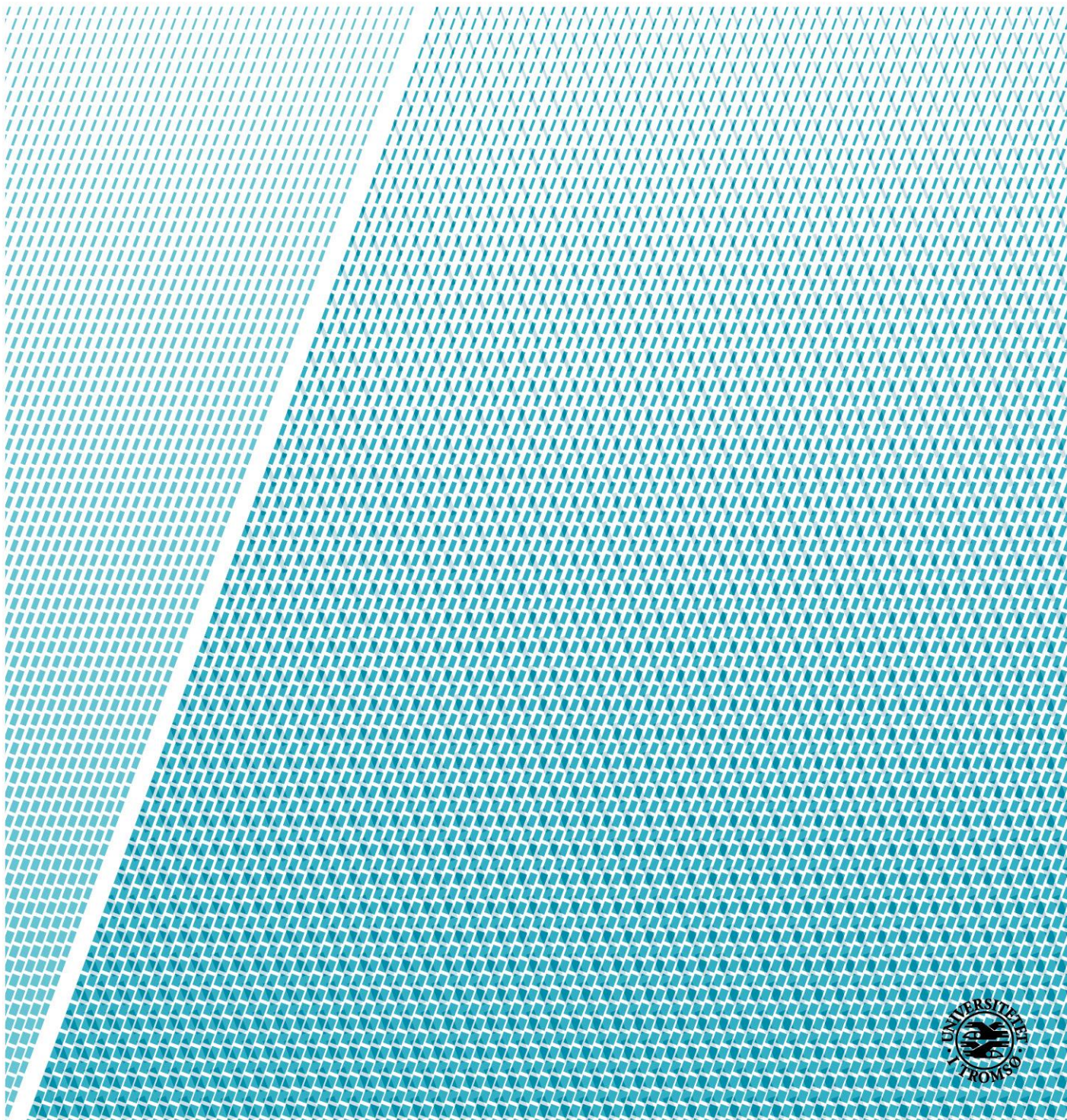


Terrenganalyse og 3D snøskredsimuleringer for plassering av radar for snøskredvarsling

Lars Tveit Christiansen

Masteroppgave i geologi GEO-3900 – oktober 2018



Sammendrag

Etter flere ulykker knyttet til snøskred på Europavei 8 i Lavangsdalen i Troms de siste årene, har Statens vegvesen gått inn for å bedre skredsikringen langs den 18 km lange dalen. Hovedformålet med denne masteroppgaven er å komme med innspill til hensiktsmessig plassering av automatiske overvåkningsanlegg for snøskred ved fire avgrensede strekninger langs vegen: Hestvolla, Sarasteinen, Stortinden og Storskreda. Fremgangsmåten har vært å kartlegge skredpunktene med tanke på topografiske og morfologiske forhold som påvirker utløsning og utløpsdistanse for snøskred. Det er foretatt observasjoner og gjort funn basert på analyser av foto, flybilder, DTM og feltarbeid. Funnene er sammenholdt med relevant litteratur. Å finne maksimal utløpslengde for snøskred er viktig for å si noe om skredfaren i et område. Snøskredmodeller, som simuleringsprogrammet RAMMS::Avalanche og den statistiske/topografiske Alfa-Beta modellen er benyttet for dette formålet. Synsfeltsanalyse i ArcGIS, topografiske skyggesoner i løseområde og skredløp og resultater fra utløpsberegninger for snøskred har blitt brukt som argumentasjon for forslag til plassering av radaranlegg ved de fire skredområdene.

Forord

Jeg vil først og fremst takke min hovedveileder, Anne Hormes. Takk for dine bidrag og din veiledning og støtte i forbindelse med ferdigstilling av denne masteroppgaven. Takk for din tålmodighet og stå-på-vilje. Jeg hadde ikke klart dette uten din hjelp. Jeg vil også takke Andreas Persson og Statens vegvesen, som har gitt meg muligheten til å skrive om et prosjekt jeg interesserer meg for. Dere har gitt meg frie tøyler til å legge opp oppgaven som jeg vil, og det har vært motiverende å jobbe med et prosjekt som kanskje vil bli satt til live.

Jeg vil takke mine venner på instituttet. Takk for gode samtaler og «second lunch»-debatter på pauserom som ikke er tiltenkt oss. God humor og interessante innspill har vært oppløftende i en lang masterperiode. Takk til Ida Kristin Danielsen for hjelp til feltarbeid, gjennomlesing og god støtte gjennom hele prosjektet. Takk til min familie, som har bidratt med korrekturlesing og støttet meg så godt de kan i denne perioden. Takk til min far, Øivin Christiansen for alle dine innspill og gode tilbakemeldinger.

Innholdsforegnelse

Sammendrag	I
Forord	III
1 Introduksjon	8
1.1 Bakgrunn og motivasjon for oppgaven	8
1.2 Formål	10
2 Områdebeskrivelse	11
2.1 Geografisk beliggenhet	11
2.2 Topografi	12
2.3 Vegetasjon	13
2.4 Klima og skred	13
2.5 Skredområdene i Lavangsdalen	17
2.5.1 Hestvollan	17
2.5.2 Sarasteinen	17
2.5.3 Stortinden	17
2.5.4 Storskreda	18
2.6 Skredhistorikk	2
3 Teori	3
3.1 Snøskred	3
3.1.1 Løssnøskred	3
3.1.2 Flakskred	3
3.2 Dopplerradar	4
4 Metode	6
4.1 Kartlegging av skredområder	6
4.1.1 Feltarbeid	6
4.1.2 Fjernanalyse av ortofoto og GIS-anvendelse med høyoppløselig DTM	7
4.1.3 Identifikasjon av løsneområder for snøskred	7
4.2 Snøskredsimulering og beregning av utløpslengde	10

4.2.1	Alfa-Beta modellen	10
4.2.2	RAMMS::Avalanche	12
4.3	Forslag til plassering av radaranlegg	15
5	Resultat	17
5.1	Skredområder i Lavangsdalen	17
5.1.1	Hestvollan.....	17
5.1.2	Sarasteinen.....	23
5.1.3	Stortinden	29
5.1.4	Storskreda.....	32
5.2	Simulering og beregning av utløpslengde og hastighet.....	36
5.2.1	Hestvollan.....	37
5.2.2	Sarasteinen.....	39
5.2.3	Stortinden	41
5.2.4	Storskreda.....	43
5.3	Forslag til plassering av radaranlegg ved skredområdene.....	46
5.3.1	Hestvollan.....	46
5.3.2	Sarasteinen.....	47
5.3.3	Stortinden	48
5.3.4	Storskreda.....	49
6	Diskusjon.....	51
6.1	Topografiske og morfologiske former som har betydning for dannelse og rekkevidde på snøskred	51
6.1.1	Valg av potensielle løsneområder	53
6.1.2	Mulige feilkilder.....	54
6.2	Utløpsanalyse og hastighetsberegninger	54
6.2.1	Fordeler og svakheter med modellene.....	56
6.2.2	Sammenligninga av resultatene fra RAMMS og Alfa-Beta modellen	57
6.3	Plassering av radar.....	57

6.3.1	Hestvollan.....	58
6.3.2	Sarasteinen.....	58
6.3.3	Stortinden	58
6.3.4	Storsrked.....	58
6.4	Dopplerradar – et komplimenterende sikringstiltak i Lavangsdalen.....	59
6.5	Trafikksikkerhet	59
6.5.1	Risikoaksept i Lavangsdalen	60
6.6	Forslag til videre studier.....	61
7	Oppsummering og konklusjon.....	62
	Referanser.....	63

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn og motivasjon for oppgaven

Etter flere ulykker knyttet til snøskred på Europavei 8 i Lavangsdalen de siste årene, har Statens vegvesen gått inn for å bedre skredsikringen langs den 18 km lange dalen (Persson, 2017). Ved å etablere automatiske overvåkningsanlegg for snøskred (Meier et al., 2015) ved fire av de mest utsatte skredbanene i Lavangsdalen., er målet å kunne varsle trafikantene automatisk ved skredhendelser. Statens Vegvesen har siden 2016 etablert to radaranlegg ved henholdsvis Fv.472 Sandneslia i Nordland og Fv.293 Holmbuktura i Tromsø kommune i Troms (Persson, 2016). To testsesonger, vintrene 2016-2017 og 2017-2018 har gitt gode resultater for bruk av systemet ved Holmbuktura, med 88 deteksjoner av snøskred, hvor bare 3 har vært falske alarmer (Meier, 2018; Persson, 2016; Røiseland, 2017). Formålet med denne oppgaven er å komme med innspill til fornuftig plassering av snøskredradar ved de fire mest utsatte skredpunktene i Lavangsdalen; Hestvollan, Sarasteinen, Stortinden og storskreda.

Statens Vegvesen har det nasjonale ansvaret for planlegging, bygging, drift og vedlikehold av norske riks- og fylkesveger (Statens Vegvesen, 2018b). Et av hovedmålene til Statens Vegvesen er å fokusere på trafiksikkerhet, i tråd med Stortingets visjon om en reduksjon av drepte eller hardt skadde på det norske vegnettet (Meld. St. 33, 2016-2017). Så vel som å sikre trygge kjøreforhold på vegene, har Statens vegvesen et stort ansvar når det gjelder sikring mot ytre farer.

13. februar 2015 melder Tromsø politidistrikt at det har gått et skred over E8 i Lavangsdalen. En personbil, en trailer og en lastebil sitter fast i skredet. Personbilen har blitt veltet over på taket av de voldsomme kreftene i snøskredet og kvinnen i bilen må hjelpes løs av sjåføren i en av de andre bilene. Skredmassene dekker en avstand på rundt 50 meter av vegen og er omtrent to meter høye på det meste. E8 blir stengt på ubestemt tid og personbiler ledes via fv.294 rundt Andersdalen, mens tunge kjøretøy anbefales å kjøre om fv.858 (Tøhaug et al., 2015).

Etter en høy frekvens av skred på E8 i Lavangsdalen de siste årene, har Geo-avdelingen ved Statens Vegvesen Region Nord tatt en vurdering av mulige sikringstiltak for å bedre sikkerheten langs vegen (Persson, 2017). Basert på Vegdirektoratets retningslinjer for akseptabel risiko for skred på veg har Statens Vegvesen kommet frem til at det ikke bør aksepteres skred på veien oftere enn hvert 50.-100. år (Persson, 2017; Statens Vegvesen, 2014). I mulighetsstudien vurderes automatisk overvåkning av snøskred med dopplerradar, som komplimenterende sikringstiltak til etablerte sikringstiltak ved hvert av skredløpene (Persson, 2017). Erfaringer fra de siste årenes skredhendelser viser at etablerte

skredvoller ikke klarer å ta unna all snøen som kommer, spesielt ved tørre snøskred (Høyer et al., 2017). Overvåkning med snøskredradar og automatisk stenging av vegen vil kunne hindre at trafikanter befinner seg i skredområdet når skredet pågår, og i det lange løp føre til færre meldinger av typen «E8 i Lavangsdalen er stengt på ubestemt tid, på grunn av høy snøskredfare.».

Snøskred eller fare for snøskred er den vanligste årsaken til at veger blir stengt om vinteren (Norem, 2014) og er en økonomisk belastning for næringsliv som benytter seg av vegnettet daglig. Å holde vegene åpne er likevel ikke gunstig med tanke på risikoen det utsetter trafikantene for (Bråthen et al., 2008). I noen tilfeller kan manglende omkjøringsmuligheter ved vegstenging gjøre at mindre samfunn blir isolert i lengre perioder. Dette er spesielt vanlig langs deler av kyst-Norge på nord-vest-landet og i Nord-Norge (Aspeli, 2018; Hykkerud et al., 2018; Rostad, 2017).

Tidligere har Statens vegvesen fokusert på å bygge permanente konstruksjoner som hindrer snøskred å komme på vegen. Grunnet høye kostnader for etablering, vedlikehold og vanskeligheter med å dimensjonere sikringstiltakene for alle mulige skred har Statens Vegvesen Region Nord de siste årene tatt i bruk ny teknologi for å forsøke å løse ut skredene ved hjelp av trykkbølger fra en Daisybellklokke hengende fra et helikopter (Farestveit et al., 2010). Vinteren 2018 var et suksessår for bruken av denne teknologien, men den har også sine begrensninger, siden den er avhengig av god sikt og godt flyvær (Lakså, 2018).

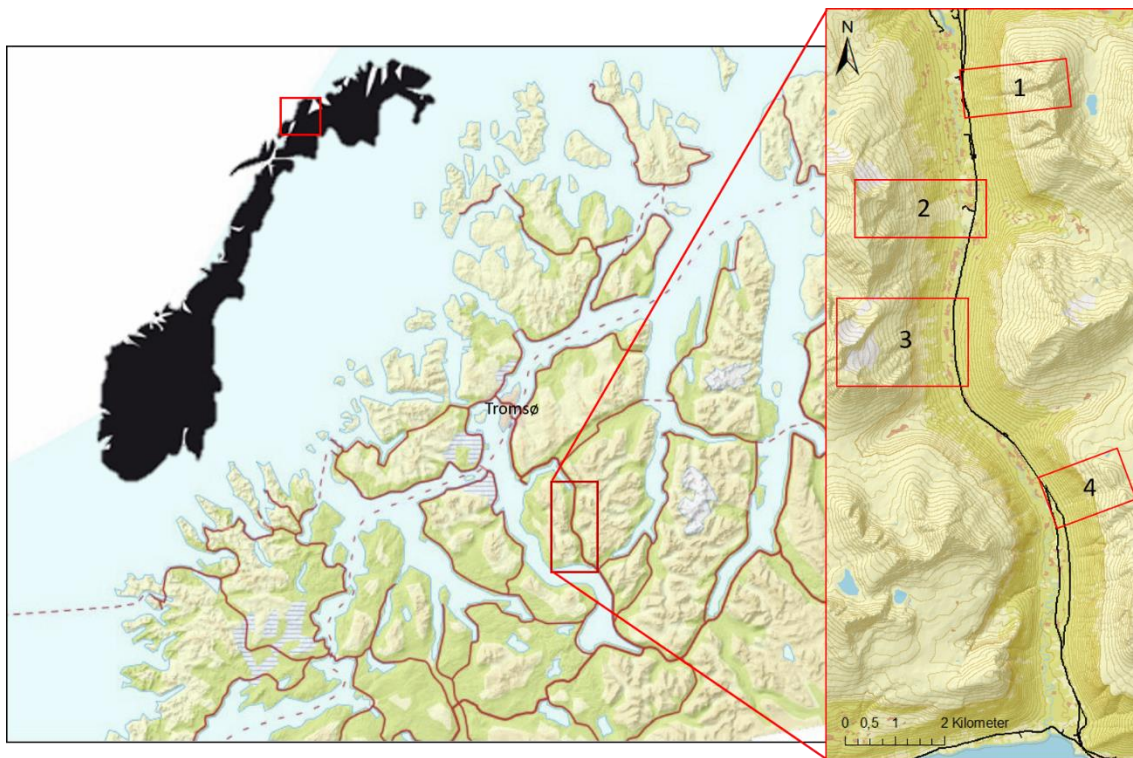
Ved Fv 293 Holmbuktura i Lyngen har Statens Vegvesen satt opp et overvåkningsanlegg for snøskred med dopplerradar-teknologi. Holmbuktura er inngangsporten til Jøvik, en liten bygd med rundt 200 innbyggere som er vant med at vegen holder midlertidig stengt om vinteren (Hotvedt, 2015). Radaren kan detektere snøskred uansett vær og ved snøskredaktivitet kan anlegget stenge vegen automatisk og sende ut varsel om aktiviteten via SMS (Meier et al., 2015). Anlegget i Holmbuktura ble etablert i 2016 og har hatt to test-sesonger med resultater over all forventning, sier geolog Andreas Persson i Geo-avdelingen ved Statens Vegvesen i Tromsø (Nordlys, 2017; Røiseland, 2017). I løpet av testperioden 17. februar 2017 til 1. juni 2018 ble det detektert 88 skred, hvor 85 ble antatt være reelle skred, mens 3 antas å være falske alarmer (Meier, 2018). I tillegg til å registrere snøskred som går over vegen kan radaren fange opp mindre skred i fjellsiden (Gauer et al., 2007). Med god erfaring fra Holmbuktura og andre steder hvor overvåkningsanlegget er etablert, ønsker Statens Vegvesen nå å etablere lignende anlegg ved fire av de mest utsatte skredstrekningene i Lavangsdalen (Statens Vegvesen, 2017).

1.2 Formål

Hovedformålet med masteroppgaven er å utarbeide en geologisk begrunnet plan for plassering av automatiske overvåkningsanlegg for snøskred ved fire avgrensede strekninger langs Europavei 8 i Lavangsdalen, Troms. Gjennom litterært studie vil økt kunnskap om hvordan topografiske, morfologiske og meteorologiske faktorer påvirker frekvens, hastighet og utløpsdistanse for snøskred, legge grunnlag for å kartlegge lignende forhold ved skredområdene som inngår i oppgaven. Videre vil simulering og beregning av utløpslengde for snøskred gi grunnlag til forslag for plassering av radaranlegg ved skredpunktene og skilt eller lys langs vegen. Oppgaven har tre delmål:

- Kartlegge skredpunktene med tanke på topografiske og morfologiske forhold som påvirker utløsning, hastighet og utløpsdistanse for snøskred.
- Simulere og beregne utløpsdistanser og hastighet for snøskred ved hvert av skredpunktene ved hjelp av henholdsvis simuleringsprogrammet RAMMS::Avalanche (Christen, Kowalski, et al., 2010) og den topografiske beregningsmodellen for utløpsdistanse, Alfa-Beta modellen (Lied et al., 1980). Resultatene vil brukes som grunnlag for gjennomføring av det siste delmålet.
- Gi innspill til plassering av radaranlegg ved hvert av skredpunktene med hensyn til resultater fra topografiske som gir radarskygge og utløpsdistanse og skredhastighet.

2 Områdebeskrivelse



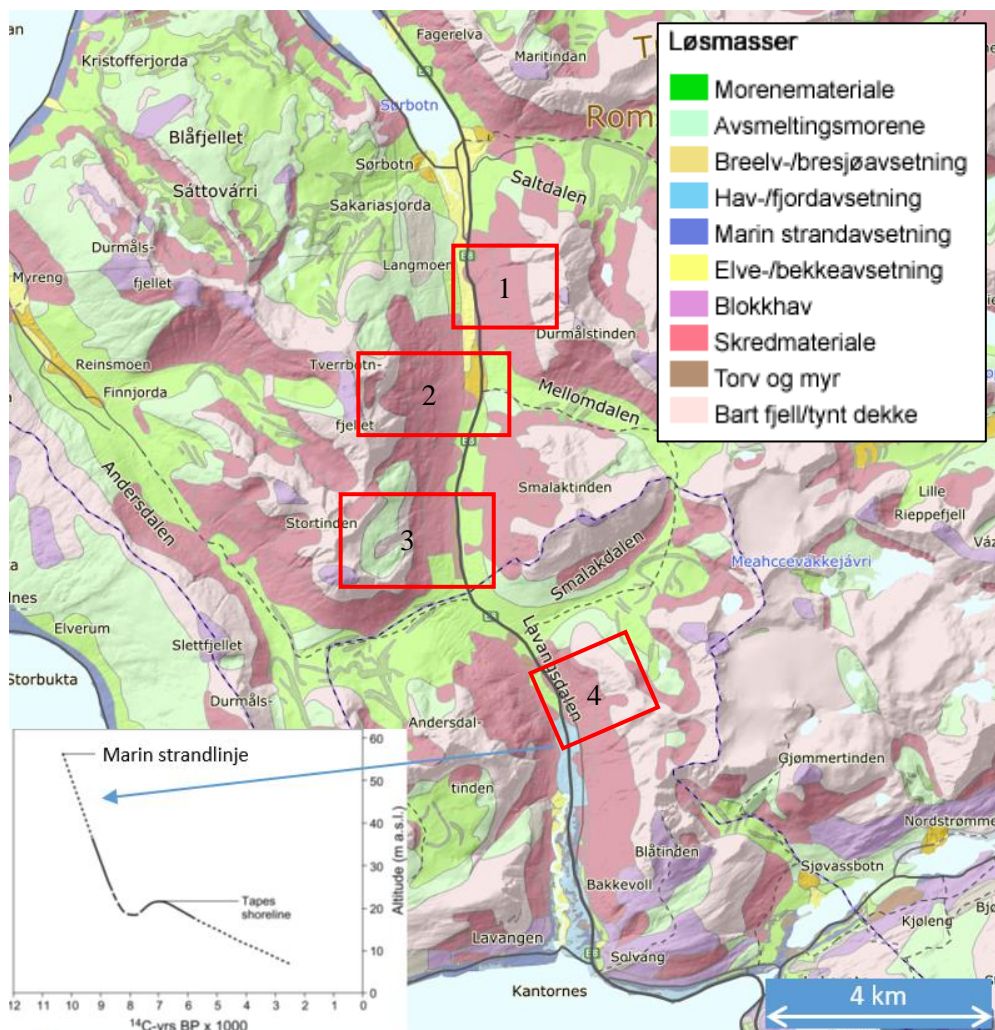
Figur 1: Gografisk beliggenhet av studieområdet i Troms fylke. Skredområdene som skal studeres nærmere er markert med røde firkanter, Hestvollan (1), Sarasteinen (2), Stortinden (3) og Storskreda (4). Bakgrunnskart er hentet fra Norgeskart.no (2018).

2.1 Geografisk beliggenhet

Tromsø kommune med sine rundt 70 000 innbyggere er den mest folkerike kommunen i Nord-Norge. I tillegg er Tromsø by hovedsete for en rekke offentlige institusjoner og utdanning og et sentrum for kultur, friluftsliv og turisme i denne delen av landet (SNL, 2018c), noe som tiltrekker seg mennesker fra kommunene rundt og langveisfra, for arbeid eller rekreasjonsaktiviteter. Studieområdet for denne masteroppgaven ligger 30 km sør for Tromsø. Lavangsdalen er en 18 km lang dal som strekker seg N-S, fra Sørbotn, lengst inne i Ramfjorden, til Kantornes ved Balsfjorden i sør. Kommunegrensen mellom Tromsø og Balsfjord kommune ligger omtrent midt i dalen, ved et vannskille, hvor de to elvene Sørbotnelva og Lavangselva splittes og renner henholdsvis nord og sør langs dalbunnen. Parallelt med elvene ligger Europavei 8, hovedinnsfartsåren til Tromsø (Helgaas et al., 2012). I følge nasjonal vegdatabase (NVDB) passerer i gjennomsnitt 3800 kjøretøy gjennom dalen hver dag (Statens Vegvesen, 2018a). Det er dårlig med omkjøringsmuligheter, spesielt for tungtrafikk. Etter skredhendelsen 30. mars 2017 ble personbiler ledet rundt Lavangsdalen, via Fv 294 og Andersdalen, mens tungtrafikk måtte ta den lange omvegen langs Fv 858, en tur på nesten 10 mil (Tøhaug et al., 2015). Det er derfor et mål at vegen gjennom Lavangsdalen stenges så kort tid som mulig.

2.2 Topografi

Landskapet i Lavangsdalen kan klassifiseres som en blanding mellom høyfjellslandskap og fjordbygdlandskap, som ifølge Puschmann (2005) har karakteristiske fremtredener av breeroderte botner og nakne bergflater i høyden, og åpne U-daler og hengende sidedaler i lavlandet. Bunnen av Lavangsdalen ligger mellom 30 – 80 moh. og de høyeste fjelltoppene som omringer dalen strekker seg til overkant av 1300 moh. (Helgaas et al., 2012). Dagens topografi stammer fra gjentatte glisiale perioder og postglisiale skråningsprosesser. På østsiden av Lavangsdalen kan man finne randmorener som stammer fra utbredelsen av innlandsisen under Yngre Dryas, for 12 900 – 11 700 år siden. (Olsen et al., 2013). Løsmassekart fra NGU (Figur 2) viser at nederste del av fjellsidene på begge sider av dalen består av løsmasser fra skåningsprosesser som fjellskred, snøskred og steinsprang. Fjellskred var typisk for mange områder etter at isen trakk seg tilbake, fordi områder som hadde vært stabile under trykket fra isen, nå ble ustabile når trykket avtok (Ballantyne, 2001). I sørlige deler av Lavangsdalen finnes marine avsetninger. Avsetningene ligger 40-50 moh. og faller sammen med avsetningene som er funnet i Lyngsalpene (Corner et al., 1993).



Figur 2: Løsmassekart over Lavangsdalen (NGU, 2017). Strandlinjekurven i nede til venstre er mmodifisert etter (Corner et al., 1993). Hyøden til kurven faller sammen med marine sedimenter som er kartlagt i sørlig del av Lavangsdalen. Lokalitetene er markert mer røde firkanter: Hestvolla (1), Sarasteinen (2), Stortinden (3) og Storskreda (4).

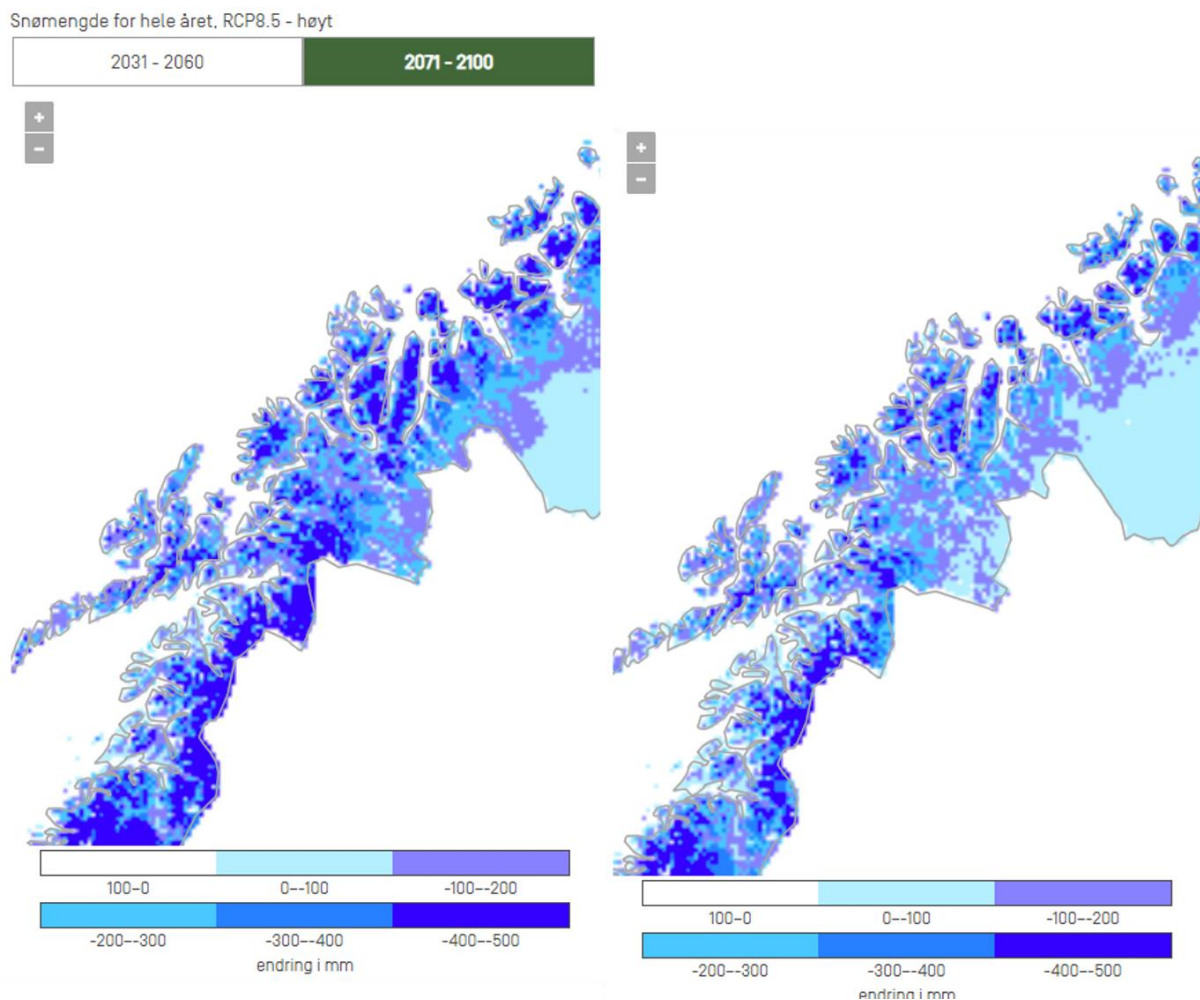
2.3 Vegetasjon

Lokale klimatiske forhold spiller en stor rolle på vekstbetingelsene for trær. Temperaturen i vekstsesongen er det viktigste klimatiske kriteriet for utvikling av skog. Ulike treslag har ulike «varmekrav» i vekstsesongen. Andre forhold som spiller inn er graden av fuktighet, jordbunnsforhold og eksponering for vind i området, samt ytre påvirkning som hyppig skredaktivitet, beiting og menneskelig innvirkning i form av hogst og jordbruk (Jepsen et al., 2014). I Lavangsdalen ligger skoggrensen rundt 300-450 moh. Noen steder vokser det trær i høyereliggende områder, men de står for det meste enkeltvis og klassifiseres derfor ikke som skog (SNL, 2018b). Det er også noen områder langs fjellsidene helt uten, eller bare delvis dekket av skog. Dette skyldes hyppig snøskredaktivitet, og vil bli beskrevet i detalj for skredområdene i kapittel 6.1. Norsk institutt for skog og landskap har utviklet et digitalt skogskart basert på tolkning av satellittbilder (Gjertsen et al., 2012). Ifølge kartene over Lavangsdalen består skogen i området hovedsakelig av blandingsskog med løvtrær, med bjørk som dominerende treslag (Kartverket, 2018a). Vegetasjonsdekket fortsetter videre oppover og på flyfoto fra område kan det observeres områder dekket eller delvis dekket av torv.

2.4 Klima og skred

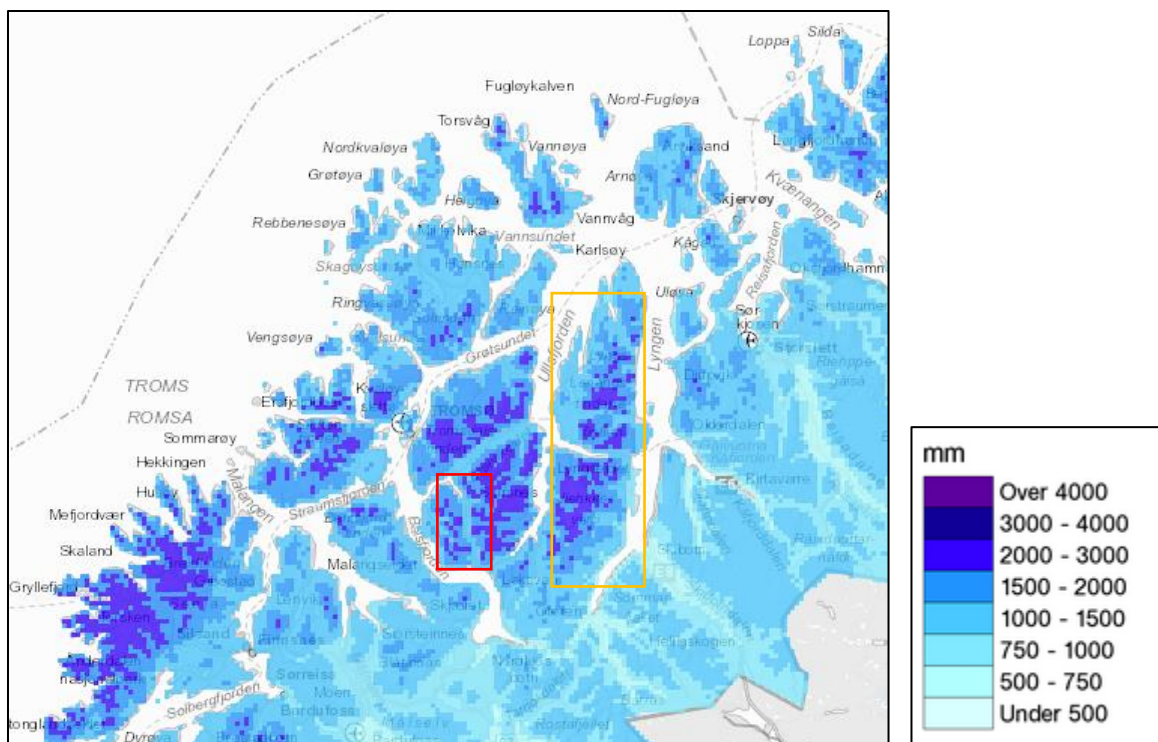
Det er en klar sammenheng mellom nedbør, temperatur, vind og ulike former for snøskred (Lied et al., 2003). Gradvis høyere temperaturer vil etter hvert gi kortere snøsesong, men økt nedbør i høyfjellet kan føre til at antall snøskred forblir det samme, eller øker til en høyere frekvens enn dagens (Jaedicke et al., 2008). Det er gjort en rekke studier på snøens respons til klimaendringer, både i Norge og internasjonalt (Beniston et al., 2018; Domaas et al., 2017; Dyrddal, Frauenfelder, et al., 2013; Jaedicke et al., 2008). Selv små endringer i gjennomsnittlig vinternedbør og –temperatur har stor påvirkning på distribusjon, tetthet og tykkelse på snø-avsetninger. Dette vil også ha påvirkning på snøskred (Beniston et al., 2018). De fleste naturlig utløste skred skjer under eller etter stormer, hvor nedbørintensiteten har vært høy og kraftig vind har transportert store snømengder til le-områder (Jaedicke et al., 2008; McClung et al., 2006). De siste femti årene er det registrert en økende frekvens av intense nedbørshendelser. På Sør-Vestlandet og langs kysten i Nord-Norge er trenden størst, hvor frekvensen har økt med 30 prosent flere steder (Dyrddal, Frauenfelder, et al., 2013). I tillegg er det registrert kortere vintersesonger, som begynner senere og slutter tidligere, Dette skyldes i stor grad en økning i lufttemperatur og derfor mer nedbør som faller som regn på vinteren og økt snøsmelting på våren (Beniston et al., 2018; Dyrddal, Saloranta, et al., 2013).

«Klima 2100»-rapporten, utarbeidet av Miljødirektoratet danner et vitenskapelig grunnlag for klimatilpasninger for de tjueførste århundre. Basert på ulike antakelser om endringer i klimagassutslipp er det blitt modellert fremtidige klimascenarioer innen fagfeltene hydrologi, atmosfærisk klima, permafrost og havklima (Hanssen-Bauer et al., 2015). Observasjoner fra det siste århundret viser at antallet våte skred har økt og at starten av utløpssonen har trukket seg oppover i fjellsiden, som en direkte konsekvens av endringer i snødekkeegenskaper (Beniston et al., 2018). Fremtidige projeksjoner for klimaendringer viser en klar reduksjon i snømengde og lengde på vintersesongen (figur 3). Et unntak er de høyeste fjellområdene i Nord-Skandinavia, hvor sterkt økende nedbørmengder kan kompensere for temperaturøkningen og redusere endringen til det marginale (Räisänen et al., 2012), eventuelt føre til en økning i årlig snømengde (Jaedicke et al., 2008).



Figur 3: Fremskrivninger av snømengde frem i perioden 1971-2100. t.v.: RCP 8.5, t.h.:RCP4.5 (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Troms ligger rundt 69 °N og er, sammenlignet med andre områder på samme breddegrad, svært varmt. Dette skyldes først og fremst Golfstrømmen, som fører varmt vann nordover langs norskekysten (Meld. St. 33, 2012-2013). Sammenlignet med andre steder i Norge, klassifiseres Troms med et subarktisk klima. Det vil si området er preget av kjølige somre og lange, kalde vintre. Juli og februar er hhv. den varmeste og kaldeste tiden på året. Ved kysten er middeltemperaturen i februar -2°, mens i indre er middeltemperaturen ned mot -9 °C. Juli temperaturen er henholdsvis 12 °C og 14 °C i ytre og indre strøk (Dannevig, 2009). Det er også store forskjeller i indre og ytre strøk når det kommer til nedbør. Nedbørsmønsteret i Troms er dominerende frontalnedbør og orografisk nedbør som forekommer når fuktig luft blåser innover kysten fra Atlanterhavet (NVE, 2017). Indre strøk er vesentlig tørrere enn ytre, og vannskillet som strekker seg nord-sør langs Lyngsalpene, mottar den maksimale nedbørsmengden i året, 1000-2000 mm i året (figur 4) (www.senorge.no, 2018b). Lavangsdalen ligger i samme klimatiske sone som Lyngsalpene. Dominerende vindretning i Troms er S-SV på vinterstid, og N-NØ på sommeren (Dannevig, 2009). Etersom lavtrykkene beveger seg nordover langs kysten er det ikke uvanlig å få nedbørførende vind fra SV-NV (NVE, 2017).



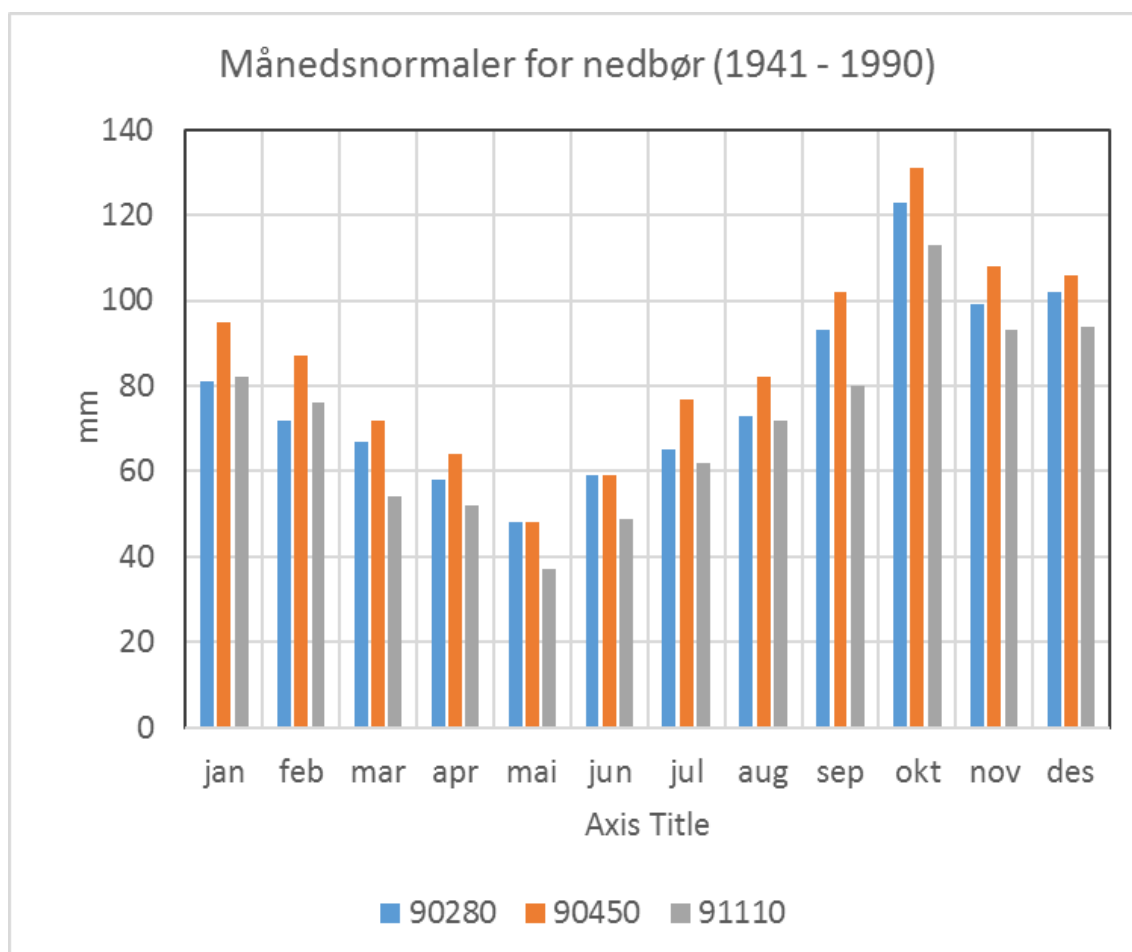
Figur 4: Årsnedbør for deler av Troms fylke. Årsnedbør beregnet i perioden 1961 - 2017. Lavangsdalen (rød firkant) har tilsvarende samme årlig nedbørsmengde som Lyngsalpene (oransje firkant). Nedbørsmengden øker med høyde over havet Hentet fra (www.senorge.no, 2018b).

En oversikt over månedsnormaler for nedbør i normalperioden 1961-1990 er illustrert i figur 5. Værdata er hentet fra (eklima.no, 2018) Værstasjonene Sommarøy (90280), Tromsø (90450) og Ullsfjord (91110) har vært i drift i hele normalperioden og ligger hhv. vest, nord og øst for

Lavangsdalen. De gir derfor en relativt god representasjon om hvilke nedbørnormaler som kan forventes i Lavangsdalen. Ekstremverdier er best representert fra værstasjonen med lengst driftstid, som i dette tilfelle er værstasjonen Tromsø (90450). Den har vært i drift siden 1895. Tabell 1 viser ekstremverdier for målte døgnerverdier for nedbør, snødybde og temperatur.

Tabell 1: Maksimalverdier for nedbør (mm) og snødybde (cm) ved værstasjonen i Tromsø (90450). Måleperiodene for nedbør og snødybde er hhv. 1920-2017 for og 2003-2018

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Maks nedbør	45,5	48,9	41,3	35,4	42,6	27	50	43	47	63,5	49,5	42
Årstall	1925	1961	2000	1962	1990	1961	2013	2001	1924	1964	1975	1935
Maks snødybde	29	31	33	22	8	0	0	0	9	28	20	35
Årstall	2007	2016	2009	2012	2017				2014	2017	2004	2017



Figur 5: Månedsnormaler for nedbør for værstasjonene Sommarøy (90280), Tromsø (90450) og Ullsfjord (91110) i perioden 1961-1990. Data er lastet ned fra (eklima.no, 2018).

2.5 Skredområdene i Lavangsdalen

Opgaven har fire lokaliteter, Hestvollan, Storskreda, Sarasteinen og Stortinden. Til sammen utgjør de de fire mest utsatte skredområdene i Lavangsdalen. Videre følger en kort beskrivelse av hvert av skredområdene, en oversikt over etablerte sikringstiltak og samlet skredhistorikk for områdene.

2.5.1 Hestvollan

Hestvollan er det nordligste skredområdet i Lavangsdalen og ligger omtrent 2 km sør for Sørbotn ved Ramfjorden, i Tromsø kommune. Den skredutsatte strekningen er 600 m langs E8. Skredområdet ligger på østsiden av Lavangsdalen og strekker seg fra dalbunnen, rundt 40 moh. til ryggen mellom de to fjelltoppene, Store Henrikstinden (1270 moh.) og den litt lavere Nordre Henrikstinden (1340 moh.). Snøskredene som forekommer ved Hestvollan er våte, og tørre flakskred og skred til veggen har et gjentaksintervall på 3-5 år. En ledevoll ble etablert ved utløpsområdet i 1990. En rekke skred tidlig på 2000-tallet viste dessverre at vollaksen i forhold til skred-retningen var for stor og vollen var for lav. I 2004 ble derfor vollen forhøyet til 15 m, men i 2008 kom et nytt skred som passerte vollen og avsatte skredmasser 50 m nedenfor E8. I 2012 ble det derfor gravd ut et skredmagasin mellom ledevollen og E8 og gradienten på proksimalsiden av vollen ble økt fra 15-30°. Så langt har ingen vært store nok til å gå gjennom skredmagasinet (Helgaas et al., 2012; Persson, 2017).

2.5.2 Sarasteinen

Sarasteinen ligger to km sør for Hestvollan, på vestsiden av Lavangsdalen. Skredområdet er oppkalt etter Sarasteinen, en stor flyttblokk som ligger ved siden av dagens E8-trasé. Steinen har fått navnet etter en samisk kvinne, som skal ha født et barn ved steinen i forbindelse med flytting i 1872 (Sveen, 2011). Skredområdet strekker seg fra bunnen av Lavangsdalen, her rundt 70 moh., opp til en skrent mellom Tverrbotnfjellet (1299 moh.) i nord og Pernillsfjellet (1282 moh.) i sør. Den utsatte vegstrekningen er rundt 500 m. Snøskredene som forekommer ved Sarasteinen er hovedsakelig tørre flakskred, med gjentaksintervall på 10-15 år. (Helgaas et al., 2012). I 2012 ble det etablert to skredvoller ved Sarasteinen, som står parallelt med E8. Vollene ble bygget av lokale løsmasser fra det samtidig etablerte skredmagasinet ved Hestvollan. Skredvollene er 14 m høye og til sammen 400 m lange (Basal AS, 2013). Vollene har klart å holde tilbake store snøskredmasser, men da skredet gikk 30. mars 2017 måtte vollene se slaget tapt. Skredet var et tørt flakskred og snøskredet gikk over vollen og dekket veggen og bilene med en dybde på 2 m og en bredde på over 200 m langs E8 (Helland et al., 2017).

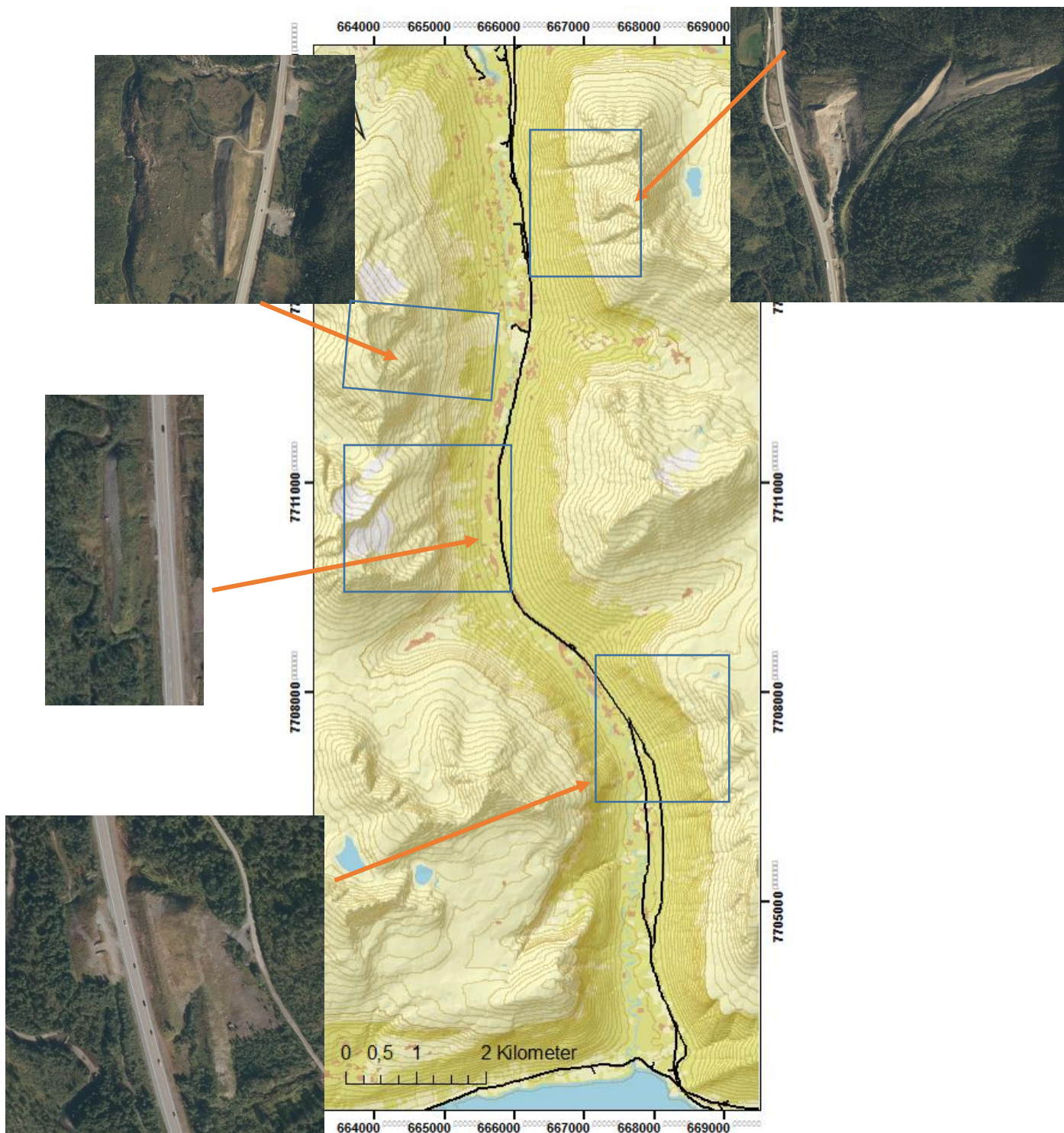
2.5.3 Stortinden

Stortinden ligger rett nord for kommunegrensen mellom Tromsø og Balsfjord kommune. Den utsatte vegstrekningen er i underkant av 900 m. Skredområdet strekker seg også her fra bunnen av dalen, rundt 80 moh. opp til toppen av en bratt skrent under Stortinden (1320 moh.) Skredene som er

registrert til vegen ved Stortinden er tørre flakskred, med et gjentaksintervall på 15-20 år. E8 er beskyttet av en 150 m lang og 6 m høy skredvoll (Helgaas et al., 2012). Snøskredet som tok to vogntog og en personbil i 18. februar 2015 gikk på siden av vollen. De største skredmassene stoppet oppe i fjellsiden, men skredvinden var likevel sterk nok til å løfte personbilen ut av vegen og over på taket. De involverte kom fra ulykkesstedet med kun lettere skader (Holdal, 2015).

2.5.4 Storskreda

Storskreda er det sørligste skredområdet i Lavangsdalen og den eneste lokaliteten i oppgaven som befinner seg i Balsfjord kommune. Fjellsiden her er vesentlig lavere enn de andre skredområdene i oppgaven. Skredområdet ved Storskreda strekker seg fra rundt 50 moh. og opp til 600 moh. på toppen av Skjelelvfjellet. Skredene som er registrert ved fra Storskreda er både tørre og våte flakskred, med et gjentaksintervall på 3-10 år. Europaveien er beskyttet av to skredvoller som står parallelt ovenfor hverandre og parallelt til veien. Begge vollene har en lengde på 130 m og en høyde på 8-9 m. Et snøskred som gikk 15. mars 2014 gikk forbi begge vollene i sør og stoppet bare 5 m fra E8. Figur 6 viser en oversikt over posisjonen til sikringiltakene i Lavanglsdane.



Figur 6: skredsikringstiltak i Lavangsdalen: Fra nord, Hestvolla, Sarasteien, Stortind og storskreda.

3 Teori

3.1 Snøskred

Snøskred er definert som en spontan forflytning av snømasser ned en fjellside (Schweizer et al., 2003). Man deler vanligvis inn i to snøskredtyper, løssnøskred og flakskred, basert på utløsningsmekanismen og bevegelsen til skredet. Både løssnøskred og flakskred kan forekomme som tørre og våte skred. Når vanninnholdet er så høyt at snøen nesten blir flytende, får skredene betegnelsen sørpeskred (Lied et al., 2003).

3.1.1 Løssnøskred

Løssnøskred oppstår i et punkt i eller nær snøoverflaten. Etterhvert som det beveger seg ned en skråning tar det med seg snø fra siden, som skredet sin karakteristiske dråpeform (Lied, 2014). Løssnøskred oppstår vanligvis i skråninger brattere enn 60° og forekommer som en følge av terrenggradienten overgår kritisk friksjonsvinkel for snøkrystallene (McClung et al., 2006). Løssnø er assosiert med liten kohesjon mellom snøkrystallene og ved lite vind og lave temperaturer vil det ta lang tid før snøen binder seg til omliggende snø. Dette gjør at snødekket forblir ustabil og det skal lite til at skredet utløses (McClung et al., 2006).

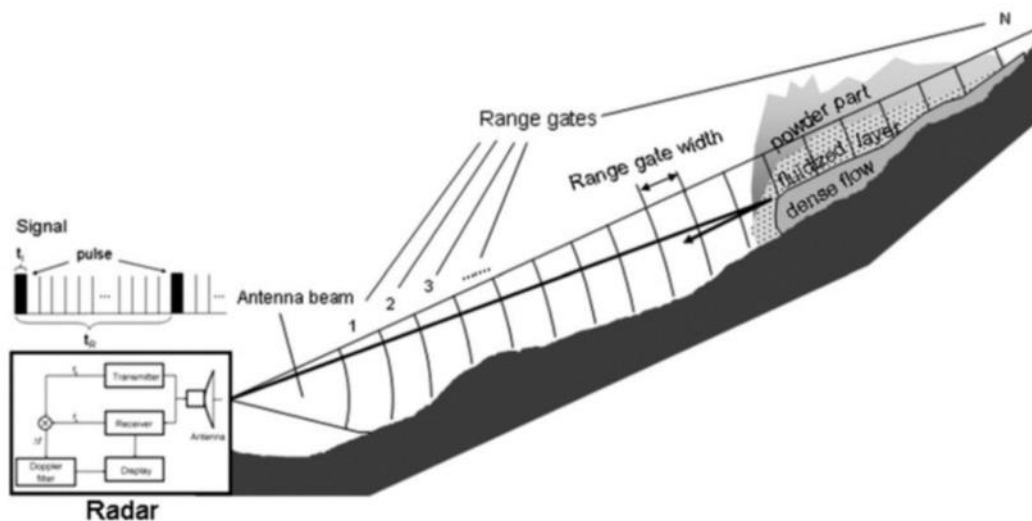
3.1.2 Flakskred

Flakskred er assosiert med de største skredene og kan føre til store ødeleggelser i utløpssonen (Lied et al., 2003). Flakskred forekommer når et sammenhengende snøflak utløses langs et glideplan. Mellom glideplanet og ligger det et svakt lag som bryter sammen ved stor tilleggsbelastning. Dette kan skje spontant eller progressivt. Det svake laget kan være rim, snø som har falt i stille vær, begerkrystaller eller lag med sprøhagl. Dette er eksempler på lag som dannes på grunn av temperaturforskjeller mellom snøen og atmosfæren eller forskjeller i temperatur inne i snødekket (Lied et al., 2003).

Det svake laget utløses fordi belastningen av det overliggende laget overgår styrken til laget under. Skjærstresset overgår skjærstyrken (McClung et al., 2006; Schweizer et al., 2003). Progressivt brudd skjer gjerne ved temperaturforandringer eller endringer i fuktighet i det svake laget, som fører til at bånd mellom snøkrystallene smelter. Spontant brudd skjer gjerne ved en tilleggsbelastning. Det kan være hurtig akkumulasjon av snø over det svake laget, eller skavler som faller ned på et snødekke som har et nedgravd svakt lag. Hurtig akkumulasjon av snø er assosiert med stormaktivitet, med mye nedbør og vind (Lied et al., 2003). Vind kan akkumulere snø flere ganger så raskt som vanlig nedbør, ved å transportere snø fra åpne områder til leområder (Chritin et al., 1999).

3.2 Dopplerradar

Dopplerradar kan detektere snøskred i fjellsiden og ved hjelp av filtreringsmetoder estimere om skred vil utgjøre en trussel for trafikanter eller ikke. Ved å koble radaren til trafikklys og bommer, kan anlegget varsle trafikanter om at skred er på vei og dermed hindre at folk beveger seg inn i det utsatte området. (Gauer et al., 2007). Målinger av skredhastighet ved hjelp av dopplerradar har blitt gjennomført siden 1980-tallet (H. Gubler et al., 1984; Salm et al., 1985). En dopplerradar sender ut elektromagnetiske bølger med en fast frekvens mot et skredområde og registrerer ekko i bestemte tidsintervaller, som korresponderer med bestemte avstander fra radaren (figur 8) (Gauer et al., 2007).



Figur 8: Prinsippkisse dopplerradar

Dersom et skred i radarens «synsfelt» er i bevegelse, vil frekvensen av de reflekterte bølgene differere fra bølgene sendt ut fra radaren. Dopplereffekten beskrives som at frekvensen til en lydbølge avhenger av hvor fort og hvordan kilden og objektet beveger seg i forhold til hverandre. Dersom objektet kommer mot kilden, vil frekvensen være høyere og dersom objektet beveger seg vekk fra kilden vil frekvensen være lavere (SNL, 2018a). Ved å beregne frekvensforskjellene mellom utsendte og reflekterte bølger kan dopplerradaren beregne hastigheten og retningen til skredet (Meier et al., 2015). Radaren detekterer for øvrig alle objekter som beveger seg innenfor synsfeltet, da alle objekter i bevegelse vil reflektere frekvenser med en annen bølgelengde. For å bruke dopplerradar som sikringstiltak er det derfor nødvendig å filtrere ut hvilke signaler som kommer fra snøskred og hvilke signaler som kommer fra andre objekter, som dyr, kjøretøy eller vegetasjon som beveger seg i vinden (Meier et al., 2015). Dette gjøres ved å se på «signaturen» til signalet fra bestemte objekter. Skred av ulik størrelse har bestemte signaturer som kan måles. Signaturen er bestemt ut fra frekvensen til de reflekterte bølgene og varigheten. Snøskred med stort volum vil ha høy hastighet og lang varighet fordi de beveger seg over lange distanser (McClung et al., 2006). Mindre skred kan også ha høy hastighet, men varigheten vil ikke være like lang, og radaren kan dermed skille de ut som mindre

skred. Dette er svært nyttig i forbindelse med vegsikring ved hjelp av dopplerradar, da man ønsker å bare stenge vegen for skred som er store nok til å utgjøre en trussel for trafikanter på vegen (H Gubler, 2000).

4 Metode

Dette kapittelet presenterer metodene som er benyttet i denne oppgaven for å oppnå de tre delmålene som er beskrevet i introduksjonen. Første delmål i oppgaven er å kartlegge de fire skredområdene og definere potensielle løsneområder, basert på topografisk karakter og informasjon fra kjente skredhendelser. Metodene bygger på feltarbeid, analyse av ortofoto og høyoppløselige terrengmodeller og analysing av bilder fra tidligere skredhendelser. Metodene er beskrevet i kapittel 4.1.

Simulering av utløpslengde for snøskred og beregning av skredhastighet er beskrevet i kapittel 4.2.

Utløpsanalysen bygger på de to anerkjente modellene RAMMS::Avalanche og Alfa-Beta modellen og topografiske data om de fire skredområdene. Anvendelse av de to modellene vil bli gjennomgått i henholdsvis 3.2.2 og 3.2.4.

Siste delkapittel (4.3) introduserer et verktøy i ArcGIS, som har blitt benyttet for å kartlegge plassering av radaranlegg med tanke på synsvidde. Beregninger av snøskredenes rekkevidde samt beregninger av hastigheten ved hjelp av RAMMS-simulering gir informasjon om hvor i terrenget radaren bør detektere skredet og hvor anlegge bør eller ikke bør plasseres.

4.1 Kartlegging av skredområder

Skredområdene i Lavangsdalen er kartlagt med formål å beskrive topografiske og morfologiske forhold som har betydning for dannelse, bevegelse og utløpsdistanse for snøskred. Hvert område er delt inn i tre delområder; kildeområde, skredløp og utløpsområde. Grunnlaget for kartleggingen bygger på fjernanalyser av ortofoto og digitale høydemodeller ved hjelp av kartverktøyet ArcMap 10.5, samt feltarbeid fra studieområdet gjennomført i mai og juni 2018. Topografiske karakteristikk i kildeområdet er blant de viktigste parameterne som påvirker skredfrekvensen i et område, og kartlegging av slike forhold kan gi nyttig informasjon om potensialet for akkumulasjon av snø og dannelsen av snøskred med stort volum (Maggioni et al., 2003). Skredløpets og utløpssonens form påvirker hastigheten og utløpsdistansen til skredet (Butler et al., 1990) og spor etter skred i vegetasjon og løsmasser i utløpsonen gir informasjon om skredfrekvens i et skredområde (Butler, 1979; Butler et al., 1990). Topografiske forhold i kildeområdet er videre brukt i en algoritme for automatisk identifikasjon av potensielle løsneområder ('potential release areas', PRA) ved hvert av skredområdene. De neste delkapitlene beskriver detaljer om feltarbeidet, datagrunnlag for fjernanalyse og metoden for definisjon av potensielle løsneområder.

4.1.1 Feltarbeid

Feltarbeid i Lavangsdalen ble gjennomført over tre separate dager, henholdsvis 19. mai, 6. juni og 12. juni. Formålet med feltarbeidet var å kartlegge de fire skredområdene i oppgaven, med fokus på

topografiske karakteristikk som helningsgrad og eksponeringsretning og morfologiske elementer som kunne gi informasjon om skredfrekvens og utløpslengder til snøskred i områdene. Vegetativ tilstand i skredløp og utløpssone og kartlegging av skredvifter ble lagt størst vekt på, da dette kan si noe om skredfrekvens og skredstørrelse (McClung et al., 2006). Løsmasser i utløpssonen kan gi informasjon om skredtyper og ble derfor vektlagt i områder hvor det var spesielt fremtredende.

Terrenget i studieområdet er krevende. Skredområdene har store relieff og helningen i de fleste områdene er gjennomsnittlig 30-40° i øvre deler. Av sikkerhetsmessige grunner ble det derfor besluttet å legge feltarbeidet til nedre del av skredområdene. Ved Hestvollan ble nedre deler av skredløpet befart. For å spore befaringsruten og stadfeste observasjoner og bilder tatt under feltarbeidet ble det brukt en GPS av typen Garmin etrex 20. Målinger av eksponeringsretning og gradienter ble gjennomført med et Silva kompass med klinometer.

4.1.2 Fjernanalyse av ortofoto og GIS-anvendelse med høyoppløselig DTM

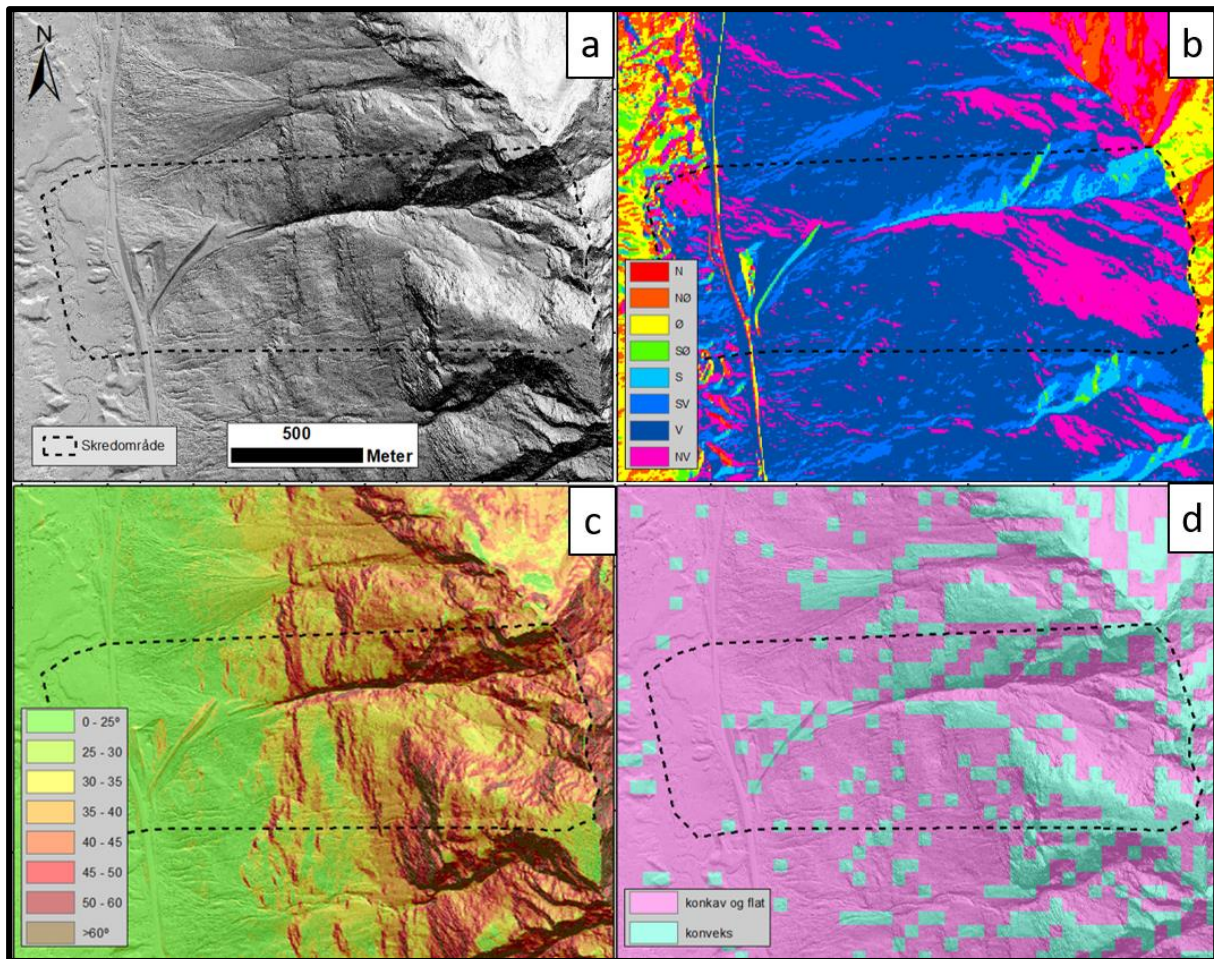
ArcGis 10.5 fra ESRI har blitt brukt for kartlegging og geografisk projeksjon av topografiske og morfologiske elementer fra skredområdene, som er vist i koordinatsystemet ETRS89/UTM sone 33N. Fjernanalyse av ortofoto (Troms 2006 og 2016, med hhv. 0,5 og 0,25 m oppløsning) hentet fra www.norgeibider.no (2018) og høyoppløselig digital terrengmodell (DTM) fra Kartverket (2017) ble i første omgang benyttet for å få oversikt over studieområdet og planlegge områder som skulle studeres nærmere i feltarbeid. Det ble brukt to digitale terrengmodeller i fjernanalysen, NDH Jiehkkevárri 2pkt og Troms 5pkt med hhv. 0,5 og 0,25 meter oppløsning. Videre ble fjernanalyse benyttet for å kartlegge områdene som ikke ble befart under feltarbeidet, henholdsvis kildeområdet og skredløpet. Verktøy i ArcGis gjør det mulig å gjennomføre detaljerte topografiske analyser på DTM, av blant annet helningsgrad, eksponeringsretning, ruhet og topografisk kurvatur (hvorvidt terrenget har en konkav, flat eller konveks form) (Maggioni et al., 2003). ArcGIS har også blitt brukt til å lage langsgående profiler som viser gradienten hele og deler av skredbanen og tversgående profiler som viser topografiske variasjoner i skredløpet. Ortofoto har også blitt benyttet for å studere skredaktivitet de siste årene. Endringer i vegetasjonsdekket, trær og løsmasser i skredenes utløpssoner kan gi en indikasjon på hvilken grad av skredaktivitet det har vært der.

4.1.3 Identifikasjon av løsneområder for snøskred

For å identifisere løsneområder simulering av utløpsdistanse i RAMMS og Alfa-Beta er det benyttet to tilnæringer. Bilder fra tidligere skredhendelser er sammenlignet med en GIS-basert terrenganalyse som klassifiserer potensielle løsneområder (PRA) automatisk, basert på spesifikke terrengforhold i kildeområdet. Metoden for automatisk identifikasjon av PRA ble først tatt i bruk av Maggioni et al. (2003) og er senere mye brukt til skredfarekartlegging eller studier som bruker numerisk simulering

for snøskredmodellering, spesielt i områder hvor adgang til kildeområdet er begrenset (Bühler et al., 2013). Videre følger en beskrivelse av analysen og tabell 2 viser hvilke verdier som har blitt satt for de ulike topografiske parameterne i analysen (figur 9).

Som nevnt i kapittel 3.1.2 kan topografiske faktorer som helningsgrad, eksponeringsretning, ruhet og topografisk kurvatur innhentes fra DTM ved hjelp av verktøy i ArcGIS. Ved å sette bestemte verdier for hver av disse faktorene, som tilsvarer topografiske karakteristikk assosiert med utløsning av snøskred, kan man kombinere ulike faktorer og dermed finne avgrensede områder som vil fungere som potensielle løsneområder. Formålet med metoden i denne oppgaven er å finne PRA for store snøskred med returperiode på rundt 100 år. Derfor er oppløsningen på terrengmodellen redusert til hhv. 5 meter for gradient, eksponeringsretning, og 50 meter for topografisk kurvatur. Ved reduksjon av oppløsning på topografisk ruhet, ble variasjonene så små at denne faktoren er sett bort ifra. En høyere oppløsning vil også kunne egne seg for å finne potensielle løsneområder, men egner seg bedre for å analysere skredfrekvens av relativt små skred (Maggioni et al., 2003), og faller derfor utenfor formålet i denne oppgaven. Definisjon av PRA gjøres i denne oppgaven blant annet for simulering i det numeriske programmet RAMMS::Avalanche. Uten å gå for mye inn på det, da det vil beskrives mer i kapittel 4.2, antas det at snødekker som benyttes i simuleringen består av et fast lag med lik tykkelse over hele området (Christen, Kowalski, et al., 2010). Det er derfor ønskelig å ikke definere for store løsneområder, da man vet at snødekkeegenskaper kan endres mye over relativt korte avstander (McClung et al., 2006). Løsneområdene er derfor avgrenset til ca. 100 høydemeter fra øverste til nederste punkt og avgrenset lateralt i områder hvor eksponeringsretningen endres mer enn 45°. I tillegg er det ønskelig å finne løsneområder så høyt i skredområdet som mulig, og det er derfor satt en nedre avgrensning ved hvert av skredområdene.



Figur 9: Topografiske parametere som inngår i beregning av potensielle løснеområder. Her for området ved Hestvolla. A) hillshade. B) eksponeringsretning, c) helningsgrad. d) kurvatur. Oppløsningen er i sistnevnte redusert til 50 m.

Tabell 2: Parametere og verdier for identifikasjon av potensielle løснеområder (PRA). Metoden er modifisert etter (Bühler et al., 2013; Maggioni et al., 2003).

Parametere	Løснеområder (PRA)
Gradient	30° - 60°
Topografisk kurvatur	Konkave og flate områder (plan kurvatur > -0.2)
Eksponeringsretning (lengde av bruddkant	Områder med variasjon <45°
Ruhet	Ikke tatt med
Lengde langs parallelt med skråningen	~100 høydemeter fra bruddkanten
Høyde over havet	Egne verdier for hvert skredområde, se kap. 5.1

4.2 Snøskredsimulering og beregning av utløpslengde

For å beregne hastighet og utløpslengde er det tatt i bruk to beregningsmodeller for snøskred, den empiriske/statistiske Alfa-Beta modellen (Bakkehøi et al., 1983) og den numeriske modellen RAMMS::Avalanche (Christen, Kowalski, et al., 2010). Alfa-Beta modellen brukes som verktøy for å beregne utløpslengde, mens RAMMS brukes for utløpslengde, hastighet og flyte høyde til snøskred og skredmasser. Verktøyene er ment å brukes i forbindelse med planlegging og prosjektering av sikringstiltak for skred ved utsatte veger eller bebyggelse og for å endre arealplaner basert på faresonekartlegging (Christen, Kowalski, et al., 2010). Empiriske modeller bruker høydeforskjellen langs en antatt skredbane til å beregne utløpsdistanse og anser snøskredet som en fast masse (Harbitz et al., 2001). Numeriske modeller kan deles inn i 2- og 3-dimensjonale modeller. Felles for begge modellene er at de benytter matematiske ligninger basert på generell hydraulisk teori og tar hensyn til at skredet har en gitt lengde og bredde (Christen, Kowalski, et al., 2010). 2-dimensjonale modeller tar hensyn til dynamisk deformasjon av skredmassene i bredden og lengden, mens såkalte 3-dimensjonale skredmodeller har mulighet til å måle flyte høyde i tillegg og tilpasning til terrenget. 3-dimensjonale simuleringmodeller gjør 2-dimensjonale modelleringer i et 3-dimensjonalt terreng (Christen, Kowalski, et al., 2010).

Valget av modeller ble tatt på bakgrunn av en studie av ulike skredmodelleringsprogrammer for beregning av snøskred i Norge (Håland et al., 2015). Studien ble gjort i forbindelse med NIFS-prosjektet, et samarbeidsprosjekt mellom Statens vegvesen, jernbaneverket og NVE, som hadde som formål å samarbeide mellom de ulike etatene for å komme frem til gode løsninger for håndtering av naturfarer (Myrabø et al., 2016). Resultatene i studien viser at numeriske modeller som regel måler litt for lave utløpsdistanser, mens empiriske normalt måler litt for lange. RAMMS::Avalanche kan til en viss grad korrigeres etter norske forhold, og på den måten gi mer realistiske resultater. Den er dessuten mye brukt som verktøy i farekartlegging og dimensjonering av sikringstiltak (Barbolini et al., 2000). Av de empiriske modellene som inngikk i studien til Håland et al. (2015), kom Alfa-Beta modellen veldig godt ut på å beregne maksimale skredutløp for snøskred med en lang returperiode.

4.2.1 Alfa-Beta modellen

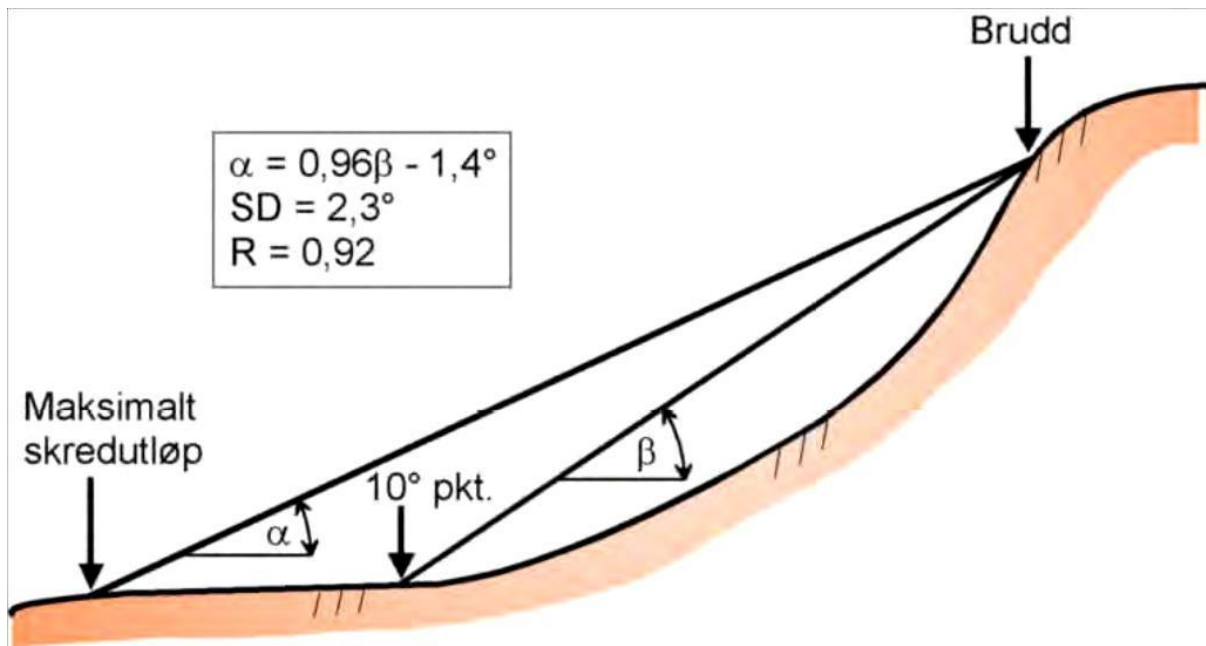
Alfa-Beta modellen er en statistisk-topografisk beregningsmodell som brukes for å beregne maksimal utløpslengde for snøskred (Bakkehøi et al., 1983). Modellen ble utviklet på 80-tallet av Lied et al. (1980) ved Norsk Geoteknisk Institutt (NGI). Ved å gjøre statistisk regresjonsanalyse av 206 snøskred i Norge, fant de et forhold mellom den gjennomsnittlige helningen til skredbanen, β -vinkelen, og vinkelen (α) fra bruddkanten til den maksimale utløpsdistansen for snøskred. Dersom man vet β -vinkelen, kan man finne maksimal utløpslengde ved å følge formelen:

$$\alpha = 0,96\beta - 1,4^\circ$$

korrelasjonskoeffisienten, $R = 0,92$ og Standardavviket er $2,3^\circ$ (Bakkehøi et al., 1983)

En prinsippskisse for modellen er illustrert i figur 10. Modellen fungerer best for å kalkulere skred i skredbaner som er jevnt konkave og egner seg ikke til å beregne utløpslengden i skredområder hvor skredbanen består av flere trinn (Lied et al., 1980). Studier av topografiske-statistiske modeller viser at skred har en tendens til å bremse ned når de kommer til β -punktet, det punktet i skredbanen hvor gradienten til skredbanen er 10° (Buser et al., 1980; McClung et al., 2006). α -vinkelen utgjør gradienten fra toppen av løснеområdet for snøskredet og den lengste utstrekningen til snøskredavsetningen. β -vinkelen er gjennomsnittlig helning mellom toppen av løснеområdet og β -punktet, hvor gradienten i skredbanen er 10° . Studien av Lied et al. (1980) konkluderer med at forholdet mellom α - og β -vinkelen er proporsjonalt. Flere studier i ettertid har bekreftet dette (Harbitz et al., 2001; McClung et al., 2006).

Alfa-beta modellen har blitt benyttet for å måle maksimal utløpslengde ved de fire skredområdene i Lavangsdalen. Løsnakeområdet hvor α -vinkelen regnes fra er funnet ved metoden nevnt i kapittel 4.1.3. β -punktet har blitt lokalisert i felt, ved Storskreda, Sarasteinen og Stortinden, ved hjelp av kompass med klinometer. Ved Hestvollan er β -punktet funnet ved analyse av høydedata i ArcGIS, da β -punktet brukt til utløpsberegningen ligger i midten av et skredmagasin. Ved sørlig skredbane ved Stortinden er β -vinkelen funnet digitalt, da toppen av antatt løsnakeområde var utenfor synsvidde fra β -punktet. Resultatene er presentert i profiler og kapittel 4.3. I følge Statens Vegvesens «Håndbok V138 – Veger og Snøskred» kan man finne utløpslengden for skred med 25-50 års returperiode ved å legge til $0,25*SD$ (Norem, 2014). Det er blitt valgt å ta med i beregningen for å så hvor skredene havner og om de påvirker påliteligheten til resultatene av modellen.



Figur 10: Alfa-Beta modellen, hentet fra (Sletten et al., 2015), modifisert etter (Bakkehøi et al., 1983) og tar bare med de parameterne som er brukt i oppgaven.

4.2.2 RAMMS::Avalanche

RAMMS::Avalanche (Rapid Mass Movements Simulation) er et numerisk simuleringsprogram som anvender matematiske ligninger for å beskrive massebevegelsen til et snøskred. Programmet er utviklet ved WSL institutt for snø- og snøskredforskning SLF ved Davos i Sveits (Christen, Kowalski, et al., 2010). RAMMS::Avalanche (heretter RAMMS) måler 2-dimensjonale skred over et 3-dimensjonalt terreng. Mens andre 2-dimensjonale dynamiske modeller beregner variasjon i lengde og bredde, gjør den siste dimensjonen det mulig å beregne variasjoner vertikal tykkelse på skredet. RAMMS returnerer informasjon om hastighet, flyte høyde og energitap (Bartelt et al., 2013). Den sistnevnte er svært nyttig for beregning av belastning på eventuelle sikringstiltak eller andre objekter i utløpssonen, men vil ikke bli tatt hensyn til i denne oppgaven, da det faller utenfor formålet med oppgaven.

RAMMS er basert på en tidligere Voellmy-Salm modell (VS-modell), som beregner dynamikken i skredet basert på blant annet en hastighetsavhengig og en hastighetsuavhengig friksjon (Bartelt et al., 1999). Den hastighetsavhengige friksjonen (ξ) tar hensyn til de turbulente kreftene i skredet og er den dominerende kraften når skredet er i nærheten av sin terminal-hastighet. Den andre friksjonsvariabelen, Coulomb-friksjonen μ representerer friksjonen mellom den faste delen av skredet og underlaget. Denne friksjonen dominerer når skredet er i ferd med å stoppe opp (Bartelt et al., 1999). en svakhet med VS-modellen er at den bare måle maksimal flyte høyde og hastighet i fronten av

snøskredet, men tar ikke høyde for medrivning av snø i skredløpet, som bestemmer størrelsen til skredet når det stopper opp (Christen, Kowalski, et al., 2010). Det har derfor blitt implementert en annen tilnærming for skredbevegelsen, RKE-modellen (Random Kinetic Energy). RKE-modellen er basert på dannelse, utvikling og nedbrytning av kinetisk energi i forbindelse med tilfeldig bevegelse i massen til flytende snøkorn og egner seg bedre til realistisk modellering av snøskredet (Bartelt et al., 2013; Christen, Kowalski, et al., 2010).

For å simulere snøskred i RAMMS er programmet avhengig av en rekke parametere som legges inn i programmet.

- Digital terrengmodell over skredområdet
- Løsneområde, med bruddhøyde
- Verdier for friksjonsparametere

Som nevnt simulerer RAMMS snøskred over et 3-dimensjonalt terreng. For å gjøre dette må det lastes inn en digital terrengmodell over skredområdet (Christen, Kowalski, et al., 2010). I denne oppgaven er det brukt de samme terrengmodellene som er brukt for kartleggingen, men oppløsningen er redusert til 5 m. Høyere oppløsning vil gi mer detaljer av terrengformasjoner, men det vil også øke prosesseringstiden til programmet. Snødekket vil dessuten til dels glatte ut ujevnheter i terrenget, så en høyere oppløsning vil ikke nødvendigvis gi et bedre resultat (Christen, Kowalski, et al., 2010). Oppløsningen bør heller ikke være for dårlig, og (Bühler et al., 2011) fraråder å bruke oppløsning lavere enn 25 m, da det kan gi unøyaktige beregninger av både friksjonsparametere og massebevegelsen til snøskredet.

4.2.2.1 Løsneområde

Som nevnt i kapittel 3.1.3 er det viktig å begrense den skråningsparallele lengden til løsneområdet. Årsaken er at det antas at skred oftest løsner i le-formasjoner bak rygger, der det samler seg mer snø enn ellers i fjellsiden (Bakkehøi et al., 1994). Ved å legge inn en bruddhøyde antar en også at hele flaket har den samme høyden. I følge Norem et al. (1987) vil snø akkumuleres i et le-område begrenset til 100 m under nivået hvor vindtransporten avtar. Derfor begrenses løsneområder i RAMMS til ~100 m. Løsneområdene som inngår i RAMMS-simuleringene i denne oppgaven er funnet ved metoden som er nevnt i 4.1.3.1.

4.2.2.2 Bruddhøyde – skredlagets tykkelse

Bruddhøyden har svært stor innvirkning på volumet av skredmassene og er derfor avgjørende for å beregne pålitelige utløpsdistanser (Bartelt et al., 2013). For stort volum kan lett gi urealistiske utløpslengder. Flakskred løsner når skjærpenningene fra de drivende kreftene i snøflaket er høyere enn skjærfastheten som er i de stabiliserende kreftene i snøen. Som nevnt i kapittel 3 skjer dette ofte ved

rask akkumulasjon av store snømengder, eller endring av tetthet til snøen på grunn av endring i temperatur eller nedbør i form av regn på snødekket (McClung et al., 2006). Terrenghelningen har mest å si for bruddhøyden i løsnedområdet (Bakkehøi et al., 1994). I bratt terreng trengs det mindre snø over det kritiske laget for å få en ustabil situasjon, sammenlignet med tilsvarende snøforhold i slakere områder. I oppgaven brukes det en fremgangsmåte for valg av kritisk bruddhøyde etter (Håland et al., 2015):

Der:

Z_{kr} = kritiske bruddhøyden

c = kohesjon

p = snøens tetthet (kg/m^3)

g = gravitasjonskoeffisienten (m/s^2)

α = gjennomsnittsgradient i løsnedområdet

$\mu = \tan \varphi$, og φ er den interne friksjonsvinkelen

Ved å bruke ligningen over, kan den kritiske bruddhøyden regnes ut.

4.2.2.3 Friksjonsparameterne ξ og μ

Friksjonskoeffisientene bestemmer flyteegenskapene til snøskred (Bartelt et al., 2013). I tillegg til volumet, er valg av friksjonsparametere avgjørende for hastigheten og utløpsdistansen til snøskredet og det anbefales å bruke mest mulig objektive verdier for disse verdiene (Håland et al., 2015).

RAMMS tilbyr to fremgangsmåter for å bestemme friksjonsparametere. Den ene metoden går ut på å sette konstante verdier for μ og ξ , og den andre bruker varierende friksjonsverdier. I den første metoden settes friksjonskoeffisientene for hele snøskredområdet. Variasjoner i terrenget vil ikke ha noe å si for friksjonen, noe som er en betydelig forenkling av virkeligheten (Bartelt et al., 1999). I denne oppgaven er det brukt varierende metode. En GIS-basert terrenganalyse gjennomføres i RAMMS for å bestemme friksjonsparametere etter terrengformasjoner, høyde over havet og om det er skog i området (Gruber et al., 2007). Skog kan, hvis den er tett nok, ha en bremsende effekt på skredet, men studier viser at for skred som har oppnådd terminalhastighet, vil skog ha liten betydning for oppbremsingen (H Gubler et al., 1991; McClung et al., 2006; Teich et al., 2014). Det er ikke tatt høyde for skog i simuleringene for denne oppgaven.

Det er til en viss grad mulig å tilpasse friksjonsverdiene etter norske forhold. I Norge er det generelt kaldere klima enn i Sveits, hvor RAMMS er utviklet og kalibrert etter kjente skred. Den lavere temperaturen gjør at snøen er tørrere lenger nede, og ifølge Håland et al. (2015) kan RAMMS gi mer pålitelige resultater ved å justere høyden. Studien bruker tregrensen som mål for justeringen. Den er

også benyttet i denne oppgaven. Andre variabler som spiller inn på friksjonsverdiene i RAMMS er returperiode og skredstørrelse. Begge verdiene må presiseres i forkant av en skredsimulering. Tabell 3 gir en oversikt over inndelingen i skredstørrelser i RAMMS, etter skredvolum Bartelt et al. (2013).

Tabell 3: Skredstørrelser og skredvolum som brukes i RAMMS::Avalanche. Modifisert etter (Bartelt et al., 2013).

Skredstørrelse	Skredvolum
Stort	> 60 000
Medium	25 000 - 60 000
Lite	5 000 - 25 000
Veldig lite	< 5 000

4.2.2.4 Kohesjon og tetthet

Det er også mulig å bestemme kohesjon i snødekket. Kohesjon er kontakten mellom snøpartiklene, og varierer med temperatur i snødekket. Dette er mest avgjørende i våte snøskred og vil føre til økt energitap i utløpsområdet og noe lavere hastighet (Lied et al., 2003; McClung et al., 2006). I NIFS-studien av skred etter norske forhold anbefaler Håland et al. (2015) å se bort ifra kohesjon ved simulering av større tørre skred, da det finnes lite erfaring for å definere dette objektivt i Norge. Tettheten er satt til 300 kg/m³ for simuleringer av alle skredene i denne oppgaven, sammenlignet med simuleringen gjort i den nevnte studien.

Informasjon om valgte parametere for simuleringer og beregninger av utløpslengde er presentert i kapittel 5.2, da det inngår en del informasjon fra kartleggingen, blant annet valg av løsnemråde, som presenteres først i kapittel 5.1

4.3 Forslag til plassering av radaranlegg

Som nevnt i introduksjonen i kapittel 1, er målet for denne oppgaven å komme med innspill til plassering av radaranlegg ved de fire skredpunktene, Hestvolla, Sarasteinen, Stortinden og Storskreda. For å løse dette målet er det brukt et analyseverktøy i ArcGIS (ESRI, 2018), kalt «Vieswshed-analysis» eller synsfeltanalyse. Verktøyet tillater å gjennomføre analyser på et objekt i en digital terrengmodell. Verktøyet tar utgangspunkt i en posisjon, med en gitt XYZ-koordinat i en terrengmodell og beregner hvor langt objektet kan «se» i alle retninger. Terreng som kommer i veien for siktelinjen ('Line of sight' LOS) for objektet i en retning, blir den ytterste grensen av hva objektet kan se. (Lubczonek, 2008).

Det er gjort en rekke analyser for hvert skredområde og i kapittel 5.3 blir det presentert 2-3 plasseringer for hvert område. Synsfeltanalysen i ArcGIS beregner i utgangspunktet synsvidden i alle retninger, men i forbindelse med overvåking av snøskred i en fjellside, er det unødvendig å overvåke

områder utenom fjellsiden. Dessuten er det tatt utgangspunkt i dagens radarteologi og de restriksjoner som er gjeldende for horisontal og vertikal synsvidde ved etablerte anlegg i Norge. For å gjøre analysen så realistisk som mulig er det tatt hensyn til de begrensninger som er gjeldende for radaranlegget som står plassert ved Fv. 293 Holmbuktura. Parameterne er oppsummert i tabell 4.

Tabell 4: Restriksjoner for synsfeltet til radaren ved Fv. 293 Holmbuktura.

Horisontal synsvidde	Vertikal synsvidde	Rekkevidde
$\leq 90^\circ$	$\leq 15^\circ$	≤ 4000 meter ¹

God plassering er relativt og det er mange hensyn å ta når en skal planlegge plassering av radaranlegg. I denne analysen er det fokusert på følgende aspekter:

Radaren bør plasseres:

- Så nært skredområdet som mulig, men langt nok unna til se viktige deler av skredområdet
- I et trygt område med tanke på utløpsdistanse for snøskred
- Over bakken, så den kommer over veg, vegetasjon og utenfor rekkevidde for uvedkomne.

Med tanke på listen over vil det tas hensyn til topografiske formasjoner som er kartlagt ved skredområdene. De har påvirkning på eventuelle skyggesoner for radarens LOS og kan ha stor påvirkning på radarens evne til å detektere skred tidlig eller i viktige deler av skredbanen. Det er også tatt hensyn til resultater fra utløpsberegningene for snøskred og hvorvidt resultatene stemmer for eller mot plassering i et bestemt område.

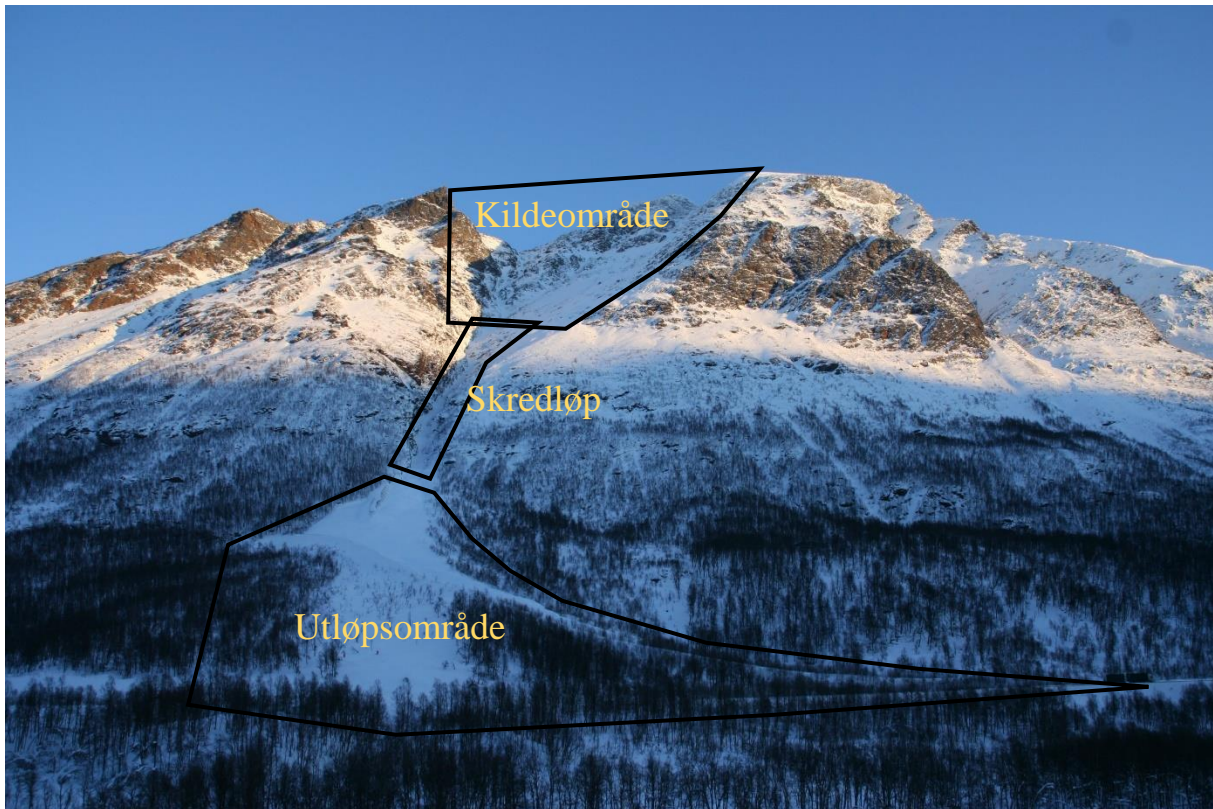
¹ Rekkevidden er basert på erfaring, da den lengste erfarte deteksjonen av snøskred i Holmbuktura er 3500 meter (Geopraevent, 2018). Det er også maksimale avstanden på skredområdet ved Holmbuktura (Kartverket, 2018b).

5 Resultat

I kapittel 5.1 presenteres resultater fra kartlegging av skredområdene, samt identifiserte løснеområder. Deretter presenteres resultataene fra hastighet og utløpsanalyse av snøskred i RAMMS::Avalanche og Alfa-Beta modellen i kapittel 5.2. Kapittel 5.3 er viet til plassering av radar. En rekke synsfeltanalyser er blitt gjort for hvert av skredområdene i Lavangsdalen det vil bli presentert og beskrevet 2-3 mulige posisjoner for plassering av radar ved hvert område. Delkapitlene følger den samme strukturen og presenterer skredområdene i rekkefølge fra nord til sør: Hestvollan, Sarasteinen, Stortinden og Storredsreda.

5.1 Skredområder i Lavangsdalen

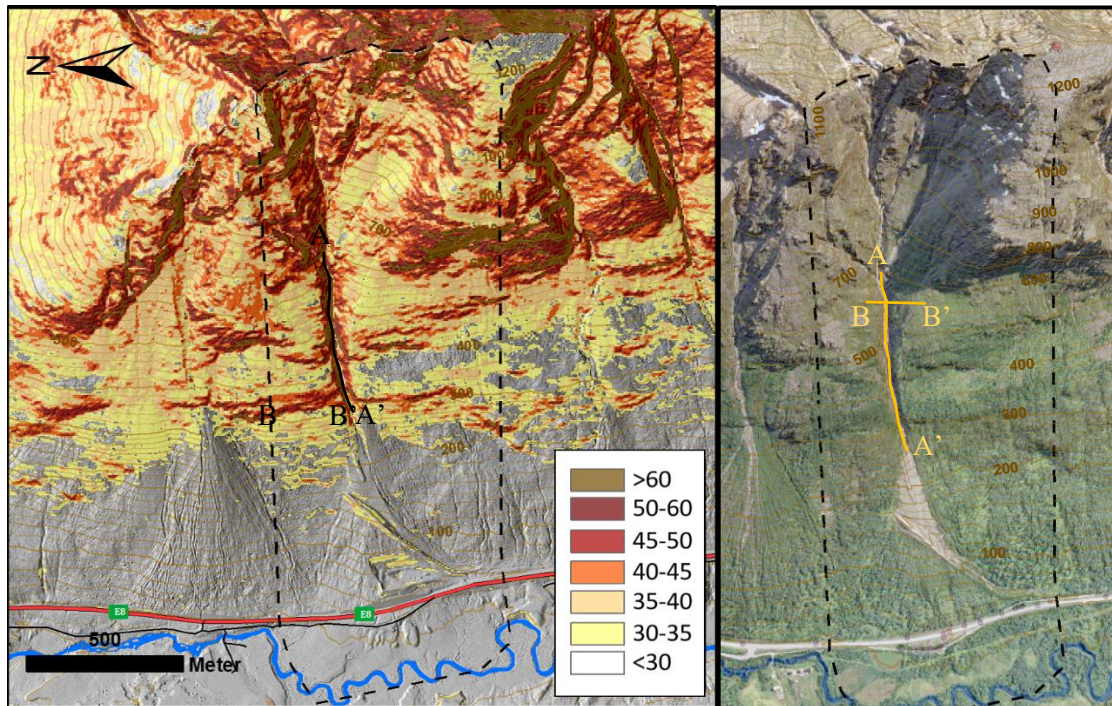
5.1.1 Hestvollan



Figur 11: Oversiktsbilde over Hestvollan og inndeling i kildeområde, skredløp og utløpsområde. Bildet er tatt etter snøskredet som gikk 29. februar 2008, uttalt av lokalbefolkningen som "det største skredet sett av noe menneske." Foto: Ole André Helgaas, Statens vegvesen.

Hestvollan er det nordligste skredområdet i Lavangsdalen og ligger på østsiden av dalen, med eksponering mot vest. Kildeområdet strekker seg fra ryggen mellom de to Store og Nordre Hendrikstinden (hhv. 1270 og 1134 moh.) og ned til rundt 650 moh. Området er formet som en trakt og er rundt 700 m bred i øverste del og samler deg ned i et gjel i bunnen. Øverste område S-SØ er

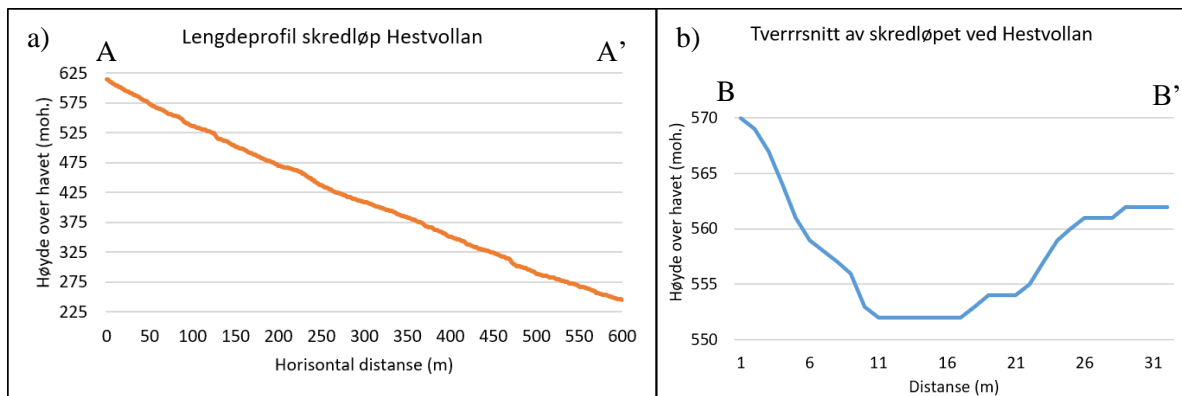
bratt, med enkelte klippepartier med gradient over 60° , mens lengre ned flater terrenget mer ut (figur 12).



Figur 12: t.v.: Bratthetskart over Hestvollan. grensen for skredområdet er markert med svart stiplet linje. Symbolforklaringen viser bratthet i grader ($^\circ$). Gradienter under 30° er gjennomskjellig. t.h.: flyfoto over Hestvollan fra 2006. Hentet fra: Kartverket (2018b).

Det bratteste partiet består hovedsakelig av bart fjell, mens midten av «trakten» er dekket av tynt vegetasjonsdekke og løsmasser. Kildeområdet har enkelte mindre raviner, som starter ved toppen og fletter seg sammen mot gjelet i bunnen. Til sammen dannet trakten et oppsamlingsareal på $0,3 \text{ km}^2$.

Skredløpet starter rundt 650 moh. ved starten av gjelet og strekker over en skråningsparallell distanse på omtrent 700 m, ned til ca. 250 moh. hvor overgangen til utløpssonen begynner. Gjelet skjærer seg ned i fast fjell og gradienten i skredløpet går gradvis fra rundt 35° i toppen til underkant av 30° i bunnen. Figur 13 a) illustrerer gradienten og 13 b) viser formen på gjelet. Profilene er markert på figur 8 (t.h.) som hhv. A-A' og B-B'.



Figur 13: a: Lengdeprofil av skredløpet ved Hestvollan. b: tverrsnitt av skredløpet tatt rundt 570 moh. Merknad: Forholdet mellom x- og y-akse på 9(a) er ikke 1:1 og gradienten er derfor ikke tilsvarende den reelle gradienten.

I nord er gjelet sterkt avgrenset av en bratt, noen steder loddrett vegg (figur 14). I sør er gjelet ikke like strengt avgrenset. Her er veggen litt slakere og bli gradvis slakere med høyden. Bunnen av gjelet er dekket av løsmasser på fast fjell og på sommeren renner det vann gjennom. Det er ikke noe tegn til vegetasjon i selve gjelet, men på utsiden vokser det trær opp til ca 350 moh.



Figur 14: Bilde av skredløpet (mai 2018). Bunnen er dekket av snø og vegetasjon kan sees på begge sider av skredløpet. Foto: Lars Tveit Christiansen.

Utløpsområdet er tydelig definert ved overgangen fra gjelet til åpent område rundt 250 moh. Området strekker seg fra toppen og ned til E8, ca. 70 moh. Fra terrengmodellen i figur 8 man se at Europavegen krysser en skredvifte som strekker seg helt ned til dalen, omtrent 40 moh. Denne er ikke mulig å se fra feltarbeid eller flybilder, da store deler av området er dekket av bjørkeskog. Mellom utløpet av skredløpet og ledevollen er det nærmest helt blottet for skog, mens i skogen rundt utløpsområdet er det tydelige spor etter skredaktivitet. Flere er trær bøyd, eller knekt av skredmasser (figur 15). En

sammenligning av bilder fra ulike årstall viser hvordan skredaktivitet har brutt ned skogen i området (figur 16). Langs skoggrensen sør for skredløpet, ligger det et erodert elveløp i løsmassene.



Figur 15: Knekte trær i utløpssonen ved Hestvolla. t.v. oppe: et område rett nord for åpningen av gjelet i skredløpet. rundt 70 trær er bøyd eller knukket. t.v. nede: skader på skog nord for ledevollen viser at skredmasser har gått over vollen. t.h.: skadet vegetasjon langs proksimalsiden av ledevollen. Foto: Lars Tveit Christiansen



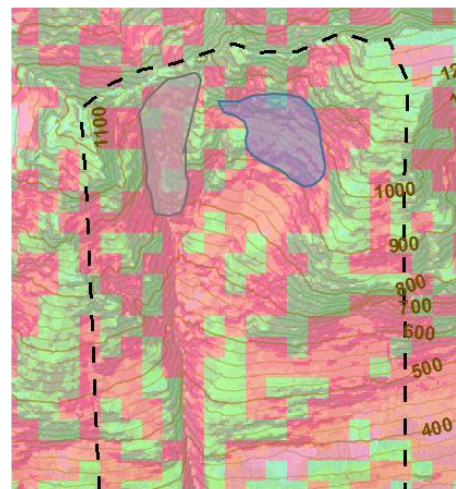
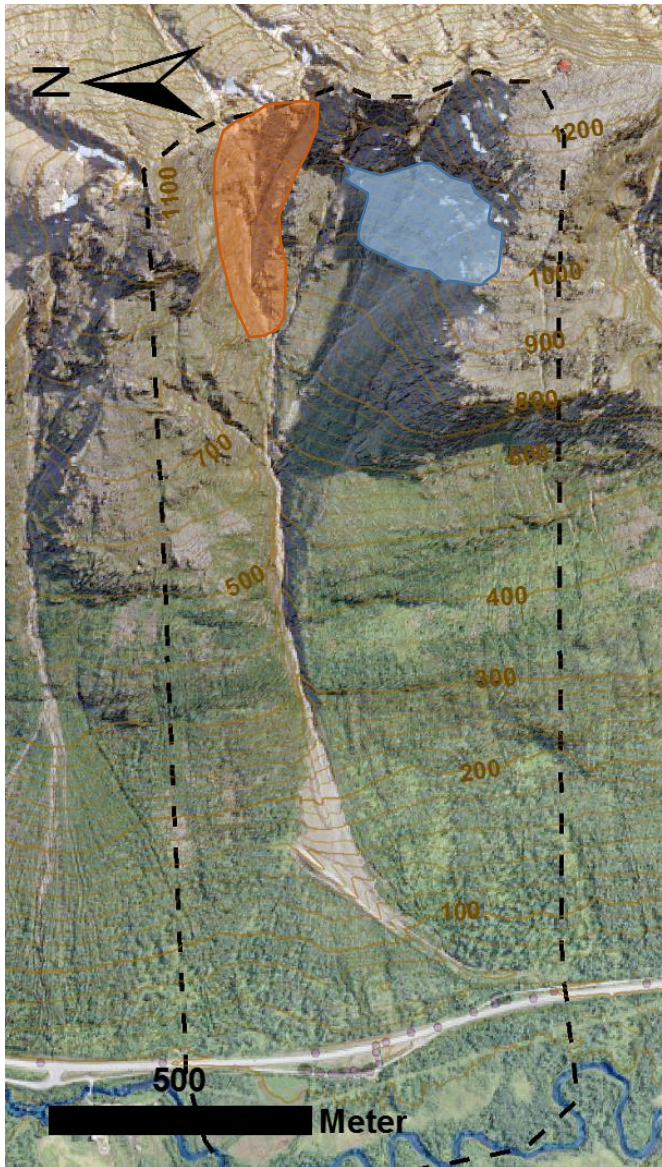
Figur 16: Sammenligning av flyfoto fra 2004-2016 viser tydelig tegn på skredaktivitet. Stiplede linjer viser skade på vegetasjon i de ulike periodene. Bildene i figuren er fra 2006 (t.v.) og 2015 (t.h). Bildet fra 2015 viser også skredmagasinet som ble bygget i 2012. Hentet fra Kartverket (2018b).

Som nevnt i kapittel 3 har løснеområder ved skredområdene blitt identifisert automatisk og sammenlignet med registrerte bruddkanter etter hendelser. Ved Hestvolla er det brukt et eksempel fra 15. mars 2014, da et vått flakskred løsnet fra sørlig del av kildeområdet, under Store Henrikstinden. Den øverste bruddkanten ble registrert ca. 1050 moh., lengst vest i fjellsiden. Bruddet er ikke kontinuerlig, men kan finnes igjen over en tilnærmet horisontal lengde på ca. 350 meter. (figur 17).



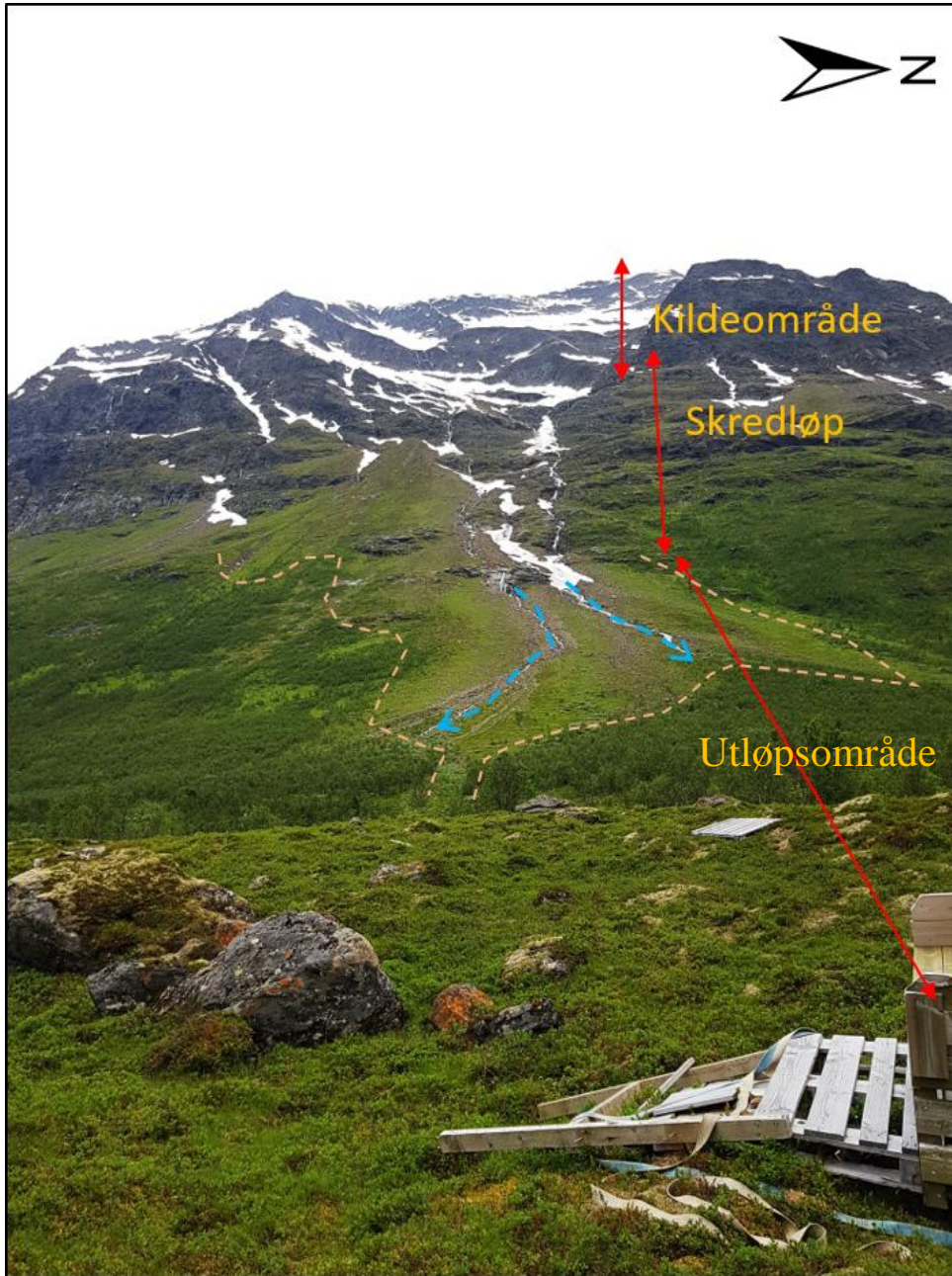
Figur 17: Bilde av snøskredet som gikk 15. mars 2014. Nede til venstre: Bilde av skredavsetningen, ca. 5 m fra E8. t.h.: bilde av avsetningen tatt tre dager etter hendelsen. t.v.(oppe): Bruddkanter registrert under helikopterbefaring 18. mars 2014. Foto: Statens Vegvesen

De fleste bruddkantene fra denne hendelsen er registrert ca. 1000-1050 moh. og har oppstått i nærheten av fjell som stikker opp av snøen. Det er også registrert en bruddkant 750 moh. Skredet fulgte skredløpet og ledevollen og avsatte skredmasser på proksimalsiden av ledevollen. Helt nederst, hvor vollen gjør en sving mot sør gikk noen skredmasser over vollen og stoppet ca. 5 meter fra E8. noen mindre skredmasser har også beveget seg over vollen rundt 150 moh. og blitt avsatt på distalsiden. Vha. bilde fra skredhendelsen og automatisk identifikasjon av løснеområder i ArcGIS er det funnet to løснеområder i kildeområdet ved Hestvolla (figur 18).



Figur 18: Identifiserte løsnedområder i kildeområdet ved Hestvolla. Begge løsnedområdene er funnet ved automatisk identifikasjon i ArcGIS, men bare det sørlige er bekreftet med bilder etter en skredhendelse.

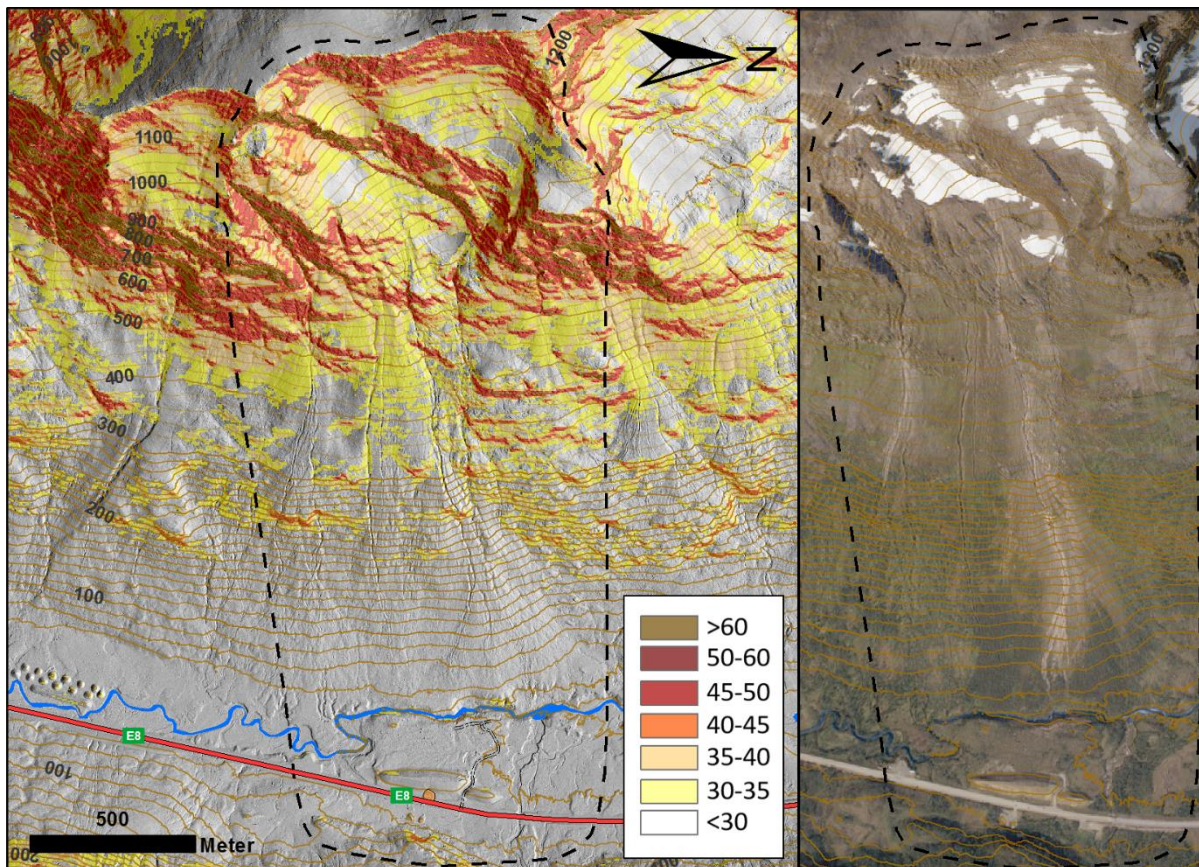
5.1.2 Sarasteinen



Figur 19: Oversiktsbilde over skredområdet ved Sarasteinen og inndeling i kildeområde, skredløp og utløpsområde. Bildet er tatt fra traktorveien, vest for skredvollen. Med andre ord fortsetter utløpsområdet videre bak fotografen. Gul stiple linje viser den lokale tregrensen og blå stiple linje markerer to kanaler som graver ned i løsmassene. Bilde: Ida Kristin Danielsen

Skredområdet ved Sarasteinen ligger på vestsiden av Lavangsdalen, omtrent 3 km sør for Hestvolla. Skredområdet strekker seg fra bunnen av dalen, opp til en bratt skrent, langs ryggen mellom Tverrbotnfjellet (2199 moh.) og Pernilsfjellet (1282 moh.). Skrenten er nesten loddrett noen steder og det er ikke uvanlig med skavldannelse på kanten. Selv under feltarbeidet i juni, ble det identifisert rester etter skavler over kildeområdet. Kildeområdet er eksponert mot Ø-NØ og er formet litt som en trakt, men har ikke den samme innsnevringen i bunnen som skredområdet ved Hestvolla.

Kildeområdet er delt inn i en øvre og en nedre del med relativt lik gradient, adskilt av en bratt skrent med et relieff på 50-100 m fra S-N (Figur 19).



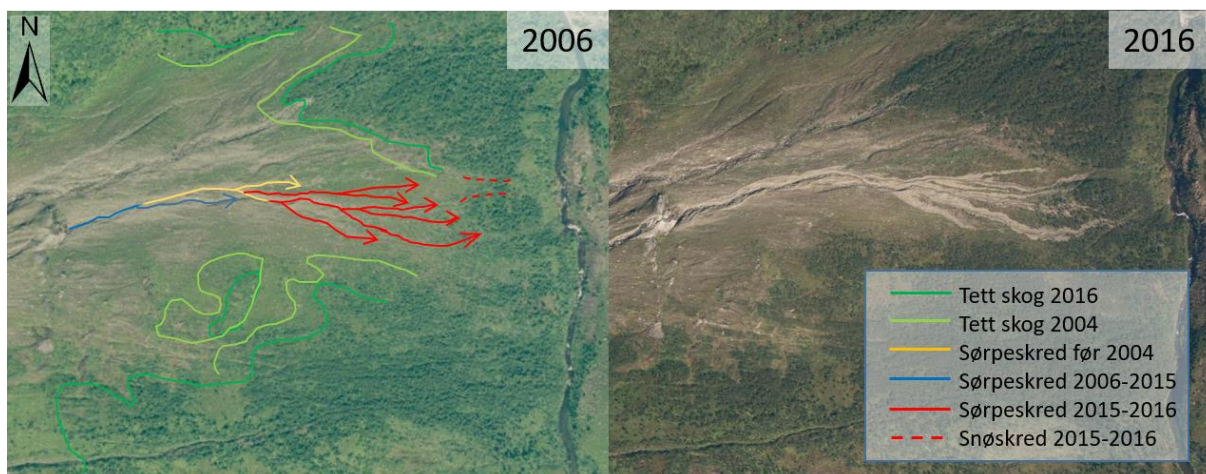
Figur 20: t.v.: Bratthetskart over Sarasteinen. grensen for skredområdet er markert med svart stiplede linje. Symbolforklaringen viser bratthet i grader (°). Gradienter under 30° er gjennomskiktig. Sarasteinen er markert med en ly brun sirkel, og ligger mellom skredvullen og E8, nederst i kartet. t.h.: flyfoto over Sarasteinen fra 2016. Hentet fra: (Kartverket, 2018b).

Gjennomsnittgradienten i øverste del er 33°, mens i nederste del er gradienten litt brattere, rundt 37°. Et flatt parti, forlenget av en bratt skrent med et relieff på ca. 250 m stikker ut fra N-NV i skredområdet og gjør at nordligste del av kildeområdet ikke kan sees fra skredvullen. Ut fra bratthetskartet kommer det frem noen områder midt i kildeområdet med gradient under 30°. På alle flybildene fra området (2004, 2006, 2011, 2015 og 2016 (Kartverket, 2018b)) er det snø i disse områdene, og gradienten på overflaten er antatt å være nærmere den samme som omliggende terreng.

Skredløpet ved Sarasteinen er definert av en overgang til en brattere gradient og hvor skredområdet er på sitt smaleste. Skredløpet har varierende lengde fra nord til sør. På det korteste er det bare 150 høydemeter mellom nederste del av kildeområdet og øverste del av avsetningene i utløpsområdet, definert ved apex (toppen) av stor skredvifte (figur 20, t.v.). Skredløpet er trappeformet og toppen av hvert trinn er dekket av løsmasser eller torv.

Utløpsområdet begynner som sagt ved overgangen mellom fjellside og skredvifte. Det er spesielt to skredvifter som kan sees tydelig i felt (figur 19) og på flybildet (figur 20, t.h.), da de har kanaler som graver seg ned i løsmassene fra toppen av viften og sprer seg som flettede elver nedover skråningen. Utløpsområdet fortsetter til bunnen av dalen, hvor skredviftene brått blir kuttet på tvers Sørbotnelva, som renner på nordover gjennom utløpsområdet. Videre opp på andre siden fortsetter utløpsområdet tilnærmet flatt ca. 200 m bort til skredvollene, som ligger parallelt med E8. Skråningen i utløpsområdet flater sakte ut mot bunnen av dalen, men blir som sagt avbrutt av elven før den flater helt ut.

Det mest iøynefallende sporet av skredaktivitet ved Sarasteinen er den lokale skoggrensen. Som nevnt i kapittel 2.3 er skoggrensen i Lavangsdalen mellom 350-400 moh., men her ved skredområdet ved Sarasteinen går grensen mye lenger ned. Trær og busker nærmest utløpsområdet er vesentlig lavere enn skog lenger vekk. Selv om den lave skoggrensen tilsier at området har relativt høy skredfrekvens, er det gjort et forsøk her, som ved Hestvollan, å sammenligne flyfoto fra Kartverket (2018b), for å se etter spor skred med lang utløpsdistanse eller andre skredspor (figur 21). Analysen av flyfoto i perioden 2004-2016 gir bare ett tegn på snøskred med ekstra lang utløpslengde, av skadet skog rett vest for elven (figur 21, t.h.), men avslører også et aktivt erosjonsspor fra sørpeskred, som over tre perioder forlenger seg og deler seg i flere kanaler. Den største utviklingen ser ut til å ha skjedd i perioden 2015-2016. Enkelte av erosjonssporene graver seg ned i skredviften, mens andre steder ligger avsetninger som parallelle linjer av løsmasser på bakken og vegetasjonsdekket på skredviften kommer opp i mellom (figur 22, t.v.). I noen av kanalene renner det vann på sommeren.



Figur 21: Sammenligning av flyfoto fra 2004-2016 viser tegn på aktivt sørpeskred i utløpsområdet ved Sarasteinen. Over tre perioder har utløpsdistanse på erosjonsspor utviklet seg. Stiplet linje viser skade på vegetasjon av et snøskred med lang utløpslengde. Grønne linjer viser at forekomst av tett skog har beveget seg oppover skråningen.



Figur 22: Sørpeskredavsetninger på skredviften ved Sarseteinen. Enkelte av kanalene eroderer ned i løsmassene, mens noen avsetninger har smeltet frem på overflaten. Rød stiplet linje viser et åpent område som tidligere var dekket av skog.

På østsiden av elven er terrenget relativt flatt og lite vegetert. Her ligger det skredmasser i form av spredte steinblokker i overflaten (figur 23). De fleste er i underkant av 1 m^3 , men noen av blokkene har et volum på 3-4 m^3 .

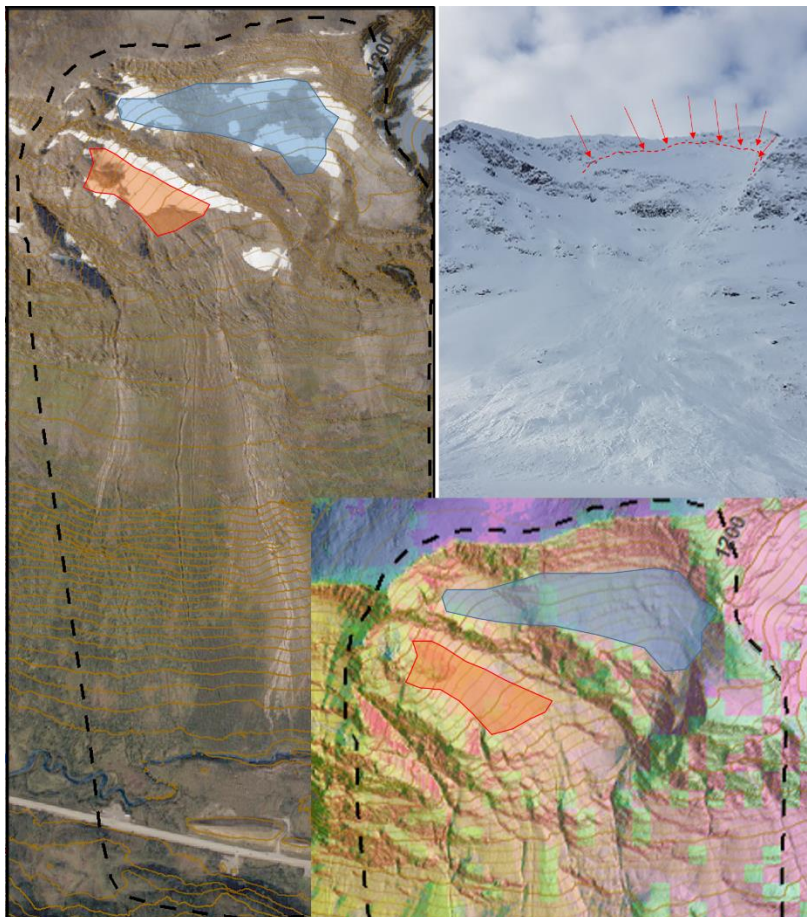


Figur 23: Spredte blokker preger ytterste del av utløpssonen ved Sarasteinen, på øst-siden av Sørbotnelva. Foto: Ida Kristin Danielsen.

Resultater fra automatisk identifikasjon av løснеområder ved Sarasteinen er sammenlignet med bilde av løснеområdet etter snøskredet 30. mars 2017. Dette skredet er relativt godt dokumentert fordi tre kjøretøy var innblandet i skredhendelsen. Bilde av løснеområdet ble tatt noen timer etter skredet, men bruddkanten kommer tydelig frem i øverste del av kildeområdet (Figur 24). Skredet ble klassifisert som et tørt flakskred som hadde en kraftig skredgufs foran skredet. Ved hjelp av GIS-algoritmen er det identifisert to relativt store løснеområder (figur 25), plassert i øvre og nedre del av kildeområdet.



Figur 24: Snøskredhendelse ved Hestvollan 30. mars 2017. Tre biler ble helt eller delvis begravd av skredet. Skredmassene demmet opp Sørbotnelva. Bruddkant registrert i øverste del av kildeområdet. Mye av skredmassene stoppet vest for Sørbotnelva Foto: Maja Antonsen (bruddkanter) og Statens Vegvesen.

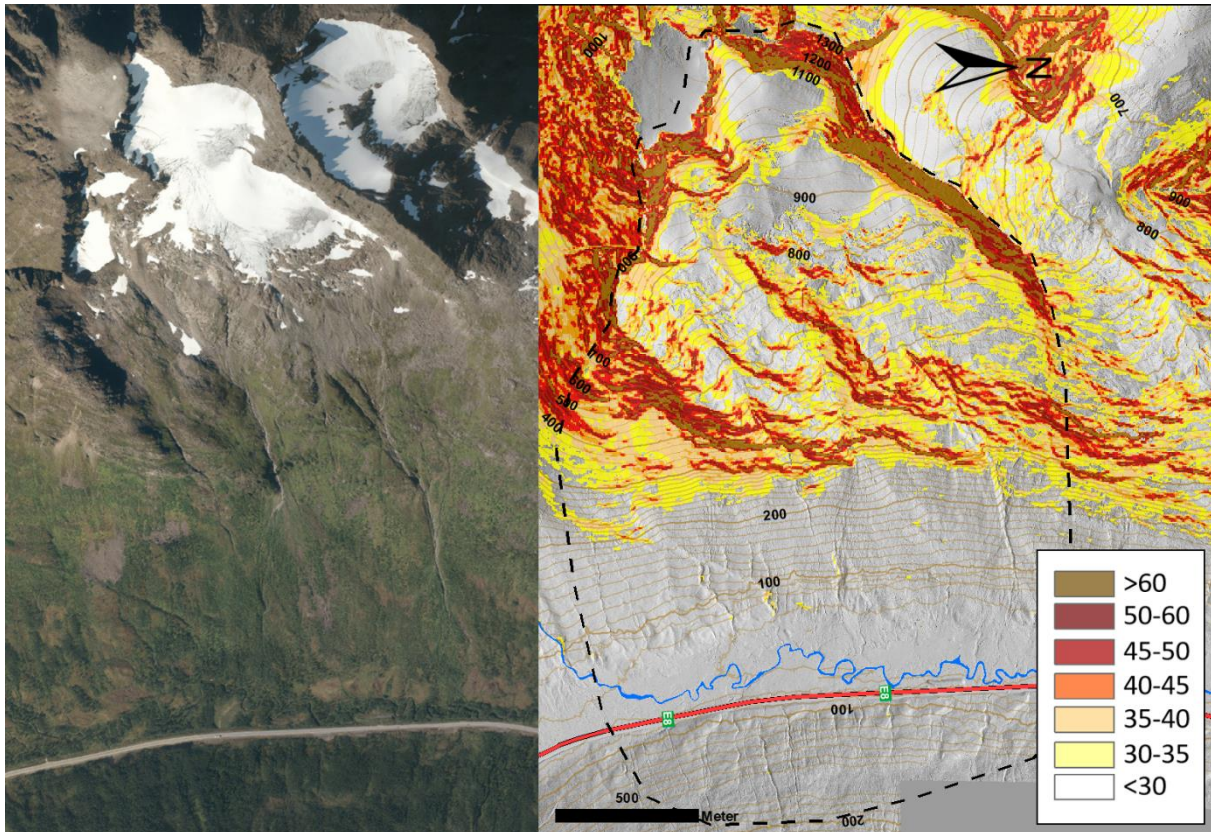


Figur 25: Identifiserte løsnemråder i kildeområdet ved Sarasteinen.

5.1.3 Stortinden

Kildeområdet ved Stortinden er det største kildeområdet til noen skredløp i Lavangsdalen. Den øvre avgrensningen til kildeområdet er tydelig definert av en bratt skrent på ca. 200 høydemeter.

Gradienten på skrenten varierer, men er for det meste over 60°. På nedsiden av skrenten ligger en liten botnbre. Ut fra bratthetskartet på figur 26 (t.h.) kommer det tydelig frem at overflaten på breen og området rett øst for breen er vesentlig slakere enn topografien rundt. Terrenget foran breen består for det meste av oppsprukket fjell, stedvis tildekket med løsmasser (figur 26, t.v.).



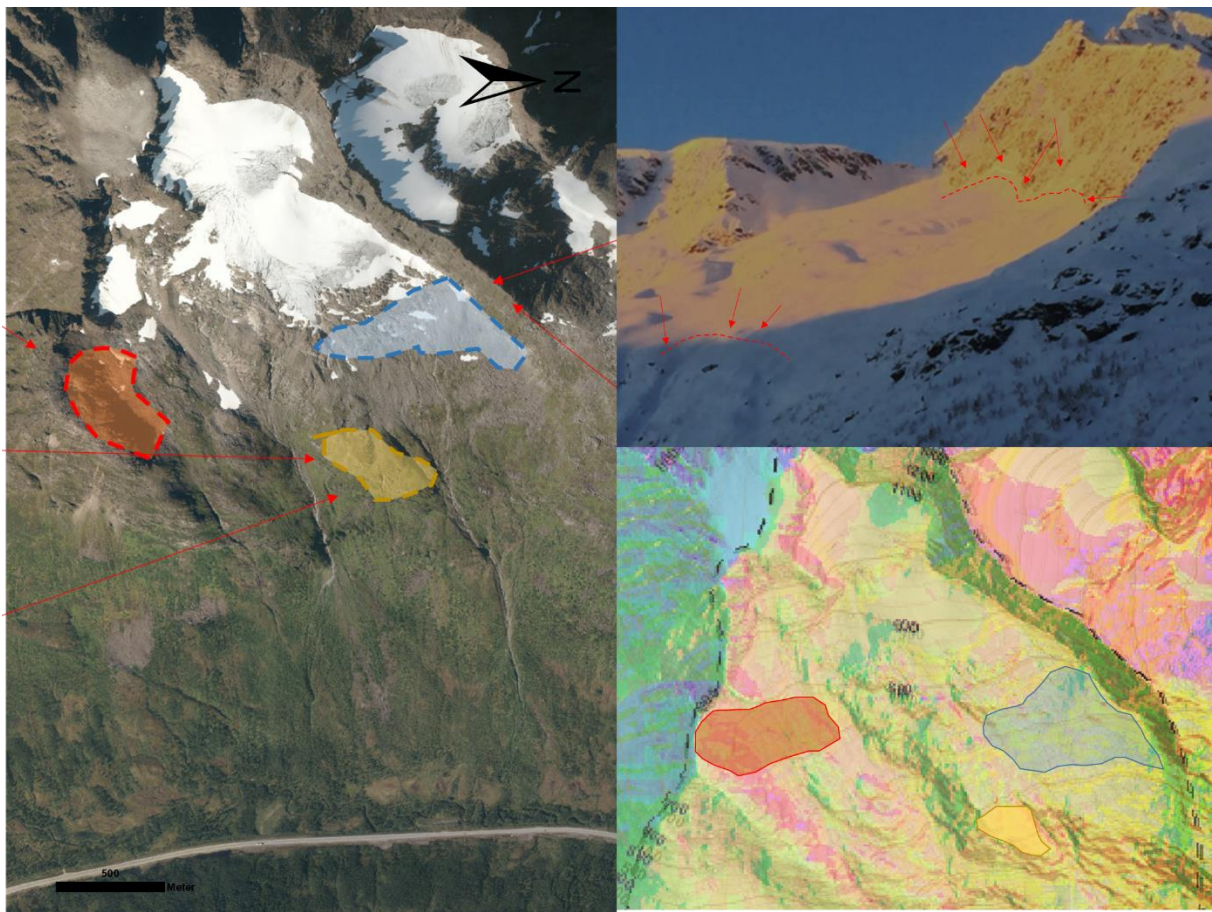
Figur 26: Bratthetskart og flybilde over skredområdet ved Stortinden. Kildeområdet er det største kildeområdet av alle skredområdene i Lavangsdalen, men også det med lavest gjennomsnittsgradient.

Skredløpet starter ved en definert skrent, omtrent 300 m øst for brefronten i kildeområdet. Skredløpet starter rundt 500 moh. og strekker seg ned til 200 moh. hvor overgangen til utløpssonen er definert av overgangen fra fast fjell til løsmasseavsetninger. Skredløpet er definert av mindre trappetrinn og underlaget består i nordlige deler av svaberg, delvis dekket av torv. I sørlig del er skredløpet dekket av vegetasjon, helt opp til 500 moh. Tre raviner graver seg ned i fast fjell og løsmassene i skredløpet. Her renner det vann på sommeren.

Utløpsområdet ved Stortinden starter rundt 200 moh. ved overgangen til løsmasser, akkumulert i vifteform noen steder langs nedre grense av skredløpet. Det er hovedsakelig tre markerte vifter med kanaler som graver seg ned i løsmassene i den nordlige og den sørlige viften.

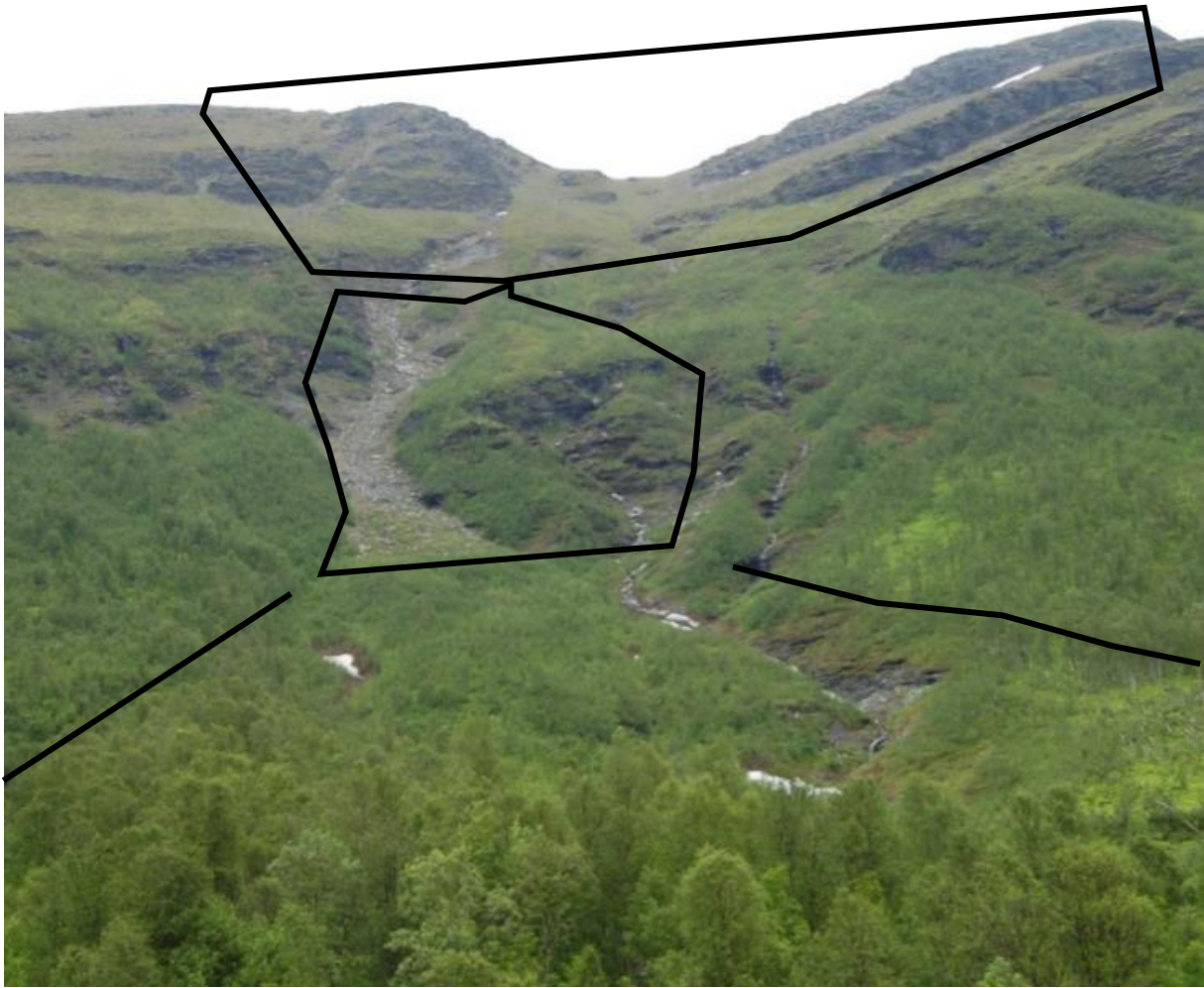
Det er ikke presentert noen bildeanalyse tilsvarende de to foregående skredområdene. Det er få tegn til nylig skredaktivitet, bortsett fra skader på vegetasjon litt nord i området. En rygg av løsmasser på nedsiden av en skråning tolkes til å være en såkalt «Provinal Rampart», en avsetning av løsmasser som har falt ned på ett snødekke og rullet til ytterkanten av snøfeltet. Avsetningen ble først funnet i felt og deretter identifisert på flybilder over området. Den er ikke like tydelig representert på den digitale terrengmodellen. Noen steder er det store ansamlinger av steinblokker oppå viftene. De største blokkene finnes i sørlige deler av skredområdet, og har volum på rundt 3-4m³. Skoggrensen ved Stortinden ligger rundt 300 moh., men som ved Sarasteinen, viser området nedenfor skredløpet tegn til hyppig skredaktivitet ved avgrensede tregrenser. Noen steder er det enkelte tærr oppover i skredløpet, men de fleste steder er området fritt for skog ned til underkant av 200 moh. Skråningen i utløpsområdet flater sakte ut mot bunnen av dalen, hvor viftene avgrense av et myrområde hvor Sørbotnelva renner forbi, parallellt med E8. Spor etter skredaktivitet er hyppigere i nordlige dele av skredområdet enn i sørlige deler.

Løsneområder ved Stortinden er identifisert automatisk og sammenlignet med bilder etter en skredhendelse i 2015, da en bil og to vogntog ble tatt av skredet. Hendelsen er beskrevet i kapittel 1.1. Figur 25 viser bruddkanter registrert av Statens vegvesen etter skredhendelsen. Det er henholdsvis to bruddkanter, en rundt 500 moh. ved starten av skredløpet og en oppunder skrenten under toppen av Stortinden. I tillegg er mulig å skimte en bruddkant fra en skavl på toppen av skrenten. Skredet er beskrevet av Statens vegvesen som et tørt snøskred og mesteparten av skredmassene skal ha stoppet på proksimalsiden av skredvullen ved Stortinden. Likevel var det nok kraft i resterende skredmasser, at de klarte å velte personbilen over på taket. Algoritmen finner tre potensielle løsneområdet fra skredområdet ved Stortinden. To av områdene stemmer overens med den øverste og nederste bruddkanten fra figur 25, mens ett løseområdet er identifisert i sørlig del av kildeområdet (figur 27).



Figur 27: Identifikasjon av potensielle løснеområder, sammenlignet med bilder fra skredhendelsen 1. mai 2015.

5.1.4 Storskreda

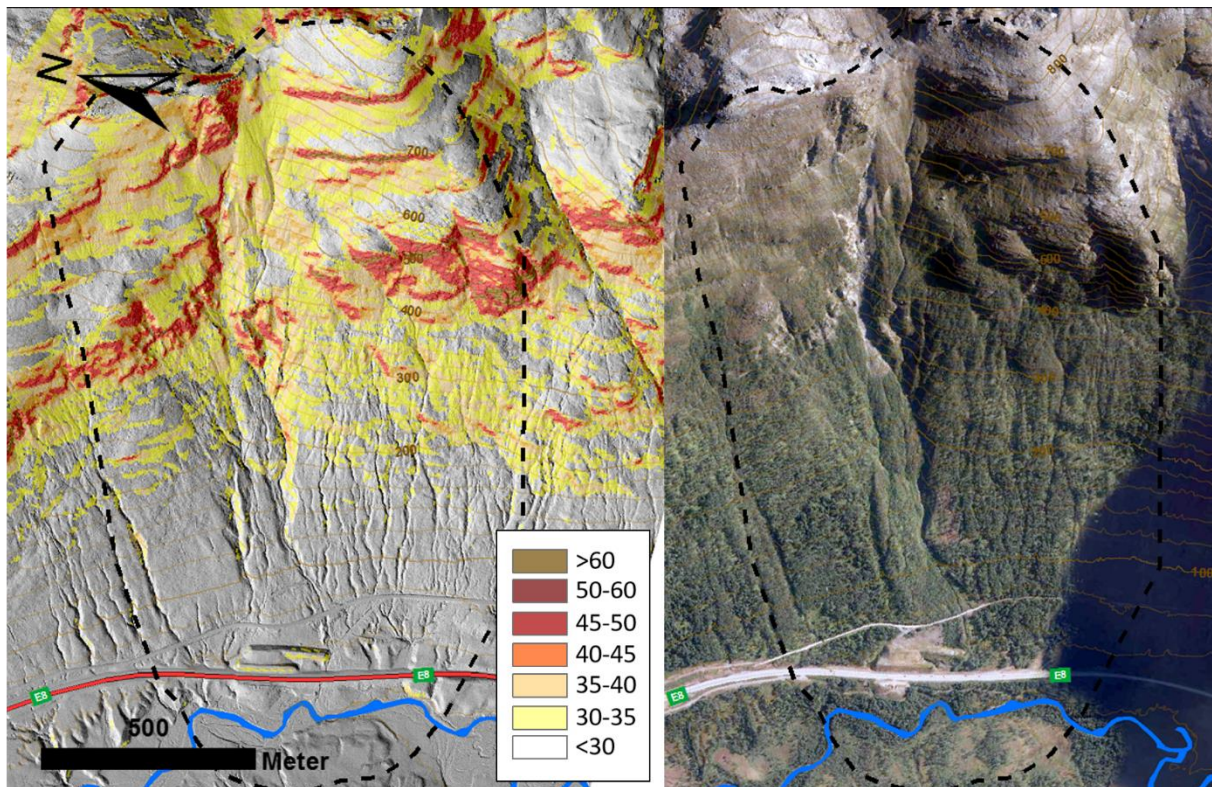


Figur 28: Oversiktsbilde av Storskreda og inndeling i kildeområde, skredløp og utløpssone Foto: Lars Tveit Christiansen.

Storskreda er det sørligste skredområdet og det eneste skredområdet i oppgaven som ligger i Balsfjord kommune. Skredområdet ligger på østsiden av dalen og er eksponert mot SV. Skredområdet strekker seg fra bunnen av dalen, omtrent 70 moh. opp til toppen av Skjelelvfjellet (600 moh.). Dette skredområdet er vesentlig lavere enn de andre skredområdene og topografien her er også ganske annerledes.

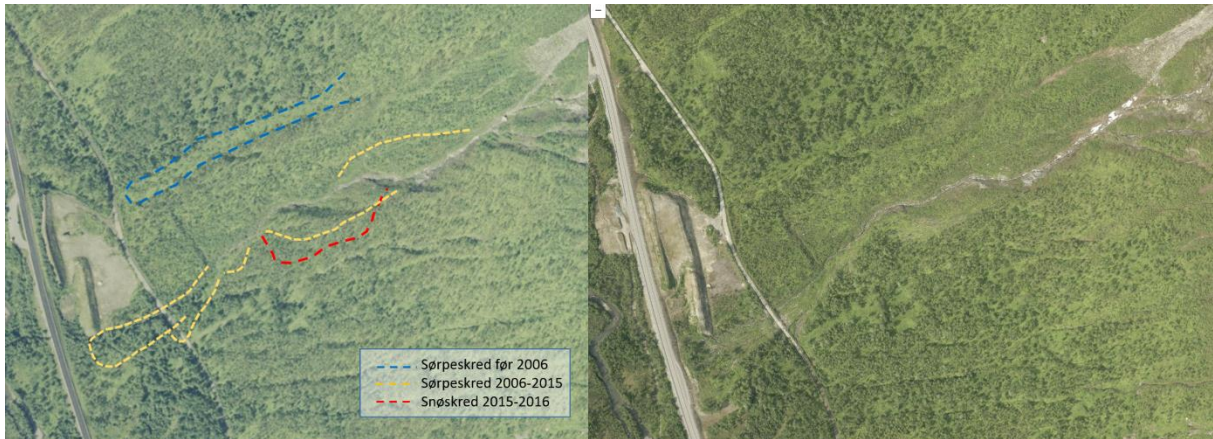
Kildeområdet ved Storskreda begynner like under toppen av Skjelelvfjellet. En dal midt i kildeområdet skiller området i to, hvor det sørlige området er eksponert litt mer mot vest, mens det nordlige området har en søvestlig eksponering. Kildeområdet har en karakteristisk trappeform i sørlig delområde, som deler kildeområdet i flere ledd. Den avrundede toppen på Skjelelvfjellet gjør at området påvirkes mye av vind, og snøen legger seg stort sett i le-områder under toppen. Bratthetskart over området viser at gradienten i nordlig del er litt brattere enn sørlige deler av området (figur 29). Gjennomsnittgradienten

i nordlig og sørlig del er hhv. 35,5 og 34°. Begge områdene peker litt inn mot midten og skredløpet defineres av overgangen fra brede flanker til en smal V-formasjon i terrenget.



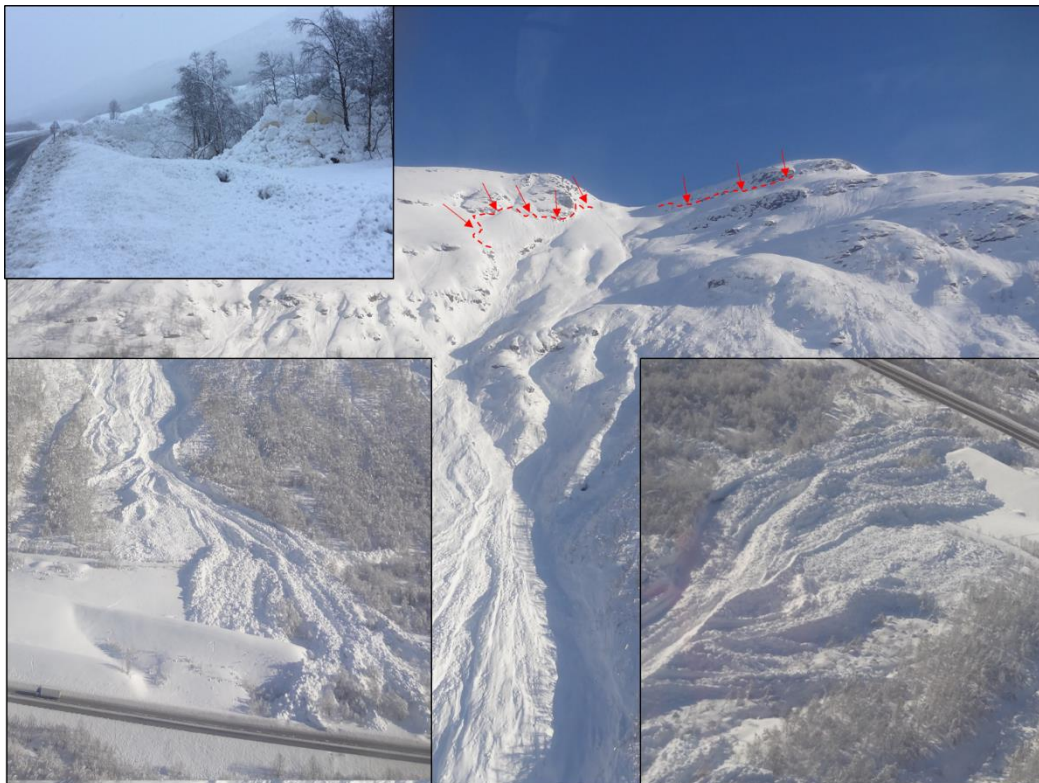
Figur 29: bratthetskart og flybilde fra Storskreda i Lavangsdalen.

Skredløpet følger en elv som renner langs fra midten av kildeområdet og ned til ca. 400 moh., hvor elven deler seg i to, et nordlig og et sørlig elveløp. Mellom de elveløpene to er en forhøyning i terrenget, dekket av vegetasjon. I følge flybilde av kan det se ut til at området er dekket av tett skog, men trærne som er her er tydelig påvirket av skredaktivitet. De er lave av vekst og har tydelige tegn til skade fra skredaktivitet. Figur. Overgangen fra skredløpet til utløpssonen er ikke så tydelig definert i ved Storskreda og hele fjellsiden har en jevn konkav utflatning mot bunnen av dalen. Den nederste delene er nesten flat. Det er ingen tydelige skredvifter her og det meste av spor etter skredaktivitet finnes i bekkedalene og av knekte trær langs siden. En sammenligning av flyfoto fra 2006 – 2016 viser vegetative spor etter skredaktivitet e de ulike periodene. (figur 30).

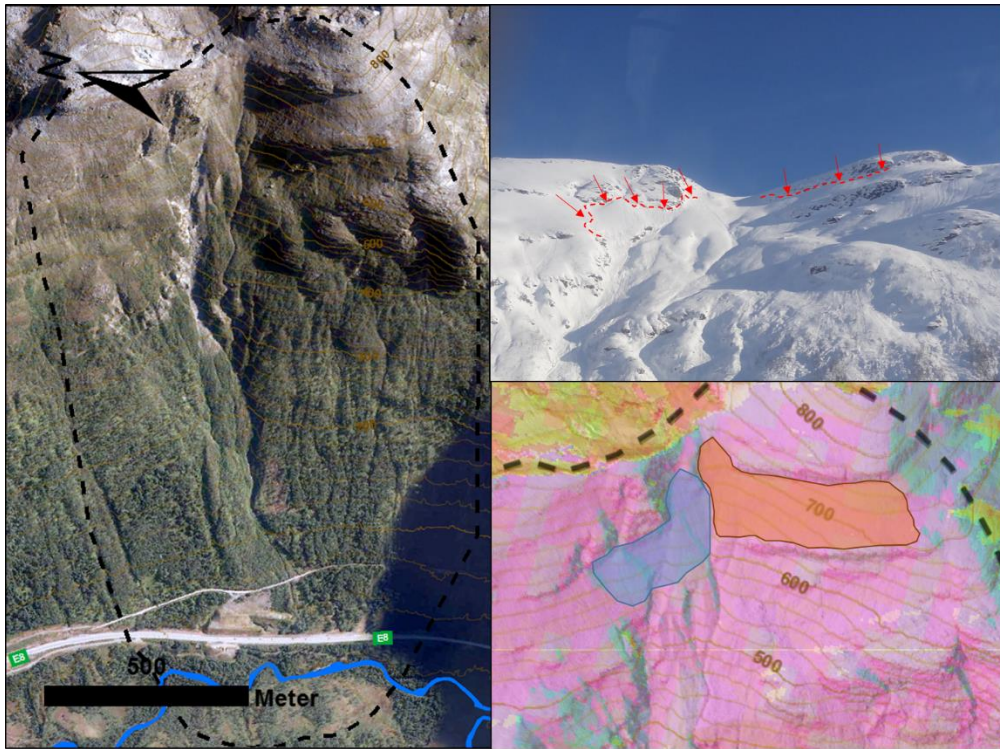


Figur 30: Bildeanalyse av flyfoto fra 2006, 2011, 2015 og 2016. Figuren viser flere spor etter skedaktivitet på skadet vegetasjon (Kartverket, 2018b).

Løsneområdene funnet med Algoritmen i ArcGIS er sammenlignet med bilder etter en skredhendelse 15. mars 2014 (figur 28). Det er altså samme dag som skredet ved Hestvollan. På samme måte som ved Hestvollan stoppet skremassene bare få meter unna E8. Skredet løsnet i øvre del av sørlig del av kildeområdet. En bruddkant på ca 270 meter kan følges i øverste del av kildeområdet (Figur 31). Skredet ble identifisert som et vått flaksrked. Resultatet fra algoritmen viser to potensielle løsneområder. Ett i nordlig og ett i sørlig del av kildeområdet (figur 32).



Figur 31: Skredhendelse 15.03.2014 ved Storsrkeda. Foto: Statens vegvesen



Figur 32: Identifikasjon av potensielle løснеområder.

5.2 Simulering og beregning av utløpslengde og hastighet





Kapittelet presenterer resultatene fra simulering av utløpsdistanse og skredhastighet ved hjelp av det numeriske simuleringsprogrammet RAMMS::Avalanche og beregninger av utløpsdistanse fra Alfa-Beta modellen. Tabell 5 viser en oppsummering av parametere som er valgt for simulering ved hvert av skredområdene. Informasjon om flakstørrelse og helning i løснеområdet stammer fra kapittel 4.1. Bruddhøyden er bestemt etter formelen for Z_{kr} , som er presentert i kapittel 4.4.2.2. Størrelsen er klassifisert etter tabell 3 i kapittel 4.4.2.3. Returperiode og skredtype er ikke gitt i tabellen, da alle simuleringene er gjort for tørre snøskred med returperiode på 100 år, som er den høyeste akseptable returperioden for skred på veg, med hensyn til trafikkmengden på E8 gjennom Lavangsdalen (Persson, 2017). Justering av høydenivå på skredløpene er gjort etter skoggrensen, som ved Hestvollan, Sarasteinen, Stortinden og Storskreda er hhv. 350, 380, 300 og 300 moh.

Tabell 5: Parametere benyttet til simulering i RAMMS::Avalanche. HV: Hestvollan, SS: Storskreda, SA: Sarasteinen, ST: Stortinden.

Skredløp	Areal løснеområde (m ²)	Gj. Gradient i løśnieområdet (°)	Bruddhøyde (m)	Volum (m ³)	Størrelse	Høydejustering (øvre, nedre) (moh.)
HV_sør	43662	39,7	1,4	56761	Medium	600, 100
HV_nord	26461	41,7	1,3	37046	Medium	600, 100
SA_øvre	1549334	35,6	1,6	278882	Stort	550, 50
SA_nedre	107784	37,0	1,5	172454	Stort	550, 50
ST_nord_oppe	133208	30,0	2,0	199812	Stort	550, 50
ST_nord_nede	105912	40,0	1,3	169460	Stort	550, 50
ST_sør	119132	31,0	1,9	202524	Stort	550, 50
SS_sør	34806	35,5	1,6	55690	Medium	630, 130
SS_nord	33124	34,3	1,7	46325	Medium	630, 130

Tabell 6 viser parametere som er blitt bruk i Alfa-Beta modellen. Modellen trenger informasjon om vinkelen ved β -punktet, altså det stedet langs skredprofilen hvor terrenget har en helning på $\sim 10^\circ$. Ved Hestvollan og sørlig skredbane ved Stortinden er β -punktet og $-$ vinkelen funnet i ArcGIS, da profilet ved Hestvollan krysser et skredmagasin, som ligger i området hvor terrenget tidligere var $\sim 10^\circ$ bratt. β -punktet ved sørlig skredbane ved Stortinden var mulig å kartlegge i felt, men det var ikke fri sikt til toppen av antatt løśnieområdet og det ble derfor funnet etter feltarbeidet. Ω representerer objektet som

kan bli truffet av skredet, i dette tilfellet E8. Posisjonen og β -vinkelen er beregnet i felt. Figurene som presenteres videre i kapittelet vil inneholde resultatene fra RAMMS::Avalanche og Alfa-Beta beregninger. En tegnforklaring for parameterene som vises fra alfa-beta modellen er gitt i figur 33.

	α
	$\alpha + 0.25SD$
	$\alpha - SD$
	β -plassering

Figur 33: Tegnforklaring til figurene som følger videre i delkapittelet. α : Beregnet maksimal utløpsdistanse for skred med returperiode 100-300 år. $\alpha + 0,25 SD$: Beregnet maksimal utløpslengde for snøskred med returperiode 25-50 år. $\alpha - SD$: Maksimal beregnet utløpslengde for snøskred med returperiode 1000 år. β : Posisjon for β -vinkelen fra felt.

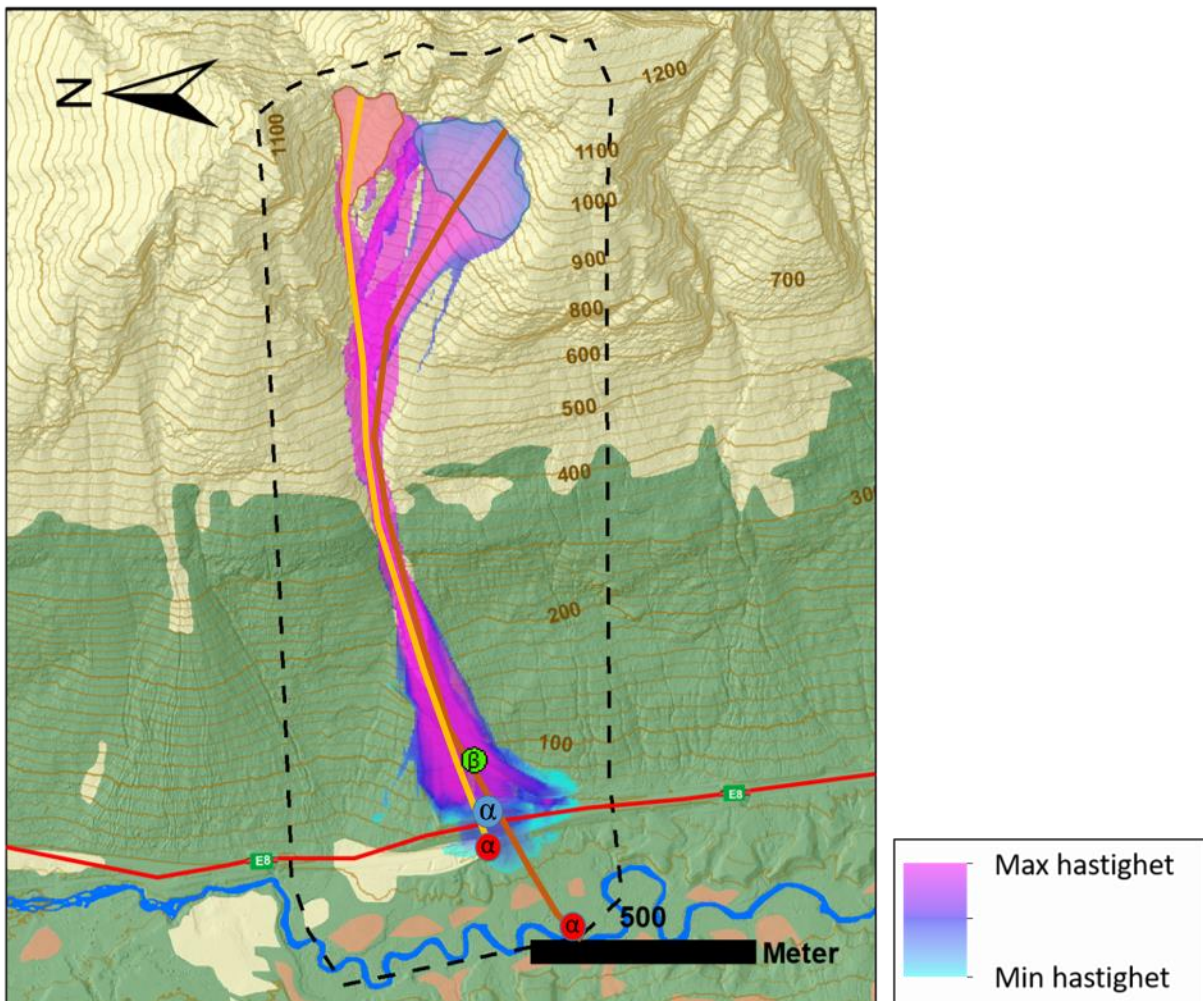
Tabell 6: Parametere som har blitt brukt i Alfa-Beta modellen. Ω representerer objektet, i denne sammenhengen vegen. Forkortelsene er forklart i tabell 5.

Skredløp	α -punkt (UTM)	α - høyde (moh.)	β -punkt (UTM)	β - vinkel (°)	Ω -punkt (UTM)	Ω - vinkel (°)
HV_sør	667638,7715273	1017,6	666097,7715307	28	666065,7715149	27,5
HV_nord	667704,7715596	1021,0	666097,7715307	30	666026,7715302	29,5
SS_sør	666907,7707554	728,5	668035,7707225	27	667740,7707144	25
SS_nord	669019,7707592	701,5	668035,7707225	26	667740,7707144	25
SA_øvre	663996,7713106	1145,5	665747,7713232	30	666208,7713151	25
SA_nedre	664173,7712690	1048,7	665747,7713106	30	666208,7713151	24
ST_nord_oppe	664212,7710857	780,0	665343,7710874	26	665776,7710974	24
ST_nord_nede	664584,7710670	584,6	665341,77710665	25	665795,7710713	22
ST_sør	664220,7709939	804,4	665394,7710239	28,5	665812,7710290	24

5.2.1 Hestvollan

Resultatene fra snøskredsimulering og løpsberegninger i hhv. RAMMS::Avalanche og Alfa-Beta-modellen er presentert i figur 34. Simuleringsresultatene viser at terrenget i kildeområdet og skredløpet har stor påvirkning på flyteretningen av skredet. Begge skredene konsentrerer seg ned i gjelet fra kildeområdet og følger delvis ledevollen i utløpsområdet. Volumet av skredet fra sørlig løsneområde er vesentlig større enn det norlige, hhv 56761 m³ mot 32046 m³. Figuren viser hvordan

skredhastigheten endres fra topp til bunn. Hastigheten er høyest over skredløpet for begge skredene. Hastigheten til HV_nord reduseres kraftig når skredet går ned i gjelet, mens HV_sør har en jevnt høyere hastighet hele veien. Maksimalhastigheten for HV_nord er 41 m/s, mens HV_sør kommer opp i en hastighet på 59 m/s på det høyeste. Effekten av skredmagasinet som ble etablert i 2012 har størst effekt på skredet som løsner fra nordlig løsningsområde. Alfa-Beta resultatene viser vesentlig lenger utløpsdistanse enn begge de simulerte skredene. Tabell 7 viser verdiene for de ulike vinklene. Profiler på Alfa-Beta modellen er presentert i Vedlegg I.



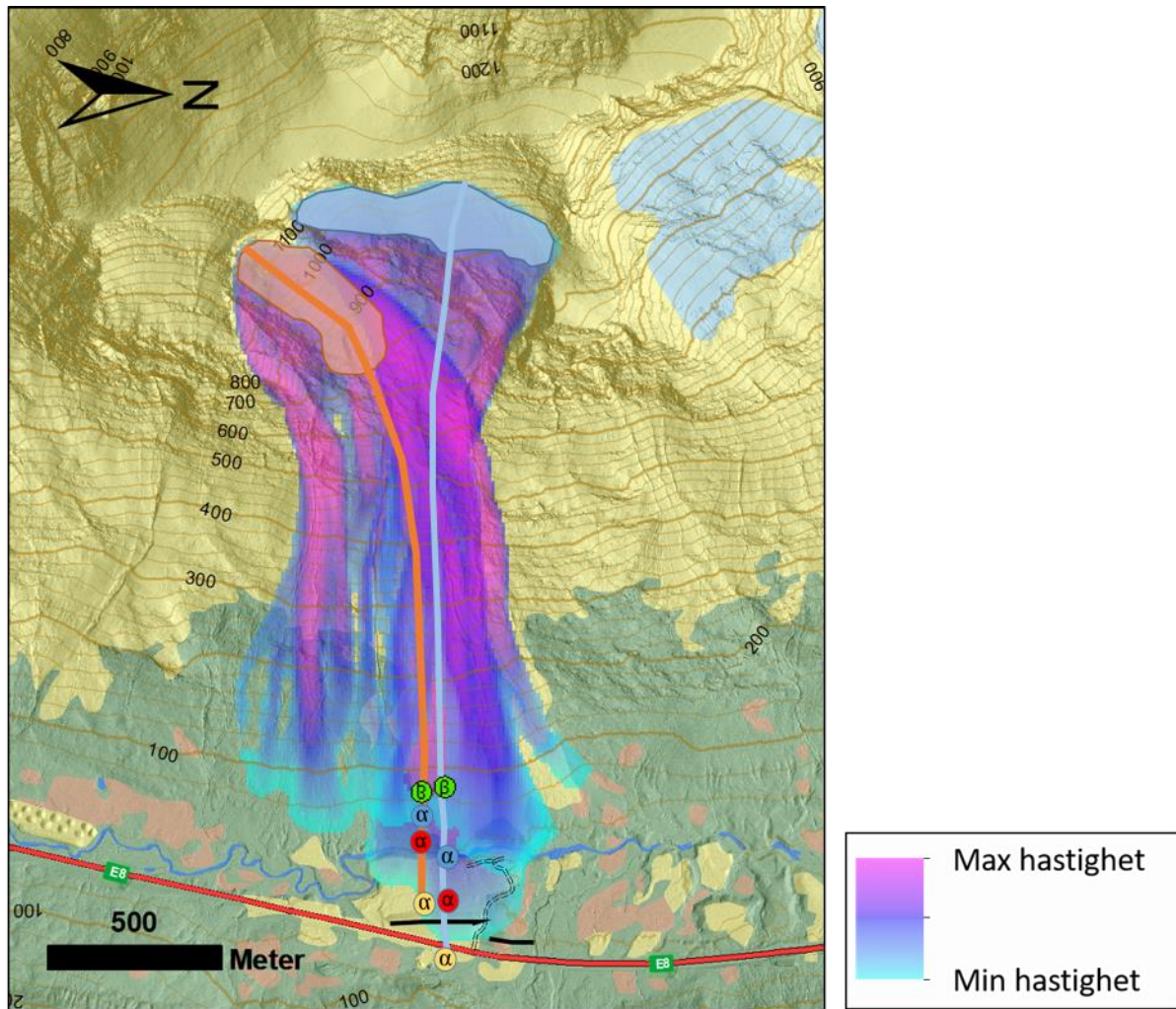
Figur 34: Resultater fra skredsimuleringer i RAMMS::Avalanche og utløpsberegninger i Alfa-Beta modellen. Skredene HV_nord og HV_sør fra hhv. nordlig og sørlig skredløp er markert med stiplede linjer.

Tabell 7: Beregnet utløpsdistanse for snøskred ved Hestvolla. α er beregnet for skred med returperiode på 100-300 år. $\alpha + 0,25 SD$ er for skred med returperiode på 25-50 år og $\alpha - SD$ er for skred med returperiode på 1000 år eller distansen til snøsky for skred med returperiode på 100-300 år.

Skredløp	α -vinkel (°)	Utløpsdistanse (m)	$\alpha + 0,25 SD$ (°)	Utløpsdistanse (m)	$\alpha - SD$ (°)	Utløpsdistanse (m)
HV_nord	27,4	1750	28,0	1660	25,1	Ikke kartlagt
HV_sør	25,5	1950	26,1	1850	23,2	Ikke kartlagt

5.2.2 Sarasteinen

Resultatene fra snøskredsimuleringen og utløpsberegningen for Sarasteinen er presentert i figur 35. De antatte løsneområdene er markert øverst i kildeområdet, hvor de ble plassert. SA_øvre følger topografien slik som topografien er beskrevet i kapittel 5.1.2. Snøskredet beveger seg inn mot midten og følger midterste del av skredbanen og utløpsområdet, før det krysser elven og brer seg ut på andre siden, og avsettes på proksimalsiden av skredvollene som ligger langs E8. Terminhastigheten i SA_øvre er 64 m/s. Det andre skredet, SA_nedre følger derimot ikke terrenget på samme måte. Skredet løsner fra en NØ-hellende skråning og beveger seg over skredløpet og avsettes langs hele fjellsiden i utløpsområdet. Skogen blir pløyet ned av skredmasser flere steder. Skredet avsettes på vestsiden av Sørbotnelva og i elven i midten av utløpsområdet.



Figur 35: Resultater fra skredsimulering og beregning av utløpsdistanse for skredområdet ved Sarasteinen.

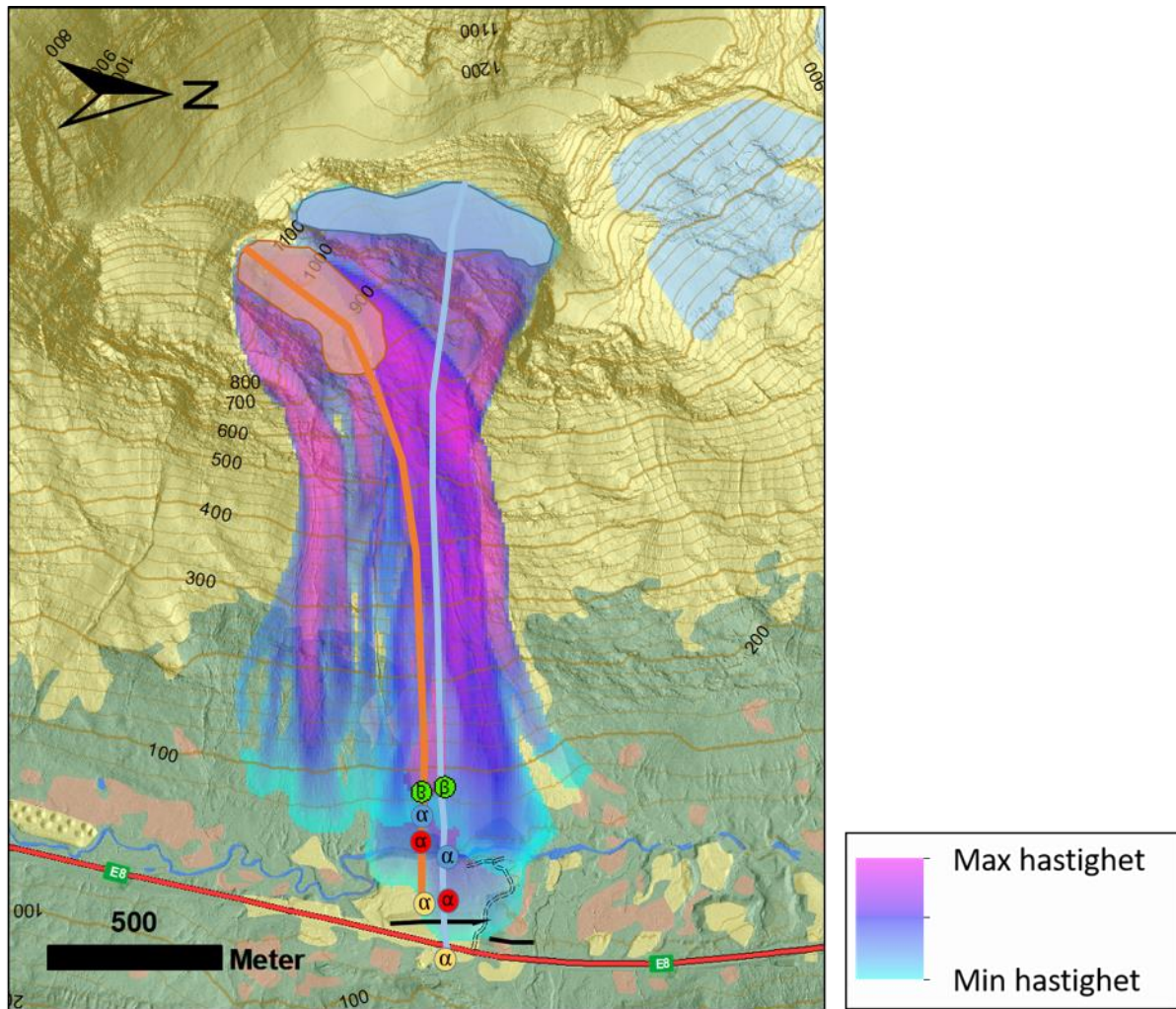
Maksimalhastigheten til SA_nedre er vesentlig lavere enn SA_øvre, 49 m/s., altså 15 m/s mindre enn SA_øvre. Utviklingen av skredhastigheten langs skråningen er interessant. SA_øvre viser at den høyeste hastigheten kommer litt etter at skredet har passert skredløpet og varerer forholdsvis langt mens skredet renner over skredviften nederst i området. Den høyeste hastigheten er konsentrert til midten av skredet. Ved SA_nedre er derimot de høyeste hastighetene målt langs nordlig og sørlig del av skredet. Midtre deler av skredet har vesentlig lave hastigheter, helt ned til ~14 m/s øverst i skredløpet. Det kommer frem fra figuren at hastigheten og flyehøyden er på sitt maksimale rundt samme sted ved begge skredene ved Sarasteinen. Resultatene fra Alfa-Beta beregningene viser ved Sarasteinen utløpslengder som er mye nærmere utløpslengden til RAMMS-resultatene, sammenlignet med resultatene fra Hestvollan. Tabell 8 presenterer de ulike verdiene for alfa-verdiene og horisontal utløpslengde.

Tabell 8: Beregnet utløpsdistanse for snøskred ved Hestvolla. α er beregnet for skred med returperiode på 100-300 år. $\alpha + 0,25 SD$ er for skred med returperiode på 25-50 år og $\alpha - SD$ er for skred med returperiode på 1000 år eller distansen til snøsky for skred med returperiode på 100-300 år.

Skredløp	α -vinkel (°)	Utløpsdistanse (m)	$\alpha + 0,25 SD$ (°)	Utløpsdistanse (m)	$\alpha - SD$ (°)	Utløpsdistanse (m)
SA_øvre	27,4	2045	28,0	1975	25,1	2235
SA_nedre	27,4	1855	28,0	1770	25,1	2030

5.2.3 Stortinden

Figur 36 viser resultater fra skredsimulering av de sotre skredene ST_sør, ST_nord_oppe og ST_nord_nede, heretter kalt ST_1, ST_2 og ST_3, for enkelthetens skyld. Linjene i figuren representerer resultatene fra beregnede utløpsdistanser med Alfa-Beta modellen. Skredene er markert med blå stiplet linje da de overgår hverandre. Dette gjelder spesielt ST_2 og ST_3. Det meste av kildeområdet ved inngår ikke i simuleringen, eventuelle områder med høy nok gradient ikke er store nok til å danne skred med middels stort eller stort skred/volum.



Figur 36: Simulerte skred og beregnede utløpsdistanser for snøskred ved Stortinden. Skredene ST_1, ST_2 og ST_3 er markert med blå stiplet linje, for å vise hele skredforløpet. Løsneområdene er markert med rød skravert område.

Skredbevegelse

ST_1 beveger seg litt som SA_nede, beskrevet under kap 5.2.2. Løsneområdet ligger eksponert mot NØ-Ø og gir derfor skredet en bevegelse i nordøstlig retning til å begynne med. Etter hvert som skredet beveger seg ned skråningen, får det stadig en mer sørvendt retning. ST_1 oppnår en maksimalhastighet på 50 m/s. ST_2 beveger seg mer som SA_øvre i kap 5.2.2. Skredet løsner i et område med relativt lav gradient, derav det høye skredvolumet, og beveger seg ned skredløpet og avsettes i utløpssonen og delvis ut på E8. Hastigheten øker fra start til omtrent midt i skredløpet, før den begynner å avta ved overgangen til utløpssonen. ST_3 er et mindre skred, som løsner i en forholdsvis bratt skråning, ved 40 grader. Skredet øker i hastighet til overgangen fra skredløp til utløpsområde, hvor hastigheten gradvis synker til skredet avsettes på vest-siden av Sørbotnelva og ved enden av de kartlagte skredviftene. Skredet beveger seg forholdsvis langt med en relativt lav hastighet, ~250 m med hastighet ≤ 20 m/s.

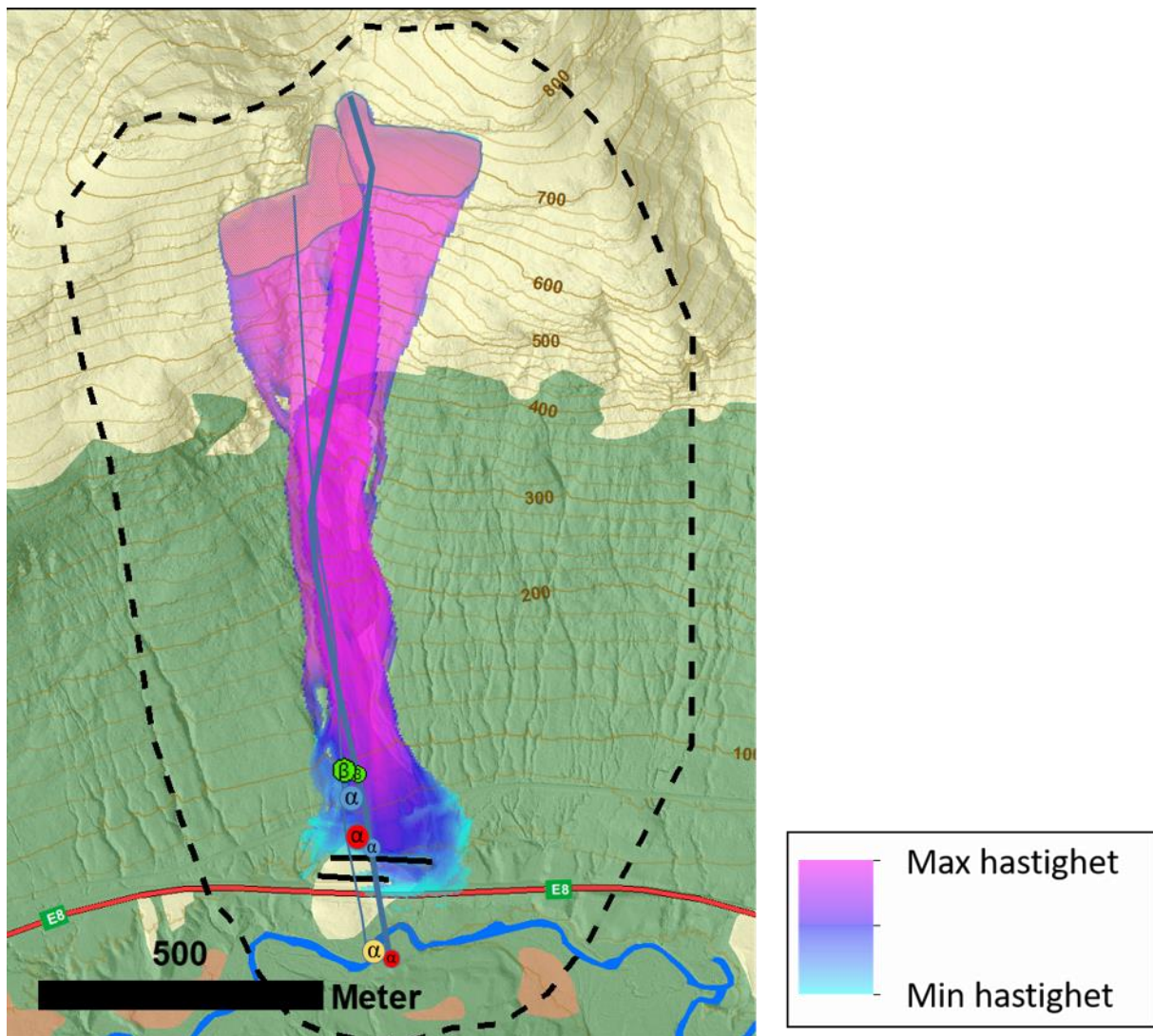
Alfa-Beta resultatene er presentert i tabell 9. Resultatene fra ST_2 og ST_3 viser begge α -vinkel som går helt ut til E8. For ST_1 går $\alpha - SD$ ut til veggen. Med andre ord kan et skred med 1000 års returperiode eller snøsky fra skred med en lavere returperiode komme helt til E8.

Tabell 9: Beregnet utløpsdistanse for snøskred ved Hestvolla. α er beregnet for skred med returperiode på 100-300 år. $\alpha + 0,25 SD$ er for skred med returperiode på 25-50 år og $\alpha - SD$ er for skred med returperiode på 1000 år eller distansen til snøsky for skred med returperiode på 100-300 år.

Skredløp	α -vinkel (°)	Utløpsdistanse (m)	$\alpha + 0,25 SD$ (°)	Utløpsdistanse (m)	$\alpha - SD$ (°)	Utløpsdistanse (m)
ST_nord_oppe	23,6	1585	24,1	1530	21,3	1800
ST_nord_nede	23,6	1095	24,1	1040	21,3	1255
ST_sør	26,0	1720	26,5	1660	23,7	1870

5.2.4 Storskreda

Figur 37 presenterer skredene ved hhv SS_nord og SS_sør, heretter SS_1 og SS_2. Skredene overlapper i stor grad, og er derfor ikke så lett å skilne fra hverandre i figuren.



Figur 37: Skred resultater fra simulering og utløpsberegning fra Storskreda.

Begge skredene beveger seg forholdsvis rett ned skråningen. SS_1 legger seg i et nordlig skredløp, men SS_2 legger seg i et sørlig. SS_2 går utenfor området som er bilde av etter skredet i 2014. begge skredene oppnår høyest hastighet etter det bratteste partiet, og har terminalhastighet et sted mellom 250-450 moh. Terminalhastigheten til SS_1 og SS_2 er hhv. 42 og 46 m/s. Ved overgangen til utløpsområdet, som er definert i kapittel 4.1, deler skredene seg så vidt i to, men samler seg raskt sammen igjen til ett skredløp som beveger seg videre ned fjellsiden. Begge skredene avsetter skredmassene over nord for skredvollene langs E8.

Alfa-beta resultatene er også vist i figur 36. og verdiene for de ulike vinklene og dimensjonene er presentert i tabell 10. Ved Storskreda er faktisk utløpsdistansen kortere enn simulert utløpsdistanse i RAMMS. SS_1 gir en litt lenger utløpsdistanse enn SS_2. Ved $\alpha + 0,25$ SD stopper skredet omtrent 100 m før skredvollen.

Tabell 10: Beregnet utløpsdistanse for snøskred ved Hestvollan. α er beregnet for skred med returperiode på 100-300 år. $\alpha + 0,25 SD$ er for skred med returperiode på 25-50 år og $\alpha - SD$ er for skred med returperiode på 1000 år eller distansen til snøsky for skred med returperiode på 100-300 år.

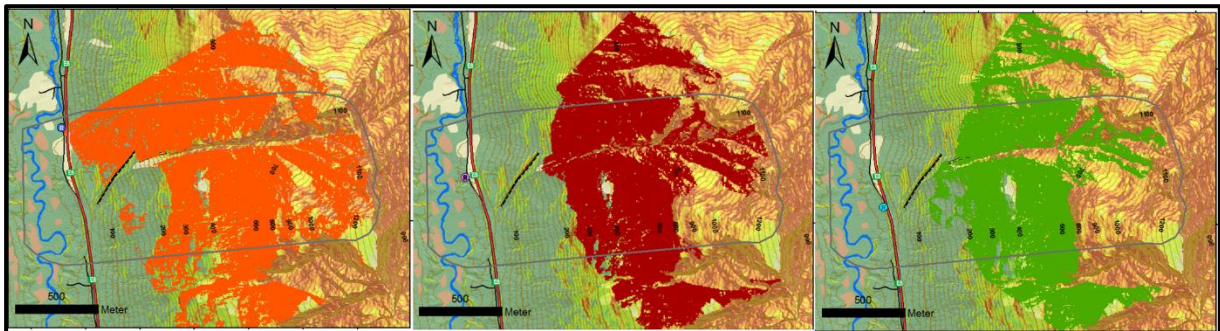
Skredløp	α -vinkel (°)	Utløpsdistanse (m)	$\alpha + 0,25 SD$ (°)	Utløpsdistanse (m)	$\alpha - SD$ (°)	Utløpsdistanse (m)
SS_nord	23,6	1520	24,1	1340	21,3	Ikke kartlagt
SS_sør	24,5	970	25,1	1050	22,2	1265

5.3 Forslag til plassering av radaranlegg ved skredområdene

Som nevnt i kapittel 4.3 er det gjort en rekke synsfeltanalyser i ArcGIS for å komme med forslag for plassering av anlegg med snørskedradar ved hvert av skredområdene i Lavangsdalen. Dette kapittelet presenterer to til tre plasseringer for hvert av skredområdene, med plassering litt nord for, litt sør for og direkte mot skredområdene. I tillegg er det gjort begrensninger på synsvidden etter standarder for radaren ved Fv 293 Holmbukturra. Plasseringer for anlegg ved hvert av skredpunktene beskrives etter skredområde, fra nord til sør i Lavangsdalen.

5.3.1 Hestvollan

Figur 38 viser plassering og synsfelt av tre radarer rundt skredområdet ved Hestvollan. Tabell 11 viser hvilke parametere som er gjeldende for hvert av forslagene. Rekkevidden fra vegen til toppen av Henrikstinden er maksimalt 2000 m, altså godt innenfor rekkevidden for radaren, etter restriksjonene oppgitt i tabell 4.



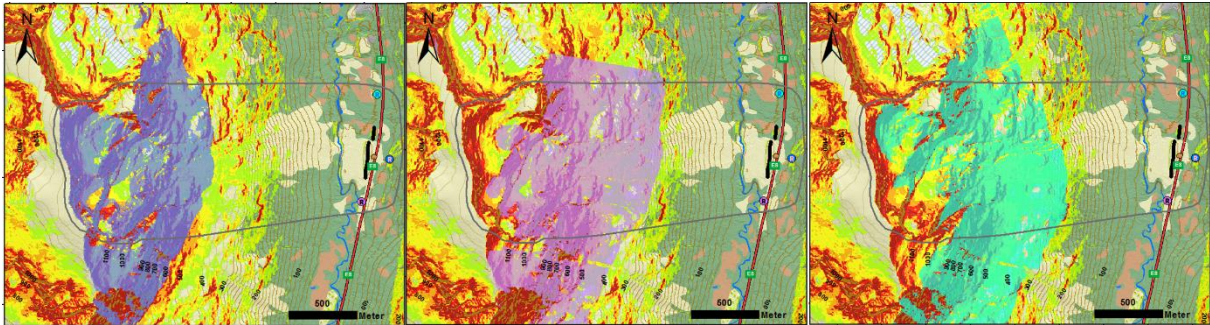
Figur 38: fra venstre: forslag til plassering av radar 1, 2 og 3 og resultat av synsfeltanalysene fra hvert av punktene.

Tabell 11: Topografiske parametere for forslagene for radarplasseringer ved Hestvollan

Radar	UTM	Høyde	Horisontal åpningsvinkel min/maks (°)	Vertikal åpningsvinkel min/maks (°)	Vertikal forskyvning av radaren (m)
HV_r1	665937/ 7715659	51	60/150	15/30	4
HV_r2	665945/ 7715368	48	45/135	15/30	4
HV_r3	666032/ 7715205	49	35/125	15/30	4

5.3.2 Sarasteinen

Forslag til plassering ved Sarasteinen (figur 39). Maksimal rekkevidde her er 2370 m. Parametere for plasseringene er gitt i tabell 12



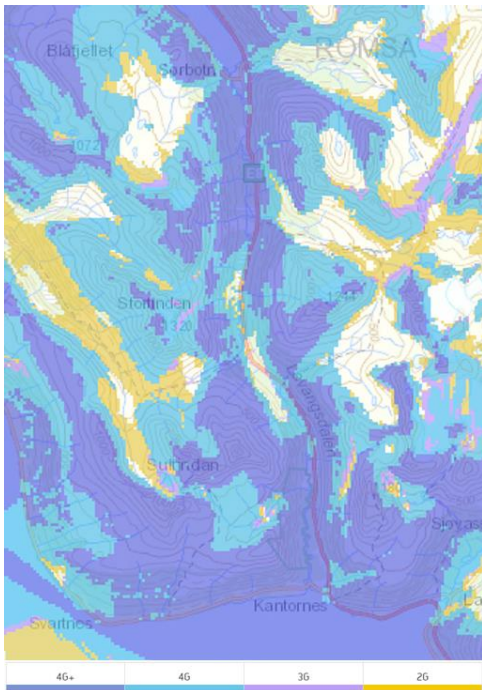
Figur 39: Forslag til plassering av radarnlegg ved Sarasteinen. Lilla synsfelt (t.v.) representerer SA_r1. Rosa synsfelt (midten) representerer SA_r2. Grønt synsfelt (t.h.) representerer SA_r3.

Tabell 12: parametere for de ulike radarplasseringene ved Sarasteinen

Radar	UTM	Høyde	Horisontal åpningsvinkel min/maks (°)	Vertikal åpningsvinkel min/maks (°)	Vertikal forskyvning av radaren (m)	Rekkevidde
SA_r1	666204/ 7713524	73	235/235	15/30	4	2370 fra bakken til toppen
SA_r2	666289/ 7713051	62	190/280	10/25	4	
SA_r3	666085/ 7712738	64	230/320	12/27	4	

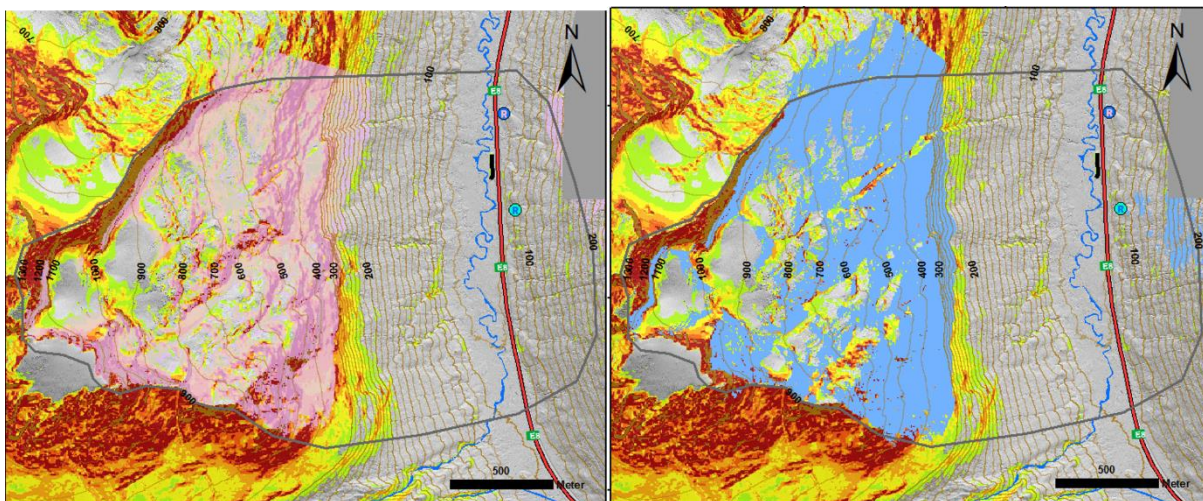
5.3.3 Stortinden

Det følger bare to forslag til radarplasseringer for skredområdet ved Stortinden. I Grunnen til det er manglende telefondakning, ifølge Telenor og Telia sine dekningskart (figur 40). Dagens radartechnologi benytter mobilnettet til kommunikasjon og manglende mobilnett i et område kan gå ut over sikkerheten ved bruk av radaren. Det er derfor valgt å se bort fra plassering i sørlig del av skredområdet. Radarene som er foreslått, står innenfor en sone hvor det er mobildekning. Rekkevidden fra vegen til bakerste del av skredområdet er 2500 m, altså godt innefor maksimal rekkevidde for radaren.



Figur 40: Telenor sitt dekningskart over Lavangsdalen. Telia sitt dekningskart viser det samme mønseret for området rundt stortinden (Telenor, 2018).

Forslag til plasseringer for radar er gitt i figur 41. Tabell over parameterene ved de ulike radarene står i tabell 13.



Figur 41: Forslag for plassering av radaranlegg ved Stortinden. Rosa dekningsbilde (t.v.) ntil her den nordligste radarplasseringen (ST_r1). Lyseblå dekningsbilde (t.h.) tilhører plassering direkte mot skredområdet (ST_r2)

Tabell 13: Parametere for plassering av de to forslagene ved Stortinden

Radarsystem	UTM	Høyde	Horisontal åpningsvinkel min/maks (°)	Vertikal åpningsvinkel min/maks (°)	Vertikal forskyvning av radaren (m)	Rekkevidde
ST_r1	665810/ 7711027	70	195/285	10/25	3	2500 til toppen av ST
ST_r2	665870/ 7710548	85	220/310	10/25	3	

5.3.4 Storsrkeda

Rekkevidden fra vegen til toppen av Storsrkeda er 1500 m. Dette er under halvparten av maksimal rekkevidde for snøskredradaren. Forslagene til radarplasseringene er oppgitt i figur 42. Tabell 14 viser tilhørende parametere til de ulike radarene.



Figur 42: Forslag til radarplassering ved Storsrkeda. Blå, lysgrønn og rosa synsfelt, tilhører hhv. SS_r1, SS_r2 og SS_r3 i tabell 15.

Tabell 14: Parametere for plasseringsforslag ved Storskreda

Radar	UTM	Høyde	Horisontal åpningsvinkel min/maks (°)	Vertikal åpningsvinkel min/maks (°)	Vertikal forskyvning av radaren (m)	Rekkevidde
SS_r1	667668/ 7707420	58	45/135	15/30	5	
SS_r2	667714/ 7707212	55	45/135	10/25	5	
SS_r3	667780/ 7707007	53	40/130	15/20	5	

6 Diskusjon

6.1 Topografiske og morfologiske former som har betydning for dannelse og rekkevidde på snøskred

I kapittel 3.1 ble det presentert ulike skredtyper med fokus på endringer i snødekket under dannelse, bevegelse og avsetning av skredmasser. I dette kapittelet vil topografiske forhold knyttet til dannelsen, bevegelsen og avsetningen av snøskred være fokus. Kapittelet bygger på resultater fra kartleggingen av skredsområdene, som er beskrevet i kapittel 4.1. Observasjoner og funn fra topografiske analyser av bilder, flybilder og DTM og fra feltarbeid vil drøftes opp mot relevant litteratur.

Som det ble nevnt i kapittel 3.1 deles skredområdet inn i tre deler, kildeområdet eller akkumulasjonssonen, skredløpet og utløpssonen (Ancey, 2001). Topografiske faktorer som bratthet, eksponering mot vind og sol, topografisk form og underlagets ruhet gjør det mulig å dele inn akkumulasjonssonen i potensielle løsneområder for ulike snøskredtyper (Bühler et al., 2013; Maggioni et al., 2003). Løssnøskred utløses eksempelvis løsne i skråninger med en bratthet på 60-90° og forekommer vanligvis under kalde og vindfrie omstendigheter eller endringer i temperatur i øverste del av snødekket (McClung et al., 2006). Flakskred løsner oftest i lavere gradienter da dannelsen av skredet er avhengig av en viss størrelse på skredet for å danne et sammenhengende flak. En studie av 26 snøskred viser at forholdet mellom flakets skråningsparallele lengde og den laterale bredden er 1:3,5 for de fleste skred, mens flakets laterale bredde i kan være ti til flere hundre ganger tykkelsen av flaket (McClung et al., 2006). Det er som oftest topografiske formen på terrenget som avgjør bredden på flaket, men også interne variasjoner i snøens egenskaper (McClung et al., 2006). 30-45° er intervallet for utløsning av de fleste små og store flakskred, viser resultatene av en analyse av 200 flakskred i USA (Martinelli, 1974). Ved kyststrøk eller områder med milde vintre, som i Lavangsdalen kan betydelige mengder snø feste seg i brattere skråninger og det er ikke derfor ikke uvanlig med flakskred opp til 50 og 60° (Lied et al., 2003; Norem, 2014).

I denne oppgaven har fokuset ligget på tørre flakskred. Både våte og tørre flakskred har en svært destruktiv effekt i utløpsområdet, men tørre snøskred har høyere hastighet og ofte lengre utløpsdistanse enn våte flakskred, fordi tørre skred også medfører en snøsky som kan gå ekstra langt (Lied et al., 2003; McClung et al., 2006). Selv om skredskyen består av en tiende del skredvolumet i forhold til den faste massen til skredet kan den ha store konsekvenser for objekter som kommer i dens veg. Snøskredene ved Stortinden i 2015 og Sarasteinen i 2017 ble begge klassifisert som tørre flakskred, og kjøretøyene som ble sittende fast ble rammet av skredmassene fra skredvinden, mens de

faste massene av snøskredet ble liggende avsatt lenger opp i fjellsiden. (Holdal, 2015; Høyser et al., 2017).

Løsneområdene som er identifisert i denne oppgaven har gjennomsnittsgradient i intervallet 30-47°, beregnet i ArcGIS. Løsneområdene er uten trær og ved Stortinden og Sarasteinen er de også uten vegetasjon for øvrig. Ved Hestvolla består noen deler av løsneområdene av bart fjell med løsmasser, og noen flekker med torv, mens ved Storskreda, som ligger mye lavere, bare 600 moh. er underlaget dekket av torv. Skavler kan også være en utløsningsmekanisme for snøskred. I områder hvor snøskavler bygger seg langt ut fra fjellsiden kan snøen på nedsiden ha tynnere snødekke, fordi snøen som blåser over skavlen transporteres forbi snøen nærmest fjellsiden (McClung et al., 2006).

Akkumulasjonsområdene ved Hestvolla, Sarasteinen og Stortinden ligger på nedsiden av bratte skrenter og eventuelle skavler som dannes på toppen kan gjøre utgjøre en stor risiko for snøskred ved de områdene. Som nevnt i kapittel 2.4 er dominerende vindretning på vinteren SV-NV. Sarasteinen og Stortinden ligger i le for denne vinden og er derfor spesielt utsatt. Spesielt ved Sarasteinen er toppen av skrenten et flatt parti, hvor vind kan ta tak i snø og transportere store snømengder ned i akkumulasjonsområdet. Hestvolla ligger eksponert mot vinden og har derfor ikke det samme potensialet for innblåst vind. Storskreda ligger også eksponert mot dominerende vindretning, men ligger som akkumulasjonsområdet ved Sarasteinen, i forsenkninger, i nærheten av store flanker hvor vind kan transportere mye snø.

Skredløpet har blitt klassifisert etter form og overgangen til utløpssonen. Ved Sarasteinen og Stortinden ble det observert «trappetrinn» av fast fjell i skredløpet. I følge McClung et al. (2006) skal små endringer i gradient med liten utstrekning ha lite å si for hastighet og utløpsdistanse for snøskred. Overgangen mellom skredløpet og utløpssonen har derimot vesentlig større effekt. En jevn konkav overgang med gradvis utflating vil påvirke hastigheten i liten grad (Bakkehøi et al., 1983), mens en brå overgang, et såkalt hockeykølleprofil vil ta bort mye energi fra skredet i overgangen og redusere hastigheten kraftig (Jones et al., 2004). Sarasteinen er eksempel på den sistnevnte. Selv om utløpsområdet starter relativt høyt oppe i skråningen er Sørbotnelva eksempel på knekk i terrenget, som at ut mye energi av skredet. Derfor der det kun skredskyen som vanligvis beveger seg lenger i det området. Den laterale formen på skredløpet har også påvirkning på hastighet og utløpsdistanse. McClung et al. (2006) hevder at kanaliserte skredløp er assosiert med høyere skredhastigheter og lenger utløpsdistanse enn åpne landskap. Hestvolla og til dels Storskreda er karakterisert med et kanalisert skredløp, mens Sarasteinen og Stortinden har et åpent skredløp. Bevegelsen til de simulerte skredene ved ST_3 og SA_2 (figur 34 og 35) viser hvordan skredmassene brer seg ut over det flate landskapet. Siden snøskredet fordeler seg utover, øker den totale friksjonen mot bakken, og skredene stopper opp tidligere enn de kanaliserte skredene (McClung et al., 2006).

Utløpsområdet er blitt kartlagt i felt, med fokus på morfologiske tegn til utløpsdistanse og skredfrekvens. Skredvifter, erosjonsspor i løsmasser og vegetativ tilstand er gode indikasjoner på skredaktivitet og skredtyper som dominerer områdene (Blikra et al., 1998). En utfordring med tørre flakskred er at de oftest forekommer midtvinters, når temperaturen er lav og de sjelden glir langs bakken, men heller langs et snølag lenger ned i snødekket. De legger derfor sjelden igjen store mengder løsmasser (Blikra et al., 1998). Skredvifter er derfor ikke en god indikasjon på den typen snøskred. Skade på vegetasjon kan til en viss grad si noe om utløpsdistansen for tørre snøskred, men det avhenger av at skredskyen i tørre flakskred har beveget seg nært nok bakken til at de har skadet skogen. Det er ikke alltid tilfelle (Lied et al., 2003). Ved alle skredområdene i Lavangsdalen er det noen vegetative spor etter skredaktivitet. Ved alle områdene er også den lokale skoggrensen regulert av skredaktiviteten. Ved Sarasteinen og Hestvollan kommer dette tydeligst frem. Ved Sarasteinen er det ingen skog i fjellsiden rett under skredløpet og bare et lite belte med skog langs Sørbotnelva, med et tydelig spor etter en skredhendelse mellom 2015 og 2016 som har skadet skogen ved elva. Ved Hestvollan er det ikke noe skog mellom utløpet av skredløpet og ledevollen. Det er nesten ikke vegetasjon der for øvrig. Det skal sies graden av vegetasjon i et område kan ha andre påvirkninger enn skredaktivitet. Beite for sau og reinsdyr og hogst kan holde vegetasjonsdekket kunstig nede. Den økte skogsmassen nord og sør for utløpsområdet ved Sarasteinen skyldes at området ikke lenger benyttes som beiteområde for rein. Klimatiske forhold kan også påvirke utbredelsen av skog. En stadig økende temperatur hever høyden for snøgrensen og som en følge av det, lengden på vintersesongen. En kortere vintersesong betyr en bedre vekstsesong for skogen, noe som over tid gir mer gjengrodd skog.

6.1.1 Valg av potensielle løснеområder

Løснеområdene som har blitt valgt til simuleringer og utløpsberegninger i denne oppgaven er basert på en metode av (Bühler et al., 2013; Maggioni et al., 2003). Topografiske faktorer har blitt tatt hensyn til var gradient, topografisk ruhet, terrengform og høyde over havet. Det ble ikke lagt vekt på eksponering for solinnstråling og vind, da solinnstråling hovedsakelig er knyttet opp mot våte løssnøskred og våte flakskred og, selv om vind kan ha stor effekt på akkumulasjon av snø i løснеområdet, ble det valgt å se bort ifra da bruddhøyden ble beregnet etter kritisk bruddvinkel, basert på gjennomsnittlig gradient i løsnakeområdet og antatt kohesjon i det faste laget, etter anbefalinger fra NIFS studien av snøskredmodeller for norske forhold (Håland et al., 2015). Det ble også valgt kun de største løsnakeområdene med middels og stort skredvolum, for å finne de lengste utløpslengdene og hastighetene.

6.1.2 Mulige feilkilder

Det er knyttet noen mulige feilkilder til metoden for valg av løsneområder til utløpsberegning i denne oppgaven. Metoden etter (Bühler et al., 2013; Maggioni et al., 2003) har blitt modifisert til å passe til denne oppgaven. Siden oppgaven fokuserer på utløpsberegning av snøskred med returperiode på 100 år, ble det valgt å fokusere på skredområder med middels stort og stort skredvolum, hhv. 25 000 – 60 000 m³ og > 60 000 m³ (Bartelt et al., 2013). For å ikke bruke for mye tid på å skille mindre områder fra store, ble oppløsningen i DTM redusert til 50 m når det kom til terrengformen i kildeområdet, og 5 m for helningsgrad og eksponeringsretning. Den største feilkilden er knyttet til kuvaturen, hvor den lave oppløsningen gjør at viktige formasjoner i terrenget kan oversees.

6.2 Utløpsanalyse og hastighetsberegninger

Observasjoner av snøskredvifter, vegetativ tilstand og avsatte steinblokker i utløpsområdet viser at snøskred er en aktiv skråningsprosess skredområdene ved Lavangsdalen er aktive med tanke på årlig snøskred. Alle skredområdene har flere skred årlig, selv om svært store skred ikke forekommer mer en hvert 5, 10, eller 15 år ved de respektive områdene. For å bedømme hvorvidt fremtidige snøskred vil være en reell trussel er det viktig med realistiske utløpsanalyser. Her kommer Alfa-Beta modellen og RAMMS::Avalanche godt med. Alle dynamiske forhold som inngår i dannelsen og bevegelsen av et snøskred vil trolig aldri bli forstått fullt ut og modeller vil for alltid være nettopp det, modeller, altså en forenkling av virkeligheten. Man er derfor avhengig av at brukeren av modellene har tilstrekkelig kunnskap for å benytte nødvendige variabler for å lage de mest realistiske modellene, samt tolke resultatene som kommer av beregningene og simuleringene. Modellenes evne til å fremstille realistiske resultater er avgjørende for å få troverdige resultater og er avhengig av nøyaktig kartlegging av faktorene i felt. RAMMS::avalanche og Alfa-Beta modellen vektlegger topografien i skredområdet ulikt. Det samme gjelder skredmassene. Alfa-Beta modellen anser skredet som en fast masse som beveger seg langs et profil og ser helt bort fra endringer i skredets størrelse, medrivning av snø i skredbanen og endringer i bredde på skredløpet. Studien bak modellen påpeker at variasjoner i terreng og dynamiske virkninger i skredmassen ikke har en veldig stor påvirkning på skredets utløpsdistanse (Bakkehøi et al., 1983) og flere senere studier har vist at dette stemmer godt (Biskupic et al., 2009; Harbitz et al., 2001; Jones et al., 2004). Det er mulig å gjøre en utvidet beregning av utløpsdistanse, som tar med skredprofilets høyde, gradienten i løsneområdet, tangenten til formen på skredbanen og en udimensjonert variabel H, men dette har vist seg å ha liten effekt (Bakkehøi et al., 1983; Delparte et al., 2008).

I denne oppgaven har det blitt beregnet utløpsdistanser for skred fra ulike løснеområder ved hvert skredområde. RAMMS::Avalanche er svært sensitiv for selv små endringer i parametere og det er i derfor i størst mulig grad forsøkt å velge disse objektivt. Friksjonsparameterne μ og ξ er valgt som terrengavhengige variabler, basert på en automatisk GIS-analyse i RAMMS-programmet. Kohesjon er sett bort ifra etter anbefaling fra Håland et al. (2015) for skred med høy returperiode, da det finnes lite informasjon om erfaring med bruk av kohesjon ved norske forhold. Tetthet er satt til $0,3\text{kg/m}^3$ for alle skredene, som er anbefalt av Bartelt et al. (2013) for beregning av tørre snøskred. Det eneste som ikke har blitt valgt objektivt er skredvolum og valg av løснеområde. I Alfa-Beta modellen er de fleste beregningene gjort manuelt. β -posisjonen er valgt i felt og β -vinkelen er for det meste bestemt i felt.

Å finne maksimal utløpslengde for snøskred er viktig for å si noe om skredfaren ved et område. Snøskredmodeller, som RAMMS::Avalanche og Alfa-Beta modellen er laget for dette formålet og brukes mye for skredfarekartlegging på regionalt nivå. NGL, NVE og Statens vegvesen har disse verktøyene som standardmodeller i skredfarekartlegging de gjør på prosjektplan.

Observasjoner av snøskredvifter, avsatte løsmasser, erosjonsspor og vegetativ tilstand, tyder på at snøskred har vært og fortsatt er en aktiv skråningsprosess i Lavangsdalen. Ved Hestvollan og Storskreda er E8 bygget over gamle skredvifter, et bevis på at tidligere skred har hatt den utløpslengden (Høyner et al., 2017). Skade på vegetasjon og observerte bilder fra skredene 15. mars 2014 tyder på at slike store skred vil komme igjen. Hadde det ikke vært for sikringstiltakene som står der ville store deler av skredmassene trolig krysset vegen. Ved Sarasteinen og Storskreda stopper de lengste skredviftene ved bunnen av dalen og møtet med Sørbotnelva. Likevel vet man, blant annet etter skredhendelsene i 2015 og 2017 hvor til sammen seks kjøretøy var innblandet, at snøskred kan gå lenger enn hva skredviftene tilsier. I begge de nevnte hendelsene klassifiserte Statens vegvesen skredene som tørre snøskred med en snøsky som gikk lenger enn de tette massene av skredet (Holdal, 2015; Høyner et al., 2017). Snøskredvifter er med andre ord bare en indikasjon på utløpslengden av snøskred med stort innhold av løsmasser, altså snøskred som glir langs bakken, og ikke snøskred som glir på andre lag i snødekket.

Å bestemme maksimal utløpslengde for snøskred er avgjørende for å si noe om skredfaren i et område og svært viktig i arbeid med sikringstiltak, hvor målet er å tilpasse størrelsen eller plasseringen av tiltakene til forventede skred i et område. Maksimal utløpslengde referer til rekkevidden til den ytterste skredmassen av et snøskred med en gitt returperiode. Utløpsanalyse i et område krever kunnskap om skredtype og hvordan skredet beveger seg i terrenget, tar med eller avlegger skredmasser i underveis i skredløpet og i hvilken grad skredet kan ødelegge objekter i utløpssonen. Løssnøskred

kan oppnå svært høye hastigheter, men består oftest av tørr ubunden snø med litenmasse og har derfor liten erosiv kraft (Lied, 2014; McClung et al., 2006).

6.2.1 Fordeler og svakheter med modellene

Alfa beta modellen beregner den maksimale utløpsdistansen for et snøskred i langs et profil og tar verken hensyn til skredets bredde, ei heller skredskyen eller andre dimensjoner av skredet. Modellen har vist seg å fungere godt til beregne utløpsdistanser på skred med 100-300 års returperiode, til tross for at det er en forholdsvis enkel modell, som ikke tar høyde for andre dimensjoner av skredløpet enn lengdeprofilen. I denne oppgaven er det kun benyttet β -posisjon og α -vinkelen. Modellen er statistisk og konstantene i likningen som benyttes til beregning er basert på en regresjonanalyse av utløpsdistansen til 206 målte snøskred (Bakkehøi et al., 1983). Selv om den viser gode resultater for snøskred med stor returperiode er det en svakhet at modellen beregner distanse for skred på 100-300 års gjentakfrekvens, altså 200 år i usikkerhet. Det er vanskelig å justere den til akkurat 1/100. En annen svakhet med modellen er at den ikke tar direkte høyde for forskjeller i skredvolum i løsnemrådet. Det er mulig å legge trekke fra et standardavvik ved stort volum i løsnemrådet, men det finnes ingen standarder for hvilke dimensjoner dette gjelder for, noe som gjør modellen usikker. Norem (2014) hevder at ved å trekke fra et standardavvik, kan man beregne skred med returperiode på 1000 år eller ta høyde for utløpsdistansen til en eventuell skredsky. Denne teorien er usikker, da utløpsdistansen til skredskyen er det svært vanskelig å beregne, da utbredelsen varierer i stor grad med tettheten og dermed fuktigheten i skredmassene (McClung et al., 2006).

RAMMS::Avalanche er utviklet i Sveits og kalibrert etter store tørre skred i Sveits. Dette er en utfordring for simuleringer av norske skred, da blant annet klimatiske forhold er annerledes i Norge enn i Sveits. I en analyse av statistiske og numeriske snøskredmodeller kom det fram at en høydejustering av programmet kunne hjelpe for å ta høyde for de store forskjellene mellom temperaturer i løsnemrådet og utløpssonen (Håland et al., 2015). RAMMS er svært sensitiv for valg av friksjonsparametere og skredvolum. Ved å velge parameterene subjektivt, kan man nesten få skredet til å stoppe der man vil (Håland et al., 2015). Det anbefales å benytte verdier for lokale meteorologiske forhold til bestemmelse av friksjonsparametere (Christen, Bartelt, et al., 2010; Christen et al., 2008; Christen, Kowalski, et al., 2010). Dette er en stor utfordring i Lavangsdalen, hvor det er et manko på meteorologiske stasjoner ved løsnemrådene. Det knyttes stor usikkerhet til å benytte meteorologiske forhold ved havnivå for å si noe om forhold i 1000 meters høyde (Haugen, 2018). RAMMS er kalibrert etter store tørre snøskred i Sveits (Christen, Kowalski, et al., 2010) og egner seg derfor godt til å beregne utløpsdistansen til tørre flakskred, men en stor ulempe er programmets manglende evne til å beregne utløpsdistansen til en eventuell skredsky, som ofte er assosiert med de tørre skredene i Lavangsdalen.

6.2.2 Sammenligninga av resultatene fra RAMMS og Alfa-Beta modellen

Resultatene fra Alfa-Beta modellen og RAMMS er presentert i figurene i kapittel 5.2. Det er stort sett en god korrelasjon mellom utløpsdistansen til simuleringene og α utløene. Ved Hestvolla og Storskreda ser Alfa-beta modellen ut til å beregne svært lange utløpslengde. Sammenlignet med skredviften ved Hestvolla, er utløpsberegningen med Alfa-beta modellen litt for lang. En årsak til dette kan være at Alfa-beta modellen ikke tar høyde for den bråe overgangen mellom skredløpet og utløpssonen som er tilfellet ved Hestvolla. Ved storskreda er terrenget jevnt konkavt. Den terrengformen er forbundet med lange utløpsdistanser (Bakkehøi et al., 1983; Harbitz et al., 2001). Hvorvidt det gjør RAMMS simuleringen mer upålitelig vites ikke.

6.3 Plassering av radar

I oppgaven har det blitt presentert 2-3 forslag for radarplasseringer ved hvert av skredområdene. Figurene i kapittel 5.3 illustrerer synsfeltet til de respektive radarene. Skyggeområder ved hvert av forslagene er tydelig markert av hull i synsfeltet. Som nevnt i kapittel 4.3 er det viktig at radaren har god oversikt over skredløpet. Dette betyr områder hvor skredbevegelsen kan gi informasjon av hvor raskt skredet vil komme til veien eller hvilken retning og størrelse skredet har. Feil justering av synsfeltet til radaren kan få store konsekvenser. Listen under nevner noen:

Synsfeltet siktes:

- **For høyt** – skredet detekteres tidlig, men beveger seg ut av synsvidden før det oppnår maksimal hastighet. Bestemmelse av tidspunkt for når skredet treffer veien er ikke mulig
- **For høyt** – Snøskred med stort volum løsner under nedre grense for synsfeltet til radaren. Skredet detekteres ikke og sikkerheten er utelukkende avhengig av andre eventuelle sikringstiltak i området.
- **For lavt** – skredet oppnår maksimal hastighet før det kommer inn i synsvidden og veien kan ikke stenges tidnok for trafikanter å holde seg unna området

Radar skygge kan også skjule viktige områder hvor. Bestemmelse av størrelse på snøskredet avhenger av hvilken retning skredet har i forhold til plasseringen av radaren (Meier, 2018). En radar som sikter direkte mot bevegelsen til et skred vil få flere reflekterte signaler tilbake og dermed kunne beregne størrelsen bedre av hele skredet.

I resultatene er det foreslått 2-3 plasseringer for radar ved hvert av områdene. Videre følger en anbefaling med begrunnelse for valg av plassering ved hvert av områdene.

6.3.1 Hestvøllan

Den beste plasseringen for radaren ved Hestvøllan er HV_r2, den midterste plasseringen. Her har radaren tilnærmet fri sikt til løsneområdet, skredløpet og øverste deler av utløpssonen. Radaren står utenfor simulert utløpslengde for snøskred og er plassert på en sidevei av E8.

6.3.2 Sarasteinen

Den beste plasseringen for radaren ved Sarasteinen er SA_r1, nord for skredområdet. Radaren har et stort skyggefelt lengst nord, øverst i løsneområdet, men skred må være av en viss størrelse her for at det skal gå til veggen. Radaren vil trolig detektere skred i en tidlig fase. Samtidig kan radaren observere nabofjellet Pernillsjfellet, som også er en aktiv skredområde.

6.3.3 Stortinden

Anbefalt plassering ved Stortinden er ST_r2, den sørligste plasseringen. Radaren står på en høyde ved siden av E8 og langt nok unna til at den står utenfor estimert utløpslengde for snøskred.

6.3.4 Storsrkeda

Anbefalt plassering ved storsrkeda er SS_2. Her taler også SS_r1 godt for seg, men det er mye vegetasjon mellom den plasseringen og skredløpet, noe som kan hindre sikten og forstyrre signalet. SS_r2 står nærmest og har nesten ikke noe vegetasjon i siktelinjen til skredløpet. Ingen av de simulerte skredene rakk til SS_r2, men resultat fra Alfa-Beta modellen viser at skred med returperiode 100-300 år kan ha utløpsdistanse lenger enn til E8.

En mulig feilkilde til de foreslåtte radar plasseringene er at det ikke tas hensyn til snøsky. Hvorvidt denne vil være skadelig for radar er usikkert og utenfor fokuset av denne oppgaven. Det er ikke tatt hensyn til strømtilgang, da radaren kan fungere på brenselcelle. Det er tatt hensyn til mobildekning ved Stortinden, og derfor bare foreslått to plasseringer i dette området.

6.4 Dopplerradar – et komplimenterende sikringstiltak i Lavangsdalen

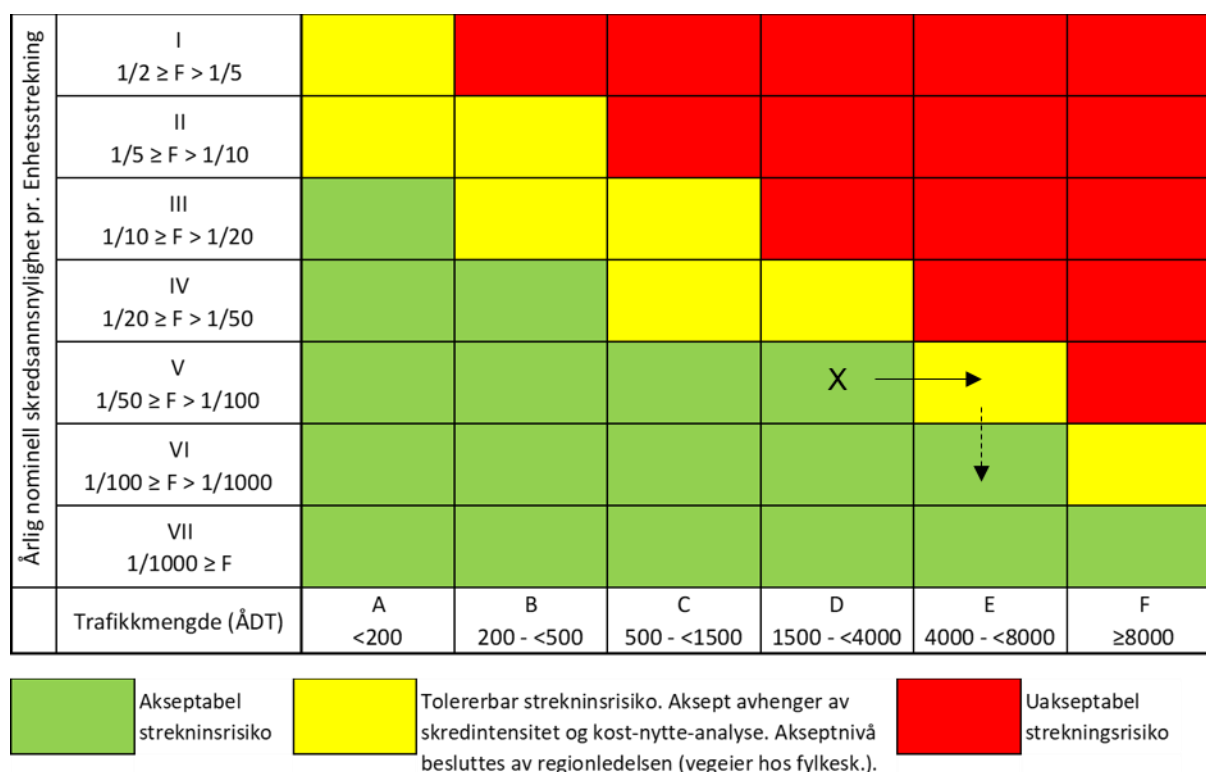
Statens vegvesen ønsker å benytte radar som komplimenterende sikringstiltak ved de mest utsatte skredområdene i Lavangsdalen (Persson, 2017). Dopplerradaren kan ikke hindre skred i å forekomme, men med riktig bruk kan radaren detektere skred i en tidlig fase og gi beskjed til trafikanter ved hjelp av varsellys eller bomber (Meier et al., 2015). For å få et slikt system til å fungere er det viktig med en god testperiode, slik at radaren kan kalibreres til skredene som er vanlig i et skredområde. Manglende kalibrering kan føre til falske alarmer, som igjen vil føre til lengre perioder med stengt vei, altså det motsatte av målsettingen til Statens Vegvesen i forbindelse med dette prosjektet (Persson, 2016, 2017). Et annet problem med falske alarmer er at trafikanter mister tilliten til systemet (Brenzitz, 1984). Det siste man ønsker er at folk trosser sperringene og går inn i skredfarlig terreng.

6.5 Trafikksikkerhet

Norge har strenge krav når det kommer til hvor og hvordan en skal bygge, vedlikeholde og sikre bygg. Byggeteknisk forskrift (TEK17) setter minimumskrav for egenskaper et byggverk må ha for å kunne settes opp lovlig i Norge. I kapittel 7-3 i forskriftene er det beskrevet hvilke hensyn som må tas for å føre opp ulike byggverk i områder med fare for skred. Det deles inn i sikkerhetsklasser for ulike bygg, etter hvor alvorlig konsekvensen vil være for samfunnet ved en eventuell skredhendelse. Sykehus og skoler har blant annet større sikkerhetskrav enn for eksempel eiendommer eller garasjebygg (TEK17, 2017). Byggeteknisk forskrift er ikke tilpasset samferdsel og det har derfor tidligere vært opp til hvert enkelt vegprosjekt å sette egne krav til sikkerhet for skred på veg. For å endre dette vedtok vegdirektoratet i 2014 et sett med retningslinjer for risikoakseptkriterier for skred på veg (Statens Vegvesen, 2014). Retningslinjene må legges til grunne ved alle vurderinger som Statens vegvesen gjør i forbindelse med bygging eller sikring av veg, dersom tiltaket krever en byggeplan eller reguleringsplan.

Risiko er produktet av sannsynligheten og konsekvensen av en uønsket hendelse. Når det kommer til skred handler konsekvensen om materielle skader på infrastruktur, framkommelighet, miljøskader, eller ulykker med mennesker innblandet og konsekvensen graderes etter liten, middels og stor (Kristensen et al., 2018). Sannsynligheten det er snakk om er en nominell sannsynlighet for snøskred, altså sannsynligheten for skred på en enhetsstrekning (1 km på tvers av vegstrekningen). En nøyaktig sannsynlighet for skred er ikke mulig å beregne, på grunn av de utallige faktorer som må til for å danne skred av en gitt størrelse. Det legges derfor opp til bruk av faglig skjønn i vurderingen av

sannsynlighet. Risikoaksept er den risikoen for skred med en viss returperiode som aksepteres på en vegstrekning regnes ut fra ÅDT, eller årssøgntrafikken. ÅDT defineres som antall kjøretøy som passerer et punkt på en vegstrekning i løpet av et år, delt på antall dager. Vegstrekninger med høy ÅDT aksepterer skred på veg sjeldnere enn strekninger med lav ÅDT. I retningslinjene til Vegdirektoratet er kan ÅDT og sannsynlighet for skred med ulike gjentaksintervaller settes opp i en matrise som legger grunnlaget for risikoaksepten for et område (figur 43).



Figur 43: Risikomatrix. Det grønne området med X representerer dagens risikoakseptnivå, altså D-V. Med en forventet økning i ÅDT vil Lavangsdalen havne i gul klasse E-V, eller grønn E-VI.

6.5.1 Risikoaksept i Lavangsdalen

Som nevnt i kapittel 2.1 er ÅDT i Lavangsdalen rundt 3800 kjøretøy (Statens Vegvesen, 2018a). I 2010 var dette tallet 3450 (Helgaas et al., 2012). Ved å sette ÅDT inn i risikomatriksen kan man se at med dagens ÅDT ligger Lavangsdalen i grønn sone D-V, eller gul sone D-IV. Med en forventet økning i ÅDT de neste årene (Persson, 2017) vil Lavangsdalen fort havne inn i klasse E. E-IV vil være en uakseptabel risiko med den trafikkmengden. Risikoaksepten vil derfor settes for skred med returperiode på 100 år, eller nominell sannsynlighet for skred på veg lik 1/100. I denne oppgaven er derfor beregnet utløpsdistanser med nominell sannsynlighet på 1/100.

6.6 Forslag til videre studier

Denne masteroppgaven har fokusert på topografiske forhold som har påvirkning på dannelse og utløpsdistanse for snøskred. Dette er permanente forhold, som i liten grad forandrer seg over tid. Meteorologiske forhold kan variere mye og ha stor påvirkning på skredfrekvens og størrelse på snøskred (Lied, 2014). Kunnskap om hvordan meteorologiske forhold påvirker skred i Lavangsdalen avhenger av gode data fra områder i nærheten av løснеområdene i hvert skredområde. Per dags dato finnes det kun en meteorologisk værstasjon i bunnen av Lavangsdalen og en snømåler ved akkumulasjonssonen i skredområdet ved Hestvollan (Snowsense, 2018; www.senorge.no, 2018a). Manuelle målinger av snødekkeegenskaper og informasjon om vind, temperatur og nedbør er nødvendig for å gjennomføre et slikt arbeid. Dette er oppgaver som faller utenfor denne masteroppgaven, men som er viktig for å få en bedre forståelse av skredprosessene som skjer i Lavangsdalen og er derfor et tema for videre studier.

Masteroppgaven har fokusert på plassering av dopplerradarer og ikke fokusert på det tekniske aspektet av vegsikring ved hjelp av dopplerradar. Optimal bruk av radaren krever at radaren tilpasses slik at vegen ikke stenges for mindre skred. Snøskred av ulik størrelse reflekterer elektromagnetiske bølger med ulik frekvens og varighet (Gauer et al., 2007). «Signaturen» til et skred av en gitt størrelse kan dermed filtreres ut av radaren slik at falske alarmer ikke oppstår (Steinkogler et al., 2016). Vegen må også stenges tidlig nok til at skred som detekteres ikke treffer vegen. Terskler for stenging basert på skredets hastighet har ikke vært fokus i denne oppgaven, men er viktig å bestemme før man kan bruke dopplerradar som sikringsmiddel.

7 Oppsummering og konklusjon

Formålet med oppgaven har vært å forstå hvilke faktorer topografiske faktorer som påvirker dannelse og utløpslengde for snøskred i Lavangsdalen. Kartlegging av topografiske formasjoner i kildeområdet har blitt brukt til å identifisere potensielle løsneområder for snøskred. Disse områdene har vider blitt brukt til å simulere snøskred ved hjelp av RAMMS::Avalanche og beregne utløpslengde ved hjelp av Alfa-Beta modellen. En sammenligning av resultatene fra de to modellene viser at modellene er relativt samkjørte, noe som styrker påliteligheten av resultatene. Alfa-Beta modellen har en tendens til å beregne litt lange utløpslengder for skred i enkelte terreng. Det gjelder terreng med en jevn utflating eller terreng som begynne i svært bratte fjellsider og har en brå overgang til en flatere utløpsløp. Resultatene av utløpsmodellene og kartleggingen har blitt brukt til å foreslå plassering for dopplerradar ved de fire mest utsatte skredområdene i Lavangsdalen, Hestvollan, Sarasteinen, Stortinden og Storskreda. Det har blitt presentert to til tre forslag for hver av lokalitetene og argumentert for den beste plasseringen av de foreslåtte.

Referanser

- Ancey, C. (2001). Snow Avalanches. *Geomorphological Fluid Mechanics*, 319-338.
- Aspeli, I. (2018). Bygd ble isolert på grunn av snøras - betydelig fare for snøskred flere steder. VG. Hentet Fra: <https://www.vg.no/nyheter/innenriks/i/6n6gQW/bygd-ble-isolert-paa-grunn-av-snoeras-betydelige-fare-for-snoeskred-flere-steder>. Hentet den: 04.04.2018.
- Bakkehøi, S., Domaas, U. & Lied, K. (1983). Calculation of snow avalanche runout distance. *Amm. Glaciol.*, 4, 24-29.
- Bakkehøi, S. & Norem, H. (1994). Sammenlikning av metoder for beregning av maksimal utløpsdistanse for snøskred. *NGI rapport 581200-33*.
- Ballantyne, C. K. (2001). Paraglacial geomorphology. *Quaternary Science Reviews*, 21, 1935-2017.
- Barbolini, M., Gruber, C., Keylock, C. J., Naaim, M. & Savi, F. (2000). Application of statistical and hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to 5 real European sites. *Cold Region Science and Technology*, 31(2. utgave), 133-149.
- Bartelt, P., Bühler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Salz, M., Schneider, M. & Schumacher, L. (2013). RAMMS User Manual v1.5 Avalanche. 110.
- Bartelt, P., Salm, B. & Gruber, U. (1999). Calculating dense-snow avalanche runout using a Voellmy-fluid model with active/passive longitudinal straining. *Journal of Glaciology*, 45(150. utgave), 242-254.
- Basal AS. (2013). Nyheter: innovative løsninger for rensing, fordrøyning og infiltrasjon. Trafikksikrer i samarbeid. *VA Forum*.
- Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacoma, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J., Magnusson, J., Marty, C., Morán-Tejada, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S. & Vincent, C. (2018). The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends and future challenges. *The Cryosphere*, 12(2. utgave), 795-794. doi:10.5194/tc-12-759-2018
- Biskupic, M. & Barka, I. (2009). Statistical avalanche run-out modelling using GIS on selected slopes of Western Tatras National park, Slovakia. *International snow Science Workshop, Davos*, 482-487.
- Blikra, L. H. & Nemeč, W. (1998). Postglacial colluvium in Western Norway: depositional processes, facies and paleoclimatic record. *Sedimentology*, 45, 909-959.
- Breznitz, S. (1984). Cry Wolf: The psychology of false alarms. *Lawrence Erlbaum Associates*, 260 pp.
- Bråthen, S., Husdal, J. & Rekdal, J. (2008). Samfunnsøkonomisk verdi av rassikring. Noen beregninger knyttet til verdi av å unngår stengte veger. *Møreforskning Molde AS, Rapport 0801*, 59 pp.
- 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(94. utgave), 121-130.
- Butler, D. R. (1979). Avalanche path terrain and vegetation, Glacier National Park, Montana. *Arctic and Alpine Research*, 11(1. utgave), 17-32.
- Butler, D. R. & Walsh, S. J. (1990). Lithologic, Structural and Topographic influences on Snow-avalanche path location, Eastern Glacier National Park, Montana. *Annals of the Association of American Geographers*, 80(3. utgave), 362-378.
- Bühler, Y., Christen, M., Kowalski, J. & Bartelt, P. (2011). Sensitivity of snow avalanche simulations to digital elevation model quality and resolution. *Annals of Glaciology*, 52(58. utgave), 72-80.
- Bühler, Y., Kumar, S., Veitinger, J., Christen, M., Stoffel, A. & Snehmani. (2013). Automated identification of potential snow avalanche release areas based on digital elevation models. *Natural Hazards Earth System Science*, 13, 1321-1335.
- Christen, M., Bartelt, P. & Kowalski, J. (2010). Back Calculation of the In Den Arelen avalanche with RAMMS: interpretation of model results. *Annals of Glaciology*, 51(54. utgave), 161-168.

- Christen, M., Bartelt, P., Kowalski, J. & Stoffel, L. (2008). Calculation of dense snow avalanches in Three-dimensional terrain with the numerical simulation program RAMMS. *Proceedings Whistler 2008 International Snow Science Workshop September*, 709-716.
- Christen, M., Kowalski, J. & Bartelt, P. (2010). RAMMS: numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Region Science and Technology*, 63(1. utgave), s. 1-14.
- Chritin, V., Bolognesi, R. & Gubler, H. (1999). FlowCapt: a new acoustic sensor to measure snowdrift and wind velocity for avalanche forecasting. *Cold Region Science and Technology*, 30, 125-133.
- Corner, G. D. & Haugane, E. (1993). Marine-lacustrine stratigraphy of raised coastal basins and postglacial sea-level change at Lyngen and Vanna, Troms, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 73, 175-197.
- Dannevig, P. (2009). Troms: Klima. *Store norske leksikon*. Retrieved from [https://snl.no/Troms - klima](https://snl.no/Troms_-_klima). Hentet fra [https://snl.no/Troms - klima](https://snl.no/Troms_-_klima).
- Delparte, D., Jamieson, B. & Waters, N. (2008). Statistical runout modeling of snow avalanches using GIS in Glacier National Park, Canada. *Cold Region Science and Technology*, 54, 183-192.
- Domaas, U. & Gisnås, K. (2017). Avalanches in the context of climate change in the northern regions. *Journal for Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall*.
- Dyrørdal, A. V., Frauenfelder, R., Gangstø, R., Harbitz, A., Harbitz, C. B., Haugen, J. E., Hygen, H. O., Haakenstad, H., Isaksen, K., Jaedicke, C., Jónsson, Á., Klæboe, R., Ludvigsen, J., Meyer, N. K., Rauken, T., Romstad, B., Soheim, A., Sverdrup-Thygeson, K. & Aaheim, A. (2013). *InfraRisk Sluttrapport* N. Forskningsråd.
- Dyrørdal, A. V., Saloranta, T., Skaugen, T. & Stranden, H. B. (2013). Changes in snow depth in Norway during the period 1961 - 2010. *Hydrology Research*, 44(1. utgave). doi:10.2166/nh.2012.109
- eklima.no. (2018). www.eklima.no [normal- og ekstremverdier for vind, nedbør og snødybde fra værstasjoner i Troms]. Norges Meteorologiske Institutt, Hentet fra: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- ESRI. (2018). ArcGIS Desktop 10.5.
- Farestveit, N. & Skutlaberg, S. (2010). Taking artificial release to Norway (again). *International snow Science Workshop, Lake Thaoe*, 3 pp.
- Gauer, P., Kern, M., Kristensen, K., Lied, K., Rammer, L. & Schreiber, H. (2007). On pulsed Doppler radar measurements of avalanches and their implication to avalanche dynamics. *Cold Region Science and Technology*, 50, 55-71.
- Geopraevent. (2018). Avalanche radar. Hentet fra <https://www.geopraevent.ch/technologies/avalanche-radar/?lang=en>, 20.04.2018.
- Gjertsen, A. K. & Nilsen, J. E. (2012). Sat-skog. Et skogkart basert på tolking av satelittbilder. *Skog + Landskap, Rapport 23/201*.
- Gruber, C. & Bartelt, P. (2007). Snow avalanche hazard modelling of large areas using shallow water numerical models and GIS. *Environmental modelling & software*, 22, 1472-1481.
- Gubler, H. (2000). Five years experience with avalanche-, mudflow-, and rockfall-alarm systems in Switzerland. *Proceedings if the international snow science workshop (ISSW)*. Big Sky, Montana.
- Gubler, H. & Hiller, M. (1984). The use of microwave FMCW radar in snow and avalanche research. *Cold Region Science and Technology*, 9(2. utgave), 109-119.
- Gubler, H. & Rychetnik, J. (1991). *Effects of forests near the timberline on avalanche formation*. Paper presented at the Symposium at Vienna.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J., Sandven, S., Sandø, A., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. (2015). Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. *NCCS report, NCCS, Oslo, Norway*, 203.

- Harbitz, C., Harbitz, A. & Nadim, F. (2001). On probability analysis in snow avalanche hazard zoning. *Annals of Glaciology*, 32, 290-298.
- Haugen, J. E. (2018). [Personlig kommunikasjon]. *Norges Meteorologiske Institutt*.
- Helgaas, O. A., Hellum, O. S. & Andreassen, D. T. (2012). Avalanche Protection on Highway E8 to the city of Tromsø, Northern Norway. *International Snow Science Workshop ISSW*, pp. 674-679.
- Helland, A. Ø., Pedersen, J. N., Holte, M. A., Henriksen, T. H. & Kristoffersen, K. J. (2017, 30.03.17). Snøskred i Lavangsdalen - to biler og minibuss tatt. *Nordlys*. Hentet Fra: <https://www.nordlys.no/snoskred-i-lavangsdalen-to-biler-og-minibuss-tatt/s/5-34-602023>,
- Holdal, E. (2015, 13.02.2015). Hege (20) innesperret i skred: - Tenkte hele tiden at jeg måtte spare på oksygenet. *NRK nettavis*. Hentet Fra: <https://www.webavisen.no/artikkel/9163092/hege--20--innesperret-i-skred---tenkte-hele-tiden-at-jeg-maatte-spare-paa-oksygenet.htm>, Hentet den: 04.02.2018.
- Hotvedt, M. (2015). - Vi kjører gjennom rasområdet med hjertet i halsen. Følelsen er grusom. *Nordlys*. Hentet Fra: <https://www.nordlys.no/skred/holmbuktura/ras/vi-kjorer-gjennom-rasområdet-med-hjertet-i-halsen-folelsen-er-grusom/s/5-34-111167>, Hentet den: 12.05.2018.
- Hykkerud, E., Holm-Nilsen, S. & Tufan, Ø. (2018). Evakuerer innbyggere fra isolert bygd. *NRK nettavis*. Hentet Fra: <https://www.nrk.no/troms/evakuerer-innbyggere-fra-isolert-bygd-1.13984625>, Hentet den: 04.04.2018.
- Høyser, A. & Pedersen, J. N. (2017, 13.03.2017). Ststens vegvesen: - Skredvollen har fungert. *nordlys*. Hentet Fra: <https://www.nordlys.no/statens-vegvesen-skredvollen-har-fungert/s/5-34-602277>, Hentet den: 13.03.2018.
- Håland, G., Orset, K. I., Frekhaug, M. H. & Norem, H. (2015) Sammenligning av modelleringsverktøy for norske snøskred. In: *Vol. 107-2015. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 7: Skred og Flomsikring*. NVEs hustrykkeri: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- 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(4. utgave), 893-904.
- Jepsen, J. U. & Tømmervik, H. (2014). Mellom skog og tundra. *Ottar*, 4, 37-44.
- Jones, A. S. T. & Jamieson, B. (2004). Statistical avalanche-runout estimation for short slowes in Canada. *Annals of Glaciology*, 38, 363-372.
- Kartverket. (2017). *Høydedata NDH Jiehkkevárri 2pkt 2017*. Kartverket, Hentet fra: <http://geonorge.no/>, 2018.
- Kartverket. (2018a). *Kilden - digital kartløsning for aralinformasjon*. Kartverket,
- Kartverket. (2018b). Norge i Bilder. Hentet fra <http://norgebilder.no/>,
- Kristensen, L. L. & Frekhaug, M. H. (2018) Risiko- og sårbarhetsanalyse av naturfare. In, *nr. 530. Anbefalinger for innhold og gjennomføring av analysen i vegplanlegging*. Vegavdelingen, Geoteknikk og skred: Statens Vegvesen.
- Lakså, S. I. (2018). Slik utløser de snøskredene. *Bladet Vesterålen*. Hentet Fra: <http://www.blv.no/nyheter/slik-setter-de-los-skredene-1.2288544>, Hentet den: 10.06.2018.
- Lied, K. (2014). Kap 2 - Snøskred. I K. Høeg, K. Karlsrud, & K. Lied (red.), *Skred - Skredfare og sikringstiltak* (pp. 31): NGI og Universitetsforlaget.
- Lied, K. & Bakkehoi, S. (1980). Empirical Calculations of Snow-Avalanche Run-out Distance Based on Topographic Parameters. *Journal of Glaciology*, 26(94. utgave), 165-177. Hentet fra <Go to ISI>://WOS:A1980LC30800018
- Lied, K. & Kristensen, K. (2003). *Håndbok om snøskred*. Nesbru, Norge: Vett og Viten.pp. 200
- Lubczonek, J. (2008). Application of GIS techniques in VTS radar stations planning. *Radar Symposium, 2008 International, 1-4*.
- Maggioni, M. & Gruber, U. (2003). The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Region Science and Technology*, 37, 407-419.
- Martinelli, M. (1974). Snow avalanche sites.

- McClung, D. & Shaerer, P. (2006). *The Avalanche Handbook*. I (3. utgave utgave, pp. 288). Seattle, Whashington: The Mountaineers Books.
- Meier, L. (2018). *Radarmålinger av snøskred ved fv. 293 Holmbuktura*, Statens Vegvesens rapporter. Statens Vegvesen. Tromsø,
- Meier, L., Jacquemart, M., Blattmann, B. & Arnold, B. (2015). Real-time avalanche detection with long-range, wide-angle radars for road safety in Zermatt, Switzerland.
- Meld. St. 33 (2012-2013). Melding til Stortinget "Klimatilpasning i Norge".
- Meld. St. 33. (2016-2017). Nasjonal transportplan 2018 - 2029. *Samferdselsdepartementet*.
- Myrabø, S., Viklund, M., Øvrelid, K., Øydvin, E. K., Petkovic, G., Humstad, T., Aunaas, K., Thakur, V. & Dolva, B. K. (2016). NIFS-sluttrapport. *FOU-programmet: Naturfare infrastruktur, flom og skred (NIFS), NVE rapport 43-2016*.
- NGU (Cartographer). (2017). Digitalt løsmassekart. Retrieved from http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- NGU, NGI & SVV. (2009, 4. februar 2015). Skrednett.no - digital skreddatabase. Hentet fra <https://www.ngu.no/nyheter/ny-versjon-av-skrednett-no-pa-nett>, 4. april 2018.
- Nordlys. (2017). Har testet ny skredovervåking i Holmbuktura: - Har gått over all forventning. *Nordlys*. Hentet Fra: <https://www.nordlys.no/samferdsel/var/snoskred/har-testet-ny-skredovervaking-i-holmbuktura-har-gatt-over-all-forventning/s/5-34-618552#am-commentArea>, Hentet den: 01.04.2018.
- Norem, H. (2014). *Håndbok V138 Veger og snøskred*, Statens vegvesens håndbokserie. S. Vegvesen.Statens Vegvesen
- Norem, H., Irgens, F. & Schieldrop, B. (1987). A continuum model for calculating snow avlanche velocities. *Avalanche formation, movement and effects*, 162.
- Norgeskart.no. (2018). *norgeskart.no [Kartsøk Troms]*. Kartverket, Hentet fra: <https://www.norgeskart.no/#!?project=seeiendom&layers=1002,1015&zoom=6&lat=7694657.54&lon=613835.15>.
- NVE. (2017). *Skredvær*, Fakta: 6-2017. NVE. NVEs kopisenter, NVE
- NVE, Statens Vegvesen & met.no. (2013). om varsom.no. Hentet fra <http://www.varsom.no/om-varsom-no/>.
- Olsen, L., Svaian, H., Bergstrøm, B., Ottesen, D. & Rise, L. (2013). Quaternary glaciations and their variations in Norway and on the Noregian continental shelf. I L. Olsen, O. Fredin, & O. Olesen (red.), *Quaternary Geology of Norway: Norsk Geologisk Undersøkelse*, spesiell utgave.
- Persson, A. (2016). *Holmbuktura Fv293 - HP2 km 23,8-25,4. Vurdering av skredfare og mulige sikringstiltak* Statens Vegvesen
- Persson, A. (2017). *Skredsikringstiltak E8 Lavangsdalen. Mulighetsstudie etter siste års skredhendelser* S. V.-R. Nord. Tromsø, Statens Vegvesen
- Puschmann, O. (2005). Nasjonalt referansesystem for landskap. *Nijos rapport 10-2005*, pp. 208.
- Rostad, I. L. (2017, 28.02.2017). Snøskred stengte vei og isolerte bygd. *Nrk nettavis*. Hentet Fra: <https://www.nrk.no/finnmark/snoskred-stengte-vei-og-isolerte-bygd-1.13401417>, Hentet den: 04.04.2018.
- Räisänen, J. & Eklund, J. (2012). 21st century changes in snow climate in Northern Europe: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models. *Clim, Dynam.*, 38, 2575-2591. doi:<https://doi.org/10.1007/s00382-011-1076-3>
- Røiseland, S. F. (2017). Skredradar fungerer bedre enn geologene trodde. *NRK nettavis*. Hentet Fra: <https://www.nrk.no/troms/skredradar-fungerer-bedre-enn-geologene-trodde-1.13486386>, Hentet den: 04.04.18.
- Salm, B. & Gubler, H. (1985). Measurement and analysis of the motion of dense flow avalanches. *Annals of Glaciology*, 6, 26-34.
- Schweizer, J., Jamieson, J. B. & Schneebeli, M. (2003). Snow avalanche formation. *Reviews if Geophysics*, 41(4. utgave), 1016-1041. Hentet fra <https://doi.org/10.1029/2002RG000123>
- Skrednett.no. (2018, 03.03.18). NVE skredhendelser. Hentet fra <https://gis3.nve.no/link/?link=SkredHendelser>, 03.03.18.

- Sletten, K., sandøy, G., Taurisano, A., Yugsi, F. M., Rubendsotter, L. & Stalsberg, K. (2015). *Skredfarekartlegging ved sykkylven kommune* NVEs hustrykkeri, Norges vassdrags- og energidirektorat
- SNL. (2018a). Dopplereffekten. *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/dopplereffekt>. 10.04.2018.
- SNL. (2018b, 16.02.2018). Tregrense. *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/tregrense>. 05.06.2018.
- SNL. (2018c, 11. juli 2018). Tromsø. *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/Troms%C3%B8#-Bybeskrivelse>, 3. august 2018.
- Snowsense. (2018). SM4 snømåler ved Henrikstinden, Lavangsdalen Hentet fra http://snowsense.is/maelir/89_wd#!/maelir/89.
- Statens Vegvesen. (2014). Retningslinjer for risikoakseptkriterier for skred på veg. *NA-rundskriv 2014/08*.
- Statens Vegvesen. (2017). Slik vil Statens vegvesen sikre trafikken på E8 mot skred. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/lokalt/Region+Nord/Troms/slik-vil-statens-vegvesen-sikre-trafikken-pa-e8-mot-skred>. 02.03.2018.
- Statens Vegvesen. (2018a). Nasjonal Vegdatabase, NVDB. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/>. 12.01.2018.
- Statens Vegvesen. (2018b). Våre oppgaver og roller. Hentet fra <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/om+organisasjonen/om-statens-vegvesen/V%C3%A5re+roller+og+oppgaver>. 12. september 2018.
- Steinkogler, W., Meier, L., Langeland, S. & Wyssen, S. (2016). Operational radar and infrasound systems for avalanche detection. *Proceedings of International Snow Science Workshop (ISSW), Breckenridge, Colorado*, 309-315.
- Reguleringsplan for breddeutvidelse av E8 Lavangsdalen, Tromsø kommune - tilrådning om dispensasjon etter §8, fjerde ledd, (2011).
- Teich, M., Fischer, J.-T., Feistl, T., Bebi, P., Christen, M. & Grêt-Regamey, A. (2014). Computational snow avalanche simulation in forested terrain. *Natural Hazards Earth System Science*, 14, 2233-2248.
- TEK17. (2017). Byggteknisk forskrift - Sikkerhet mot naturpåkjenninger, sikkerhet mot srked. Hentet fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-3/>. 13.03.18.
- Tøhaug, P., Åsali, S. & Eilertsen, M. (2015, 13.02.2015). Snøskred stenger E8 - usikkert når veien åpner igjen. *NRK nettavis*. Hentet Fra: <https://www.nrk.no/troms/snoskred-stenger-e8---usikkert-nar-veien-apner-1.12205920>, Hentet den: 2018.
- www.norgebilder.no. (2018). Ortofoto fra Norge i bilder. *Kartutsnitt fra 2006 ved Hestvolla og fra 2016 ved Sarasteinen, Stortinen og Storsrked*. Hentet fra <http://norgebilder.no/>
- www.senorge.no. (2018a). *Værstasjon Lavangsdalen (90305)*. Hentet fra: <http://www.xgeo.no/graphapp/index.html?X=666927&Y=7708547&searchT=10000&stationId=90305.14.1&app=senorge>.
- www.senorge.no. (2018b). *Årsnedbør (1961 - 2017)*. Hentet fra: http://www.senorge.no/?p=senorgeny&m=bmNVEGrey%3BMapLayer_rryr%3B&l=no&e=462081%7C7582539%7C860354%7C7857876&fh=0%3B2468,