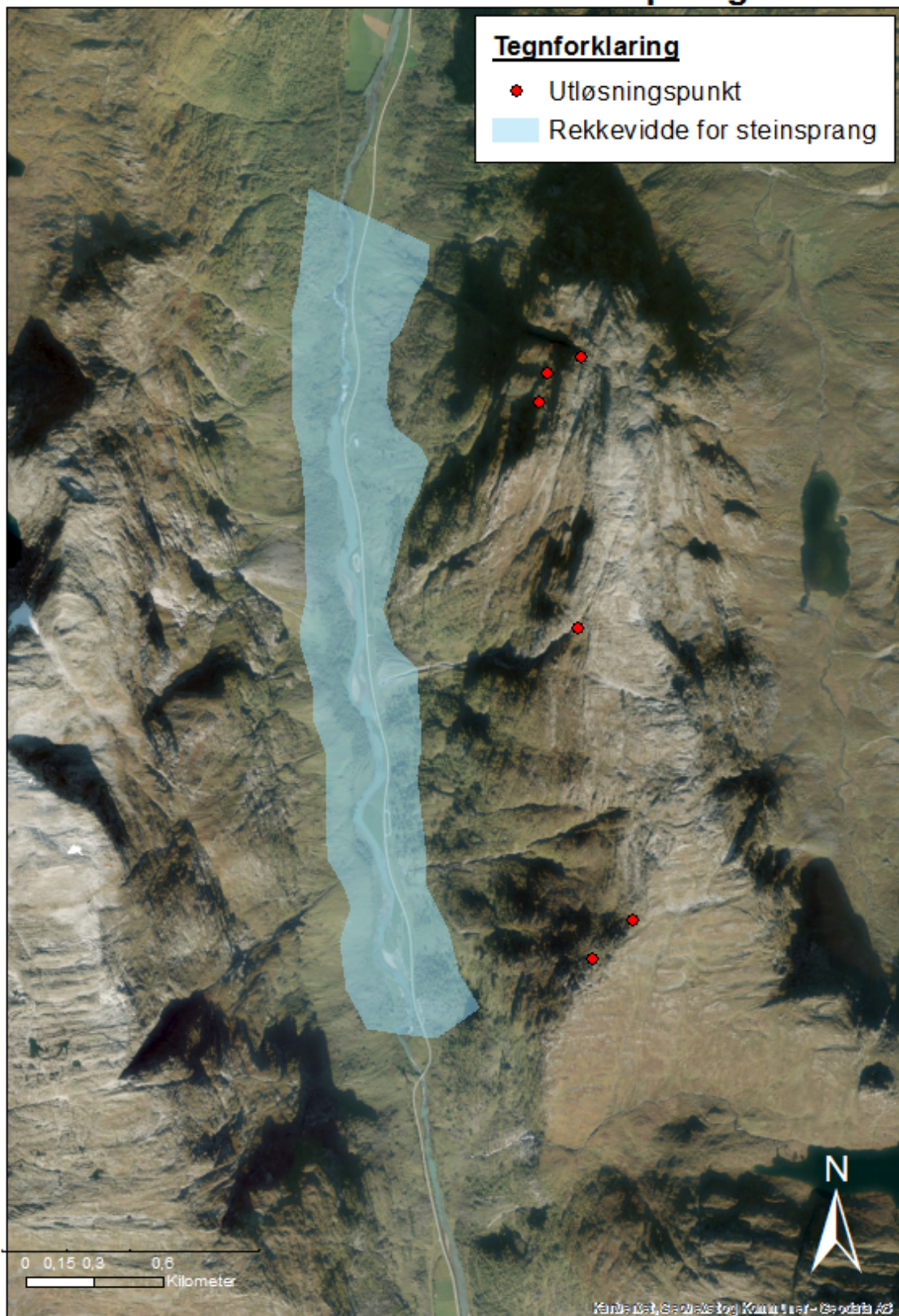
Figur 8.6: Beregnede utløpslengder for snøskred fra østsiden av dalen. Det rosa området markerer maksimal rekkevidde for snøskred og er satt sammen av 8 ulike profiler. Snøskred vil kunne rekke over E39 fra alle de ulike utløspunktene og nå opp på vestlig dalside.

H/L-forhold: Rekkevidde for steinsprang fra vest



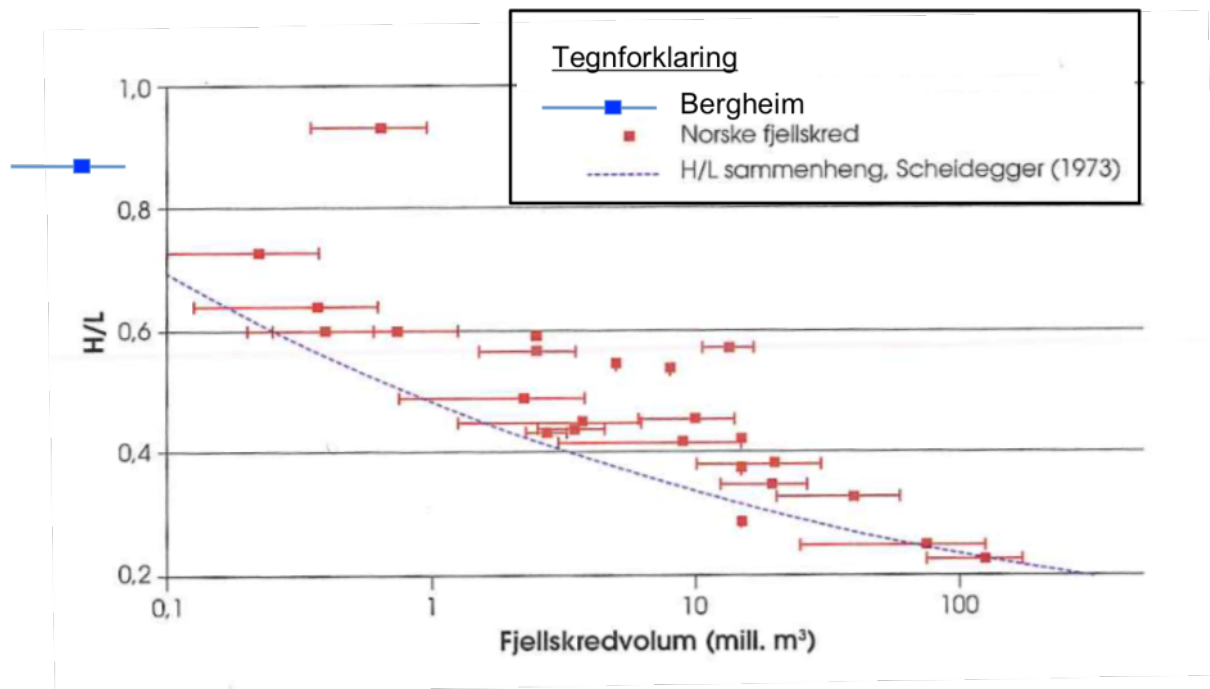
Figur 8.7: Beregnede utløpslengder for steinsprang fra vestsiden av dalen. Det blå markerer maksimal rekkevidde for steinsprang. Områdene er satt sammen av 9 ulike profiler. Ras fra de fleste utløspunktene vil kunne nå over E39, bortsett fra ved lokalitet 8 og 11.

H/L-forhold: Rekkevidde for steinsprang fra øst



Figur 8.8: Beregnede utløpslengder for steinsprang fra østsiden av dalen. Det blå området markerer maksimal rekkevidde for steinsprang. Det er satt sammen av 6 ulike profiler, da noen av lokalitetene på østlig dalside kun var preget av snøskred og ikke steinsprang. Steinsprang vil kunne rekke godt over E39 med fra alle de ulike utløspunktene.

Skredavsetningene ved **Bergheim** var først antatt til å være fra et fjellskred. Ut fra beregningene av volumet er sannsynligvis massene fra et stort steinskred. Den høye H/L-verdien indikerer også at massene ikke er fra et fjellskred. Resultatene gjør at skredavsetningen ikke passer inn i modellen til Scheidegger (1973) som har presentert H/L-forhold som funksjon av volum til skredmassene, se figur 8.9.



Figur 8.9: Modifisert figur hentet fra side 59 i Høeg et al., (2014) som har modifisert den fra (Romstad et al., 2009) som modifiserte figuren til Scheidegger (1973). Her illustreres H/L-forholdet som funksjon av volum til skredmassene. Legg merke til at volumet er presentert logaritmisk. Skredmassene ved Bergheim, markert med blått, faller utenfor diagrammet til Scheidegger.

Utløsningsområdet ved Bergheim er preget av sterk eksfoliasjon som gir utfall av mindre blokker. Beregninger av rekkevidden for steinsprang ved hjelp av alfa-beta metoden viser at et hundreårsskred ved Bergheim vil kunne nå ut i elven, se figur 7.4.9. Dette stemmer overens med hendelsen i 1968 som ble fortalt av Elin Bergheim. Videre er det usannsynlig med rekkeviddene for tusenårsskred og femtusenårsskred da det ikke er blitt observert slike skredavsetninger i området. Det er registrert et jordskred ved Bergheim i 1936. Dette kan forekomme igjen, men mengden vegetasjon i området kan begrense omfanget. Ved Bergheim har skogen blitt tettere og tregrensen høyere de siste 40 årene. Med varmere klima vil denne utviklingen fortsette. Det går ikke store steinsprang eller snøskred her på jevnlig basis.

9. Diskusjon av metoder

I diskusjonen blir det først drøftet om resultatene fra dateringsmetodene vil kunne brukes til å beregne skredfrekvensen i området. Her blir også de lichenometriske målingene og R-verdiene fra samme lokaliteter sammenlignet for å se om de korrelerer. Videre blir resultatene fra de ulike metodene for beregning av rekkevidde sammenlignet. I sammenligningen av rekkevidden til steinsprang blir det fokusert på lokalitetene 2, 11, 14, 20 og 36 hvor alle metodene er benyttet. Deretter blir det vurdert ulike sikringstiltak for E39 gjennom dalen og for huset nærmest skredmassene ved Bergheim.

9.1. Beregning av skredfrekvens

Utførte **lichenometrimålinger** viser at de eldste skredavsetningene ligger på vestsiden av dalen. Alle målte skredavsetninger på den østlige dalsiden av Votedalen ser ut til å være yngre enn 60 år. Ved Bergheim er skredavsetningene, med hjelp av vekstkurven til Matthews (2005), estimert til å være 50 år gamle. Dette resultatet er langt lavere enn forventet.

Det er tydelig at de aldersestimatene for skredmassene ved hjelp av Matthews (2005) ikke stemmer. Det er flere mulige **feilkilder** til dette i Votedalen og ved Bergheim. En av de mest sannsynlige faktorene for at målingene blir feil er hyppige snøskred som gir vanskelige forhold for lav å vokse i. Dette gjelder spesielt hvor skredavsetningene ligger helt inntil dalsiden. Andre områder er igjen preget av svært mye vegetasjon som har vokst over laven. Ytterligere feilkilder kan være teksturen på bergartsflaten som gir vanskelige vokseforhold og tilgang på lys. Det vil være begrenset med sollys i dalen ettersom dalsidene er så bratte som de er. I tillegg kan det hende at de største tilfellene av lav ikke er målt, men med tanke på kvantiteten av målinger kan man anta at forarbeidet er tilstrekkelig.

Lokalitet 4, 11 og 13 har de største standardavvikene. Dette kan bety at blokkene er avsatt mer sporadisk her. Ved lokalitet 11 er det antatt at mesteparten av viften ble avsatt samtidig, noe som burde gitt et mindre standardavvik. Dette kan skyldes at de største målingene er registrert på blokker som har kommet tidligere enn resten av steinsprangviften. Ellers kan fortsatt feilkilder som vegetasjon, gjentatte snøskred og vanskelige vokseforhold spille inn.

Schmidthammermålingene fra Votedalen er noe tvilsomme ettersom det ikke var ypperlige forhold å måle i. Fuktige, mosekledde blokker med hellende og ujevne flater gir mange feilkilder. Bergarten i området er hovedsakelig grovkornet med en mineralsammensetning som er preget av mye kvarts.

Ved **lokalitet 1** har de yngre skredavsetningene større standardavvik enn de eldre. Her ville en antatt at det skulle være omvendt. Den høye verdien mellom 86 og 90 kommer sannsynligvis av at schmidthammeren har truffet et kvartskorn eller annet hardt mineral. Det ble utført beregninger ved å ta vekk avvikende verdier, og standardavviket ble da mindre for de yngre skredmassene. Det ble derimot ikke den store forskjellen mellom standardavvikene som først var forventet. De eldre skredavsetningene har lavere gjennomsnittsverdi enn de yngre, noe som stemmer overens med forventningene. Skulle derimot tro at de yngre skredmassene ville hatt høyere R-verdi ettersom disse raste i 2015. Ved **lokalitet 2** er R-verdiene for de to ulike avsetningene relativt like og de ser ut til å ha falt under samme tidsrom.

Den store steinsprangviften ved **lokalitet 11** har liknende R-verdier både i bunn og toppen av viften. Dette stemmer overens med antakelser om at det meste raste i én omgang. R-verdiene er noe høyere i toppen, noe som kan komme av at det jevnlig er nye tilskudd av blokker i toppen av viften. Både schmidthammermålingene og de lichenometriske målingene viser til et merkbart standardavvik. Dette kan igjen skyldes nye tilskudd av blokker etter hvert. Ifølge vekstkurven til Matthews (2005) er steinsprangviften ved lokalitet 11 omtrent 100 år gammel ± 10 år. Det skal stilles spørsmål til denne alderen ettersom steinspranget da ville blitt dokumentert i aviser og innbyggere ville hatt historier fra hendelsen.

Målingene fra **lokalitet 27** viser en trend med høye R-verdier, men også her er det stort sprang i resultatene. Det skulle helst vært mer konsentrerte og høye verdier ettersom blokkene har ligget her i relativt kort tid. Skredmassene fra både lokalitet 27 og de nye skredmassene ved lokalitet 1 har kommet nylig, men de har svært ulike R-verdier.

Lokaliteter med lignende lichenometriske resultater har blitt sammenlignet med resultatene fra schmidthammermålingene. **Lokalitet 1, 2 og 3** er de lokalitetene hvor det ble målt størst lavstørrelse. Gjennomsnittet på R-verdiene her var henholdsvis 39, 35,9 og 39,6. Schmidthammermålingene har dermed relativt lik verdi i forhold til hverandre, og kan med

det tyde på at de har falt innen samme tidsrom. De er derimot ikke de laveste verdiene som er blitt målt, og vil dermed ikke indikere at de eldst relativt til de andre schmidthammermålingene. De laveste målte schmidthammerverdiene er ved lokalitet 2, 7 og 16. Lokalitet 16 har derimot også lave verdier fra lichenometrimålingene, noe som motsier schmidthammerverdiene. Dette kan skyldes at det var problematisk å finne blokker å måle på ettersom området er svært gjengrodd. Det er vanskeligere å vite om de største tilfellene av lav er funnet, og det er samtidig uegnede forhold for schmidthammermålinger.

To standardavvik til R-verdiene målt ved **lokalitet 1, 2, og 3** ble beregnet til å være henholdsvis 17,2, 15,8 og 27. Det er forventet at standardavviket vil bli høyere desto eldre skredavsetningene er, ettersom det da er større mulighet for sporadiske steinsprang. Lokalitet 3 har meget stort standardavvik og kan tyde på svært sporadiske steinsprang. Det kan samtidig se ut til å være flere feilmålinger her, men spekteret av R-verdier er betydelig nok til å anta at det er høy frekvens av steinsprang. Lokalitet 3 er en lokalitet hvor lichenometriske målinger og schmidthammermålinger korrelerer bra. I tillegg til svært høyt standardavvik for R-verdiene, er gjennomsnittsverdien relativt lav. Dette er samtidig en av lokalitetene hvor det ble målt størst lavdiameter, og dermed tyder på å være blant de eldste.

R-verdiene fra blokkene ved Bergheim har to standardavvik på 20,8. Dette er stort standardavvik, spesielt da skredmassene først var antatt til å ha kommet samtidig. De lichenometriske resultatene antyder at skredet gikk for 50 år siden. Dette er definitivt galt ettersom det da blant annet ville vært vel dokumentert i aviser. Feilmålingene for både de lichenometriske målingene og schmidthammermålingene skyldes mest sannsynlig den store mengden med vegetasjon i området.

Den store spredningen i R-verdier gjelder for de fleste lokalitetene, og er ikke begrenset til de som ble beregnet til å være eldst ved hjelp av lichenometri. Alle lokalitetene hvor det ble utført schmidthammermålinger har to standardavvik i intervallet mellom 14,8 og 27. Tabell B.2 i vedlegg B viser at seks av 20 datasett har negativ skjevhet, de resterende har positiv. Dette kan skyldes avvikende høye verdier som kommer av å treffe harde mineraler. 14 av 20 datasett har negativ kurtose som indikerer flatere fordeling. Dette støtter de andre observasjonene om at R-verdiene er spredt.

Det kan være mange ulike årsaker til at skredavsetningene ikke gir de R-verdiene en først ville forventet. En mulighet er at blokkene allerede lå løst før de raste ned dalsiden. De kan da ha vært rester etter ras lenger oppe i dalsiden som er blitt fraktet videre ved en senere anledning. Blokkene kan også ha vært påvirket av forvitring og erosjon i sprekker før de løsnet helt fra fjellet. Disse tilfellene kunne gitt lavere R-verdier. De store spredningene i R-verdiene kan skyldes at blokkene har falt sporadisk, og ikke som en samlet masse. Målingene er tatt på 10 ulike blokker for hver lokalitet, noe som også gir en større usikkerhet. De spredte R-verdiene for hver lokalitet er så betydelige at det blir usikkert om resultatene er troverdige. Mest sannsynlig er det sporadiske ras og mengden med vegetasjon som har gitt de største spredningene.

9.2. Alfa-beta metoden, H/L-forhold og RocFall

Metodene som er brukt til å beregne rekkevidden for steinsprang har gitt svært ulike resultater. Beregninger av rekkevidde med alfa-beta metoden og H/L-forhold er utført fra to ulike utløsningspunkt ved lokalitetene 2, 20, 27 og 35. I disse tilfellene er det mer sannsynlig at det vil rase fra utløsningspunkt A da dette er de bratteste områdene i skråningen. Rekkevidden er mindre når det raser fra A, men det var kun ved lokalitet 2 at det gjorde en betydelig forskjell for alfa-beta metoden. Utløpslengden ble heller ikke bemerkelsesverdig endret ved beregning fra to ulike utløsningspunkt ved hjelp av H/L-forhold. Lokalitet 27 hadde da størst utfall med 70 m lenger rekkevidde fra utløsningspunkt B enn fra A.

Felles for de fleste utførte beregningene med **alfa-beta metoden** er at rekkevidden for snøskred er kortere enn steinsprang. Unntakene er dersom det raser fra lokalitet 4, 14, 36 og fra det bratte området ved lokalitet 20. Dette er lokaliteter hvor det er en større avstand mellom 10°punktet og 23°punktet. Her er overgangen fra dalside til dalbunn mer gradvis enn den vanligvis er i Votedalen som ellers er karakterisert av steile dalsider. Resultatene viser også at skred fra øst vil ha større sannsynlighet for å ramme E39 og Votedalselva. Dette er ikke overraskende da E39 ligger inntil den østlige dalsiden.

Resultatene fra hundreårsskred beregnet ved hjelp av **alfa-beta metoden** stemmer relativt godt med feltobservasjoner. Det er derimot høyst usannsynlig at et steinsprang vil kunne nå opp i motsatt dalside da tyngdekraften ville overgått drivkreftene. Dette betyr at beregnet rekkevidde for femtusenårsskredene ikke stemmer overens med realiteten. De ville maksimalt

ha nådd ut til den beregnede utløpslengden for tusenårsskred som er ved overgangen mellom dalbunn og dalside.

Beregninger fra **alfa-beta metoden** har også gitt andre avvikende verdier sammenlignet med samtale med Klakegg som bor i området. Klakegg fortalte at snøskredavsetninger fra lokalitet 4 og 7 har slått seg sammen og dekket over veien. Beregningene fra alfa-beta metoden viser derimot at det må et femtusenårsskred for at et snøskred fra lokalitet 7 skal nå over elven. Dette kan skyldes flere faktorer. Det kan komme av at det ikke er tatt hensyn til fonnvinden som skal være veldig sterk ved disse lokalitetene. Samtidig kan det ha vært gjentatte snøskred som har bygget seg opp og etter hvert nådd over elven. Beregningene ved lokalitet 7 har tatt utgangspunkt i et skredløp som går langs senteret av skredviften. Det ser ut til at den sørlige delen av viften er mest aktiv da det er mindre vegetasjon her. Ved å ta utgangspunkt i at snøen føres mot sør er det lettere å forestille seg at snøskredavsetninger fra lokalitet 4 og 7 vil slå seg sammen.

Beregning av rekkeviddene for skred ved hjelp av **H/L-forhold** ga andre resultater enn alfa-beta metoden, RocFall og feltobservasjonene. Her vil snøskred alltid rekke lenger enn steinsprang, og snøskredene når opp i motsatt dalside fra både vest og øst. Steinsprang fra øst kan ifølge H/L-forhold også rekke et stykke opp i vestlig dalside. Dette er igjen høyst usannsynlig at vil kunne forekomme. Snøskred kan derimot bevege seg oppover, men vil fortsatt ikke kunne nå like langt opp i andre dalside som utregningene tilsier.

Rekkeviddene for steinsprang beregnet ved hjelp av **H/L-forhold** stemmer overens med skredfaresonene S2 og S3 som ble beregnet ved hjelp av alfa-beta metoden, men er derimot svært overdrevet i forhold til S1. Den store forskjellen kan skyldes topografien i Votedalen. De bratte fjellssidene gjør at rekkevidden gjerne blir lengre enn det som er reelt. Rekkevidden for steinsprang fra vest ser derimot ut til å være mer realistisk. Dette kan komme av en mer gradvis overgang fra dalside til dalbunn. De overdrevne rekkeviddene fra beregning ved hjelp av H/L-forhold kan også skyldes at metoden ikke er like godt egnet for snøskred og steinsprang som den er for fjellskred. Kunne forsøkt å sette H/L-forholdet til å være høyere for både snøskred og steinsprang, og se om dette ville gitt mer realistiske utfall.

Gjennom simuleringene i **RocFall** er det blitt beregnet rekkevidde for steinsprang ved lokalitetene 2, 11, 14, 20 og 36. Det er tydelig at antall blokker og mengde volum ikke hadde

noe å si på resultatet. Dette kommer nok av at det ikke ble påført noen vertikal eller horisontal hastighet til steinspranget. Type underlag ga derimot ulike resultater. Det er små forskjeller på egenskapene til de utvalgte underlagene, jord og talus, men det ga fortsatt utslag på rekkevidden. Talusunderlag fører til at blokkene får mer spredd utløpslengde, i motsetning til jordunderlag hvor alle blokkene går like langt. Dette ville igjen blitt annerledes ved å legge til hastighet i simuleringen. Blant disse resultatene ser det mer sannsynlig ut med talusunderlag ettersom skredmassene blir mer spredd. Begge typene underlag gir likevel samme maksimale rekkevidde.

Beregningene fra alfa-beta metoden og H/L-forhold tar ikke utgangspunkt i **underlaget**. I Votedalen ligger det skredmasser langs begge dalsidene som vil dempe steinsprang. Det er i tillegg mye **vegetasjon** i form av busker og kratt som vil kunne dempe både snøskred og steinsprang. Skogen i nord på den vestlige dalsiden er tett nok til at det er liten risiko for at skredene vil nå ut til skogsveien. Hjelle som bor i området bekreftet dette og fortalte at han ikke kjenner til at det har rast blokker ut til denne veien. Alfa-beta metoden og H/L-forhold tar ikke hensyn til **topografien**, hvor potensielle skred vil miste mye energi ved brå overgang fra dalside til dalbunn. Dette kan være en viktig feilkilde ved beregningene i Votedalen ettersom den er karakterisert av steile dalsider.

Aktsomhetskartene viser at hele Votedalen potensielt er utsatt for snøskred og steinsprang. Hele vestlig og østlig dalside er samtidig markert som mulig utløsningsområde, noe som skyldes de bratte dalsidene. Dette stemmer godt med observasjoner i felt hvor dalsidene var preget av oppsprekking, eksfoliasjon, skredarr og gjel. Beregningene av rekkevidder for snøskred, steinsprang og grov massestrøm ved hjelp av alfa-beta metoden stemmer godt med aktsomhetskartene. Majoriteten av beregningene av rekkevidde ved hjelp av H/L-forhold er overestimerte i forhold til aktsomhetskartene.

9.3. Sikringstiltak

Snøskjermer kunne vært et godt tiltak ettersom mye av snøen kommer med vinden. Det ville derimot blitt noe upraktisk ettersom gjelene samler opp snø fra alle kanter, og ikke fra én dominerende vindretning.

Å **bolte** ustabile dalpartier kan bli komplisert da det er mange potensielle løsneområder langs begge dalsidene. **Sprøytebetong** er derfor heller ikke et godt alternativ. Å **sprengne** ned blokker vil kunne motvirke sin hensikt og føre til mer sprekkdannelse eller utløse steinsprang i andre deler av dalen.

Fangvoll for snøskred og steinsprang er et godt tiltak da de kan ta imot store mengder skredmateriale og ikke trenger mye vedlikehold. **Steinspranggjerd**er kunne også vært fordelsmessig på østsiden i Votedalen, men det vil kanskje ikke være tilstrekkelig. Det går sporadiske steinsprang langs hele dalen, og det er derfor vanskelig å avgjør hvor steinspranggjerdene skulle vært satt opp. De fleste stedene i dalen er det likevel slakt nok til at blokkene blir dempet i en steinur eller stopper opp før veien. Det er blokker som faller på E39 i Votedalen hvert år, men dette forekommer langs hele veistrekningen og vil være vanskelig å hindre.

Skredvollene på den østlige dalsiden, ved lokalitet 23 og 27, stopper store mengder skredmateriale fra å treffe E39. Det er dog noen blokker som når over skredvollen ved lokalitet 23. Geitefjøsset på østsiden er beskyttet med både grøft og skredvoll mot potensielle skred. Sandal som eier geitefjøsset fortalte at det helst er steinsprang som når ned til området rundt geitefjøsset. Det faller blokker her med jevne mellomrom, og fjøsene er ofte utsatt for skred. Grøften og skredvollen gir derfor en god beskyttelse mot steinsprang og snøskred. Metallplatene på fjøsveggen beskytter mot fonnvind.

Det er stor trafikk på E39 som går gjennom dalen og det øker risikoen for at potensielle skred kan gi fatale følger. Ved å bygge **tunnel** vil en kunne unngå farlige situasjoner for trafikken, og en vil også unngå omfattende omkjøringer om veien skulle bli stengt på grunn av ras. Det er gledelig at det allerede er vedtatt å bygge en tunnel som vil bli startet i perioden 2024-2029.

Ved Bergheim er det mye skog og mye skredmateriale. Dersom det skulle blitt utført et sikringstiltak her ville det vært anbefalt å bygge fanggjerd. Tror likevel dette ikke er nødvendig da huset til Elin Bergheim ligger bak store skredblokker. Disse vil dempe potensielle steinsprang. Beregninger ved hjelp av alfa-beta metoden tilsier at det skal et hundreårsskred til for at et steinsprang skal nå ut til E39. Da er det ikke tatt hensyn til at steinspranget først må gå gjennom tett skog, skredur og mark. Ved å ta disse faktorene i betraktning virker sannsynligheten liten for at et skred når ut til huset til Elin Bergheim eller

E39. Skredet som gikk i 1968 gikk langs elveløpet omtrent 150 m sør for huset, som igjen vil kunne gi en klar bane for nye skred. Situasjonen som oppsto forrige gang, hvor blokker dannet en oppdemming som senere brøt, kan forekomme igjen i fremtiden. For å unngå ny oppdemming bør innbyggerne i området være oppmerksomme på en slik mulighet. Det er nemlig stor sannsynlighet for at steinsprang blir godt hørt. Dersom blokkene ender med å demme opp elven kan oppmerksomme lokale melde fra til kommunen som vil kunne hjelpe til med å fjerne blokkene på en trygg måte. Faren for jordskred har blitt redusert med årene ettersom det er kommet betydelig mer skog og annen vegetasjon i fjellsiden. Dette kan være nok til å binde sammen jordmassene. Et eventuelt sikringstiltak kunne vært ledevoller som kunne ledet inn mot elveløpet.

9.4. Videre arbeid

Man vil kunne estimere bestemt alder av skredmassene ved å ta **schmidthammerprøver** av en eldre flate i dalen som allerede er blitt datert. Dette kunne blitt benyttet til å etablere en bedre oversikt over skredfrekvensen i Votedalen og ved Bergheim. Forholdene for prøvetaking på skredblokkene er fortsatt dårlige, og undersøkelsen kan derfor ende med å understreke problemene ved bruk av denne metoden til datering av skredmasser. For å øke sikkerheten i målingene kan man også ta vekk de mest avvikende verdiene.

Ved å legge til ulike hastigheter i **RocFall** kan en utforske hvilke parametre som gir best resultat sammenlignet med feltobservasjoner. Flere simuleringer med ulike parametere og fra forskjellige steder kan hjelpe til å utvikle bruken programvaren. Dette kunne gitt en bedre oversikt over hvilke hastigheter som har gitt mest sannsynlige resultater ved ulike typer terreng og topografi.

10. Konklusjon

- Feltobservasjoner og beskrivelser fra innbyggere i området er to av de viktigste elementene i en skredfarevurdering.
- Feltobservasjoner har gitt et godt inntrykk av hvor langt skred kan gå ved de ulike lokalitetene. Rekkevidden for skred er beregnet ved hjelp av ulike metoder som RocFall, H/L-forhold og alfa-beta metoden. Simuleringene i RocFall er utført uten tillagt hastighet, og gir dermed for kort rekkevidde. Beregninger ved hjelp av H/L-forhold overestimerte rekkevidden til både snøskred og steinsprang i Votedalen. Dette skyldes mest sannsynlig de steile dalsidene. Alfa-beta metoden samsvarer best med observasjoner i felt og fra samtaler med innbyggere i området.
- Innhenting av schmidthammerdata og lichenometriske data ble en utfordring ettersom områdene var preget av mye vegetasjon. Dette førte til resultater som ikke stemte overens med feltobservasjoner eller samtaler med lokale innbyggere. De lichenometriske målingene er likevel benyttet til å anslå den korteste perioden skredavsetningene har ligget der.
- Det er ingen tvil om at skredfrekvensen er høy i Votedalen ettersom det ligger nye blokker over eldre skredavsetninger i store deler av dalen. Ved Bergheim ble det ikke observert nyere blokker, og innbyggerne fortalte om lite skredaktivitet.
- Metodene for å beregne rekkevidde for skred har gitt ulike resultater, men alle støtter opp om at hele Votedalen er svært skredutsatt. Dalen er mest utsatt for snøskred, og spesielt fra østlig dalside er det stor sannsynlighet for at disse vil nå ned til E39.
- Hele Votedalen ligger innenfor sikkerhetsklasse S1 i faresonekartet utarbeidet ved hjelp av alfa-beta metoden. E39 og huset til Bergheim er også innenfor sikkerhetssone S1. Fjøsene i Votedalen og huset til Bergheim ville ifølge TEK10 ikke fått byggetillatelse i dag, men det er blitt utført forskjellige sikringstiltak. Ved geitefjøset er det bygget skredvoll, grøft og beskyttelse på skredutsatt vegg. Huset til Bergheim er bygget like foran store skredmasser som vil kunne fungere som beskyttelse mot potensielle skred. Ut fra mine observasjoner og beregninger, av både frekvens og rekkevidde, er jeg helt enig i Statens Vegvesen sitt vedtak om å bygge en tunnel i Votedalen. Dette vil kunne avverge farlige hendelser ved ferdsel gjennom dalen.

Kilder og litteratur

- Aydin, A. & Basu, A. (2005) The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering geology*, 81, 1-14.
- Azzoni, A. & De Freitas, M. (1995) Experimentally gained parameters, decisive for rock fall analysis. *Rock mechanics and rock engineering*, 28, 111-124.
- Bakkehøi, S., Domaas, U. & Lied, K. (1983) Calculation of snow avalanche runout distance. *Annals of Glaciology*, 4, 24-29.
- Barton, N. & Choubey, V. (1977) The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*, 10, 1-54.
- Bickerton, R. W. & Matthews, J. A. (1992) On the accuracy of lichenometric dates: an assessment based on the "Little Ice Age" moraine sequence of Nigardsbreen, southern Norway. *The Holocene*, 2, 227-237.
- Bjerrum, L. & Jørstad, F. (1966) *Stabilitet av fjellskråninger i Norge*. Oslo: Norges geotekniske institutt.
- Blikra & Nemeč (1998) Postglacial colluvium in western Norway: depositional processes, facies and palaeoclimatic record. *Sedimentology*, 45, 909-959.
- Blikra, L. H., Hole, P. A. & Rye, N. (1989) *Skred i Norge: hurtige massebevegelser og avsetningstyper i alpine områder, Indre Nordfjord*, Trondheim, Norges geologiske undersøkelse.
- Braathen, A., Blikra, L. H., Berg, S. S. & Karlsen, F. (2004) Rock-slope failures of Norway, type, geometry deformation mechanisms and stability. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 84, 67-88.
- Buser, O. & Frutiger, H. (1980) Observed maximum run-out distance of snow avalanches and the determination of the friction coefficients μ and ξ . *Journal of Glaciology*, 26, 121-130. Referert i: Bakkehøi, S., Domaas, U. & Lied, K. (1983) Calculation of snow avalanche runout distance. *Annals of Glaciology*, 4, 24-29.
- Carson, M. A. & Kirkby, M. J. (1972) Hillslope form and process. Referert i: Braathen, A., Blikra, L. H., Berg, S. S. & Karlsen, F. (2004) Rock-slope failures of Norway, type, geometry deformation mechanisms and stability. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 84, 67-88.
- Colman, S. M. (1981) Rock-weathering rates as functions of time. *Quaternary Research*, 15, 250-264.
- Corner, G. D. (1980) Avalanche impact landforms in Troms, North Norway. *Geografiska annaler (trykt utg.). Series A ; Physical geography*, . Series A. *Physical geography*.
- De Blasio, F. V. & Sæter, M. B. (2009) Small - scale experimental simulation of talus evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 1685-1692.
- De Quervain, M. (1972) Lawinenschutz in der Schweiz. *Zeitschrift des Bündner Forstvereins SELVA*, 15-32. Referert i: Bakkehøi, S., Domaas, U. & Lied, K. (1983) Calculation of snow avalanche runout distance. *Annals of Glaciology*, 4, 24-29.

- DiBK (2011) *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK 10). §7-3. Sikkerhet mot skred.*
- Ffoulkes, C. & Harrison, S. (2014) Evaluating the Schmidt hammer as a method for distinguishing the relative age of late Holocene moraines: Svellnosbreen, Jotunheimen, Norway. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 96, 393-402.
- Föhn, P., Stoffel, M. & Bartelt, P. (2002) Formation and forecasting of large (catastrophic) new snow avalanches. *Proceedings of the International Snow Science Workshop.*
- Goudie, A. S. A. (2006) The Schmidt Hammer in geomorphological research. *Progress in physical geography*, 30, 703-718.
- Hanssen - Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, A., Sundby, S., Vasskog, K. & Ådlandsvik, B. (2015) *Klima i Norge 2100: kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert 2015.* Oslo: Norsk klimaservicesenter.
- Harstveit, K. & Steen, R. (2012) *Vinden som blåste i fjor: hvor sterk var Dagmar?*, Oslo, Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Heim, A. (1932) *Bergsturz und menschenleben*, Fretz & Wasmuth. Referert i: Scheidegger, A. E. (1973) On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 5, 231-236.
- Hopfinger, E. (1983) Snow avalanche motion and related phenomena. *Annual review of fluid mechanics*, 15, 47-76. Referert i: Blikra & Nemeč (1998) Postglacial colluvium in western Norway: depositional processes, facies and palaeoclimatic record. *Sedimentology*, 45, 909-959.
- Hsü, K. J. (1975) Catastrophic Debris Streams (Sturzstroms) Generated by Rockfalls. *Geological Society of America Bulletin*, 86, 129-7606-86-1-129-16827.
- Høeg, K., Lied, K., Karlsrud, K., Gregory, T. & Norges geotekniske institutt (2014) *Skred: skredfare og sikringstiltak: praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper.* Oslo: NGI Universitetsforlag.
- Innes, J. L. (1985) Lichenometry. *Progress in physical geography*, 9, 187-254.
- Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., Kronholm, K., Vikhamar-Schuler, D., Isaksen, K. & Sletten, K. (2008) Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 893-904.
- Jóhannesson, T., Gauer, P., Issler, P., Lied, K. & Hákonardóttir, K. M. (2009) *The design of avalanche protection dams: recent practical and theoretical developments*, European Commission.
- Katz, O., Reches, Z. & Roegiers, J. C. (2000) Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37, 723-728.
- Kent, P. (1966) The transport mechanism in catastrophic rock falls. *The Journal of Geology*, 79-83.
- Kłapyta, P. (2013) Application of Schmidt hammer relative age dating to Late Pleistocene moraines and rock glaciers in the Western Tatra Mountains, Slovakia. *Catena*, 111, 104-121.

- Lang, R., Leo, B. & Hutter, K. (1988) Flow characteristics of an unconstrained, non-cohesive, granular medium down an inclined, curved surface: preliminary experimental results. *Annals of Glaciology*, 13, 146-153.
- Lied, K. & Bakkehøi, S. (1980) Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology*, 26, 165-177.
- Lied, K., Kristensen, K. & NGI (2003) *Snøskred. Håndboken om snøskred*. Nesbru: Forlaget Vett & Viten i samarbeid med NGI.
- Liestøl, O. (1974) Avalanche plunge-pool effect. *Norsk Polarinstitutt Arbok*, 1972, 179-181.
- Matthews, J. A. (1994) Lichenometric dating: a review with particular reference to 'Little Ice Age' moraines in southern Norway. *Dating in Exposed and Surface Contexts*. University of New Mexico Press, Albuquerque, 185-212.
- Matthews, J. A. (2005) 'Little Ice Age' glacier variations in Jotunheimen, southern Norway: a study in regionally controlled lichenometric dating of recessional moraines with implications for climate and lichen growth rates. *The Holocene*, 15, 1-19.
- Matthews, J. A. & McEwen, L. J. (2013) High-precision Schmidt-hammer exposure - age dating of flood berms, Vetlestølsdalen, alpine southern Norway: first application and some methodological issues. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 95, 185-195.
- Matthews, J. A. & Owen, G. (2010) Schmidt hammer exposure-age dating: developing linear age-calibration curves using Holocene bedrock surfaces from the Jotunheimen–Jostedalbreen regions of southern Norway. *Boreas*, 39, 105-115.
- Matthews, J. A. & Shakesby, R. A. (1984) The status of the 'Little Ice Age' in southern Norway: relative - age dating of Neoglacial moraines with Schmidt hammer and lichenometry. *Boreas*, 13, 333-346.
- Matthews, J. A., Shakesby, R. A., Owen, G. & Vater, A. E. (2011) Pronival rampart formation in relation to snow-avalanche activity and Schmidt-hammer exposure-age dating (SHD): three case studies from southern Norway. *Geomorphology*, 130, 280-288.
- McCarroll, D. (1989) Potential and limitations of the Schmidt hammer for relative-age dating: field tests on Neoglacial moraines, Jotunheimen, southern Norway. *Arctic and Alpine Research*, 268-275.
- McGrew, J. & Monroe, C. (1993) *Statistical Problem Solving in Geography*. Dubuque, IA: Wm. C. Brown Publishers.
- Mellor, M. (1978) Dynamics of snow avalanches. *Rockslides and avalanches*, 1, 753-792.
- Miller, R. P. (1965) *Engineering classification and index properties for intact rock*, University of Illinois (Urbana-Champaign campus). Referert i: Barton, N. & Choubey, V. (1977) The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock mechanics*, 10, 1-54.
- Nesje, A., Sjøstrøm, K. H. & Bjørseth, E. (2012) *Brelære: bre, landskap, klimaendringer og datering*. 2. utgave. Kristiansand: Høyskoleforlag.

- Nishimura, K. & Maeno, N. (1989) Contribution of viscous forces to avalanche dynamics. *Annals of Glaciology*, 13, 202-206.
- NVE (2011) Veileder: Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner. Vedlegg 2 til NVEs retningslinjer nr. 2/2011.
- Parsons, A. J. & Abrahams, A. D. (1987) Gradient-particle size relations on quartz monzonite debris slopes in the Mojave Desert. *The Journal of Geology*, 423-432.
- Ramberg, I. B. & NGF (2013) *Landet blir til: Norges geologi*. 2. utgave. Trondheim: Norsk geologisk forening.
- Rapp, A. & Nyberg, R. (1981) Alpine debris flows in northern Scandinavia. Morphology and dating by lichenometry. *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*, 183-196.
- Romstad, B., Harbitz, C. B. & Domaas, U. (2009) A GIS method for assessment of rock slide tsunami hazard in all Norwegian lakes and reservoirs. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 353-364.
- Rye, N., Nesje, A., Lien, R., Blikra, L. H., Eikenaes, O., Hole, P. A. & Torsnes, I. (1997) Glacial geology and deglaciation chronology of the area between inner Nordfjord and Jostedalbreen-Strynefjellet, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 77, 51-63.
- Salm, B. (1982) Mechanical properties of snow. *Reviews of Geophysics*, 20, 1-19.
- Salm, B. & Gubler, H. (1985) Measurement and analysis of the motion of dense flow avalanches. *Ann. Glaciol.*, 6, 26-34.
- Sandersen, F. (1996) Influence of meteorological factors on rock falls and rock slides in Norway. NGI Report. Referert i: Braathen, A., Blikra, L. H., Berg, S. S. & Karlsen, F. (2004) Rock-slope failures of Norway, type, geometry deformation mechanisms and stability. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 84, 67-88.
- Scheidegger, A. E. (1973) On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 5, 231-236.
- Scheller, E. (1970) Geophysikalische Untersuchungen zum Problem des Taminser Bergsturzes. Diss. Naturwiss. ETH Zürich, Nr. 4560, 0000. Ref.: Weber, M.; Korref.: Gansser, A. Referert i: Scheidegger, A. E. (1973) On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 5, 231-236.
- Schweizer, J., Bruce Jamieson, J. & Schneebeli, M. (2003) Snow avalanche formation. *Reviews of Geophysics*, 41.
- Selby, M. J. (1982) Hillslope materials and processes. *Hillslope materials and processes*.
- Shakesby, R. A., Matthews, J. A. & Owen, G. (2006) The Schmidt hammer as a relative-age dating tool and its potential for calibrated-age dating in Holocene glaciated environments. *Quaternary Science Reviews*, 25, 2846-2867.
- Statens Vegvesen (2016) Nasjonal transportplan 2018-2029.
- Statham, I. & Francis, S. (1986) Influence of scree accumulation and weathering on the development of steep mountain slopes. *Hillslope processes*, 245-267. Referert i: Blikra & Nemeč (1998) Postglacial colluvium in western Norway: depositional processes, facies and palaeoclimatic record. *Sedimentology*, 45, 909-959.

- St.meld. nr. 15 (2011-2012) Hvordan leve med farene - om flom og skred.
- Sumner, P. & Nel, W. (2002) The effect of rock moisture on Schmidt hammer rebound: tests on rock samples from Marion Island and South Africa. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 1137-1142.
- Terzaghi, K. (1951) *Mechanism of landslides*, Harvard University, Department of Engineering.
- Terzaghi, K. (1962) Stability of steep slopes on hard unweathered rock. *Geotechnique*, 12, 251-270. Referert i: Braathen, A., Blikra, L. H., Berg, S. S. & Karlsen, F. (2004) Rock-slope failures of Norway, type, geometry deformation mechanisms and stability. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 84, 67-88.
- Viles, H., Goudie, A., Grab, S. & Lalley, J. (2011) The use of the Schmidt Hammer and Equotip for rock hardness assessment in geomorphology and heritage science: a comparative analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36, 320-333.
- Webber, P. & Andrews, J. (1973) Lichenometry: a commentary. *Arctic and Alpine Research*, 295-302.
- Whalley, W. (1984) Rockfalls. *Slope instability*, 217-256.
- Williams, R. B. G. & Robinson, D. A. (1983) The effect of surface texture on the determination of the surface hardness of rock using the schmidt hammer. *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, 289-292.
- Yilmaz, I. & Sendir, H. (2002) Correlation of Schmidt hardness with unconfined compressive strength and Young's modulus in gypsum from Sivas (Turkey). *Engineering Geology*, 66, 211-219.
- Aa, A., Sjøstad, J., Sønstegaard, E. & Blikra, L. (2007) Chronology of Holocene rock-avalanche deposits based on Schmidt-hammer relative dating and dust stratigraphy in nearby bog deposits, Vora, inner Nordfjord, Norway. *The Holocene*, 17, 955-964.

Nettsider

- Askheim, S. 2015. Sogn og Fjordanes geologi og landformer [Internett]. snl.no. Tilgjengelig fra: https://snl.no/Sogn_og_Fjordanes_geologi_og_landformer [Hentet 01.11.2015].
- eKlima. 2015. eKlima: Gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner. [Internett]. Meteorologisk Institutt. Tilgjengelig fra: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL [Hentet 26.10.2015].
- Esri. 2015. Euclidean Distance [Internett]. Tilgjengelig fra: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/euclidean-distance.htm> [Hentet 06.02.2016].
- Jaedicke, C. 2014. Snøskred [Internett]. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/snøskred> [Hentet 08.02.2016].
- Kartverket. 2016. Norgeskart [Internett]. Tilgjengelig fra: <http://www.norgeskart.no> [Hentet 20.04.2016].

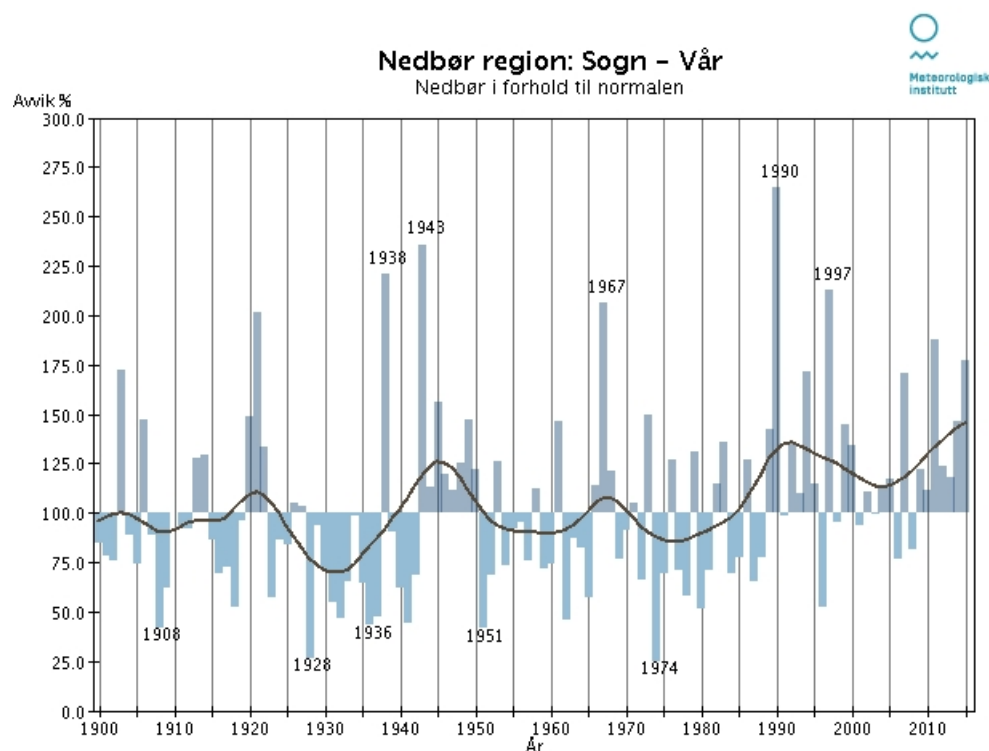
- NGU. 2015a. Norges Geologiske Undersøkelse [Internett]. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> [Hentet 05.10.2015].
- NGU. 2015b. Norges Geologiske Undersøkelse [Internett]. Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> [Hentet 05.10.2015].
- NGU. 2015c. Steinsprang og steinskred [Internett]. NGU. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/emne/steinsprang-og-steinskred> [Hentet 18.04.2016].
- NVE. 2015. Aktsomhetskart for steinsprang [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/flaum-og-skred/kartlegging/aktsemdkart/aktsomhetskart-for-steinsprang/> [Hentet 24.01.2016].
- NVE, NGU, Statens vegvesen, Jernbaneverket & Forsvarets militærgeografiske tjeneste. 2014. NVE Atlas [Internett]. Tilgjengelig fra: <http://atlas.nve.no/SilverlightViewer/?Viewer=NVEAtlas&runWorkflow=StartUpQuery&mapServiceId=48&layerName=Skredanalyseomraade&themelist=Snoskred%20Steinsprang%20JordFlomSkred> [Hentet 20.01. 2016].
- Rocscience. 2016. Rocfall [Internett]. Rocscience.com. Tilgjengelig fra: <https://www.rocscience.com/rocscience/products/rocfall> [Hentet 14.03.2016].
- Skrednett.no. 2012. Om skrednett [Internett]. Tilgjengelig fra: <http://www.skrednett.no/no/Om-skrednett/> [Hentet 24.01. 2016].
- Store norske leksikon. 2011. Median - statistikk [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/median/statistikk> [Hentet 04.04.2016].
- yr.no. 2016. Klima. Votedalen, Gloppen (Sogn og Fjordane) [Internett]. Tilgjengelig fra: http://www.yr.no/sted/Norge/Sogn_og_Fjordane/Gloppen/Votedalen/klima.html [Hentet 05.05.2016].
- Aaheim, A. & Bjørnstad, J. 2015. Fordeling: statistikk [Internett]. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fordeling%2Fstatistikk> [Hentet 15.01.2016].
- Aanensen, S. & Kristensen, O. 2015. Normalfordeling [Internett]. Nasjonal Digital Læringsarena. Tilgjengelig fra: <http://ndla.no/nb/node/118878> [Hentet 30.05.2016].

Vedlegg

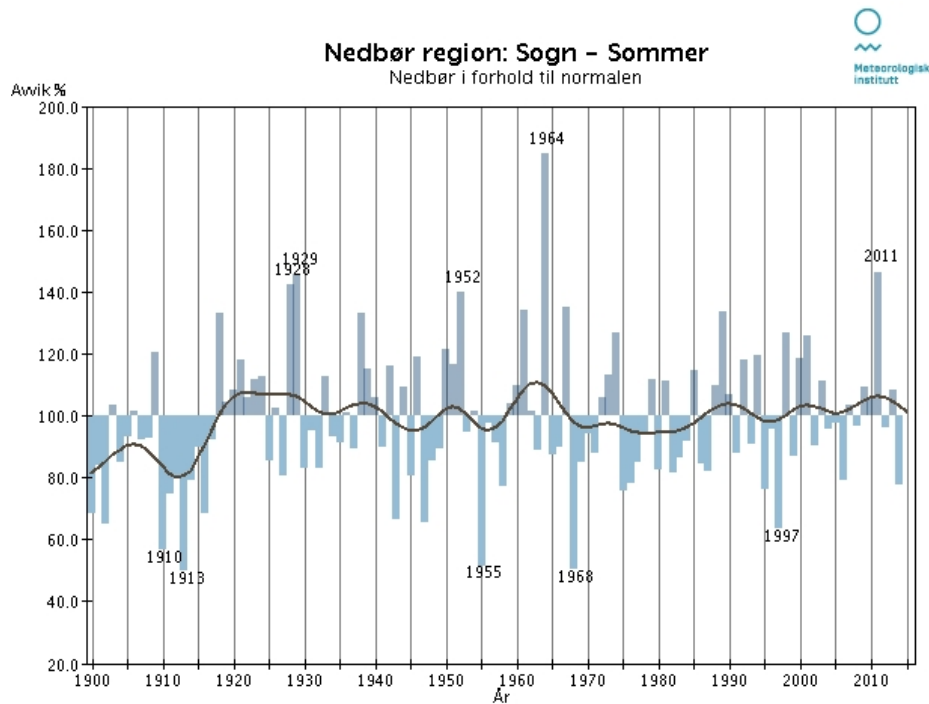
Vedlegg A. Klima

A.1. Klimastatistikk

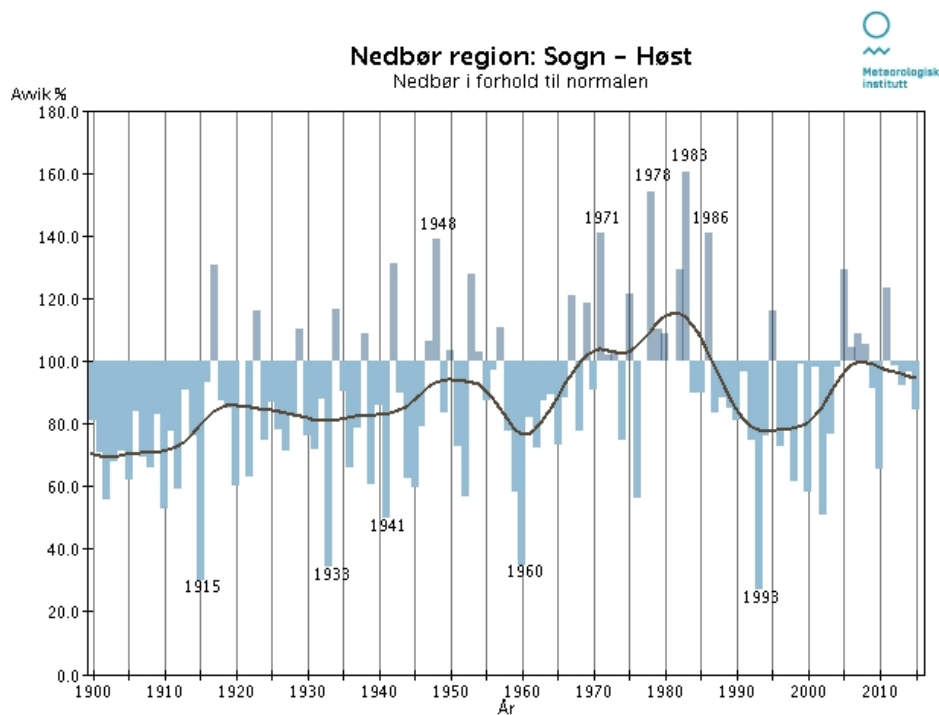
Figur A.1 – A.5 viser statistikken over nedbøren i forhold til normalen i perioden 1900-2015. Figur A.6 – A.10 viser statistikk over temperaturen i forhold til normalen i perioden 1900-2015. Dataene er hentet fra Meteorologisk institutt og illustrert gjennom grafer fra eKlima (eKlima, 2015).



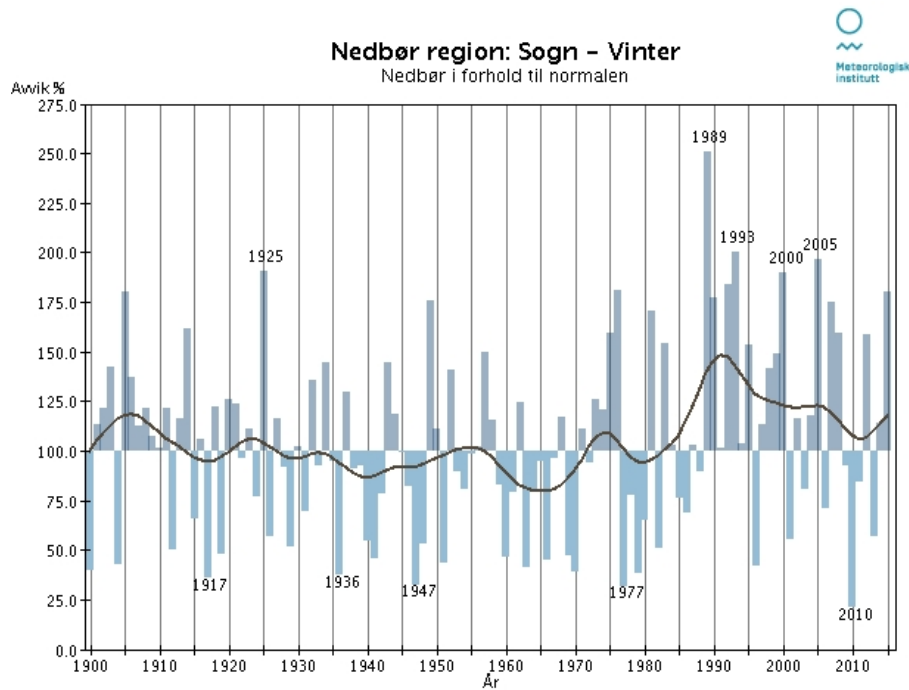
Figur A.1: Mengde nedbør i Sogn om våren i prosent av normalen (=100%) i perioden 1900-2015. Den svarte linjen viser gjennomsnittstrenden. Det er tydelige svingninger fra 1900, men de siste 30 årene har nedbøren ligget godt over normalen og ser ut til å stige enda mer. Dette er betydelig lengre periode med en dominerende trend, hvor de tidligere periodene har vært på 15 år (eKlima, 2015).



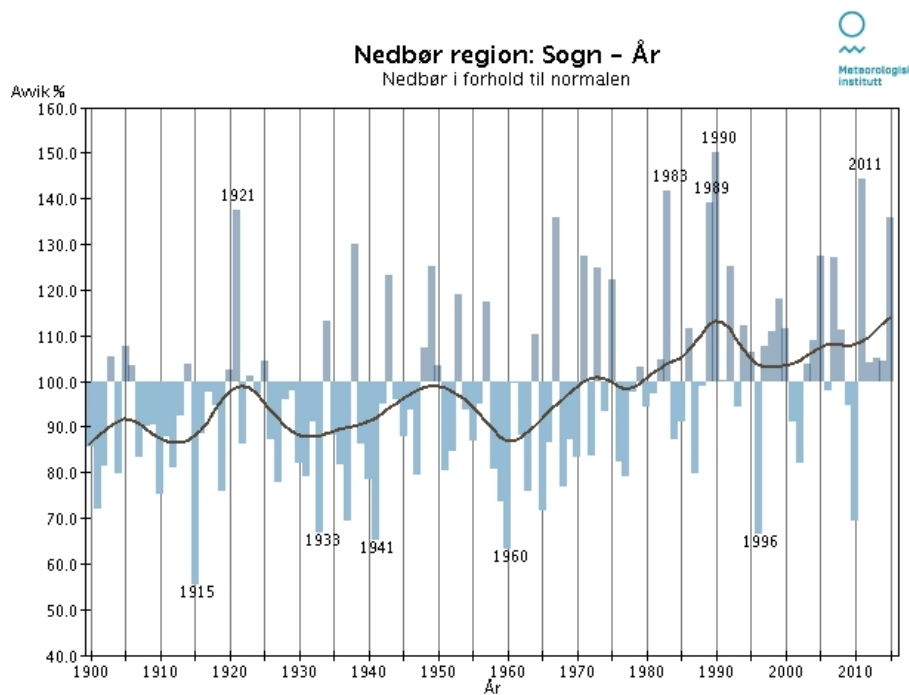
Figur A.2: Mengde nedbør i Sogn om sommeren i prosent av normalen (=100%) i perioden 1900-2015. Her er det mindre variasjon i svingningene sammenlignet med vårparten. Det er likevel en pågående positiv trend fra midten av 1980-tallet (eKlima, 2015).



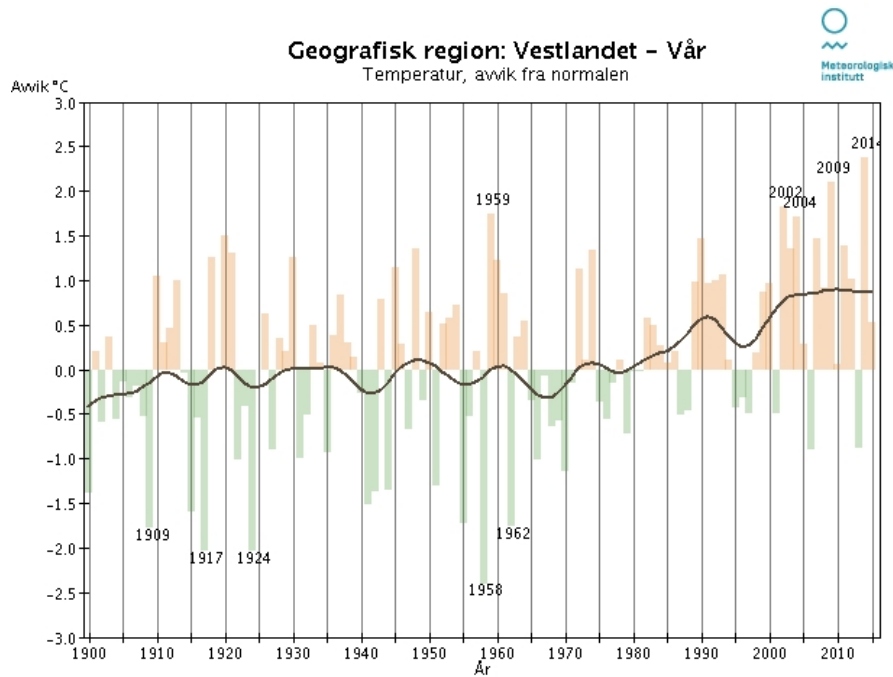
Figur A.3: Mengde nedbør i Sogn om høsten i prosent av normalen (=100%) i perioden 1900-2015. Det er en tydelig negativ trend, bortsett fra periodene fra 1969-1986 og 2004-2008 hvor det var mer nedbør enn vanlig (eKlima, 2015).



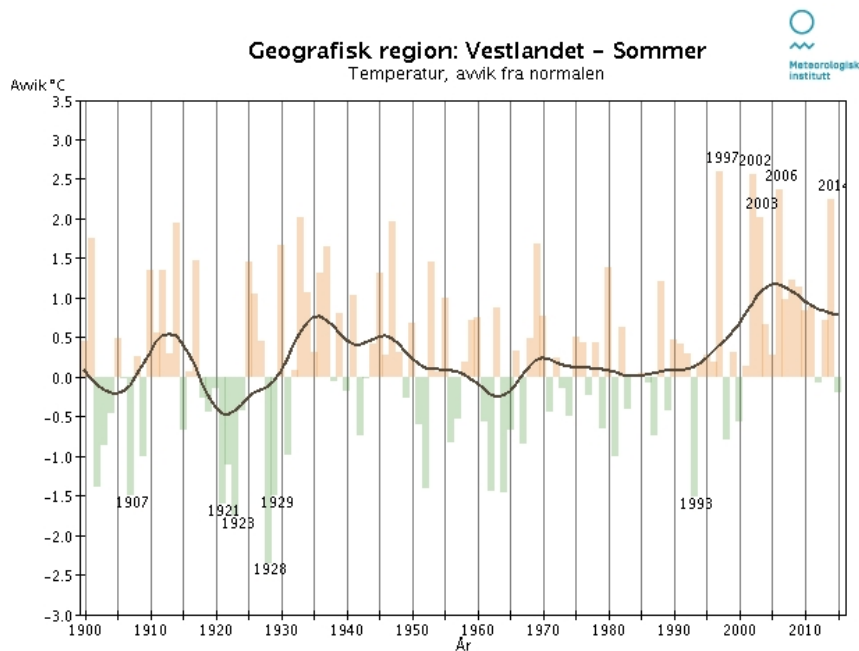
Figur A.4: Mengde nedbør i Sogn om vinteren i prosent av normalen (=100%) i perioden 1900-2015. Det har vært mange svinginger siden 1900, men fra og med 1989 har det helst vært en økning i nedbør om vinteren i forhold til normalen (eKlima, 2015).



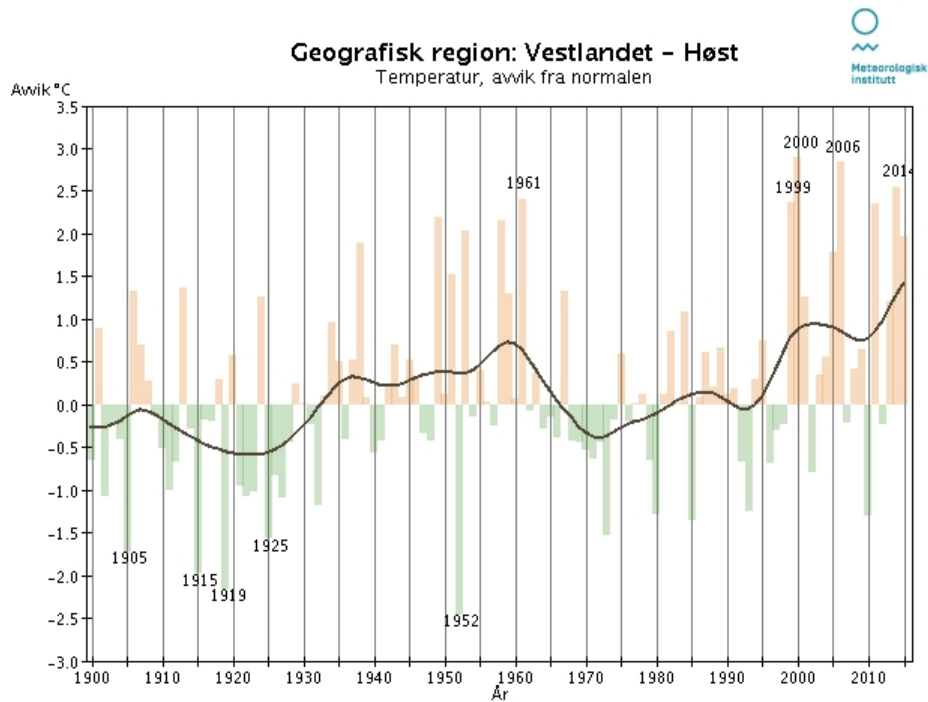
Figur A.5: Mengde årsnedbør i Sogn i prosent av normalen (=100%) i perioden 1900-2015. Årlig nedbør i forhold til normalen har gått fra å være stort sett negativ i perioden 1900-1980, til å være positiv fra 1980-2014 (eKlima, 2015).



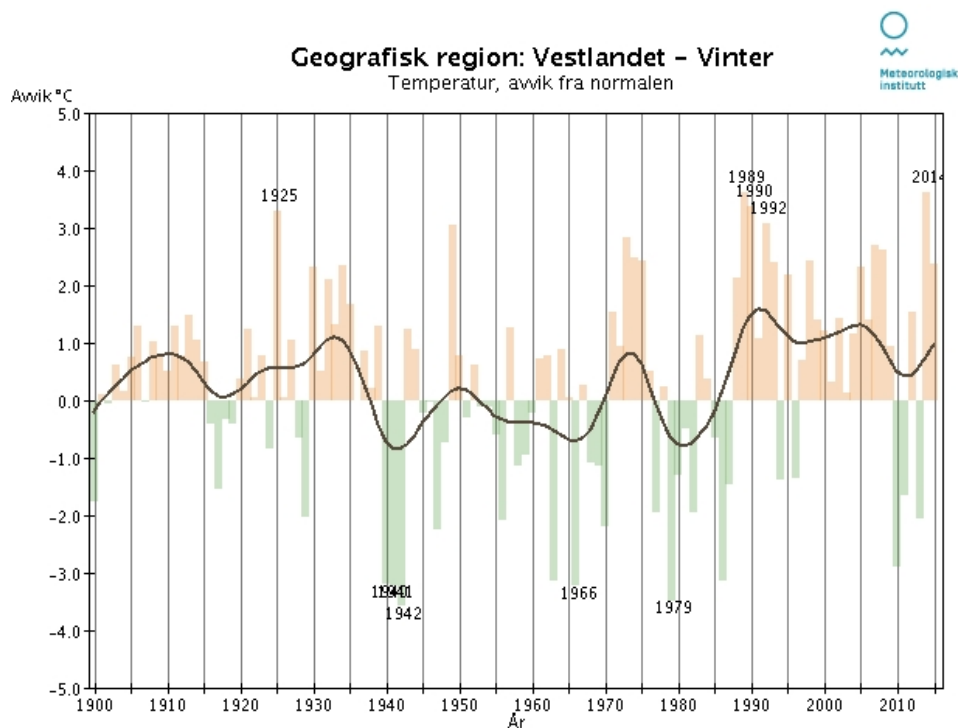
Figur A.6: Temperaturavvik fra normalen på Vestlandet om våren. Det har vært vekslende positive og negative avvik fra normalen fra 1900-1979. Fra 1980 har det vært åtte år med negativ temperaturforskjell fra normalen, mot 27 år med positive avvik. Våren 2014 ga sitt største utslag til nå på 2,3°C over normalen. De siste 11 årene har gjennomsnittstemperaturen om våren ligget på 0,8°C over normalen (eKlima, 2015).



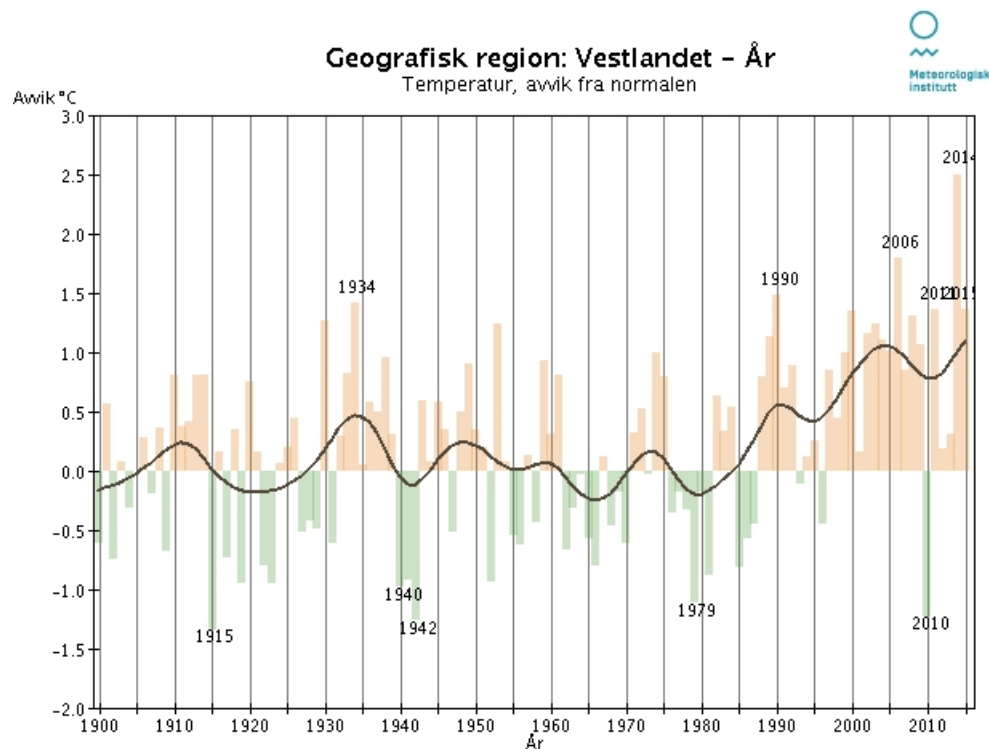
Figur A.7: Temperaturavvik fra normalen på Vestlandet om sommeren. Det er ikke like vekslende temperaturavvik om sommer som om våren. Fra og med 1967 har det vært en pågående trend med positive temperaturavvik. I 1997, 2002, 2003, 2006 og 2014 var betydelig varmere enn de andre sommerne med 2,0-2,6°C varmere enn normalen. 1993 var den kaldeste sommeren siden 1964 med 1,5°C mindre enn normalen (eKlima, 2015).



Figur A.8: Temperaturavvik fra normalen på Vestlandet om høsten. Før 1999 var det vekslende variasjoner mellom positive og negative avvik. I 1999, 2000, 2006 og 2014 var høsten 2,3-3°C over normalen. Dette har gitt en trend med positiv avvik fra og med 1999. (eKlima, 2015).



Figur A.9: Temperaturavvik fra normalen på Vestlandet om vinteren. Fra og med 1989 har det kun vært 5 år med negativt avvik fra normalen. Det har ellers vært et positivt avvik hvor 1989, 1990, 1992 og 2014 var de mest fremtredende årene med 3,1-3,6°C økt avvik (eKlima, 2015).



Figur A.10: Årlig temperaturavvik fra normalen på Vestlandet. Det har vært gjentatte svingninger siden 1900, men 1988 har det vært en merkbar trend i økt avvik. Det er kun 3 år det har vært et negativt avvik i forhold til normalen, sist i 2010. Året 2014 hadde det største temperaturavviket på Vestlandet siden 1900, med 2,6°C. (eKlima, 2015).

A.2. Klimaprognoser

Globale klimamodeller har en grov oppløsning og vil ikke alltid beskrive topografien og den tilhørende sirkulasjon godt nok. Dette har ført til utvikling av to modeller som nedskalere de globale modellene. Modellene blir dannet ved hjelp av to uavhengige metoder. Den ene metoden bygger empiriske statistiske modeller (ESD) og den andre bygger på fysisk-dynamiske modeller (RCM). Dette gir mer troverdige resultater da det blir tatt mer hensyn til lokale forhold (Hanssen - Bauer et al., 2015).

Modellene under som gjenspeiler klimaendringene er utviklet gjennom et samarbeid mellom Meteorologisk institutt, NVE og Uni Research. De har fremstilt modeller som tar utgangspunkt i ulike utslippsscenarioer, henholdsvis RCP2,6, RCP4,5 og RCP8,5. I rapporten brukes normalperioden 1971-2000 som referanseperiode (Hanssen - Bauer et al., 2015). Scenarioene RCP4,5 og RCP8,5 er brukt i beregningene av endring i avrenning.

Utslippsscenario RCP2,6 tar utgangspunkt i stabile klimautslipp de første årene, etterfulgt av kraftig reduksjon fra 2020. RCP4,5 bygger på stabile utslipp eller svak øking frem til 2040, etterfulgt av reduksjon. Fra 2080 må utslippene reduseres slik at de tilsvarer 40% av utslippene i 2012. RCP8,5 tar utgangspunkt i en kontinuerlig vekst. Her vil økingen av utslipp følge trenden fra de siste tiårene (Hanssen - Bauer et al., 2015).

For å finne endring i avrenning er utslippsscenarioene kombinert med to versjoner av HBV-modellen. Den ene utfører beregninger for hele landet for gridruter på 1x1 km², og den andre utfører beregninger for gitte nedbørsfelt. Utrekningene har ikke tatt hensyn til endring i breareal. Ettersom breene blir mindre vil det bety at sommeravrenningen for breområder er overestimert (Hanssen - Bauer et al., 2015).

Tabell A.1: Relativ forandring (%) i års- og årstidsnedbør for Sogn og Fjordane fra perioden 1971-2000 til 2071-2100. DJF: desember – februar, MAM: mars-mai, JJA: juni-august, SON: september-november (Hanssen - Bauer et al., 2015).

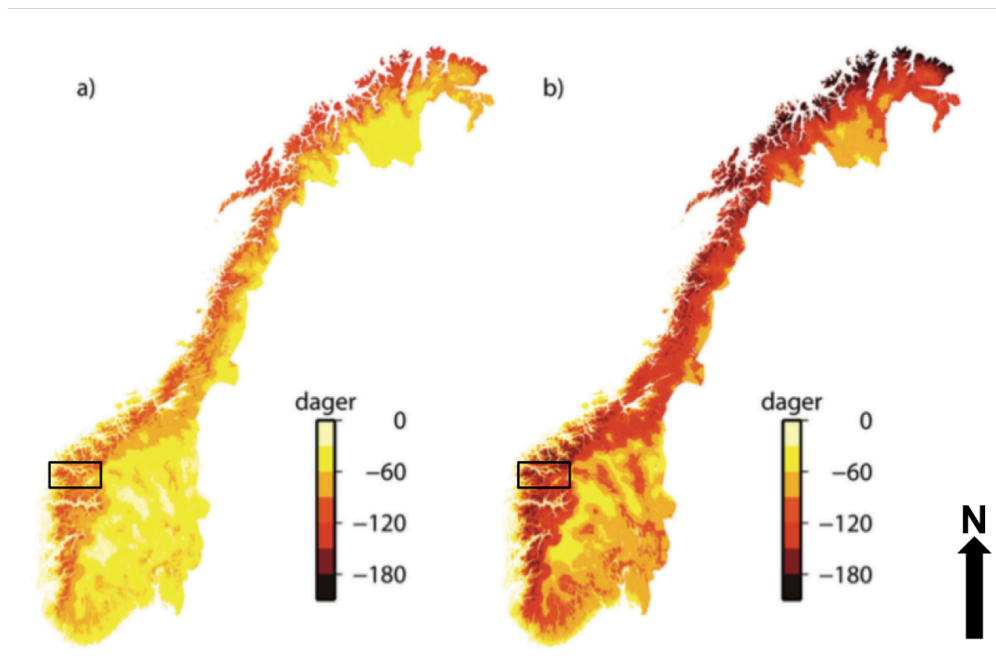
1971-2000 til 2071-2100: Endring (%) i total nedbørsmengde							
		RCP4,5			RCP8,5		
Region	Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Sogn og Fjordane	År	8	0	14	17	4	20
	Vinter (DJF)	1	-2	16	13	-3	28
	Vår (MAM)	6	-5	4	8	2	18
	Sommer (JJA)	8	-3	19	16	4	23
	Høst (SON)	8	3	19	14	6	33

Tabell A.2: Relativ forandring (%) i antall dager med kraftig nedbør fra 1971-2000 til 2071-2100. En verdi på 100% vil si en dobling av antall dager (Hanssen - Bauer et al., 2015).

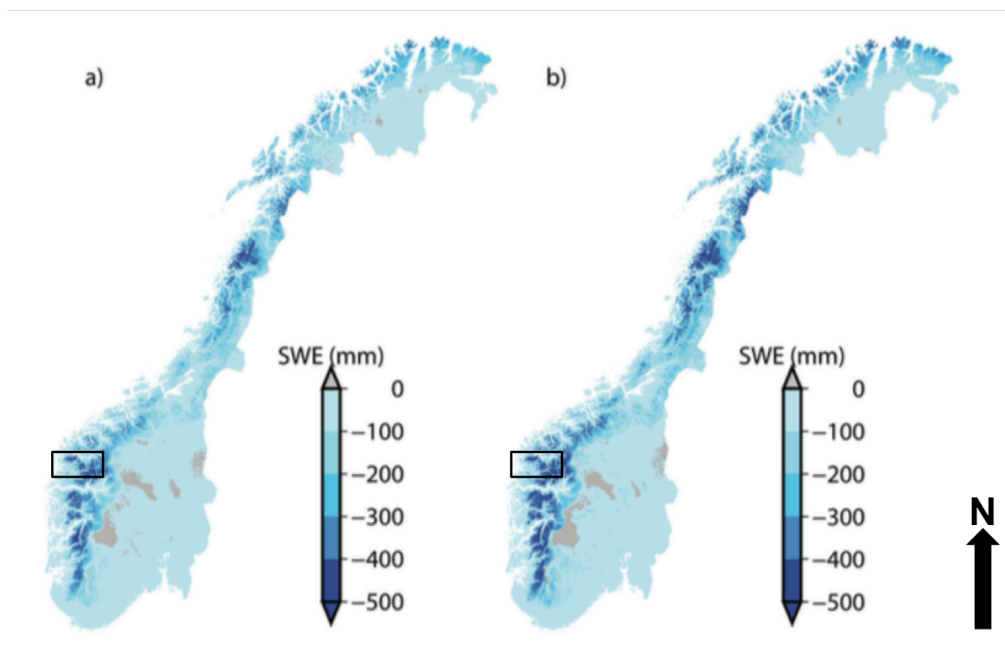
1971-2000 til 2071-2100: Endring (%) i antall dager med kraftig nedbør							
		RCP4,5			RCP8,5		
Region	Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Sogn og Fjordane	År	41	10	69	86	40	116
	Vinter (DJF)	47	-20	81	93	23	194
	Vår (MAM)	13	-34	109	32	-13	90
	Sommer (JJA)	58	33	81	101	76	128
	Høst (SON)	52	21	86	100	63	128

Tabell A.3: Relativ forandring (%) i nedbørsintensiteten på dager med kraftig nedbør fra 1971-2000 til 2071-2100.

1971-2000 til 2071-2100: Endring (%) i nedbørintensiteten på dager med kraftig nedbør.							
		RCP4,5			RCP8,5		
Region	Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Sogn og Fjordane	År	8	2	13	14	8	22
	Vinter (DJF)	7	-6	14	14	5	33
	Vår (MAM)	1	-12	21	6	-6	17
	Sommer (JJA)	12	6	16	18	13	25
	Høst (SON)	9	4	14	16	12	21



Figur A.11: Endring i antall dager med snø frem til normalperioden 2071-2100. Første figur (a) viser resultater fra utslippsscenario RCP4,5 og (b) viser RCP8,5. Den svarte firkanten markerer Nordfjord og Votedalen. Her ser det ut til å bli mellom 60-120 færre dager (a) eller opp mot 150 færre dager med snødekke i Votedalen (Hanssen - Bauer et al., 2015).



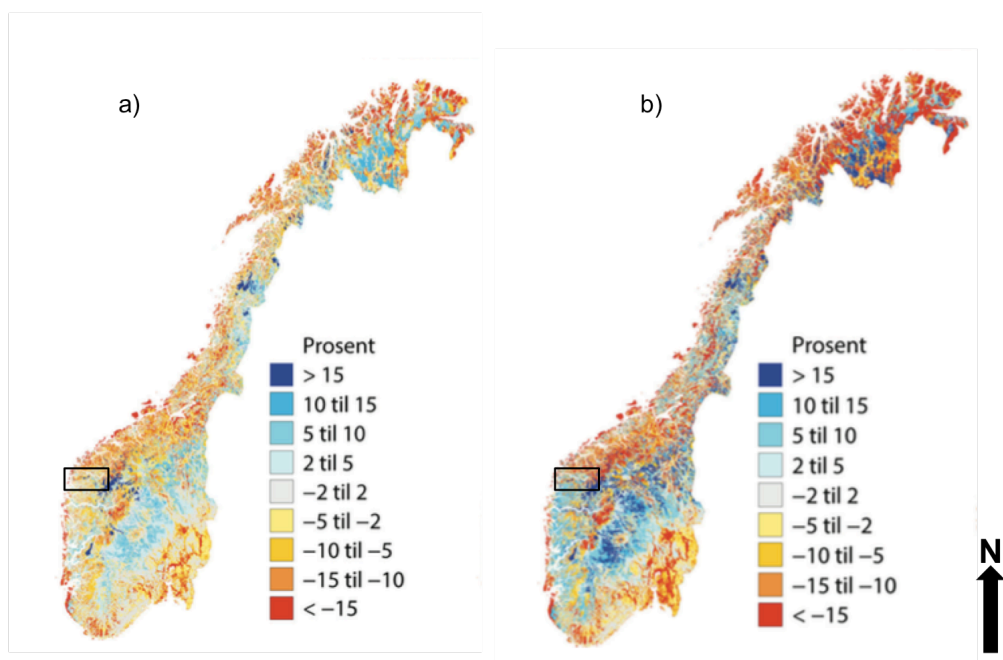
Figur A.12: Endring i maksimal årlig snømengde, illustrert i vannekvivalent (mm), frem til normalperioden 2071-2100. Første figur (a) viser resultater fra utslippsscenario RCP4,5 og (b) viser RCP8,5. Den svarte firkanten markerer Nordfjord og Votedalen. I undersøkelsesområdet er det ikke store forskjeller mellom de ulike klimamodellene, og resultatene tilsier mellom 200-500 mm mindre snø i året. Det vil være størst reduksjon i høyden, da temperaturøkningen vil gi senere start og tidligere slutt på akkumulasjonssesongen (Hanssen - Bauer et al., 2015).

Tabell A.4: Temperaturendring fra 1971-2000 til 2071-2100 for Vestlandet (Hanssen - Bauer et al., 2015).

1971-2000 til 2071-2100: Endring (°C) i temperatur							
		RCP4,5			RCP8,5		
Region	Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Vestlandet	År	2,4	1,6	4,0	3,5	2,1	5,1
	Vinter (DJF)	2,9	0,9	5,9	4,7	2,0	7,4
	Vår (MAM)	2,6	1,3	3,6	3,4	2,2	4,6
	Sommer (JJA)	1,0	0,1	2,2	1,1	-0,3	2,5
	Høst (SON)	3,1	2,1	4,8	4,7	3,1	7,3

Tabell A.5: Relativ forandring (%) i årsavrenning og årstidsavrenning for Vestlandet.

1971-2000 til 2071-2100: Endring (%) i total avrenning							
		RCP4,5			RCP8,5		
Region	Sesong	Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Vestlandet	År	2	-5	9	9	-1	14
	Vinter (DJF)	17	11	24	31	21	41
	Vår (MAM)	1	-5	21	2	-4	14
	Sommer (JJA)	-21	-27	-13	-18	-26	-14
	Høst (SON)	7	-2	18	16	2	25



Figur A.13: Median endring i årlig avrenning 2071-2100 sammenlignet med 1971-2000. Første figur (a) viser resultater fra utslippsscenario RCP4,5 og (b) viser RCP8,5. Den svarte firkanten markerer Nordfjord og Votedalen. Figurene er utviklet ut fra resultatene vist i tabell 5 (Hanssen - Bauer et al., 2015).

Vedlegg B. Resultater

B.1. Statistikk over lichenometriske målinger

Tabell B.1. viser statistikken over de fem største målte lavdiameterne for hver lokalitet. I oppgaven er det kun fokusert på maksimal størrelse, gjennomsnittlig størrelse og standardavvik.

Tabell B.1. Statistikk over lichenometriske målinger fra Votedalen og Bergheim. Det er kun de fem største lavdiameterne som er blitt valgt ut til videre undersøkelser.

Statistikk over lichenometriske målinger				
1. Eldre skredmasser			2	
Minimum	74		Minimum	75
Maksimum	80		Maksimum	80
Sum	383		Sum	386
Punkt	5		Punkt	5
Gjennomsnitt	76,60		Gjennomsnitt	77,20
Median	75		Median	76
Std.avvik	2,70		Std.avvik	2,59
Varians	7,30		Varians	6,70
Std.feil	1,21		Std.feil	1,16
Skjevhet	0,39		Skjevhet	0,34
Kurtose	-1,68		Kurtose	-1,80
		3	4	
Minimum	70		Minimum	50
Maksimum	80		Maksimum	68
Sum	365		Sum	283
Punkt	5		Punkt	5
Gjennomsnitt	73		Gjennomsnitt	56,60

Median	70
Std.avvik	4,47
Varians	20,00
Std.feil	2,00
Skjevhet	0,84
Kurtose	-0,92
8	
Minimum	30
Maksimum	40
Sum	172
Punkt	5
Gjennomsnitt	34,40
Median	33
Std.avvik	4,39
Varians	19,30
Std.feil	1,96
Skjevhet	0,31
Kurtose	-1,60
10	
Minimum	50
Maksimum	54
Sum	255
Punkt	5
Gjennomsnitt	51
Median	50
Std.avvik	1,73
Varians	3

Median	55
Std.avvik	6,73
Varians	45,30
Std.feil	3,01
Skjevhet	1,08
Kurtose	-0,14
9	
Minimum	37
Maksimum	50
Sum	213
Punkt	5
Gjennomsnitt	42,60
Median	40
Std.avvik	6,43
Varians	41,30
Std.feil	2,87
Skjevhet	0,31
Kurtose	-1,77
11. bunn	
Minimum	54
Maksimum	68
Sum	304
Punkt	5
Gjennomsnitt	60,80
Median	62
Std.avvik	6,57
Varians	43,20

Std.feil	0,77
Skjevhet	1,29
Kurtose	-0,08
13	
Minimum	40
Maksimum	67
Sum	247
Punkt	5
Gjennomsnitt	49,40
Median	45
Std.avvik	10,45
Varians	109,30
Std.feil	4,68
Skjevhet	1,09
Kurtose	-0,27
16	
Minimum	28
Maksimum	34
Sum	157
Punkt	5
Gjennomsnitt	31,40
Median	31
Std.avvik	2,61
Varians	6,80
Std.feil	1,17
Skjevhet	-0,11
Kurtose	-1,45

Std.feil	2,94
Skjevhet	-0,11
Kurtose	-1,71
14	
Minimum	26
Maksimum	33
Sum	140
Punkt	5
Gjennomsnitt	28
Median	26
Std.avvik	3,08
Varians	9,50
Std.feil	1,38
Skjevhet	0,97
Kurtose	-0,67
19	
Minimum	34
Maksimum	36
Sum	175
Punkt	5
Gjennomsnitt	35
Median	35
Std.avvik	1
Varians	1
Std.feil	0,45
Skjevhet	0
Kurtose	-1,75

20	
Minimum	31
Maksimum	46
Sum	181
Punkt	5
Gjennomsnitt	36,2
Median	35
Std.avvik	5,72
Varians	32,70
Std.feil	2,56
Skjevhet	1,18
Kurtose	-0,08
26	
Minimum	32
Maximum	37
Sum	174
Points	5
Mean	34,80
Median	35
Std Deviation	2,28
Variance	5,20
Std Error	1,02
Skewness	-0,15
Kurtosis	-1,63
29	
Minimum	30

21	
Minimum	23
Maksimum	28
Sum	127
Punkt	5
Gjennomsnitt	25,40
Median	25
Std.avvik	1,82
Varians	3,30
Std.feil	0,81
Skjevhet	0,18
Kurtose	-0,73
28	
Minimum	30
Maximum	36
Sum	167
Points	5
Mean	33,40
Median	34
Std Deviation	2,41
Variance	5,8
Std Error	1,08
Skewness	-0,40
Kurtosis	-1,24
37	
Minimum	24

B.2. Statistikk over schmidthammermålingene

Tabell B.2. viser statistikk over schmidthammermålingene fra Votedalen og Bergheim. I oppgaven er det blitt fokusert på gjennomsnittlig R-verdi, standardavvik, skjevhet og kurtose.

Tabell B.2. Statistikk over alle schmidthammermålingene. Lokalitetsnummer står i uthevet skrift. Det blir listet minimumsverdi, maksimumsverdi, sum av alle målinger, antall målinger som er tatt, gjennomsnittsverdi, median, ett standardavvik, varians, standardfeil, skjevhet og kurtose.

Statistikk over schmidthammermålinger			
1. Eldre skredmasser			1. Yngre skredmasser
Minimum	22		Minimum
Maksimum	62		Maksimum
Sum	3896		Sum
Punkt	100		Punkt
Gjennomsnitt	38,96		Gjennomsnitt
Median	39		Median
Std.avvik	8,58		Std.avvik
Varians	73,70		Varians
Std.feil	0,86		Std.feil
Skjevhet	0,31		Skjevhet
Kurtose	-0,37		Kurtose
2. Skredur			2. Skredmasser på høyre del av skreduren
Minimum	22		Minimum
Maksimum	56		Maksimum
Sum	3586		Sum
Punkt	100		Punkt
Gjennomsnitt	35,86		Gjennomsnitt
Median	35		Median
Std.avvik	7,89		Std.avvik

Varians	62,22
Std.feil	0,79
Skjevhet	0,30
Kurtose	-0,62
3	
Minimum	20
Maksimum	87
Sum	3960
Punkt	100
Gjennomsnitt	39,60
Median	36,50
Std.avvik	13,49
Varians	181,90
Std.feil	1,35
Skjevhet	1,41
Kurtose	2,27
5	
Minimum	28
Maksimum	66
Sum	4287
Punkt	100
Gjennomsnitt	42,87
Median	42,50
Std.avvik	8,07
Varians	65,21
Std.feil	0,81
Skjevhet	0,40

Varians	65,51
Std.feil	0,81
Skjevhet	0,39
Kurtose	-0,65
4	
Minimum	23
Maksimum	68
Sum	4266
Punkt	100
Gjennomsnitt	42,66
Median	44
Std.avvik	9,93
Varians	98,59
Std.feil	0,99
Skjevhet	-0,02
Kurtose	-0,65
7	
Minimum	22
Maksimum	58
Sum	3793
Punkt	100
Gjennomsnitt	37,93
Median	37,50
Std.avvik	8,78
Varians	77,02
Std.feil	0,88
Skjevhet	0,24

Kurtose	-0,11
8	
Minimum	26
Maksimum	81
Sum	4132
Punkt	100
Gjennomsnitt	41,32
Median	40
Std.avvik	9,42
Varians	88,81
Std.feil	0,94
Skjevhet	0,90
Kurtose	1,79
10	
Minimum	24
Maksimum	68
Sum	4399
Punkt	100
Gjennomsnitt	43,99
Median	44
Std.avvik	10,67
Varians	113,85
Std.feil	1,07
Skjevhet	0,29
Kurtose	-0,73
11. bunn	

Kurtose	-0,95
9	
Minimum	28
Maksimum	67
Sum	4877
Punkt	100
Gjennomsnitt	48,77
Median	49
Std.avvik	9,97
Varians	99,37
Std.feil	1,00
Skjevhet	-0,09
Kurtose	-1,01
11.topp	
Minimum	28
Maksimum	62
Sum	4969
Punkt	100
Gjennomsnitt	49,69
Median	50
Std.avvik	7,40
Varians	54,78
Std.feil	0,74
Skjevhet	-0,61
Kurtose	0,06
12	

Minimum	30
Maksimum	66
Sum	4842
Punkt	100
Gjennomsnitt	48,42
Median	49,50
Std.avvik	8,45
Varians	71,40
Std.feil	0,84
Skjevhet	-0,31
Kurtose	-0,76
13	
Minimum	25
Maksimum	62
Sum	4120
Punkt	100
Gjennomsnitt	41,20
Median	40
Std.avvik	7,79
Varians	60,73
Std.feil	0,78
Skjevhet	0,31
Kurtose	-0,27
16	
Minimum	23
Maksimum	62
Sum	3710

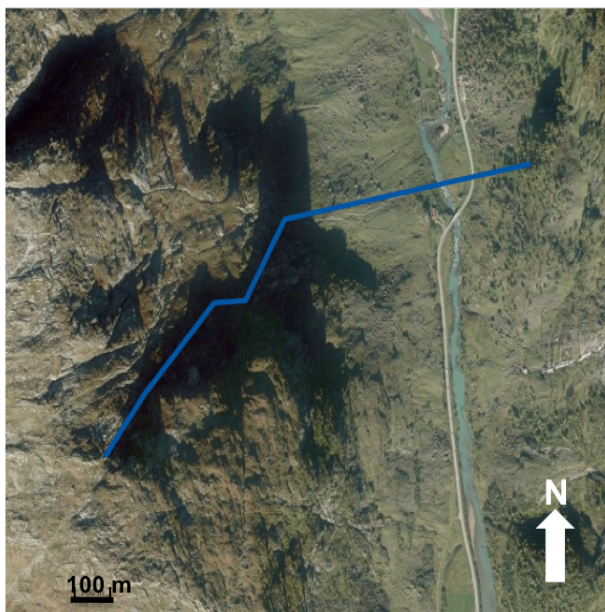
Minimum	26
Maksimum	63
Sum	4227
Punkt	100
Gjennomsnitt	42,27
Median	42
Std.avvik	7,77
Varians	60,30
Std.feil	0,78
Skjevhet	0,19
Kurtose	-0,46
14	
Minimum	24
Maksimum	69
Sum	4669
Punkt	100
Gjennomsnitt	46,69
Median	46
Std.avvik	9,84
Varians	96,82
Std.feil	0,98
Skjevhet	0,01
Kurtose	-0,60
19	
Minimum	24
Maksimum	70
Sum	4195

Punkt	100
Gjennomsnitt	37,10
Median	35
Std.avvik	8,72
Varians	76,09
Std.feil	0,87
Skjevhet	0,74
Kurtose	-0,06
27	
Minimum	37
Maksimum	68
Sum	5830
Punkt	100
Gjennomsnitt	58,30
Median	60
Std.avvik	7,41
Varians	54,84
Std.feil	0,74
Skjevhet	-1,00
Kurtose	0,39

Punkt	100
Gjennomsnitt	41,95
Median	41
Std.avvik	10,13
Varians	102,55
Std.feil	1,01
Skjevhet	0,95
Kurtose	0,84
Bergheim	
Minimum	20
Maksimum	66
Sum	4368
Punkt	100
Gjennomsnitt	43,68
Median	43,50
Std.avvik	10,41
Varians	108,28
Std.feil	1,04
Skjevhet	-0,06
Kurtose	-0,60

B.3. Beregning av rekkevidde ved hjelp av alfa-beta metoden

Lokalitet 1 har en helning på rundt 31° . Foreslått utløsningspunkt for både steinsprang og snøskred ligger på 980 moh, se figur B.1. For steinsprang vil et hundreårsskred stoppe før Votedalselva, men et tusenårsskred vil kunne nå over. Videre kan et femtusenårsskred rekke over både elven og E39. For snøskred vil derimot et hundreårsskred kunne nå over elven, og et tusenårsskred nå over både elv og E39. Snøskred vil rekke lenger enn steinsprang ved denne lokaliteten.



Tegnforklaring:

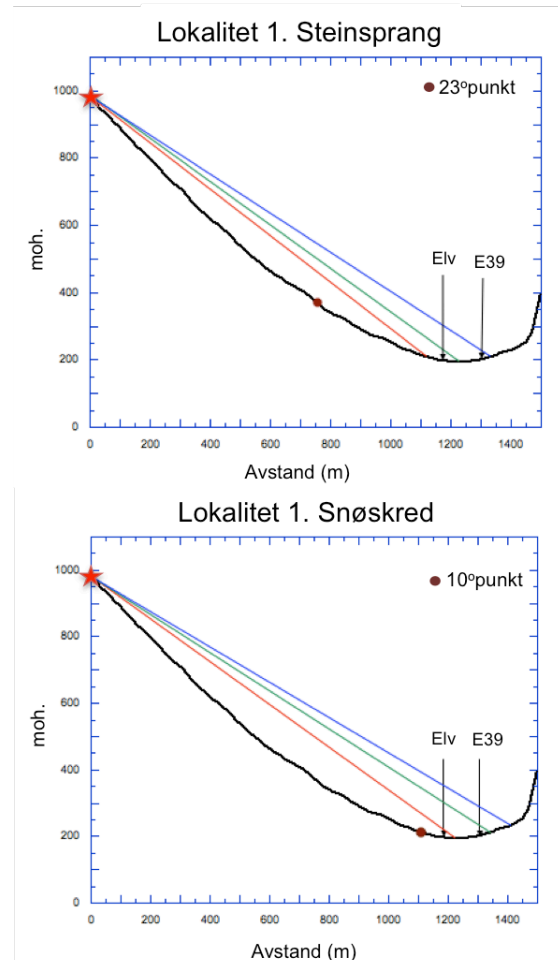
Nominell årlig sannsynlighet:

— $\geq 1/100$

— $\geq 1/1000$

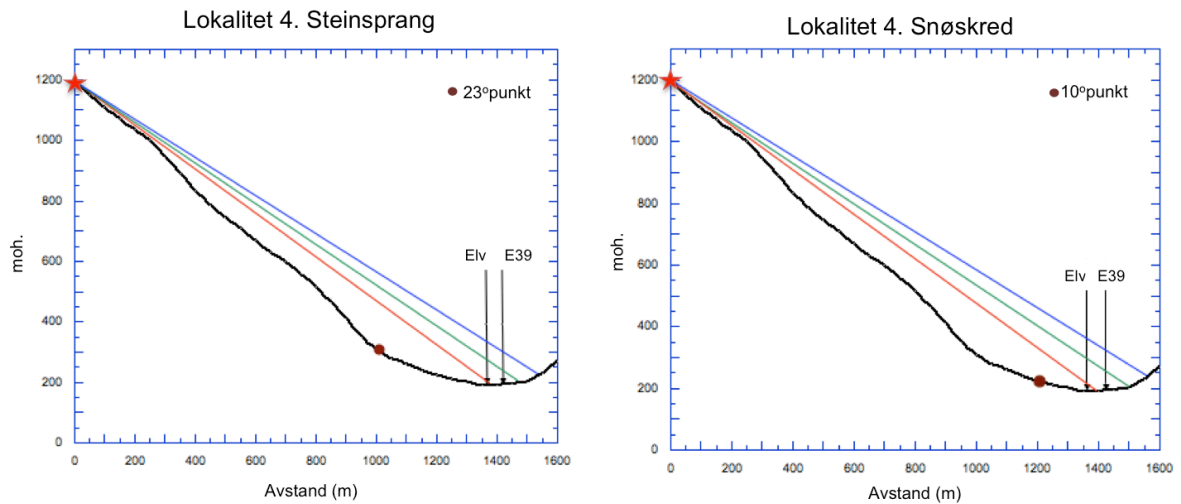
— $\geq 1/5000$

★ Utløsningspunkt



Figur B.1: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 1. Flyfoto til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene til høyre viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23° punktet eller 10° punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lokalitet 4 har en noe konveks skråning, se figur B.2. Utløsningspunktet for både steinsprang og snøskred ligger 1200 moh. For både steinsprang vil et tusenårsskred kunne nå ut i elven og et femtusenårsskred kunne nå over både elv og E39. De samme sannsynlighetene gjelder også for snøskred, men trenden foreligger at snøskredet vil gå rundt 40 m lenger enn steinspranget.



Tegnforklaring:

★ Utløsningspunkt

Nominell årlig sannsynlighet:

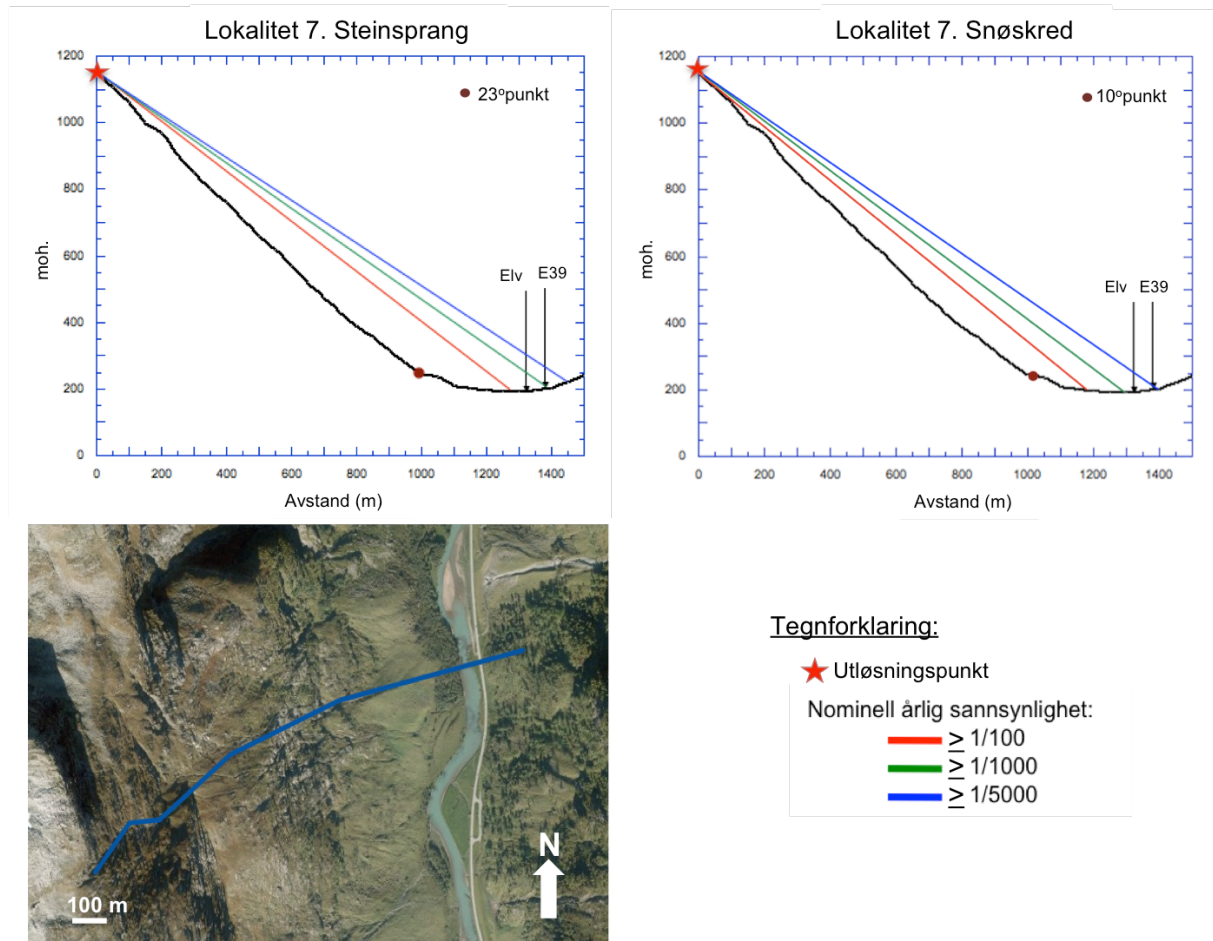
— ≥ 1/100

— ≥ 1/1000

— ≥ 1/5000

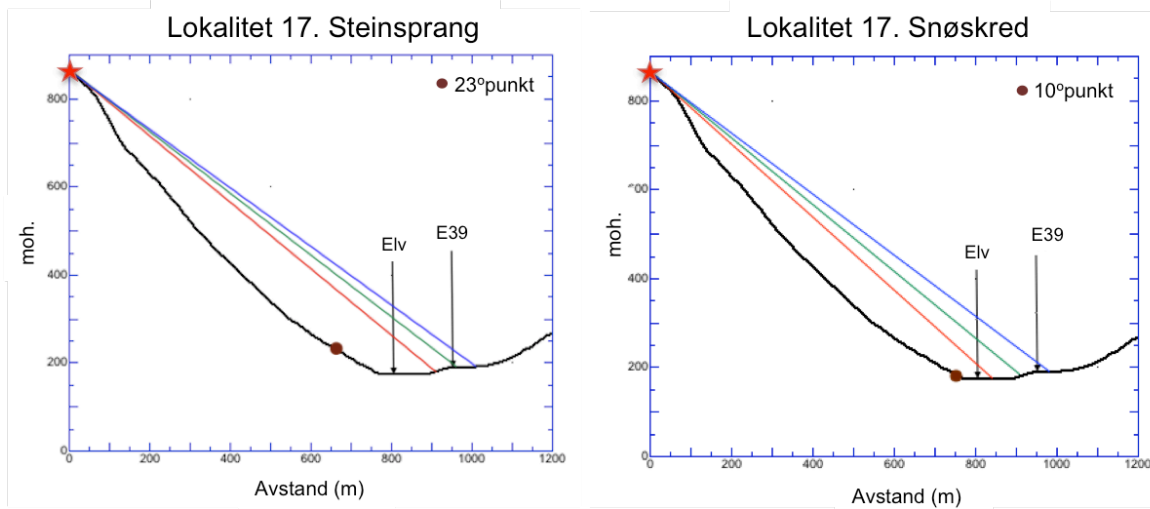
Figur B.2: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 4. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene over viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23°punktet eller 10°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lokalitet 7 har en jevn skråning med helning på 38° , se figur B.3 for lengdeprofil. Her er utløsningspunktet foreslått til å være 1150 moh for både steinsprang og snøskred. For steinsprang vil et tusenårsskred kunne gå over både Votedalselva og ut til E39. Et femtusenårsskred kan rase over begge med god margin. For snøskred vil et hundreårsskred og tusenårsskred ikke nå ut til Votedalselva. Et femtusenårsskred vil rekke over elven og ut til E39.



Figur B.3: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 7. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene over viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23° punktet eller 10° punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lokalitet 17 har en helning på rundt 41° . Her er det foreslått utløsningspunkt 850 moh. for både steinsprang og snøskred, se figur B.4. For steinsprang vil et hundreårsskred rekke over Votedalselva. Det må et tusenårsskred til for å nå ut til E39. Et femtusenårsskred vil kunne krysse godt over både elven og E39. For snøskred kan et hundreårsskred krysse Votedalselva, men det må et femtusenårsskred til for å nå over både elven og E39.

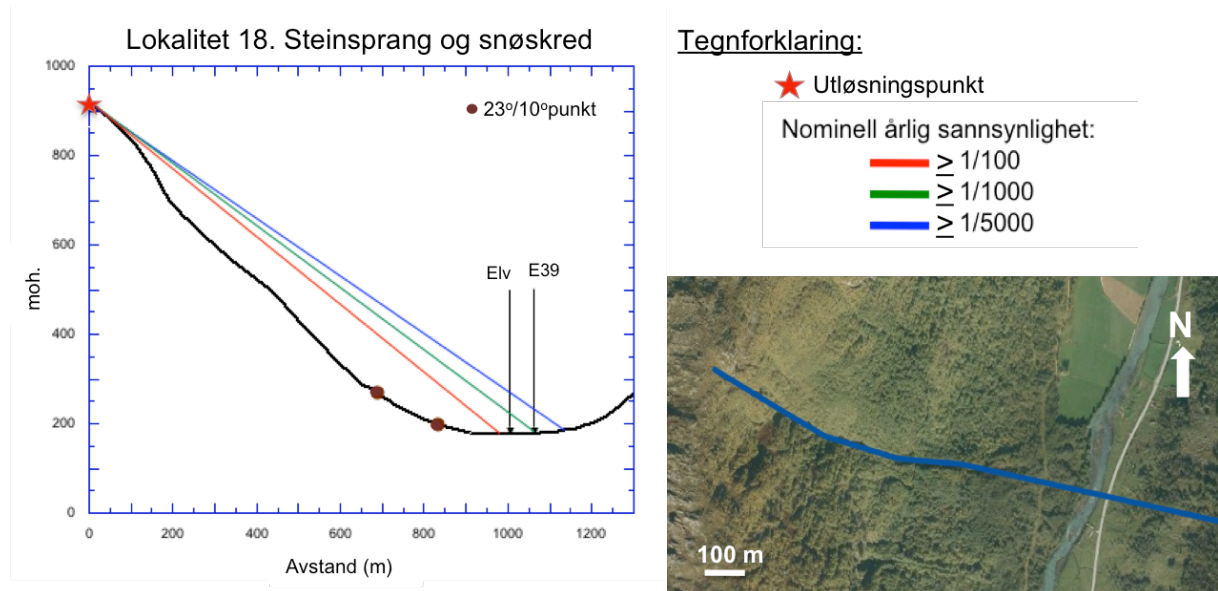


Tegnforklaring:

- ★ Utløsningspunkt
- Nominell årlig sannsynlighet:
 - ≥ 1/100
 - ≥ 1/1000
 - ≥ 1/5000

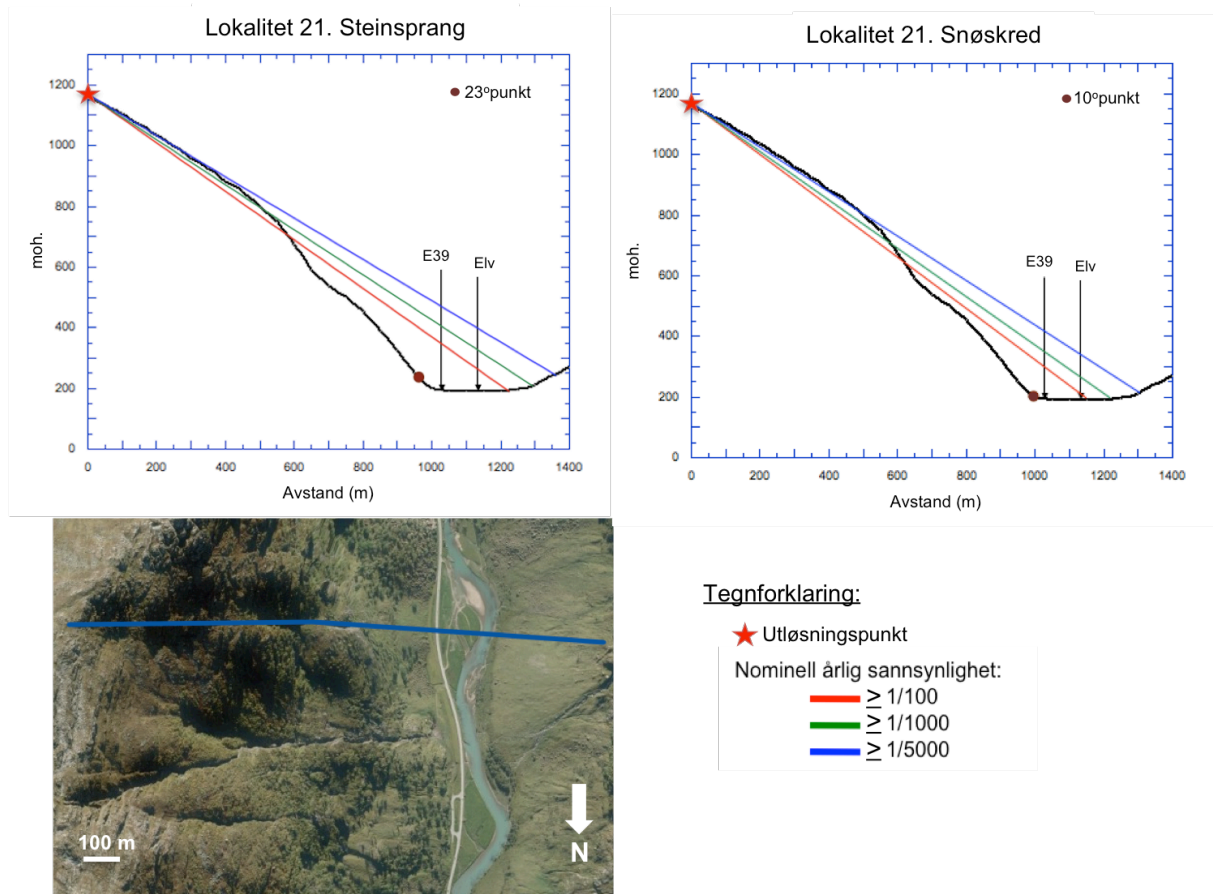
Figur B.4: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 17. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene over viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23° punktet eller 10° punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lokalitet 18 har utløsningspunkt på 920 moh. og en helning mellom 35° og 40° . Her vil seinsprang og snøskred ha like stor sannsynlighet for samme rekkevidde, se figur B5. Et hundreårsskred vil ikke nå Votedalselva, men et tusenårsskred vil kunne rekke over både elven og E39.



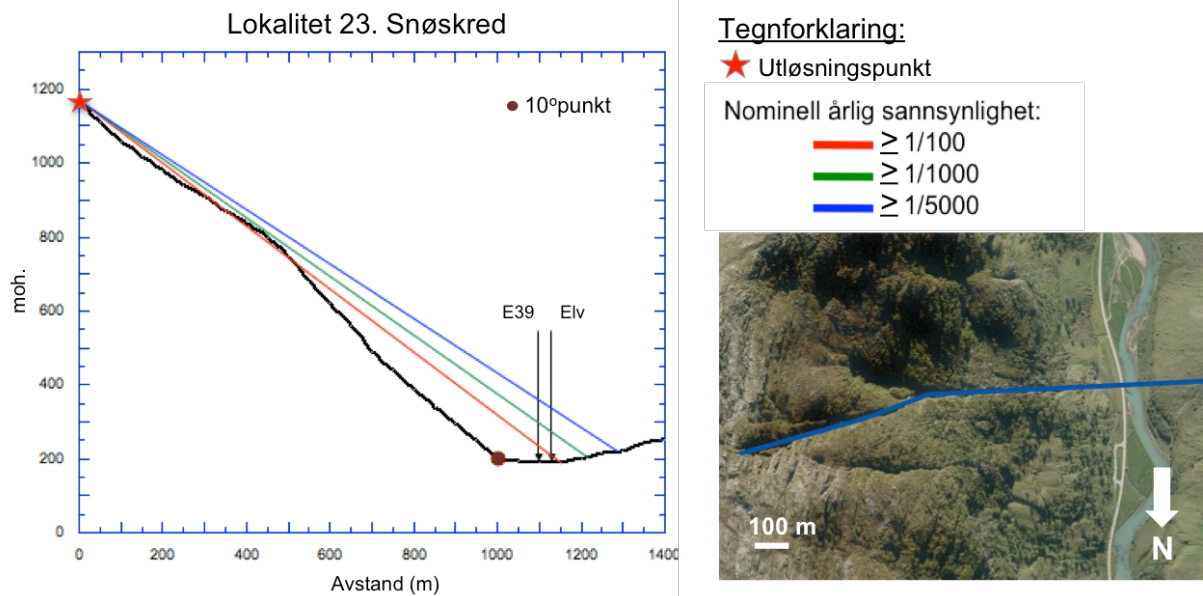
Figur B.5: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 18. Flyfoto til høyre viser hvor skredbanen går. Profilet til venstre viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23° punktet eller 10° punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lokalitet 21 har en konveks skråning, og det er tatt utgangspunkt i at steinsprang og snøskred vil ha samme utløsningspunkt på 1180 moh, se figur B.6. For steinsprang vil et hundreårsskred kunne nå 1230 m, godt over både E39 og Votedalselva. Videre vil et tusenårsskred nå skredfoten på den vestre dalsiden, og et femtusenårsskred nå 50 m opp på dalsiden. For snøskred kan et hundreårsskred gå over E39 og ut i Votedalselva. Et tusenårsskred kan nå 1230 m, men det må et demtusenårsskred til å nå skredfoten på motsatt side.



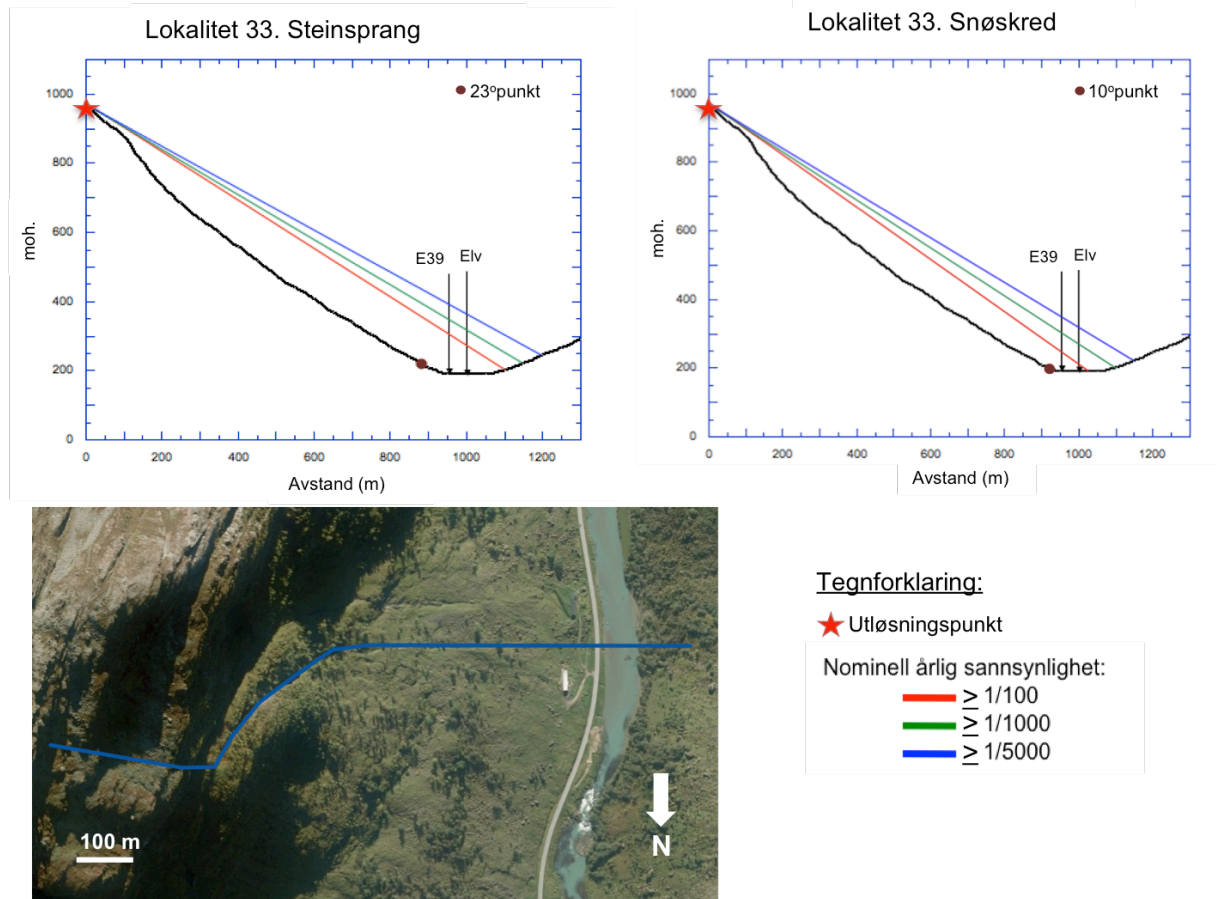
Figur B.6. Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 21. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene over viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23°punktet eller 10°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Ved lokalitet 23 er det kun tatt hensyn til snøskred da det er den mest aktive skredtypen. Dette er bestemt på grunnlag av observasjoner i felt og samtaler med lokale. Skråningen er konveks og utløsningspunktet er foreslått til å ligge 1180 moh, se figur B.7. Et hundreårsskred vil kunne krysse E39 og rekke ut i Votedalselva.



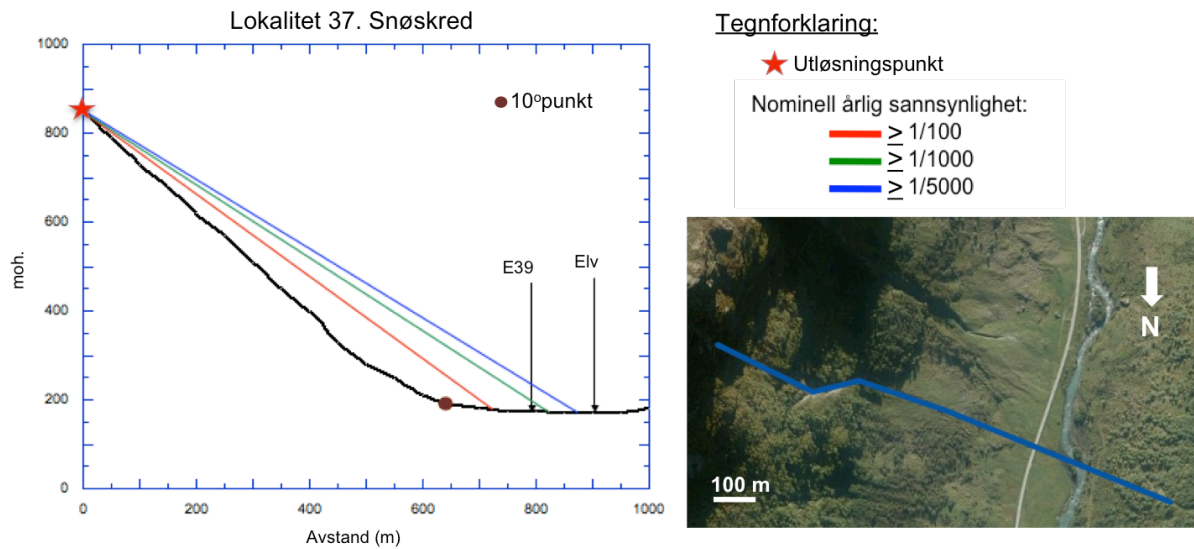
Figur B.7: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 23. Flyfoto til høyre viser hvor skredbanen går. Profilet til venstre viser beregnet rekkevidde for snøskred. Den røde prikken viser hvor 10°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Ved lokalitet 33 er det foreslått samme utløsningspunkt for både steinsprang og snøskred, 975 moh. For steinsprang vil et hundreårsskred kunne rekke godt over både E39 og Votedalselva, se figur B.8. Et snøskred vil ikke nå like langt, men et hundreårsskred vil kunne nå over E39 og ut i Votedalselva.



Figur B.8: Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 33. Flyfoto nede til venstre viser hvor skredbanen går. Profilene over viser beregnet rekkevidde for steinsprang og snøskred. Den røde prikken viser hvor 23°punktet eller 10°punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.

Lokalitet 37 har en jevn og bratt skråning med 45° helning, se figur B.9. Det er kun tatt hensyn til snøskred da dette er typisk for denne lokaliteten. Utløsningspunktet er satt til å være 850 moh. Det må et tusenårsskred til for å kunne nå over E39. Et femtusenårsskred vil kunne nå 875 m, men det vil fortsatt ikke nå ut i Votedalselva.



Figur B.9. Lengdeprofil av skredbanen ved lokalitet 37. Flyfoto til høyre viser hvor skredbanen går. Profilet til venstre viser beregnet rekkevidde for snøskred. Den røde prikken viser hvor 10° punktet er. Videre illustrerer de røde, grønne og blå strekene beregnet rekkevidde for henholdsvis hundreårsskred, tusenårsskred og femtusenårsskred.