



Høgskulen på Vestlandet

Master Thesis in Climate Change Management

GE4-304

Predefinert informasjon

Startdato:	10-05-2018 09:00	Termin:	2018 VÅR
Sluttdato:	28-05-2018 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinnsskala (A-F)
Eksamensform:	Master's thesis		
SIS-kode:	203 GE4-304 1 MA 2018 VÅR		
Intern sensor:	Kalle Kronholm		

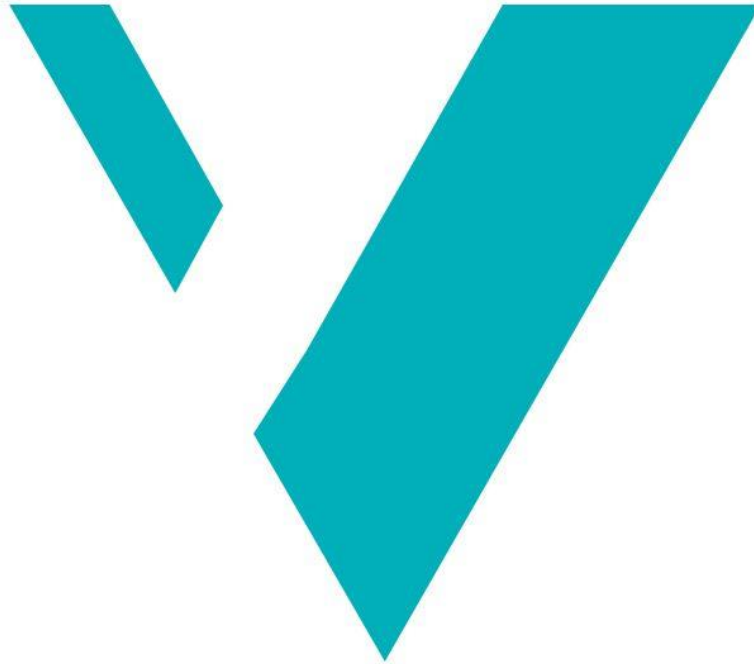
Deltakar

Namn:	Anne Marte Søgnesand
Kandidatnr.:	613
HVL-id:	101655@hvl.no

Gruppe

Gruppenamn:	Einmannsgruppe
Gruppenummer:	9
Andre medlemmer i gruppa:	Deltakaren har levert inn i enkeltmannsgruppe

Kartlegging, terrenganalysar og simulering av eit trekantforma jordskred på Skredestranda, Nordfjord



Anne Marte Søgnesand

Institutt for miljø- og naturvitskap, Fakultet for ingeniør- og naturvitskap

HØGSKULEN PÅ VESTLANDET

Masteroppgåve i Climate Change Management (Planlegging for klimaendringar)

Sogndal

Mai, 2018



Høgskulen
på Vestlandet

Kartlegging, terrenganalysar og simulering av eit trekantforma jordskred på Skredestranda, Nordfjord

Masteroppgåve i Climate Change Management/Planlegging for klimaendringar

Forfattar: Anne Marte Søgnesand	Forfattar sign. <i>Anne Marte Søgnesand</i>
Oppgåva innlevert: Vår 2018	Open oppgåve
Rettleiar: Denise Christina Rüther (HVL) Bi-retteiar: Ingrid B. Hynne og Jens Tveit (SVV)	
Stikkord: Lausmasseskred, trekantforma jordskred, ArcGIS, RAMMS::Debris Flow, nedbør, fjellhammar, flow accumulation	Tal sider: 48 + Vedlegg: 5 Sogndal, 28.05.2018
Dette arbeidet er gjennomført som ledd i masterprogrammet i Climate change Management (norsk namn: Planlegging for klimaendringar) ved Institutt for miljø- og naturvitskap, fakultet for ingeniør- og naturvitskap, Høgskulen på Vestlandet. Studenten(e) står sjølv ansvarleg for metodane som er brukt, resultatane som er kome fram, og konklusjonar og vurderingar i arbeidet.	

Forord

Denne masteroppgåva er skreve som ei avslutning av masterstudiet Planlegging for Klimaendringar ved Høgskulen på Vestlandet. Oppgåva er eit samarbeid med Statens Vegvesen. Arbeidet har gått føre seg våren 2018, frå januar til mai.

Aller først vil eg takke min hovudrettleiar Denise Christina Rütther for godt samarbeid. Du har vore uunnverleg i denne prosessen. Tusen takk for at du har vore tolmodig med meg og at du alltid har hatt tid til rettleiing. Eg vil også takke Stein Bondevik som bidrog i starten av oppgåva og var med å stake ut kursen.

Takk til rettleiarane Ingrid B. Hynne og Jens Tveit frå Statens Vegvesen for god hjelp med synfaring i felt, samt fagleg innhald. Eg takkar også Martine Holm Frekhaug i Vegdirektoratet for god opplæring i RAMMS::Debris Flow.

Dette markera slutten på fem gode år på Høgskulen på Vestlandet, ein takk rettast til alle faglærar og medstudentar som har gjort dette til læringsrike og kjekke år.

Sogndal 28. mai 2018

Anne Marte Søgnesand

Samandrag

Skred som blir utløyst av nedbør kan auke i førekomst som følgje av klimaendringar. I Noreg er det venta nedbørsauke på 18 % mot år 2100 på utsleppsscenario RCP8,5. Utsleppsscenarioet er utarbeida av FNs klimapanel og betyr at verdas utslepp fortset som i dag.

På Skredestranda i Eid kommune har det gått 12 skred dei siste 18 åra. Denne masteroppgåva skal ta føre seg eitt av skreda som stengde vegen under stormen «Hilde» 15. november 2013. Det aktuelle skredet er interessant på grunn av utbreiing og form samanlikna med hendingar frå same området. Skredet var om lag 250 m breitt og losna frå to punkt på 628 og 611 m o. h.

Det har vore utført feltarbeid for å kartlegge skredet si utbreiing med GPS og for å undersøke erosjonsspor i skredbana. Meteorologiske data har vorte samla inn for nedbør, snø og temperatur i det aktuelle tidsrommet. Analysar i ArcGIS var gjort for å digitalisere skredets ytterkant, kartlegge eventuelt samlingspunkt for overflatedrenering, estimere erosjonsvolum og klargjere digitale høgdemodellar til bruk i RAMMS::Debris Flow. Det vart gjort ein sensitivitetstest av den nye erosjonsmodulen der kvar enkelt erosjonsparameter vart systematisk variert for å undersøke korleis det påverka simuleringresultatet. Tidlegare versjon av RAMMS::Debris Flow tok ikkje omsyn til medrivning og erosjon i skredbana. Difor måtte inngangsvolumet for losneområdet vere likt totalvolumet for skredet. Den nye erosjonsmodulen gjer at simuleringa implementera erosjon i skredløpet utifrå tre parametar utvikla av empirisk data.

Resultatet frå feltarbeidet gav ei kartlagd skredbane som vart brukt til å vurdere resultatet frå sensitivitetstesten. Samanlikning av lidardata før og etter skredet gav eit estimert erosjonsvolum og var grunnlag for vurdering av erosjonsvolumet berekna av RAMMS. På bakgrunn av erosjonsvolum og kartlagd skredbane vart resultatet frå sensitivitetstesten vurdert. Det mest realistiske resultatet var gitt når utløysingsdjupna for losneområdet var redusert frå 0,5 m til 0,2 m. Generelt kan det seiast at simuleringa si utbreiing og form i terrenget endra seg lite med endra inngangsverdi for erosjonsparametrane, medan total erosjonsvolum viste tydeleg endring. Meteorologiske data viste at det hadde vore lite nedbør tre veker før skredet, men at det låg snø i fjellet. Analyse i ArcGIS viste at losneområdet ikkje hadde naturlege søkk der nedbør kunne samla seg. Dette kan tyde på at auka temperatur og snøsmelte bidrog saman med kraftig nedbør under stormen «Hilde» til at skredet losna, men forklara ikkje kvifor det losna akkurat der det gjorde. Feltarbeidet viste at losneområdet bestod av eit tynt lausmassedekke, stadvis fjellblottingar og blokker, noko som kan ha auka porevasstrykket.

Det var muleg å få realistisk simulering med å bruke den nye erosjonsfunksjonen i RAMMS::Debris Flow. Utfordringa vil vere å avgrense losneområdet og velje brotkant for skredet. Med bakgrunn i feltarbeid vert det føreslått at fjellhamrane i skredbana kan ha vore årsak til at skredet utvikla ei trekantform.

Abstract in English

Rain induced mass movements could increase as an effect of climate change. Towards 2100, precipitation is expected to increase by 18 % on the RCP 8.5 scenario estimated by the IPCC.

The last 18 years, Skredestranda in Eid municipality has experienced 12 mass movements. This master thesis will investigate one of the debris avalanche leading to road closure during the storm “Hilde” 15. November 2013. Because of its shape and spatial distribution, the debris avalanche was found interesting to investigate further compared with the other debris flow during the same event. The debris avalanche had its run-out zone in the lake Hornindalsvatnet and had a 250 m width at that point. It had two release areas at 628 and 611 m a.s.l.

Field mapping with GPS was done to examine the outline of the debris avalanche and to map traces of erosion. Collecting meteorological data for rainfall, snow and temperature revealed the weather situation. ArcGIS was used to study the debris avalanche in ortophoto, investigate flow accumulation, estimate erosion volume and clarify digital elevation models to implement in RAMMS::Debris Flow. To consider the new erosion module in RAMMS::Debris Flow, a sensitivity test was gently carried out. Entrainment and erosion of the debris flow path were not considered in earlier versions of the simulation program. Forcing the user to simulate with large release areas or release depth to get correct total volume made the result unlikely.

The debris avalanche track was digitalized as a result from fieldwork and photos, and was used to compare the results from RAMMS. Total erosion volume was estimated by comparing lidar data collected before and after the event and was the basis for assessing the volume calculated in RAMMS. These were the available results to analyse. The most realistic results were given when the block release depth was reduced from 0,5 m until 0,2 m. The visual results showed in general little diversity when changing the input variables for the erosion parameters, while erosion volume had a wider spectre of values. Snow accumulated in the release area and little antecedent rainfall could indicated the importance of snowmelt. Results from flow accumulation tool in ArcGIS underpins this theory by showing no natural accumulation areas for antecedent precipitation. Meaning that temperature rise leading to snowmelt together with intense rainfall during the storm “Hilde” initiated the debris avalanche. However, this does not explain the specific release area. Fieldwork revealed the release area having sparse soil cover and bedrock exposure, which could have increased pore water pressure.

The new erosion version of RAMMS::Debris Flow made it possible to get realistic simulation results compared with total erosion volume and the mapped debris avalanche track. It could be appropriate using the method for future hazard mapping, making the demanding task to carefully select release area and depth. Due to fieldwork it is proposed that areas including rocky cliffs could be the reason why the debris avalanche had a triangular distribution in the terrain.

Innhald

Forord.....	I
Samandrag.....	II
Abstract in English.....	III
1. Innleiing.....	1
1.1. Bakgrunn.....	1
1.2. Sensitivitetsanalyse i RAMMS::Debris Flow.....	1
1.3. Utreiing av trekantform.....	2
2. Beskriving av område.....	2
2.1. Eid kommune.....	2
2.1.1. Geografi.....	3
2.2. Hellingskart.....	3
2.3. Lausmassekart.....	4
2.4. Berggrunn.....	4
2.5. Klima i endring.....	5
3. Skred.....	6
3.1. Lausmasseskred – jordskred og flaumskred.....	6
3.1.1. Losneårsak og utbreiing.....	7
3.1.2. Dynamikk og mekanismar.....	7
4. Metode.....	8
4.1. Feltarbeid.....	8
4.2. Dataoversikt.....	8
4.3. Kartlegging og analysar i ArcGIS.....	9
4.3.1. Volumberekning.....	9
4.3.2. Flow accumulation.....	9
4.4. Skredsimulering i RAMMS.....	10
4.5. Blokkutløysing og hydrograf.....	10
4.5.1. Erosjon.....	11
4.6. Sensitivitetsanalyse.....	12
5. Resultat.....	12
5.1. Skredhending 15. november 2013.....	12
5.2. Feltarbeid.....	13
5.3. Bileter frå feltarbeid og skredhendinga.....	13

5.4.	Vêrsituasjon og meteorologiske data.....	17
5.5.	ArcGIS.....	20
5.5.1.	Digitalisering	20
5.5.2.	Volumberekning.....	20
5.5.3.	Flow accumulation	21
5.6.	RAMMS	22
5.6.1.	Test utan erosjonsmodul.....	23
5.6.2.	Erosjonsmodul.....	25
5.6.3.	Test av erosjonsrate	26
5.6.4.	Test av potensiell erosjonsdjupne.....	28
5.6.5.	Test av kritisk skjerspenning	30
5.6.6.	Test av maksimal erosjonsdjupne.....	32
5.6.7.	Test av ξ (xi) verdien.....	33
5.6.8.	Test av blokkbrotkant	34
5.6.9.	Test av oppløysing til digitale høgdemodellar	35
5.6.10.	Simulering av kanalisert skred	36
6.	Diskusjon.....	37
6.1.	Sensitivitetsanalyse i RAMMS.....	37
6.1.1.	Erosjonsvolum som losnevolum.....	37
6.1.2.	Det viktige losneområdet.....	37
6.1.3.	Val av digital høgdemodell	38
6.1.4.	Kanalisert skred	38
6.1.5.	Tilgang på lausmassar	38
6.1.6.	Terrengiltak	39
6.2.	Trekantforma jordskred.....	40
6.2.1.	Utløysande årsaker	40
6.2.2.	Skredet si utbreiing – trekantforma jordskred	40
6.3.	Eit samanfattande overblikk.....	43
7.	Konklusjon	44
8.	Referansar.....	45
9.	Vedlegg	1

Figurliste

Figur 1 viser oversiktskart over studieområdet som er markert med lilla punkt.	2
Figur 2. Kartutsnittet viser hellingsgrad for skredet og området rundt. Den kartlagde skredbana visast med raud omriss. I losneområdet er hellinga mellom 25°-45°. To parti i skredbana har helling på mellom 45°-90°, det markerar fjellhamrar.	3
Figur 3 viser lausmassekart for studieområdet. Den kartlagde skredbana er markert med raud omriss. Losneområdet og øvre del av skredløpet består av bart fjell og stadvis tynt lausmassedekke. Nedre del av skredløpet inneheld skredmateriale og tjukk morene.	4
Figur 4. Berggrunnskart med kartlagd skredbane. Figuren viser at berggrunnen består av ulike gneisar samt anortositt og metaanortositt.	5
Figur 5. Ortofotoet inneheld GPS-punkt som vart tekne under tre feltdagar. Den kartlagde skredbana i raudt vart digitalisert på bakgrunn av GPS-punkta og ortofotoet. Gule GPS-punkt vart tekne på feltdag 22. og 23.10.18. Rosa vart tekne 20.11.18.	13
Figur 6 viser eit oversiktsbilete teke dagen etter skredhendinga (fotograf: Jan Helge Aalbu). Dei tre rauda firkantane markera tre fjellhamrar i skredbana. Dei tre stjernerne markera kvar bileta i figur 7 er tekne. Gjeve att med tillating.	14
Figur 7 viser tre bileter av erosjonsspor i nedre del av skredløpet. Bileta med lilla og raud stjerne har angitt målestokk og viser målt erosjonsdjupne i erosjonskanalane. Bilete med gul stjerne er eit oversiktsbilete teke i skredløpet. Stjernerne er viser kor bileta er tekne i figur 6.	15
Figur 8 Bileta A og B viset losneområdet for skredet. Bilete A er teke dagen etter skredhendinga (16.11.13 fotograf: Jan Helge Aalbu), medan bilete B er teke i feltarbeidet i 2017. Gjeve att med tillating.	16
Figur 9 viser to bilete teke under feltarbeidet. Bilete A er teke på den midtre fjellhammaren, medan bilete B er teke på den nedste fjellhammaren.	16
Figur 10. Kartet viser kor vêrstasjonane er plassert i forhold til Skredestranda og skredhendinga. Det gule punktet viser kor privatpersonen Gunnlaug H. Brendehaug gjorde eigne målingar på hendingsdagen.	17
Figur 11 Grafen viser døggnedbør henta frå målestasjonane Kroken og Nymark. Døggnedbøren 16.11.13 var 104,9 mm for Kroken og 92,8 mm for Nymark. Det grønne feltet markera nedbørsdøgnet 15-16.11. ...	18
Figur 12 viser graf som inneheld månadsnormal for nedbør i normalperioden 1961-1990 og for 2013. Nedbøren for 2013 er eit gjennomsnitt av månadsnedbøren for Nymark og Kroken. Grafen viser at november 2013 hadde meir nedbør enn gjennomsnittet for normalperioden 1961-1990. I november 2013 kom det 348,3 mm nedbør, medan det kom 206,4 nedbør for normalperioden.	18
Figur 13 Grafen viser døggnedbør (mm) og snødekke (cm) frå Nymark målestasjon på 34 m o. h. Temperaturen er henta frå Kroken.	19
Figur 14 Interpolerte snødata er henta frå xgeo.no (2018). Grafen viser snødjupne med blå linje, medan snøsmeltinga er vist med raud linje. Grafen viser at snøen byrja å smelte 14.11.13 og at snødjupna endra seg frå 25,7 cm til 18,3 cm frå 14.-17.11.	19
Figur 15 viser resultatet frå volumberekning gjort med å samanlikne dei to lidardatasetta frå 2010 og 2017. Mørkeblå farge viser avsetning, medan dei andre fargane viser erosjon. Volumet for området var negativt, altså var det erosjon i området.	21
Figur 16 viser resultat frå Flow accumulation i ArcGIS. Lilla punkt betyr at cellene i det punktet får overflateavrenning frå mellom 500 og 1000 andre celler. Medan blå punkt betyr at punktet får overflateavrenning frå mellom 1000 og 215 000 andre celler. Verdier mellom 0 og 500 er gjort gjennomsiktig for å betre vise signifikante resultat.	21
Figur 17 inneheld kart A og B. Kart A er eit oversiktskart der Skredestranda er markert med raud punkt. Kart B viser den kartlagde skredbana med nordpil og målestokk. Komande simuleringar vil ha den same	

målestokken og retning som kart B. Grunnen til at nordpil og målestokk ikkje visast på simuleringskarta er for å ikkje trekke merksemda vekk frå resultatet.	22
Figur 18 viser simulering utan bruk av erosjonsmodulen. Bilete A viser losneområdet som er brukt i simulering B-D. Ingen av dei tre simuleringane fyller ut eller held seg innanfor kartlagd skredbane. Inngangsverdiene er gitt i tabell 4.	23
Figur 19. Simuleringane i desse figurane har større losneområdet (kart A) enn førre figur. Resultatet i figur B dekkjer ikkje den kartlagde skredkanten. I figur C og D går skredsimuleringa utanfor kartlagd skredbane.....	24
Figur 20 inneheld kart A og B, der A viser dei tre erosjonssonene som er brukt for alle simuleringane utført med erosjonsmodulen. Kart B viser dei to losnepunkta som er brukt i komande simuleringar. Komande simuleringar vil ha same kartutsnitt og retning som figur B. Det vil ikkje bli vist nordpil og målestokk for å unngå uønskt forstyrring i resultatet.	25
Figur 21 viser tre simuleringar der erosjonsraten er auka. Figur A viser utgangspunktet for sensitivitetstesten og har erosjonsverdiene som er gjeve i tabell 6. Alle simuleringane i figuren er vanskeleg å skilje visuelt frå kvarandre, men resultat D har noko større utbreiing. Erosjonsvolumet er gjeve i tabell 7.	26
Figur 22. I simulering B-D er erosjonsraten sett ned samanlikna med utgangspunktet vist i A. Visuelt er det liten skilnad mellom simuleringane, bortsett frå simulering D som har større holrom mellom kartlagd skredkant på vestsida av skredkanten.	27
Figur 23 viser test av potensiell erosjonsdjupne. Simuleringane B og C er like A, medan simulering D skil seg klart ut. Den maksimale flytehøgda til D er høg utanfor den kartlagde skredbana.....	28
Figur 24. Simulering B-D har lågare potensiell erosjonsdjupne enn referansesimuleringa A. Visuelt har simuleringane lik utbreiing, men simulering D har låg maksimal flyhøgde noko som sjåast av det totale erosjonsvolumet i tabell 10.....	29
Figur 25. I denne figuren er kritisk skjerspenning auka. Utreiinga til simuleringa ser likt ut med utgangspunktet vist i simulering A. Verdiene er gjeve i tabell 11.	30
Figur 26 viser resultatet når verdien for kritisk skjerspenning er satt ned. Også desse simuleringane er visuelt vanskeleg å skilje i utbreiing.	31
Figur 27. I denne figuren er maksimal erosjonsdjupne testa. Simuleringane B-D er omtrentleg lik simulering A i utbreiing.	32
Figur 28 inneheld simuleringar med varierende ξ verdi. Resultatet i simulering D skil seg klart frå dei andre to (B og C) som er om lag lik referansesimuleringa A. Simulering D følgjer den kartlagde skredbana og breia seg lite utanfor. Merk at simulering B er utgangspunktet for sensitivitetstesten.....	33
Figur 29 viser simuleringar der djupna på blokkbrotkanten i utløyingsområdet er testa. Simulering B følgjer den kartlagde skredbana utan å gå nemneverdig utanfor. Simulering C og D liknar på utgangspunktet A.....	34
Figur 30. Desse simuleringane har vorte gjort med ulike digitale høgdemodellar. Legg merke til at referansesimuleringa er vist i simulering C. Figur A skil seg mest ut frå dei andre simuleringane.	35
Figur 31 A viser kartlagd skredbane for eit kanalisert skred som gjekk under same hendinga "Hilde" 15.11.13. Den kartlagde skredbana basera seg kunn på ortofotoet "Sogn 2015" og bilete tekne dagen etter hendinga, det er ikkje gjort feltarbeid for dette skredet. Kart A viser også dei to losneområda som er brukt i simulering B. Losneområdet er basert på bilete teke etter skredhendinga. Kart B viser resultatet av simulering med erosjonsmodulen og dei inngangsverdiene som er vist i tabell 6 og 17.	36
Figur 32 er henta frå Frank et al. (2015). Figuren viser at parameteren potensiell erosjonsdjupne er basert på eit lineært forhold mellom maksimal erosjonsdjupne i meter og skjerspenning i kPa. Spreitgraben og	

Illgraben er dei to skredlokalitetane som vart brukt for å utarbeide erosjonsparameteren og maksimal flytehogde er vist for desse testskreda.....	39
Figur 33 består av to bileter A og B. Bilete A er teke ved Anestølsvatnet og er henta frå Tyssebotn og Velle (2010). Den raude firkanten viser ein fjellhammar som kan ha gjort at skredet utvida seg. Bilete B er teke i Lærdal og var ei skredhending frå 1993 (Aa & Bondevik, 2014). Bilete viser tydeleg at skredet har utvida seg over eit bratt fjellparti før det stoppa under fjellpartiet.....	41
Figur 34 er to bileter frå same skredhendinga (fotograf: Gro Sandøy). Bilete som er merka med to raude firkantar viser to steile fjellhamrar. Desse kan ha bidrege til at skredet breia seg ut i terrenget. Skredhendinga er ikkje undersøkt i felt. Bileta er vist med tillating frå opphavar.....	42
Figur 35 viser to bileter frå same hending (fotograf: Gro Sandøy). Bilete med to raude firkantar markera to bratte parti med fjellblotting. Desse kan ha ført til at skredet utvida seg i to kanalar, før skredet går i ein naturleg kanal i terrenget. Det har ikkje vore gjort feltsynfaring ved denne lokaliteten. Bileta er vist med tillating frå opphavar.....	42

Tabelliste

Tabell 1 inneheld ei oversikt over data som vart brukt i denne studien.....	8
Tabell 2 viser erosjonsparametrane som brukast i den nye erosjonsmodulen i RAMMS::Debris Flow og kva verdiar som kan veljast frå nedtrekksmenyen. Dei parametrane som er anbefalt å bruke i manualen er markert.....	12
Tabell 3 viser tre volumberekningar som vart gjort for den kartlagde skredbana. I erosjonssone 3 vart 0,9 m berekna utifrå resultatet frå samanlikning av lidardata.....	20
Tabell 4 viser kva blokkbrotkant som var brukt i simuleringane i figur 18. Tabellen viser også kva losnevolum simuleringane hadde.....	23
Tabell 5 viser kva blokkbrotkant som er brukt for simuleringane vist i figur 19B-D. Losnevolumet som RAMMS berekna er også vist i tabellen.....	24
Tabell 6 viser dei verdiane for erosjonssonene som er brukt som utgangspunkt for sensitivitetstesten.....	25
Tabell 7. Erosjonsraten er auka for dei ulike erosjonsområda. Simulering A er utgangspunktet for sensitivitetstesten. Resultatet viser at erosjonsvolumet går opp når erosjonsraten går opp.....	26
Tabell 8 viser at erosjonsraten er sett ned samanlikna med utgangspunktet i simulering A. Det totale erosjonsvolumet variera for dei tre simuleringane der simulering B har størst volum og simulering D har det minste volumet.....	27
Tabell 9 Potensiell erosjonsdjupne er auka i denne sensitivitetstesten. Det førte til erosjonsvolumet steig for alle resultat, spesielt resultat D.....	28
Tabell 10 viser at potensiell erosjonsdjupne er sett ned i forhold til referansesimuleringa A. Det totale erosjonsvolumet endra seg lite for B og C simuleringa, medan det er lågt for simulering D.....	29
Tabell 11 viser auka verdi for kritisk skjerspenning. Det totale erosjonsvolumet minkar noko for B-D samanlikna med referansesimuleringa A.....	30
Tabell 12 inneheld verdiane for nedsett kritisk skjerspenning. Resultatet viser at det totale erosjonsvolumet går opp for dei tre simuleringane B-D, samanlikna med referansesimuleringa A.....	31
Tabell 13 viser kva maksimal erosjonsdjupne som er testa for simuleringane vist i figur 27. Det totale erosjonsvolumet er høgast for simulering C. Dei tre erosjonsvoluma er alle høgare enn referansevolumet A.....	32
Tabell 14 inneheld verdi for variert xi. Auka xi verdi minkar det totale erosjonsvolumet.....	33
Tabell 15 viser ei oversikt over kor djupt losneområdet som er simulert med i figur 29, samt det totale erosjonsvolumet.....	34

Tabell 16 viser kva digital høgdemodell som er brukt for dei ulike simuleringane i figur 30. Det totale erosjonsvolumet variera lite for dei fire simuleringane.....	35
Tabell 17 viser djupna på dei to blokkbrotkantane aust og vest, losnevolum og erosjonsvolum. Det finnast ikkje estimert erosjonsvolum for dette skredet.....	36

1. Innleiing

1.1. Bakgrunn

Noreg er eit land med vill natur i form av bratte fjell og djupe fjordar, det medføre skredfare. I november 2017 gjekk det eit skred over riksveg 13 i Odda (Rovick & Sørtdahl, 2017). I den forbindelse uttalde geolog Humstad frå Vegdirektoratet i eit intervju, at med meir nedbør i framtida, er det ikkje urimeleg at skredfare aukar. I følgje Hassen-Bauer et al. (2015) kan nedbøren auke inntil 18 % fram mot år 2100 på det høgste utsléppscenariot RCP8,5, som er berekna av globale klimamodellar av FN's klimapanel. Lausmasseskred er av dei hyppigaste skredtypane i Noreg og er sterkt påverka av nedbør (Bjordal & Helle, 2011; Cepeda, Hoeg & Nadim, 2010; Colleuille et al., 2017; Dyrredal, Isaksen, Hygen & Meyer, 2012). I Statens Vegvesen sin rapport om klima og transport vert det konkludert at truleg alle skredtypar vil auke i hyppigheit, spesielt dei som er påverka av nedbør (Petkovic, 2013). Ein omfattande litteraturstudie som ser på dagens forskning fortel at 80% av studiane peikar på eit forhold mellom klimaendringar og jordskred (Gariano & Guzzetti, 2016). Endringar i verdas klima kan altså potensielt påverke utløyising av lausmasseskred, men det er krevjande å anslå fordi losneårsaken er i seg sjølv er usikker (Sidle & Ochiai, 2006).

Langs E39 på Skredestranda i Eid kommune har det gått 12 skred sidan år 2000 innafor ei vegstrekke på 2 km. Det siste gjekk i mars 2018 (NVDB, 2018; Svarstad, Solheimsnes & Reksnes, 2018). Truleg har fire av desse vorte utløyyst som snøskred, men kome ned som jordskred (Tveit, 2016). Det trekantforma jordskredet som skal vektleggast i denne oppgåva fekk truleg tilførsel av vatn gjennom snøsmelting i losneområdet. Det kan forventast ei auke av denne samansette skredtypen i framtida på grunn av klimaendringar som gir meir intens nedbør og høgare temperaturar (Colleuille et al., 2017). Spesielt milde vintrar og raske vêromslag kan verte meir vanleg og faren for samansette skred kan auke (pers. med. Bondevik, 2017) Jaedicke et al. (2008) tilrår å ta omsyn til framtidige endringar av naturfarar allereie i planleggingsfasen av ny infrastruktur. Auka kunnskap om utbreiing og losneårsak kan verte viktig i framtida som ledd i planlegging (Colleuille et al., 2017).

Denne masteroppgåva skal forklare kvifor eitt av skreda på Skredestranda vart breitt samanlikna med skredhendingar i same område. Det skal avdekkast om det aktuelle skredet sin storleik kan forklarast og klassifiserast som eit trekantforma jordskred (Sandøy, Rubensdotter & Devoli, 2017) og bidra til å auke kunnskapen om den skredtypen. Oppgåva tek føre seg eit skred der utløpslengda ikkje er kjent. Det er ikkje uvanleg for skred på vestlandske vegar, då vegane ofte går langs fjordar og innsjøar. Ved hjelp av flaumskredmodulen i RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation) og estimert totalerosjon i skredbana, skal skredet simulerast og forklarast trass i manglande sikre parametarar. Undersøkingar og simulering av skredet skal auke forståing for samansette skred der snøsmelting er medårsak til utløyising. Med bakgrunn i dette er det to sett med forskingsspørsmål som oppgåva vil svare på;

1.2. Sensitivitetsanalyse i RAMMS::Debris Flow

Kan det oppnåast eit realistisk skredløp og totalvolum under simulering av lausmasseskred med bruk av RAMMS sin nye flaumskredmodul der erosjon langs skredløpet er implementert?

Det er ikkje uvanleg at det manglar sikre parametarar som kan brukast når skred skal simulerast. Sjeldan er skredets hastigheit, erosjon eller friksjon målt. I dette tilfelle manglar også utløpslengde, noko som heller ikkje er uvanleg langs fjord og innsjø i Noreg.

Systematisk testing krevst for å kome fram til dei parametrane som gir fornuftig resultat. Det skal gjennomførast ein sensitivitetstest der kvar enkelt parameter vert testa. Parametrane er val av digital høgdemodell, utløyisingdjupne og strøymingsparameteren ξ (xi). Erosjonsparametrane som skal testast er erosjonsrate, potensiell erosjonsdjupne, kritisk skjerspenning og maksimal erosjonsdjupne. Nøyaktig og

grundig tolking av resultatet er essensielt. Målet er å oppnå simulert totalerosjon og simulert skredbane som er så lik tilsvarende empiriske data som mogleg. Med systematisk testing skal dei mest realistiske erosjonsparametrane avdekkast. Resultatet skal også kort vurderast opp mot to tiltak i form av bruer som er planlagt av Statens Vegvesen for skredpunktet. Spesielt interessant er det å studere maksimal flytehogde i nedre del av dei etablerte kanalane som RAMMS simulerer.

1.3. Utgreiing av trekantform

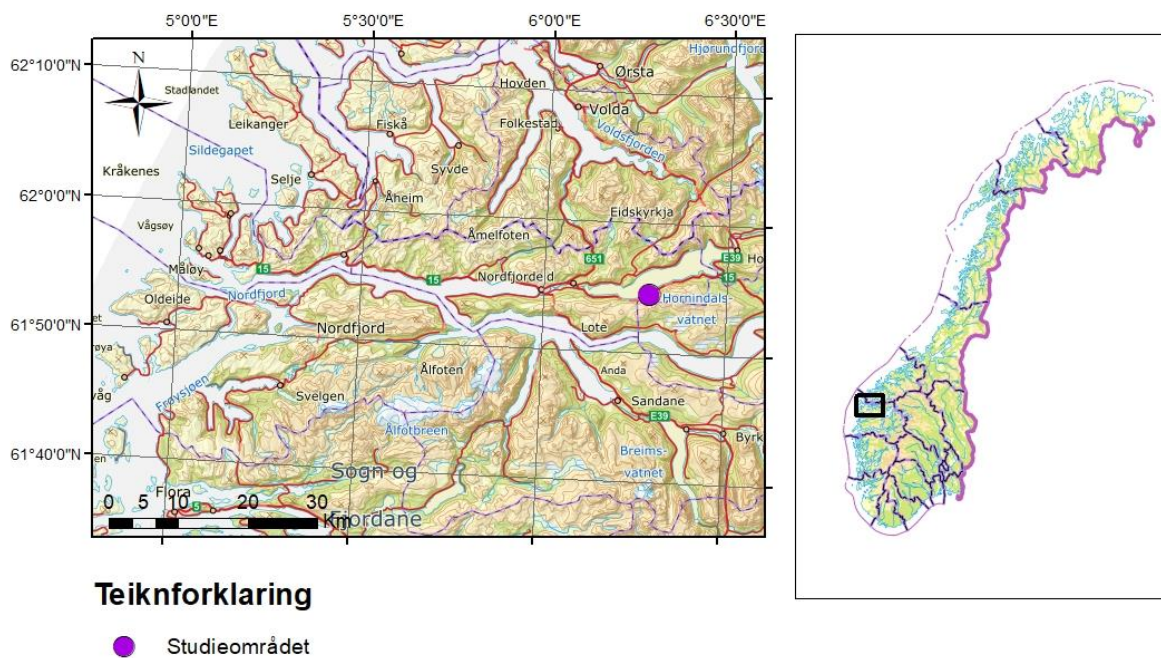
Kan simulering med erosjonsmodulen saman med geologiske feltobservasjonar og innsamling av meteorologiske data forklare utbreiing og omfanget av det trekanta skredet? Skredet som skal undersøkast i denne oppgåva vart 250 m breitt og stort samanlikna med andre skred under same hending. Årsak til dette skal forsøkast forklarast mellom anna med RAMMS::Debris Flow som eit ledd i utgreiinga

Meteorologiske data skal innsamlast og kaste lys over vêrsituasjonen i dagane før skredhendinga. Spesielt interessant er det å kartlegge snøgrensa; både mengde og høgde over havet. Hadde overflatedrenering frå nedbør naturleg samlingspunkt i losneområdet? Ei studie der fem trekantforma jordskred i Møre og Romsdal vart undersøkt (Sandøy et al., 2017) fant at felles for utløysingsområdene er at dei er lokale samlingspunkt for overflatedrenering. Difor vart det undersøkt om det same er tilfelle på Skredestranda ved hjelp av ei GIS-støtta akkumulasjonsanalyse.

2. Beskriving av område

2.1. Eid kommune

Eid kommune ligg på Nord-Vestlandet i enden av den nordlegaste delen av Nordfjorden (fig. 1). Kommunesenteret er avgrensa mellom Nordfjorden og Hornindalsvatnet. Studieområde Skredestranda ligg på sørsida av Hornindalsvatnet og er markert med lilla punkt i figur 1. Langs vatnet gjekk riksveg 15 fram til 2012 då Kvivsvegen opna, då vart også europaveg 39 lagt langs Hornindalsvatnet.



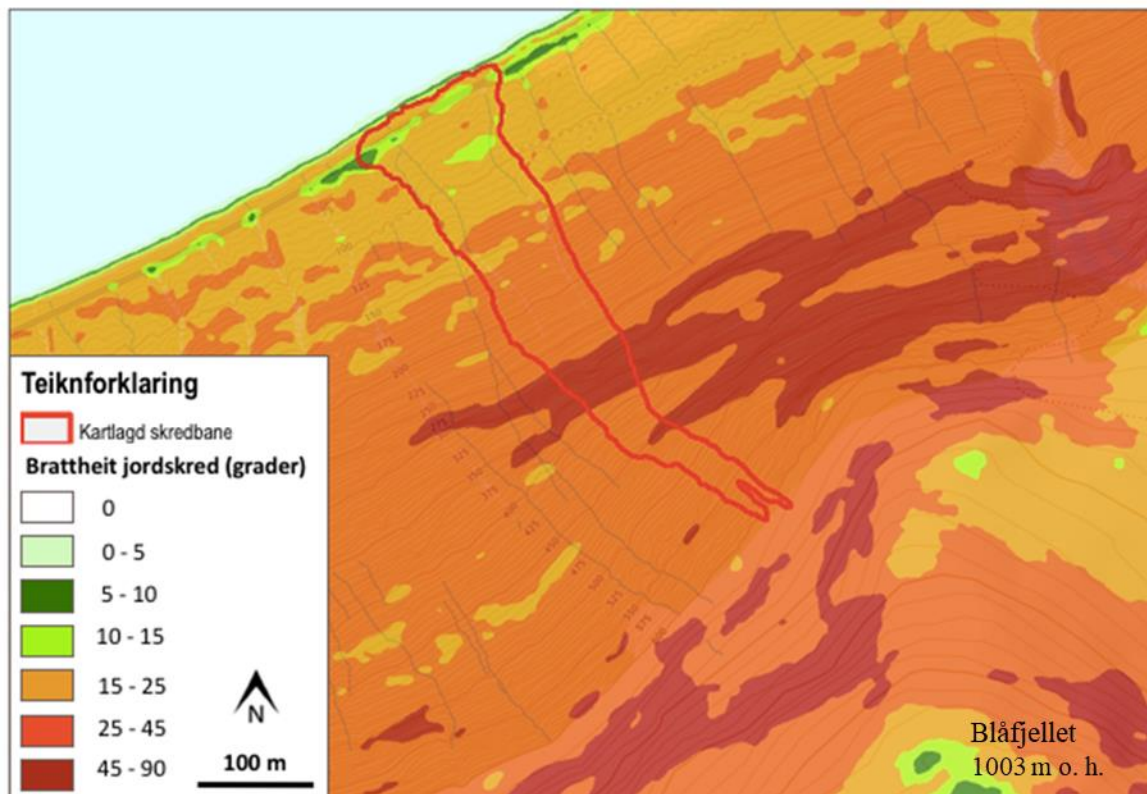
Figur 1 viser oversiktskart over studieområdet som er markert med lilla punkt.

2.1.1. Geografi

Landskapet i Nordfjord har utvikla seg frå eit platålandskap liggande ved havnivå for omlag 250 millionar år sidan, som seinare gjekk gjennom ei tektonisk landheving. Periodar med istider i kvartærtida dei siste 2,5 millionar år har erodert plataet og forma det fjordlandskapet vi kjenner i dag (Rye et al., 1997). Landskapet er typisk for glasialeroderte områder med bratte fjellsider, U-forma dalbotnar fylt med vatn eller sediment, hengdane dalar og botnar. Hornindalsvatnet som ligg langs Skredestranda ligg 53 m o. h. og med eit djup ned til 514 m er dette Europas djupaste innsjø. Vegetasjonen i området er ei blanding av lågalpin og nordboreal vegetasjonssone (Moen, Odland & Lillethun, 1998) Lågalpin vegetasjonssone har lite skog og er prega av lyng og krattvegetasjon, medan nordboreal sone inneheld bjørkeskog og lågvokst barskog samt furu og gran. Klimatisk skoggrense på Skredestranda er ved 700-800 m o. h. (Moen et al., 1998) noko som stemmer godt med observasjonar i felt og på bileter.

2.2. Hellingskart

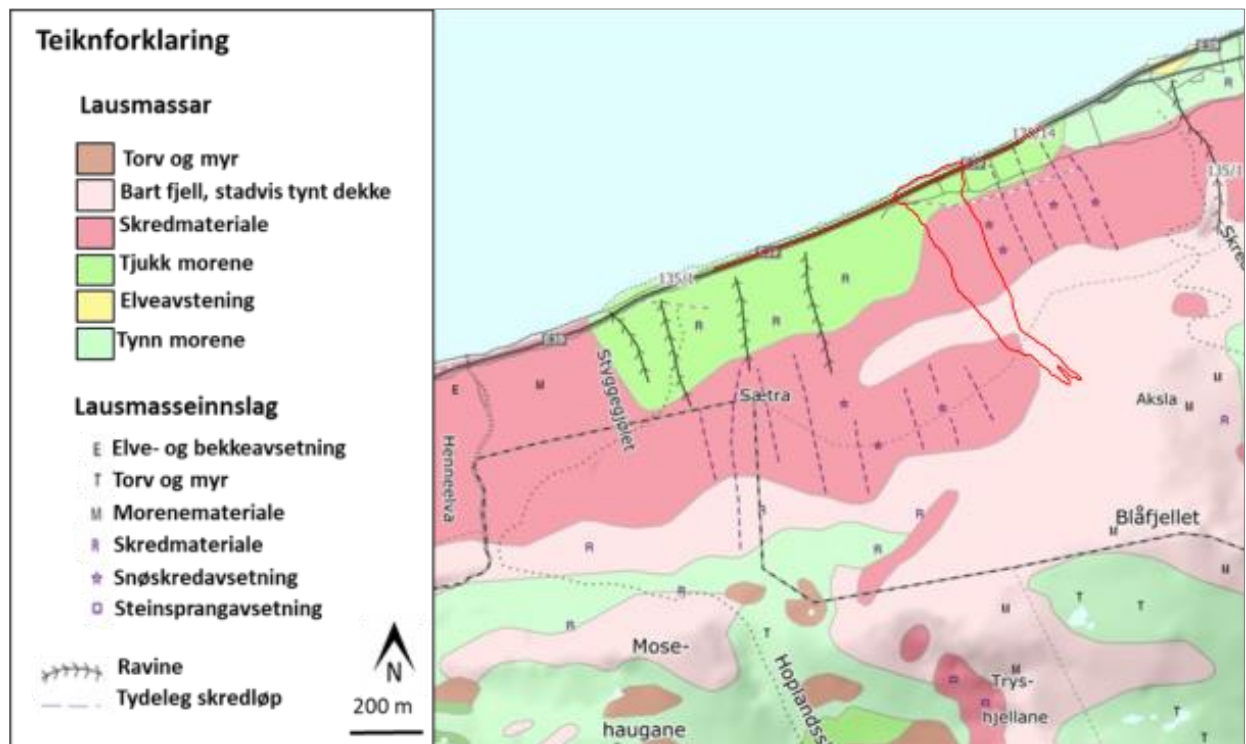
Figur 2 viser hellingskart over Skredestranda raud omriss av skredbana. Frå Hornindalsvatnet (53 m o. h.) og om lag 200 m opp i terrenget er hellinga mellom 15° - 25° . Ein antek at skredmassar avsettast når hellinga er 10° eller mindre (Jakob & Hungr, 2005). Frå 200 m er hellinga frå 25° - 45° . Det vert rekna som skredfarleg terreng for jord- og flaumskred (Bjordal & Helle, 2011; Høeg, Lied, Karlsrud & Gregory, 2014; Jakob & Hungr, 2005; Lied & Kristensen, 2003; Norem & Sandersen, 2012). I det brattaste partiet rett under den høgste toppen, Blåfjell, er hellinga mellom 45° - 90° . På toppen av Blåfjell (søraust på kartet) flatar fjellet ut mellom 0° - 10° .



Figur 2. Kartutsnittet viser hellingsgrad for skredet og området rundt. Den kartlagde skredbana visast med raud omriss. I losneområdet er hellinga mellom 25° - 45° . To parti i skredbana har helling på mellom 45° - 90° , det markerar fjellhamrar.

2.3. Lausmassekart

Sidan studieområdet er påverka av erosjon og avsetning frå ulike skredhendingar er overgangen mellom dei ulike lausmassestypane flytande. Langs E39 er det tjukk morene som dominera lausmassekartet som eit 100-300 m breitt belte både på oppsida av vegen og langs vasskanten (markert i grønt på figur 3). Den tjukke morenen vart danna under siste istid då isbreen trekte seg tilbake. Vanleg for morene er at den inneheld silt og leire og at den har dårleg sortering (Høeg et al., 2014), noko som også vart bekrefta under eiga feltsynfaring. Den tjukke morenen er delvis erodert og omarbeida av skredmassar (markert med «R» i figur 3) Sør for den tjukke morenen ligg eit felt klassifisert som rein skredmateriale (mørk rosa farge i figur 3), men det er nærliggjande at opphavet til dette materialet er frå tynn morenedekket og jordsmonn. I dei brattaste partia lengst sør på kartet rundt fjellet Blåfjell, er det bart fjell med stadvis tynt dekke som er gjeldande (lys rosa farge i figur 3). Det er markert snøskredavsetning og tydelege skredløp som strekk seg over lausmassesone.

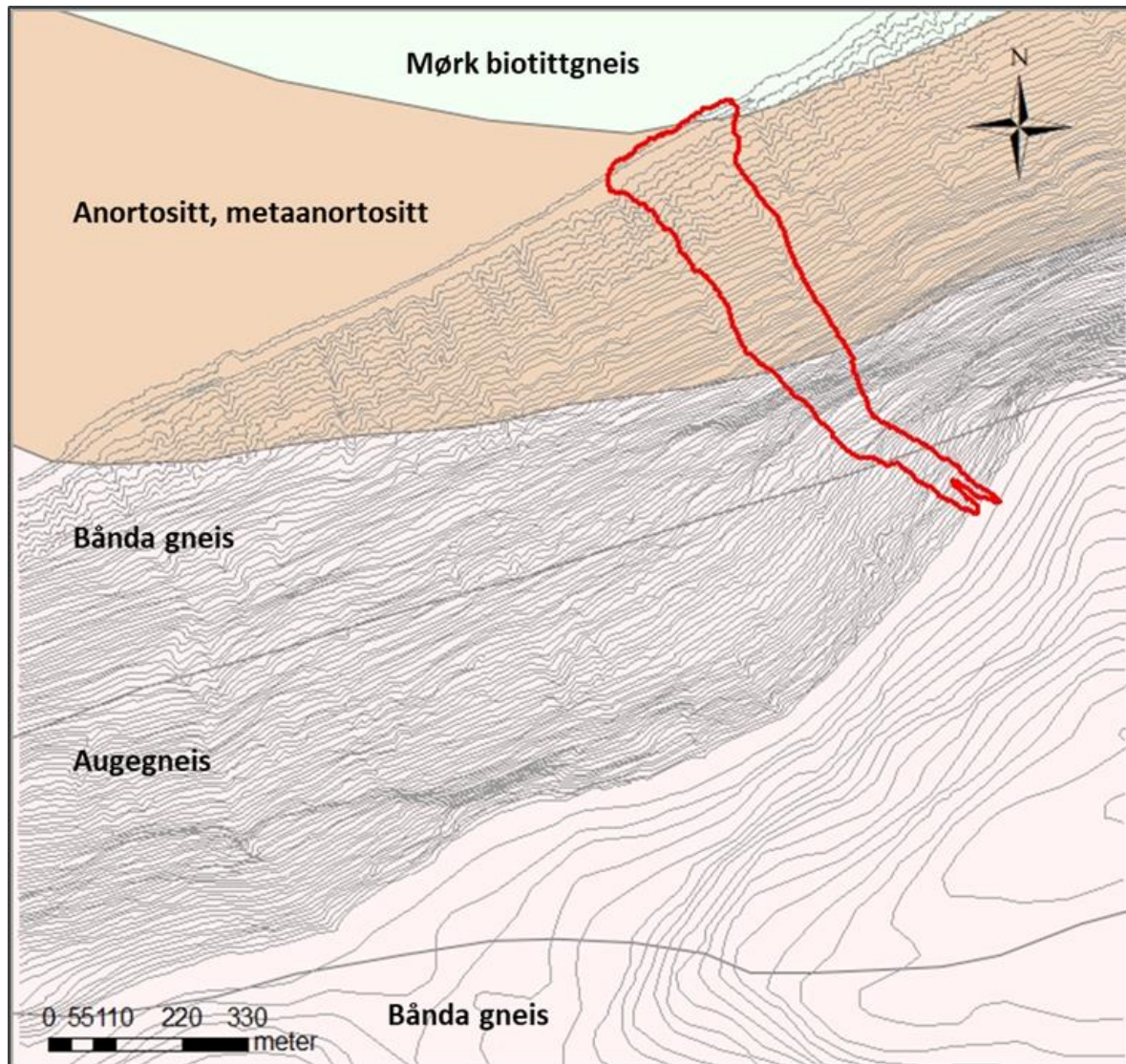


Figur 3 viser lausmassekart for studieområdet. Den kartlagde skredbana er markert med raud omriss. Losneområdet og øvre del av skredløpet består av bart fjell og stadvis tynt lausmassedekke. Nedre del av skredløpet inneheld skredmateriale og tjukk morene.

2.4. Berggrunn

Nordfjord høyrer til den vestre gneisregionen der dei geologiske strukturane er eit resultat av den kaledonske fjellkjededanninga (Ramberg, 2013). Gneisregionen inneheld ulike typar gneisar og migmatittar som kan ha lag og linser av glimmerrrike gneisar og amfibolittar. Desse bergartstypane vart danna for mellom 1700 og 1500 millionar år sidan. Førekomstar av gabbro kan finnast i området rundt Nordfjord (Ramberg, 2013). Den tektoniske historia er komplisert og berggrunnen har vore gjennom fleire endringsfasar (Rye et al., 1997). Det har resultert i dagens berggrunn som er vist av berggrunnskartet på figur 4. Nord på kartutsnittet er mørk biotittgneis markert med lyseblå farge. Sør for dette ligg ei brun stripe som inneheld anortositt og metaanortositt. Resten av område består av båndane gneis og augegneis som skiljast med to markerte grå striper over kartet. Lengst sør på kartutsnittet er det båndane gneis. Mellom dei to grå linjene er det augegneis.

I dette området finnast losneområdet til det kartlagde skredet. Nord for den grå linja og losneområdet er det båndagneis i berggrunnen.



Figur 4. Berggrunnskart med kartlagd skredbane. Figuren viser at berggrunnen består av ulike gneisar samt anortositt og metaanortositt.

2.5. Klima i endring

I Noreg variera klimaet frå ein region til ein anna. Omlag ein tredjedel av landet ligg nord for den arktiske sirkelen og har eit kjølig klima gjennom året (O'Brien, Sygna & Haugen, 2004). Kystklimaet er karakterisert med milde vintrar og kjølige somrar, med hyppig nedbør gjennom mesteparten av året. I innlandet er vintrane kjøligare og somrane varmare, og det er mindre nedbør. Eid kommune ligg i sona for kystklima (Moen et al., 1998).

Det er brei einigheit i forskingsmiljøet at klimaet endrar seg som følge av menneskeskapte utslepp av klimagassar (Bindoff et al., 2013). Korleis dette kan påverke skråningsstabilitet er framleis usikkert (Sidle & Ochiai, 2006). I Vest-Noreg er det forventet auke i årleg nedbør, samt fleire ekstreme nedbørsepisodar (Hassen-Bauer et al., 2015). Utløysing av lausmasseskred er tett knytt til nedbør, difor er det nærliggande å forvente auka skredaktivitet. På den andre sida kan høgare utslepp av karbondioksid og utvida vekstsesong

føre til auka vegetasjon som bind lausmassane (Sidle & Ochiai, 2006). Desse faktorane kan vere med å redusere faren for lausmasseskred. Samtidig er det ei rekke usikkerheiter knytt til korleis vegetasjon og skog vil bli påverka av klimaendringane (Dale et al., 2001). Innføring av nye planteetande artar, soppskader eller stormfelling er dømer som kan svekke vegetasjonsveksten og dermed ikkje ha stabiliserande effekt for lausmassar (Dale et al., 2001; Solberg & Sandved, 2007). Mange usikre faktorar som spelar inn, gjer det vanskeleg å prognostisere framtidens skredfare med klimamodellar (Dehn, Bürger, Buma & Gasparetto, 2000). Transportsektoren, som spela ei viktig rolle i å knyte saman produsenten og marknaden, er rekna som sårbar for endringar i klimaet, spesielt med tanke på ekstreme hendingar. Snøskred, jordskred, flaum og andre naturfarer utløyst av meteorologiske hendingar påverkar transportsektoren sin effektivitet, pålitelegheit og sikkerheit (O'Brien et al., 2004) Nettopp difor er det viktig å studere korleis lausmassar oppføre seg under ulike vêrforhold, samt avdekke potensielle losneområder slik at det kan takast omsyn for i framtidig arealbruk.

3. Skred

Skred er massar satt i bevegelse og som vert ført nedover i terrenget av tyngdekrafta. Skred kan innehalde lausmassar, stein, snø, is eller vatn. Ofte er innhaldet ein kombinasjon av desse. Det finnst fleire klassifikasjonar på korleis skred kan bevege seg. Det kan skje ved utgliding, gradvis sig, rask straum eller fall (Høeg et al., 2014; Varnes, 1978; Øydvin, 2011). Skred er ein naturleg geologisk prosess som bidreg til stadig endring av landskapet (D. W. Hyndman & Hyndman, 2011).

3.1. Lausmasseskred – jordskred og flaumskred

Ordet lausmassar kan definerast som alle typar materiale som ligg over fast fjell (Øydvin, 2011). Organisk materiale, silt, leire, sand, grus og stein er døme på det. Lausmasseskred inneheld desse massane samt varierende vassinnhald og er dermed komplekse fenomen som det framleis er knytt mykje usikkerheit til (Coussot & Meunier, 1996). Både jordskred og flaumskred går under kategorien lausmasseskred og definisjonane vert nokre gonger brukt om kvarandre (Coussot & Meunier, 1996; Vegdirektoratet, 2014). Varnes (1978) lagde tidleg ei klassifisering der han illustrerte og gav namn til ulike skredtypar. Han er rekna som den første til lage ei klassifisering som framleis er anerkjent og gjeldane den dag i dag. Han delte skred i dei tre kategoriane stein-, flaum- og jordskred, med til saman 32 underkategoriar for skredtypane (Hungr, Leroueil & Picarelli, 2014; Varnes, 1978). I Statens Vegvesen si handbok om flaum- og sørpeskred er det brukt materialtype og materialsammansetting som overordna eigenskap for klassifisering. Dermed delar handboka skredtypar inn i blandingsskred, flaumskred, sørpeskred og grunne overflatejordskred. (Vegdirektoratet, 2014).

Blandingsskred inneber skred som utløysast som ein type skred og avsettast som ein anna type. Det kan losne som eit grunt overflateskred og utvikle seg til eit stort skred nedover i skredløpet. Årsaken til dette er at skredet har eroderande krefter som riv med seg massar og vegetasjon. Eit anna døme på blandingsskred er skred losnar som snøskred, dreg med seg materiale nedanfor snøgrensa og vert avsett som lausmassar. Ofte kan slike skred ha ei lang skredbane slik at temperaturskilnaden er betydeleg og utløysingsområdet er snødekt medan det er bart lengre nede i skredbana (Vegdirektoratet, 2014).

Flaumskred består av ein miks av fint og grovt materiale og varierende vassinnhald. Skreda følgjer ofte elv- og bekkeløp, skar og gjel. Der treng ikkje renne vatn til vanleg, skreda kan følgje tørrlagde bekkar eller andre naturlege søkk. Korleis skreda bevegar seg har vist seg å avhenge av kor mykje vatn skredet inneheld (Calligaris & Zini, 2012; Vegdirektoratet, 2014; Øydvin, 2011). Flaumskred som inneheld mykje vatn kan oppføre seg som straumar nedover søkk i terrenget. Slike skred er av dei vanlegaste årsakene til at norske vegar vert stengde (Høeg et al., 2014).

Grunne jordskred er ofte uløyst av redusert skjærfastheit på grunn av vatn i lausmassane i skråning som regel brattare enn 25° . Årsak til dette kan vere store nedbørsmengder eller snøsmelting, ein kombinasjon er også vanleg. Opptining av jordmassane kan føre til overskot av vatn og gjere massane ustabile, medan tele lengre nede i bakken kan føre til stort porevasstrykk ovanfor. Grunnvasstraumar kan også losne jordskred med at vatnet erodera eller auke porevasstrykket. Jordskred sklir ofte i ei plutseleg glidande bevegelse eller gradvis aukande sig (Vegdirektoratet, 2014; Øydvin, 2011).

Det skiljast mellom kanaliserte skred og ikkje-kanaliserte skred. Begge skredtypane kan starte i eit punkt eller langs ei brotsone. Dei kanaliserte skreda vil gå i ein kanal eller bekkeløp og følgje det, medan det ikkje-kanaliserte skredet brer seg utover og kan danne ein trekantform, derav namnet trekantforma jordskred (Sandøy et al., 2017). Trekantforma jordskred kan losne som eit vassmetta grunt jordskred, på grunn av enkle steinblokker eller steinsprang (Lacerda, 2007) eller losne som snøskred og deretter utvikle seg til trekantforma jordskred. I det skredet er utløyst flyt det raskt nedover fjellsida med eroderande krefter, lausmassane si mektigheit kan påverke storleiken (Hungr et al., 2014; Sandøy et al., 2017).

3.1.1. Losneårsak og utbreiing

Glade (2005) slår fast at faren for lausmasseskred avhenger av sedimenttilgangen. Grunne lausmasseskred løyse oftast ut etter ein nedbørsperiode frå nokre timar til fleire dagar. Fleire av desse skreda er karakterisert av grunne, relativt lav-kohejsjons massar og helling over 25° . Høgt porevasstrykk utviklar seg rett over lag der vatnet ikkje kan strøyme gjennom som til dømes berggrunn eller tele. Rask vasstilførsel som følgje av nedbør eller snøsmelting medføre at skjerspenninga går ned og lausmassar losna (Sandersen, Bakkehøi, Hestnes & Lied, 1997; Sidle & Bogaard, 2016). Rask auke i porevasstrykket er i følgje Sidle og Bogaard (2016) den vanlegaste og enklaste mekanismen for utløysing av lausmasseskred under ein intens nedbørsperiode eller nedbør over fleire dagar.

Skredbana kan delast inn i tre områder. Losneområdet, skredløpet og utløpsområdet. Jordskred losnar som regel der hellinga er over 25° , gjerne mellom 30° - 40° . Dersom vasstilførselen er stor og grunnen vert vassmetta, kan flaumskred losne på 10° (Høeg et al., 2014). I følgje Jakob og Hungr (2005) losnar lausmasseskred mellom 20° - 45° .

Flaumskred følgjer ofte bekkeløp og kan lage levéar langs kanalane. Dersom flaumskreda gjentek seg i same skredløpet kan det danne seg ei vifteform i utløpsområdet, medan jordskred kan breie seg ut i ei pæreform under ei hending (Høeg et al., 2014). Karakteristisk for skredtypen er dei grove massane som vert avsett i fronten som ein tungeforma rygg kalla lobe (Øydvin, 2011).

3.1.2. Dynamikk og mekanismar

Lausmasseskred involvera tyngdekraftbevegelse av ein fast-flytande miks med ein rask front, varierende eroderande krefter langs bakken og ein samansetting som kan endre seg frå stad og tid (Jakob & Hungr, 2005). Det er komplekst og utfordrande å forstå mekanismane bak (Sidle & Bogaard, 2016). Sjølv om lausmasseskred ofte er vassmetta skil dei seg frå vassflaumar der sediment er i suspensjon med fluide mekaniske fenomen som til dømes turbulens og viskositet. Sjølv om lausmasseskred har sedimentinnhald på nivå med steinskred, skil dei seg også frå denne skredtypen fordi massane i steinskred ofte oppføre seg på bakgrunn av dei faste fenomen som til dømes kollisjon og friksjon mellom solide materiale. Storleiken og karakteren av interaksjonen mellom fast-flytande massar kan variere frå skred til skred og innafor det same skredet (Jakob & Hungr, 2005). Blandinga av fast og flytande skil ikkje berre flaumskred fysisk, men gjev ein unik destruktiv kraft (Coussot & Meunier, 1996; Iverson, 1997). Skreda kan ramme utan forvarsel. Slik som vassflaumar er flaumskred flytande nok til å få lang rekkevidde i kanalar og deretter breie seg ut på eit stort området. Høg hastigheit og eroderande krefter kan føre til store øydeleggingar (Norem & Sandersen, 2012). Hydrologiske forhold saman med jordsamansetting, geotekniske, mineralogiske og

geomorfologiske forhold avgjere når lausmasseskred losnar og korleis skredet utviklar seg (Iverson, 1997; Sidle & Bogaard, 2016).

Høeg et al. (2014) delar dei viktigaste årsakene til losning av lausmasse- og flaumskred inn i tre grove hovudkategoriar. Den første er regn og snøsmelting. Når tilførselen av vatn er stor vil stabiliteten i massane verte svekka. Det kapillære suget reduserast eller porevasstrykket aukar. Det medføre ustabile massar som kan losne. Haust og vår er høgsesong for denne losnetypen. På våren under snøsmelting og på hausten grunna tidleg snøfall og vêromslag. Undergraving av skråningsfot er den andre losnekategorien. Dette kan skje både naturleg eller av menneskeskapte årsakar. Døme kan vere ved flaum der bekkar eller elver får større eroderande krefter i bratte skråningar. Tredje kategorien er ytre påverknad av steinsprang eller steinskred. Vassmetta grunn kan løysast ut med liten tilleggsbelastning som ei blokk. Lausmassar kan også verte dradd med av store steinskred utan at dei er spesielt vassmetta (Høeg et al., 2014).

4. Metode

Dette kapitlet tek føre seg metodane som har vorte nytta i denne masteroppgåva for å undersøkje skredhendinga på Skredestranda i 2013.

4.1. Feltarbeid

Det vart gjort feltarbeid over fire dagar hausten 2017. Den 15.09 var synfaringsdag saman med rettleiarar i Statens Vegvesen. Det vart brukt drone «DJI Phantom 3 Professional» for å ta oversiktsbileter av skredet og det vart informert om kva sikringstiltak som hadde vore gjort i etterkant. 22.-23.10 vart to dagar brukt til å kartlegge skredets ytterkant med ein handhaldt GPS av merke Garmin etrex touch 25. I tillegg vart området skildra og det vart teke GPS- punkt på store blokker og langs tydleg markerte erosjonsbaner. Siste feltdag den 20.11 vart det teke nye GPS-spor av skredets austlege ytterkant. Det vart også forsøkt å lage terrengmodell med drone. Det vart gjort ved at plater merkt med nummer vart lagt i kvart hjørne av området som skulle kartleggast og notert med GPS-punkt. Deretter vart det systematisk teke bileter av området med figurane i. På grunn av at snøen allereie hadde lagt seg vart det for lite kontrast i bileta og resultatet kunne ikkje brukast.

4.2. Dataoversikt

Tabell 1 inneheld ei oversikt over data som vart brukt i denne studien.

Data	Skildring
Kartdata frå Statens Kartverk	- Lidardatasett «Nordfjord Sunnfjord 2010» - Lidardatasett «NDH Eid 2017» - Topografisk Norgeskart 3 til 18.04.18 - Topografisk Norgeskart 4 frå 19.04.18 - FKB høgdekurver
Flybileter frå Norge i bilder	- Ortofoto «Sogn 2010» - Ortofoto «Sogn 2015»
Norges Meteorologisk institutt, eKlima	- Meteorologiske data
NGU, Norges geologiske undersøkelser	- Lausmasse- og berggrunnskart
NVE, Norges vassdrag- og energidirektorat,	- NVE Atlas, skredhendingar og brattheit

4.3. Kartlegging og analysar i ArcGIS

Skredhendinga som det leggast vekt på i denne analysen er det trekantforma jordskredet som vart utløyst i november 2013. I tillegg vart eit kanalisert skred frå same hending brukt til å vurdere resultatet frå det trekantforma skredet. Hendingane er fanga opp i ortofoto «Sogn 2015» med ein oppløysing på 0.25 m. Bileta er teke 21.09.2015 og utgjeve av Kartverket i april 2016. Eit utsnitt vart brukt og detaljert kartlagt i ArcGIS. Skredløpet sine ytterkantar vart digitalisert for alle dei tre hendingane i 2013, der to av desse er brukt i analysen. Det trekanta jordskredet vart i tillegg samanlikna med GPS-spor. Flyfoto frå Skredestranda saman med SVV sine rapportar frå skredhendingane vart studert nøye for å bestemme losneområdet. Ved bruk av «Edit» verktøyet i ArcGIS vart losneområdet avgrensa.

Førebuingar for å kunne simulere skred i RAMMS (Bartelt, Bieler, et al., 2017) har vorte utført i ArcGIS. Det viktigaste er terrengraster i ASCII format, der blei det nytta fire ulike. To av terrengraster er basert på FKB høgdekurver, desse har 1 m ekvidistanse i stripa med lidardata frå 2010, 5 m ekvidistanse opp til 600 m o. h. og 20 m ekvidistanse deretter. Ved hjelp av verktøyet «Topo To Raster» blei det laga to raster, ein med 5 m og ein med 3 m oppløysing. Dessutan blei det brukt terrengraster i 0.25 m og 1 m oppløysing basert på lidardata frå 2017. Oppløysinga til terrengrasterane vart overstyrt og satt til 3 m i RAMMS for å korte ned simuleringstida (pers. med. Kronholm, 2018). Vidare blei alle desse terrengrasterane konvertert med verktøyet «Raster to ASCII». Ortofoto ble lagra i 1 m oppløysing i TIFF format for at RAMMS skulle kunne nytte det. Losneområdet vart overført til RAMMS som shapefiler.

4.3.1. Volumberekning

På sørsida av Hornindalsvatnet, finnast det ei om lag 250 m brei stripe med Lidardata med 0.5 m oppløysing frå prosjektet «Nordfjord Sunnfjord 2010». Opphavelag plan var å samanlikne denne høgdemodellen med terrengmodell laga med drone for å estimere volum for dei ulike skreda. Det viste seg at det i august 2017 vart gjennomført ei ny runde med innsamling av lidardata i samanheng med kartleggingsoppdraget «Nasjonal detaljert høgdemodell» som vart gjort tilgjengeleg av Kartverket 11.1.2018. I studieområdet dekke dette prosjektet «NDH Eid 2017» ein omlag 1300 m brei stripe og overlappar med lidardatasettet frå 2010. Ved hjelp av «Raster Calculator» i ArcGIS vart høgdeforskjellen berekna mellom desse to lidardatasett før og etter skredhendinga i 2013. Negative celler i kartlaget betydde erosjon, medan positive celler betydde avsetning. Verktøyet «Reclassify» vart brukt for å lage eit kartlag som skilde positive og negative cellediar. Vidare vart verktøyet «cut fill» brukt for å kalkulere endringane i volum mellom to overflater. Eit nytt rasterdatasett vart laga for å vise volumendringane mellom dei to lidardatasetta. «Zonal statistics» vart brukt for lage ein tabell over volumendringane. Ut av resultatet vart det berekna ei volumendring i dei delane av skredbana det ikkje var lidardekning frå 2010.

4.3.2. Flow accumulation

Analyse av flytemønsteret til overflatevatn vart gjort med bruk av «Flow accumulation» frå verktøypakken «Hydrology» i ArcGIS. «Flow Accumulation» kan avdekke områder der overflatevatn har tendens til å samle seg. Difor er det viktig å undersøke at den terrengmodellen som blir brukt ikkje har unaturlege søkk eller hol datagrunnlaget som kan påverke resultatet. Det kan avdekkast ved å bruke «Sink» og deretter «Fill» for å korrigere og glatte over desse (Esri, 2017c). For å kunne bruke analyseverktøyet «Flow Accumulation» må det på førehand lagast ein raster med informasjon om flyteretning frå ei celle til nabocella ved hjelp av «Flow Direction» verktøyet (Esri, 2017b). Flyteretninga til ei celle vil vere den retninga vatnet flyte ut av cella (Jenson & Domingue, 1988). Resultatet frå «Flow Direction» er ein rasteren som brukast som input i «Flow Accumulation» verktøyet som sumerar kor mange celler som leiar vatn inn til kvar celle. Døme er dersom ei celle har verdi på 10 000, så fortel det at 10 000 andre celler leiar vatn til denne cella (Esri, 2017a; Jenson & Domingue, 1988).

4.4. Skredsimulering i RAMMS

Målet med simuleringdelen av oppgåva er å finne den beste måten å simulere flaumskred der utløpslengde ikkje er kjent. Vanlegvis er utløpslengda ein enkel måte å samanlikne simulering med det faktiske skredet (Bartelt, Bieler, et al., 2017; Bartelt, Bühler, et al., 2017). Fordi skredmassane går ut i Hornindalsvatnet let det seg ikkje enkelt måle. Det vart vurdert å ta kjerneprøver av botnen av vatnet, men det vart for tidkrevjande for dette prosjektet. Berekning av høgdeforskjell i terrenget frå 2010 til 2017, syner at det er lite avsetning på land. Dermed er heller ikkje totalvolum av skredet kjent, men det totale erosjonsvolumet er estimert på bakgrunn av dette resultatet. Andre parametrar som hastigheit, strømming og erosjon var heller ikkje målt når skredet gjekk. Det er i utgangspunktet ein vanskelig føresetnad for å simulere, men ikkje uvanleg sidan mange norske skred har utløp i vatn eller sjø. Med bakgrunn i manglande referanseverdier, er det mest realistiske formålet å etterskape skredbana samt og estimere eit grovt volum ved hjelp av gamle og nye lidardata.

For å simulere skred har RAMMS (Rapid Mass Movements Simulation) vorte brukt. RAMMS er eit to-dimensjonalt dynamisk modelleringsprogram som kan simulere massebevegelsar og framstille dei som tredimensjonale digitale kart. RAMMS har tre modular, ein for fjellskred, snøskred og flaumskred, der snøskredmodulen var først utvikla. I denne masteroppgåva vart flaumskredmodulen brukt. Flaumskredmodulen basera seg på feltobservasjonar gjort i ein observasjonsstasjon i Illgraben, Sveits (Bartelt, Bieler, et al., 2017; Frank, McArdell, Huggel & Vieli, 2015; Frank et al., 2017).

Flaumskredmodulen bruker Voellmy-Salm friksjonslov (Bartelt, Bieler, et al., 2017; Bartelt, Bühler, et al., 2017). Modellen basera seg på ei likning der friksjonsmotstanden er todelt. Coulomb-friksjonen (koeffisienten μ) tek omsyn til den faste delen av skredet og er viktig når skredet stoppar opp. Medan den andre koeffisienten tek omsyn til hastigheit og viskøs turbulent friksjon (koeffisienten ξ). Formelen for friksjonsmotstand S er;

$$S = \mu \rho H g \cos(\phi) + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

Der ρ er tettheit til skredmassane, g er gravitasjonsakselerasjon, ϕ er hellinga til skredbana, H er flytehogde til skredet og U er hastigheit.

Voellmy friksjonsmodellen har vore brukt i Sveits i mange år og det har vorte utvikla standardparametrar. I simuleringa er friksjonskoeffisienten konstant, men det er mogleg å dele inn i fleire kalkuleringssoner og bruke forskjellige friksjonsparametrar i same skredbana (Bartelt, Bieler, et al., 2017). I den nyaste versjonen (versjon 1.7.0) av flaumskredmodulen er kohesjon implementert i friksjonslikninga. For å ta omsyn til kohesjon har parameteren N_0 vorte teke med i likninga. Med denne metoden er det muleg å modellere plastiske materialar. Den nye likninga for friksjonsmotstand S er;

$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\xi} + (1 - \mu)N_0 - (1 - \mu)N_0 e^{-\frac{N}{N_0}}$$

Der N_0 er kohesjonen til det flytande materiale. Ulikt standard Mohr-Coulomb relasjonar forsikra denne formelen at $S \rightarrow 0$ når både $N \rightarrow 0$ og $U \rightarrow 0$. Det aukar skjerspenning og medføre difor at flaumskredet stoppar tidlegare, avhengig av verdien til N_0 (Bartelt, Bieler, et al., 2017). Den nye versjonen av RAMMS::Debris Flow inneheld også sentrifugalkraft innlemma i normalkrafta N som oppstår på grunn av terrengkurvatur.

4.5. Blokkutløysing og hydrograf

I flaumskredmodulen kan ein velje kva losneforhold som skal brukast i simuleringa, enten hydrograf eller blokkutløysing. Blokkutløysing kan nyttast for små ikkje-kanaliserte flaumskred, medan det kan vere meir

passande å bruke hydrograf for kanaliserte skred i følge Bartelt, Bieler, et al. (2017). Kanaliserte skred følger bekkeløp, elv eller søkk i terrenget, medan ikkje-kanaliserte skred blir løyst ut i hellande terreng som flaumskred eller som grunne jordskred. Bruk av hydrograf krev detaljert kunnskap om mengde skredmassar som straumar forbi eit gitt punkt i skredbana. For å bruke hydrograf må ein enten vete utløysing til ulike tider på eit gitt område, eller estimert volum kombinert med empiriske forhold mellom total volum og maksimal utløysing. Bartelt, Bieler, et al. (2017) kallar det ei trepunkts hydrografkalkulering, men påpeikar at i naturen er hydrograf beskrive betre med fire punkt. Dette er informasjon som ikkje er kjent i dette studieområdet. Difor vart det berre brukt blokkutløysing i denne oppgåva. Med den metoden kan ein bruke djupna på det kartlage losneområdet som verdi for blokkutløysing. Skredsimuleringa vil ikkje ta opp materiale undervegs i skredbana om ikkje den nye erosjonsmodulen blir brukt. Definerings av losneområde og losnehøgda har dermed sterk innverknad på simuleringresultatet. Det er anbefalt å støtte seg til bileter, kartlegging frå felt og GPS-målingar for å tolke losneområdet godt (Bartelt, Bieler, et al., 2017).

4.5.1. Erosjon

I den nye versjonen av flaumskredmodulen kan ein simulere kor djupt eit flaumskred erodera i sedimenta. Erosjonsmodulen er basert på feltobservasjonar frå teststasjonen i Illgraben i Sveits der det vart gjort laserscanningar av flaumskred. Observasjonane indikera at erosjonsdjupna aukar med strøymingsstyrken. Andre observasjonar viser at små flaumskred ikkje alltid har eroderande krefter. Difor inkludera modellen ein kritisk skjerspenning som tillèt erosjon berre når skjerspenninga i ei gitt celle overskrider den kritiske skjerspenningsverdien (Bartelt, Bieler, et al., 2017; Frank et al., 2015; Frank et al., 2017).

For å simulere med erosjon må følgjande erosjonsparametrar brukast. Erosjonstettheit, erosjonsrate, potensiell erosjonsdjupn, kritisk skjerspenning og maksimal erosjonsdjupn. RAMMS::Debris Flow manualen anbefala å bruke erosjonstettheita som er førehandsvalt i programmet med mindre ein har meir detaljert informasjon. Erosjonsraten er raten som fortel kor mykje sediment flaumskredet tek med seg. Manualen anbefala å bruke parameteren 0,025 m/s som er kome fram til gjennom testing i Illgraben av Berger, McArdell og Schlunegger (2011a, 2011b). Dette er hastigheita som modellen brukar for til å erodere ned til den bestemte erosjonsdjupna. Å auke denne hastigheita kan gje store skred som resultat. Potensiell erosjonsdjupn er ein lineær funksjon av maksimal erosjonsdjupne i meter og skjerspenning i kPa (Frank et al., 2015). Stigingstalet for den lineære funksjonen er 0,1 m/kPa og er den anbefalte verdien å bruke for parameteren potensiell erosjonsdjupne. Den kritiske skjerspenninga avgjer når medrivning av sediment skal starte i skredløpet. I følge Bartelt, Bieler, et al. (2017) kan ein vente at vassmetta sand og grus har lågare skjerspenning enn kva blokker og grove sediment vil ha. Maksimal erosjonsdjupn kan setjast om ein veit kor tjukk sedimentmassen er på staden.

Ved bruk av den nye erosjonsmodulen kan losneområdet avgrensast til ein realistisk storleik. Utan erosjonsmodulen medførte blokkutløysingsmetoden at det totale skredvolumet måtte brukast som losnevolum for å kompensere for manglande erosjon. Dermed kunne losneområdet ha usannsynleg høg losnekant på opptil 10 m for få riktig totalvolum. Alternativt vart eit urealistisk stort losneområde brukt for å kunne halde brotkanten på ei realistisk høgde. Ingen av desse løysingane speglar det som faktisk skjedde under skredhendingane, men gir eit bilete på korleis eit skred med det volumet oppføre seg. I denne masteroppgåva er den nye erosjonsmodulen testa systematisk for å avdekke korleis dei ulike erosjonsparametrane påverkar skredsimuleringa. Manglande sikre parametrar gjer at det i denne analysen leggast vekt på korleis simuleringa følgjer den kartlagde skredbana og kva erosjonsvolum som RAMMS::Debris Flow estimerer. Det vart også gjort testar utan erosjonsmodulen for å undersøke skilnaden med og utan.

4.6. Sensitivitetsanalyse

Det har vore utført ein sensitivitetstest med RAMMS::Debris Flow sin erosjonsmodul. Ein sensitivitetstest blir utført ved å variere ein verdi per simuleringsforsøk, medan dei andre vert halden konstant. Det avdekkjer kva den eine verdien har å seie for simuleringsresultatet. Med denne metoden kan ein finne kva verdiar og parametarar som gir mest realistisk bilete av den tidlegare hendinga. Resultatet kan også brukast som utgangspunkt for simuleringar av potensielle skred.

Sensitivitetsanalyse av erosjonsverdiane vart utført ved å variere ein av dei tre erosjonsverdiane per simulering, medan dei andre vart halde konstant. Skredet vart delt inn i tre erosjonssoner på grunnlag av observerte erosjonsspor i skredbana etter skredhendinga. Desse spora vart undersøkt i felt og på bilete frå hendinga. Alle dei tre sonene vart testa med varierende verdi for erosjonsrate, potensiell erosjonsdjupn og kritisk skjerspenning. Ein kan velje å bruke eigne verdiar for erosjonsparametrane, eller ein kan velje mellom tre verdiar oppgitt som alternativ i nedtrekksmenyen. Alternativa gitt i nedtrekksmenyen er oppgitt i tabell 1. Dei verdiane som er anbefalt i RAMMS::Debris Flow brukarmanual er lista under «anbefalt» i tabellen (Bartelt, Bieler, et al., 2017). Denne sensitivitetsanalysen er utført med å variere dei tre alternativa i nedtrekksmenyen gitt av RAMMS::Debris Flow. I dette tilfellet med 3 erosjonssoner gjev det 27 ulike kombinasjonar som alle er testa systematisk. I tillegg kjem val av maksimal erosjonsdjupn. Maksimal erosjonsdjupn vart variert ved å manuelt legge inn verdiar mellom 0,2 – 0,4 m for erosjonssona i losneområdet og erosjonssona for skredbana. I utløpsområdet varierte maksimal erosjonsdjupn mellom 5 – 8 m på grunnlag av estimert endring i høgde frå lidardata 2010 og 2015. Mange kombinasjonsmulegheiter gjer at ein kan teste inntil resultatet liknar skredhendinga.

Tabell 2 viser erosjonsparametrane som brukast i den nye erosjonsmodulen i RAMMS::Debris Flow og kva verdiar som kan veljast frå nedtrekksmenyen. Dei parametrane som er anbefalt å bruke i manualen er markert.

Parameter	Anbefalt		
Erosjonsrate (m/s)	0,05 (loose, wet sediment)	0,025 (normal)	0,013 (densely packed sediment)
Potensiell erosjonsrate (per kPa)	0,2 (deep)	0,1 (medium)	0,05 (shallow)
Kritisk skjerspenning (kPa)	1,5 (high)	1,0 (medium)	0,5 (low)

Det vart utført simuleringar med varierende xi verdi (ξ) (m/s^2). I følgje RAMMS::Debris flow manualen er små verdiar for ξ brukt for strøymingstypar som inneheld massar av stor kornstorleik. Å bruke låg verdi for ξ betyr at skredmassane har inneheldt finmassar som jord og leire. RAMMS::Debris Flow manualen forslår å bruke $\xi = 200 m/s^2$ der anna ikkje er kjent. Verdien ξ vart variert mellom 100 og 1000.

5. Resultat

I dette kapittelet vert resultat frå dei metodane som er omtala i førige kapittel vist. Eit realistisk resultat vil vere ei skredsimulering som har sin utbreiing langs dei kartlagde ytterkantane for trekantskredet og med eit volum mellom 50 000 m³ og 80 000 m³.

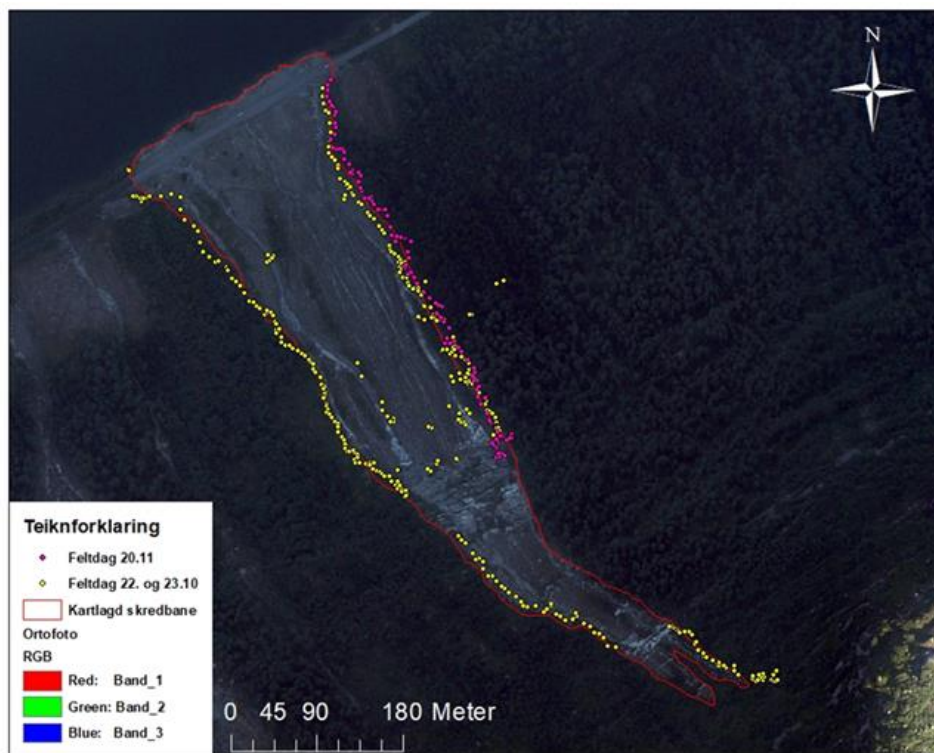
5.1. Skredhending 15. november 2013

15. november 2013 gjekk det eit mindre jordskred over vegen ca. kl. 18.00. Vegen vart stengd som følgje av dette. Det trekanta jordskredet kom same kvelden rundt kl. 21-22.00. Same natta gjekk eit mindre skred

vest for trekantskredet. Dette stengde også vegen. I alt kom det tre skred på ettermiddagen og natta 15.-16 november i 2013 (Hynne, 2013). Det er det trekantforma jordskredet under denne hendinga som er vektlagt i dette resultatet. I tillegg vart det utført simulering av eit kanalisert skred frå same hending som også vert vist i resultatet.

5.2. Feltarbeid

Resultatet frå feltarbeidet var GPS-punkt som markerte skredbanas ytterkant. Det vart også markert punkt for blokker og ved tydelege erosjonskanalar i terrenget. Under feltperioden 22.-23.10.17 vart det gått GPS-spor langs heile skredbana der det var framkomeleg. På grunn av bratte fjellhamrar var det ikkje alle stadar mogleg å ferdast til fots, skredkanten vart ikkje kartlagd i dei områda. GPS-sporet er vist med gule og rosa punkt i figur 5. Resultatet viser at dei gule punkta på austsida ikkje samsvara med ytterkant av skredbana på ortofotoet. Fem av GPS-punkta er plassert mellom 28-70 m aust frå næraste GPS-punkt langs skredbana. Difor vart austsida av skredet gått på ny med GPS for å sikre kvaliteten. Feltdagen vart utført 20.11.17. Resultatet er synt med rosa GPS-punkt på figur 5 og viser ei linje som samsvara med Ortofotoet.

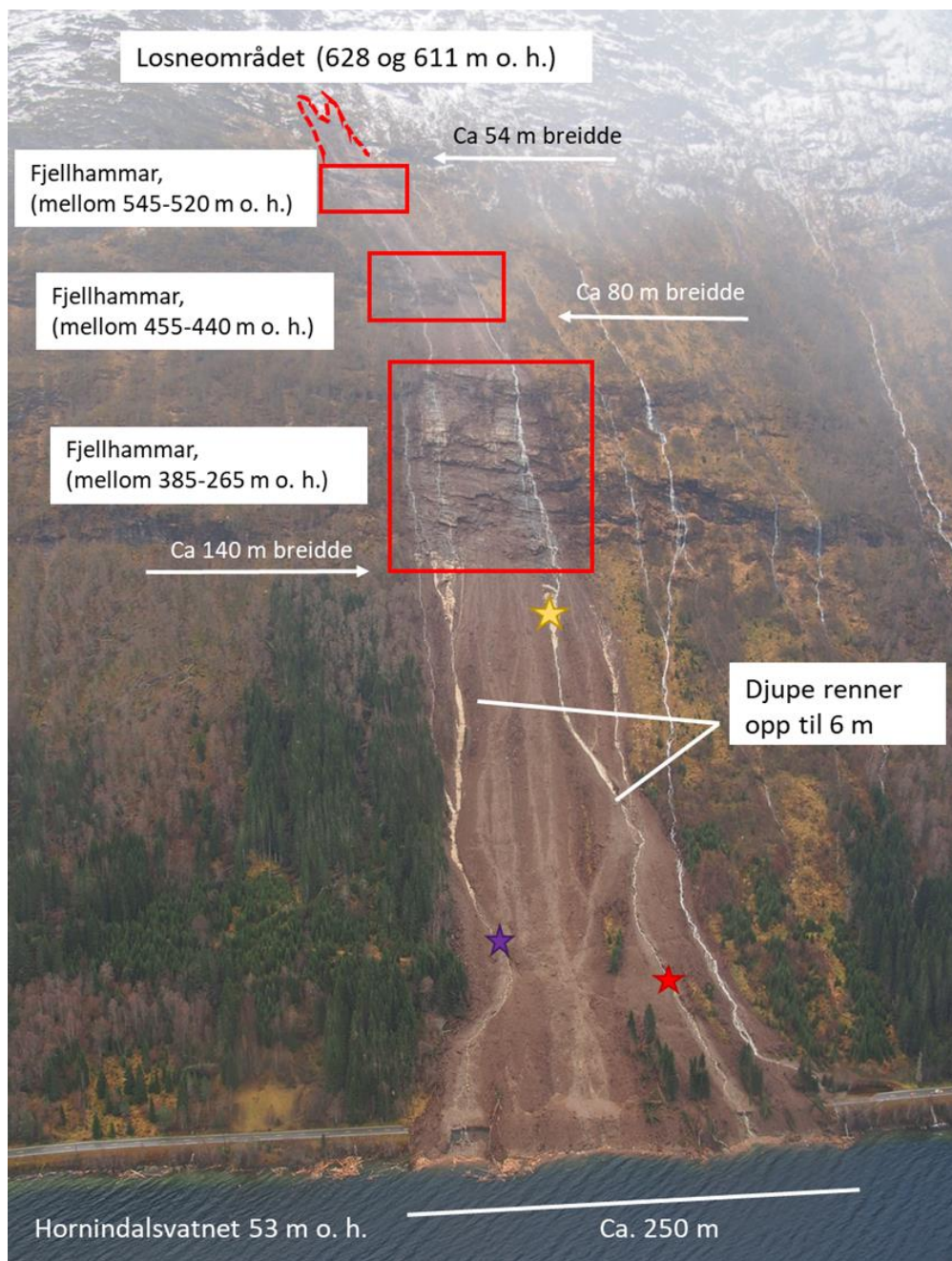


Figur 5. Ortofotoet inneheld GPS-punkt som vart tekne under tre feltdagar. Den kartlagde skredbana i raudt vart digitalisert på bakgrunn av GPS-punkta og ortofotoet. Gule GPS-punkt vart tekne på feltdag 22. og 23.10.18. Rosa vart tekne 20.11.18.

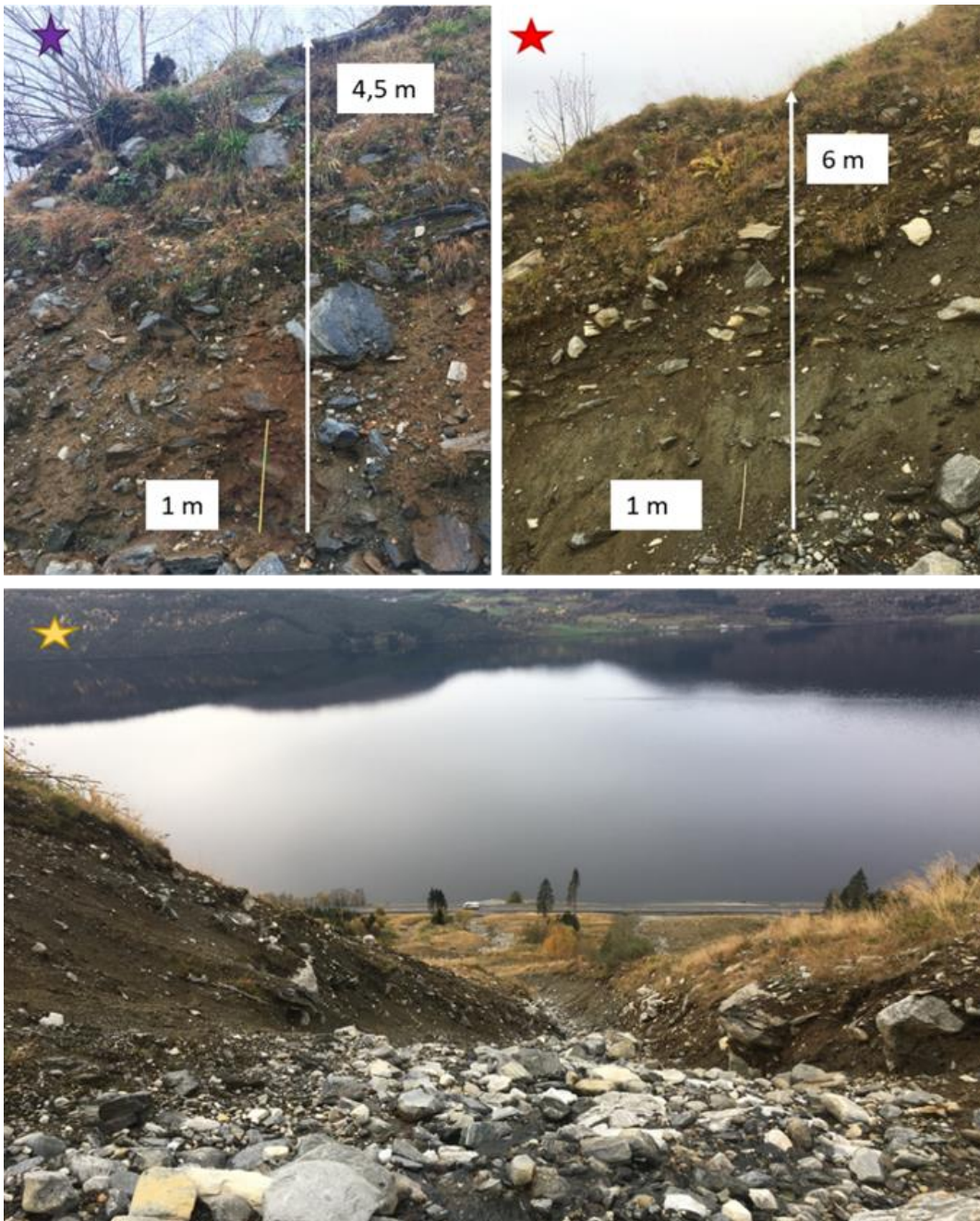
5.3. Bileter frå feltarbeid og skredhendinga

Figur 6 viser eit oversiktsbilete teke i helikopter (foto: Jan Helge Aalbu) dagen etter skredhendinga 16.11.13. Den raudе, stipla linja syner omrisset av losneområdet. Bilete i figur 8B er eit foto teke på synfaringsdagen 23.10.17 og syner losnepunktet som er til høgre i bilete A. Losneområdet er markert inn med raud stipla linje og det er angitt omlag høgde for dei to losnepunkta. Tolking av bileter og feltobservasjonar tyder på at skredet har losna som eit grunt skred mellom 0,2 – 1 m brotkant (Vegdirektoratet, 2014). Tre fjellhamrar var observert under feltarbeidet og på fotografi frå hendinga. Desse tre er markert med raud firkant og angitt m o. h. for start og slutt. I nedre del av skredbana vart det observert tydelege erosjonskanalar og renner, desse er markert med kvite linjer. Dei tre stjernene markerar kvar bilde vist i figur 7 er tekne. Figuren viser

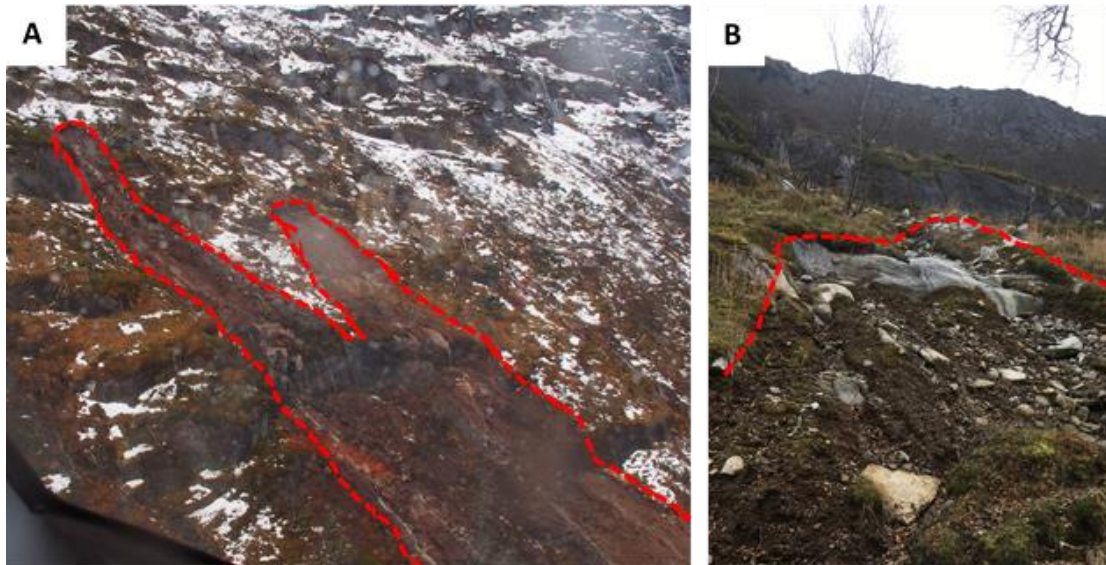
mektigheita til to eroderte kanalar der ein meterstokk er brukt som referanse, desse bilda er merka med lilla og raud stjerne. Resultatet frå desse bileta viser dårleg sortering i lausmassane, noko som kan tyder på moreneavsetningar og skredavsetningar (Nichols, 2009) Bilete med gul stjerne gir ei oversikt av den eine kanalen frå under nedste fjellhammar og ned mot Hornindalsvatnet. Figur 9A og B er bileter teke frå feltarbeidet 23.10.17. Bilete 9A er teke på den øvste fjellhammaren og viser to tydelege hovudkanalar. Bilete 8B er teke på den nedste fjellhammaren og viser teikn i vegetasjonen ved at vekstretning er endra ned mot skrenten.



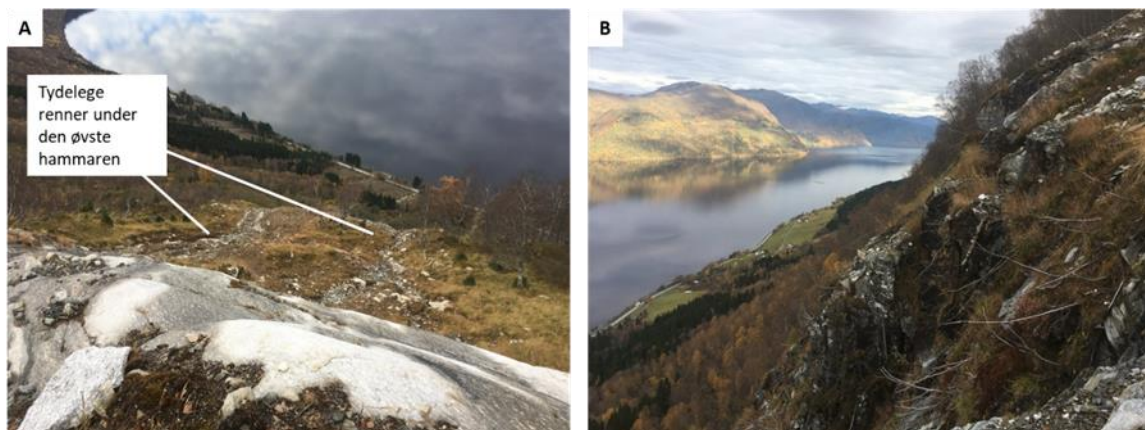
Figur 6 viser eit oversiktsbilete teke dagen etter skredhendinga (fotograf: Jan Helge Aalbu). Dei tre raude firkantane markera tre fjellhamrar i skredbana. Dei tre stjernene markera kvar bileta i figur 7 er tekne. Gjeve att med tillating



Figur 7 viser tre bileter av erosjonsspor i nedre del av skredløpet. Bileta med lilla og raud stjerne har angitt målestokk og viser målt erosjonsdjupne i erosjonskanalane. Bilete med gul stjerne er eit oversiktsbilete teke i skredløpet. Stjernene er viser kor bileta er tekne i figur 6.



Figur 8 Bileta A og B viset losneområdet for skredet. Bilete A er teke dagen etter skredhendinga (16.11.13 fotograf: Jan Helge Aalbu), medan bilete B er teke i feltarbeidet i 2017. Gjeve att med tillating.



Figur 9 viser to bilete teke under feltarbeidet. Bilete A er teke på den midtre fjellhammaren, medan bilete B er teke på den nedste fjellhammaren.

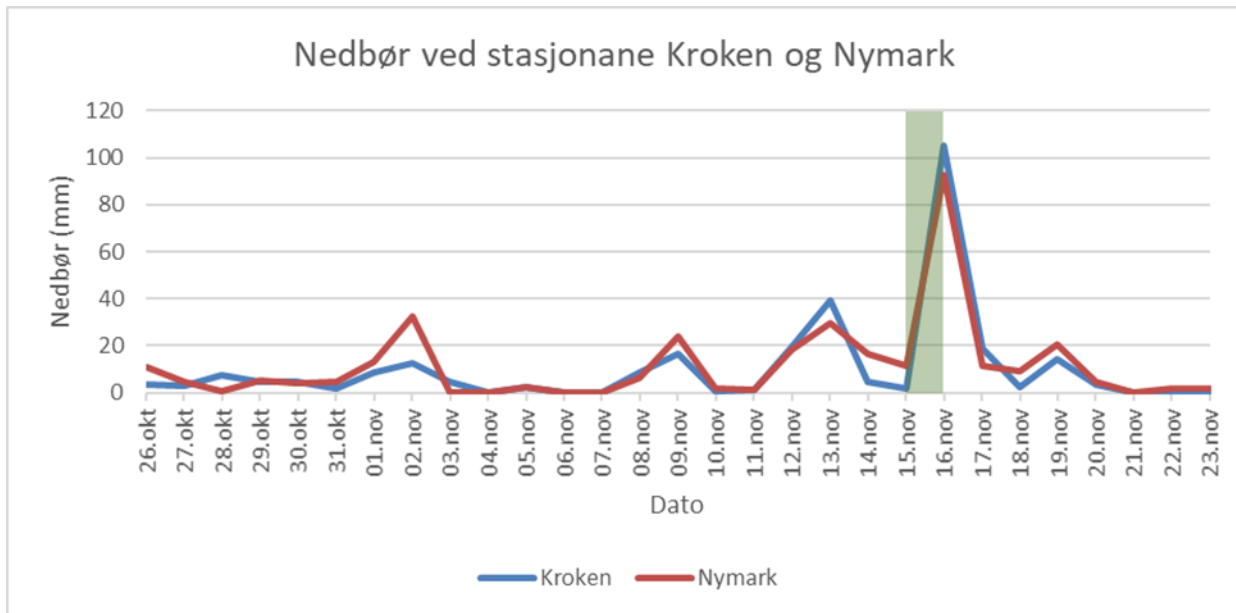
5.4. Vêrsituasjon og meteorologiske data

Det var under stormen «Hilde» at tre skred losna på Skredestranda. Eit lågtrykk oppstod sør for Island i ei grense der varm og fuktig luft frå subtropane møtte kald polarluft. Det gav eit området med store temperaturkontrastar mellom luftmassane og eit stormsenter vart utvikla (MET, 2013). Lågtrykket utvikla seg og kom inn over Norskekysten og var på sitt sterkaste då det nådde kysten. Slike stormar fører ofte med seg nedbør. Vêrstasjonen for nedbør som er nærast Skredestranda er Nymark Nordfjordeid som ligg 34 m o. h. og Kroken Stryn 208 m o. h. (figur 10). Nymark og Kroken målestasjon måler nedbør kvar morgon. I veka før skredhendinga kom det nedbør kvar dag. Fredagsmorgon og til laurdagsmorgon målte Nymark 92,8 mm nedbør medan Kroken målte 104,9 mm. Gunnlaug H. Brendehaug gjorde private målingar av døggnedbør på Hopland (fig. 10). Frå kl. 06.30 15.11.13 til omlag kl. 02.00 16.11.13 målte ho 91 mm nedbør, inntil då den høgste målinga på 30 år (pers. med. Brendehaug, 2018). Målestasjonen Kroken Stryn er den næraste stasjonen som målar temperatur. Tala ei veke før skredhendinga viser at middeltemperaturen var høgast den dagen skreda vart utløyst. Då var temperaturen 7,5 °C. Veka før skredhendingane låg temperaturen i snitt på 2,6 °C. Målestasjonen Nymark målar snødekket i cm. Normalperioden for nedbør 1961-1990 er også henta frå Sindre som målte nedbør til år 2005 og er difor ikkje brukt for skredhendinga. Alle målte meteorologiske data er henta frå Norges Meteorologisk Institutt (2018) og rådata finnast i Vedlegg 3, 4 og 5.

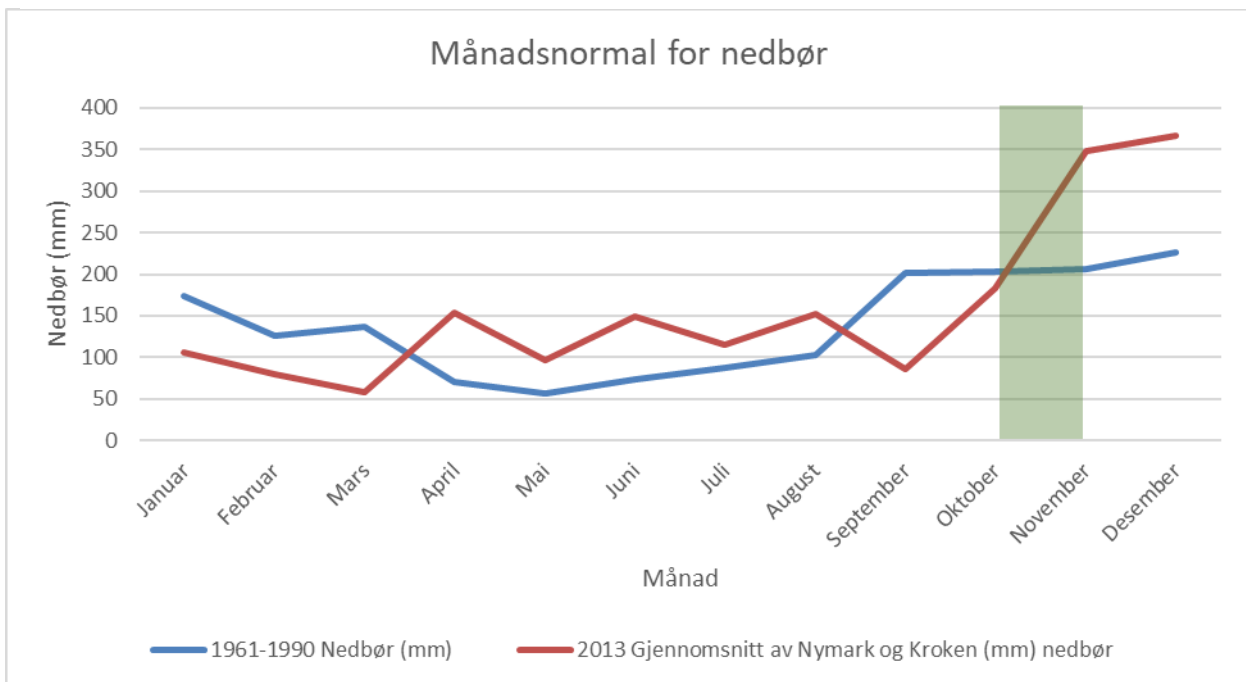
Nedbørsdata frå eKlima og xGeo er registrerte frå kl. 07.00 dag 1 til kl. 07.00 dag 2 og registrert på sluttdagen. Det vil seie at sidan den aktuelle skredhendinga på Skredestranda losna kvelden den 15.11.13, må nedbørsdata for 16.11.13 lesast av. Nedbørsdata for 16.11 er regn som har kome frå kl. 07.00 den 15.11.13 til 07.00 den 16.11.13. I figur 11 er nedbør tre veker før og ei veke etter skredhendinga henta frå Nymark og Kroken målestasjon. Grafen i figur 12 viser registeret nedbør for normalperioden 1961-1990 og for 2013. Månadsnedbøren for 2013 er eit gjennomsnitt av nedbøren for Kroken og for Nymark vêrstasjon. Medan figur 13 er nedbør, snø og temperatur for tre veker før hendinga og ei veke etter hendinga vist i grafen. Figur 14 interpolert snødjupne og snøsmelting er laga av data henta frå xGeo (xgeo.no, 2018). Interpolert data er ikkje fysisk målt, men berekna utifrå temperatur og nedbør frå næraste målestasjon.



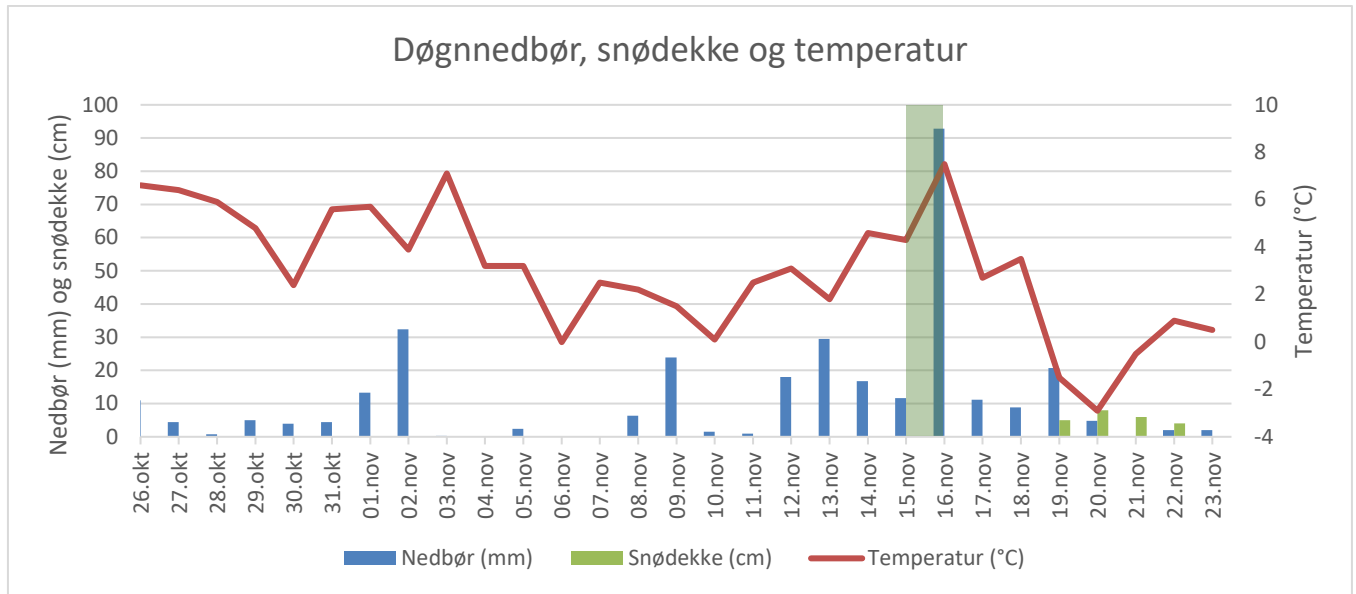
Figur 10. Kartet viser kor vêrstasjonane er plassert i forhold til Skredestranda og skredhendinga. Det gule punktet viser kor privatpersonen Gunnlaug H. Brendehaug gjorde egne målingar på hendingdagen.



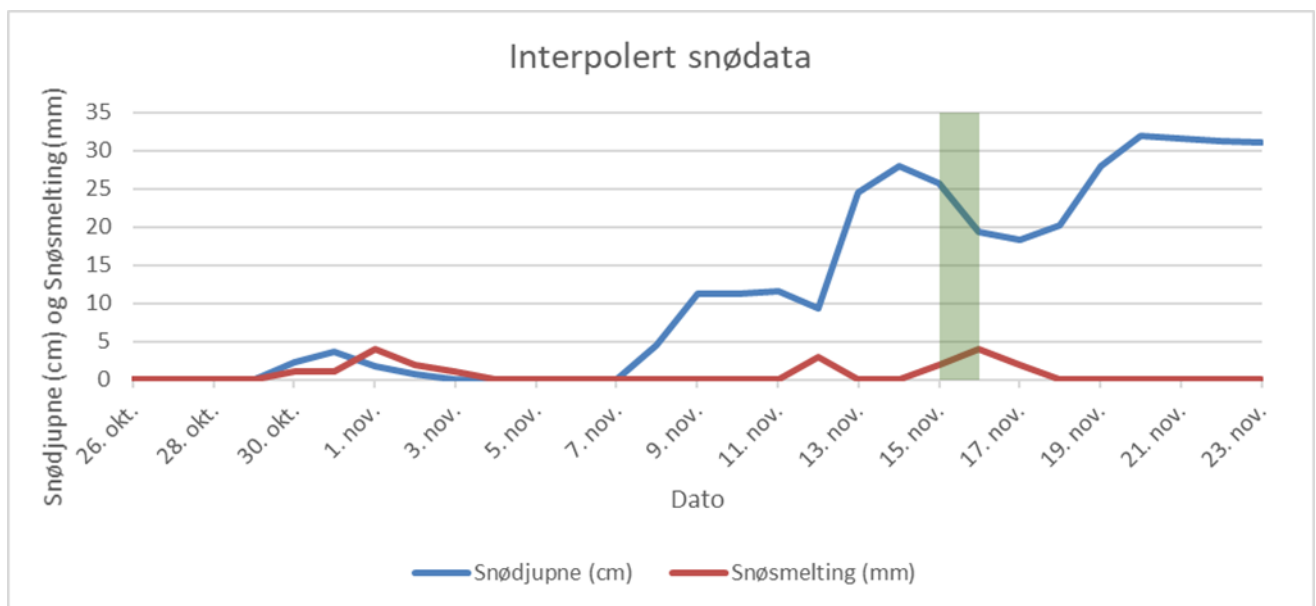
Figur 11 Grafen viser døggnedbør henta frå målestasjonane Kroken og Nymark. Døggnedbøren 16.11.13 var 104,9 mm for Kroken og 92,8 mm for Nymark. Det grøne feltet markera nedbørsdøgnet 15-16.11.



Figur 12 viser graf som inneheld månadsnormal for nedbør i normalperioden 1961-1990 og for 2013. Nedbøren for 2013 er eit gjennomsnitt av månadsnedbøren for Nymark og Kroken. Grafen viser at november 2013 hadde meir nedbør enn gjennomsnittet for normalperioden 1961-1990. I november 2013 kom det 348,3 mm nedbør, medan det kom 206,4 nedbør for normalperioden.



Figur 13 Grafen viser døgnnedbør (mm) og snødekke (cm) frå Nymark målestasjon på 34 m o. h. Temperaturen er henta frå Kroken.



Figur 14 Interpolerte snødata er henta frå xgeo.no (2018). Grafen viser snødjupne med blå linje, medan snøsmeltinga er vist med raud linje. Grafen viser at snøen byrja å smelte 14.11.13 og at snødjupna endra seg frå 25,7 cm til 18,3 cm frå 14.-17.11.

5.5. ArcGIS

5.5.1. Digitalisering

Det vart teke bileter frå helikopter av den aktuelle skredhendinga i 2013 av Statens Vegvesen. Nye dronebileter vart tekne under synfaring med Statens Vegvesen 15.09.2017. Begge sett med bileter har saman med ortofoto «Sogn 2015» og GPS-punkt frå feltdagane har vorte brukt for å digitalisere skredets omkrins. Figur 15 viser digitalisert omkrins av skredbana i raudt. Digitaliseringa er viktig for å identifisere resultatet under simulering i RAMMS.

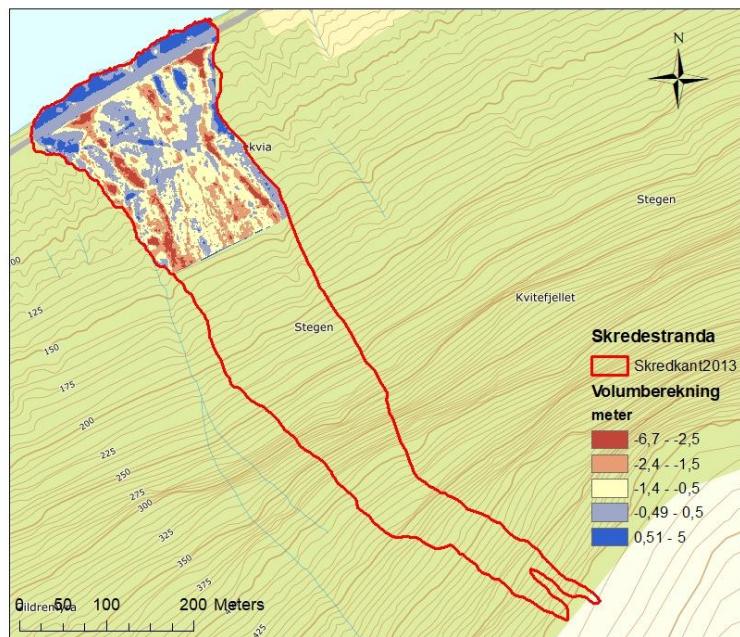
5.5.2. Volumberekning

Volumberekning vart gjort med nye lidardata frå 2017 og gamle lidardata frå 2010. Resultatet viser høgdeforskjell før og etter skredhendinga i 2013 og er vist på figur 15. Kartet viser minkande volum når gamle lidardata blir trekt frå nye lidardata. Områda markert med mørk blå farge er områder der volumet har auka, medan områda i lyseblått til raudt er områder der volumet har minka. Det er raudfargen som dominera noko som betyr at høgda har minka etter trekantskredet i 2013. Skilnaden i volum er 39015 m³ frå 2010 til 2017, altså er desse massane erodert vekk. Det gir gjennomsnittleg erosjonsdjupne på 0,9 m for området med lidardatadekning. Totalerosjon for skredhendinga vart estimert på bakgrunn av dette resultatet. Skredbana vart delt inn i soner for å kunne gje områder med djupe sedimentlag større erosjonsdjupne enn områder der lausmassedekket er tynt. Følgjande soner er inndelt; sone 1 er i losneområdet der lausmasselaget er tynt med innslag av bart fjell (sjå kap. 2.3 lausmassekart). Sone 2 ligg mellom dei to kartlagde hamrane i skredbana og har innslag av skredmaterieill og stadvis tynt dekke. Sone 3 ligg under nedre hammar og innebere stripa med lidardatadekning. Feltarbeid i området avdekkar stor mektigheit i lausmassane. Resultatet for total erosjonsvolum med varierte erosjonsdjupne er gitt i tabell 3, der verdiane for sonene er oppgitt i meter erosjonsdjupne. Det minste volumet vart estimert på bakgrunn av Sandøy et al. (2017) sine funn der 0,3 m erosjonsdjupne vart brukt gjennomgåande for alle skredhendingane i rapporten. Det totale erosjonsvolumet som vart brukt i denne oppgåva er 76 800 m³. Denne vurderinga kjem av resultatet frå samanlikninga av lidardatasettet som argument for at erosjonsdjupna ikkje kan vere lågare i same lausmassedekke, og at det er naturleg å bruke gradvis minkande erosjonsdjupne mot losneområdet der andre verdiar ikkje er kjente. Estimater vart brukt som grunnlag for vurdering av resultatet av sensitivitetsanalysen i RAMMS::Debris Flow.

Etter skredhendinga vart det gjort mindre tiltak der det vart laga tersklar i dei to tydelegaste vassførande skredløpa. Dette arbeidet vart utført med gravemaskin og det er truleg at i dette området har det vore gjort endringar som påverka analysen med dei to lidardatasetta. Lausmassar kan ha vorte køyrt vekk og auka høgdeskilnaden og dermed ført til større høgdeskiland i resultatet. Samtidig vart det gjort feltobservasjonar av lausmasser som var avsett i tersklane og som kan ha bidrege til å minke høgdeforskjellen. Samanlikning av dei to lidardatasetta vil ikkje vere heilt riktig. Samtidig er det ein peikepinn og eit grovt estimat, og det einaste alternativet til samanlikning av erosjonsvolum frå RAMMS i denne studien.

Tabell 3 viser tre volumberekningar som vart gjort for den kartlagde skredbana. I erosjonssone 3 vart 0,9 m berekna utifrå resultatet frå samanlikning av lidardata.

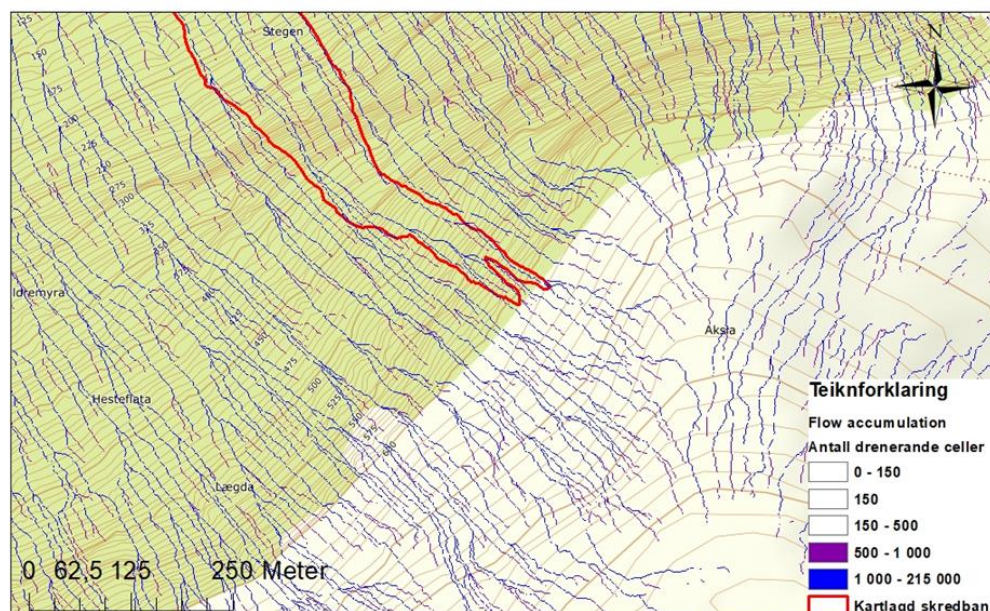
Sone 1	Sone 2	Sone 3	Total erosjonsvolum (m ³)
0,3	0,5	0,9	76 800
0,3	0,3	0,9	73 500
0,3	0,3	0,7	58 500



Figur 15 viser resultatet frå volumberegning gjort med å samanlikne dei to lidardatasetta frå 2010 og 2017. Mørkeblå farge viser avsetning, medan dei andre fargane viser erosjon. Volumet for området var negativt, altså var det erosjon i området

5.5.3. Flow accumulation

Analyse av dreneringsmønsteret til overflatevatn vart gjort med bruk av Flow accumulation. Resultatet viste ikkje teikn til større overflateavrenning i eller rundt losneområdet til skredet. I staden viste resultatet små dreneringspunkt langs heile skråninga (figur 16).

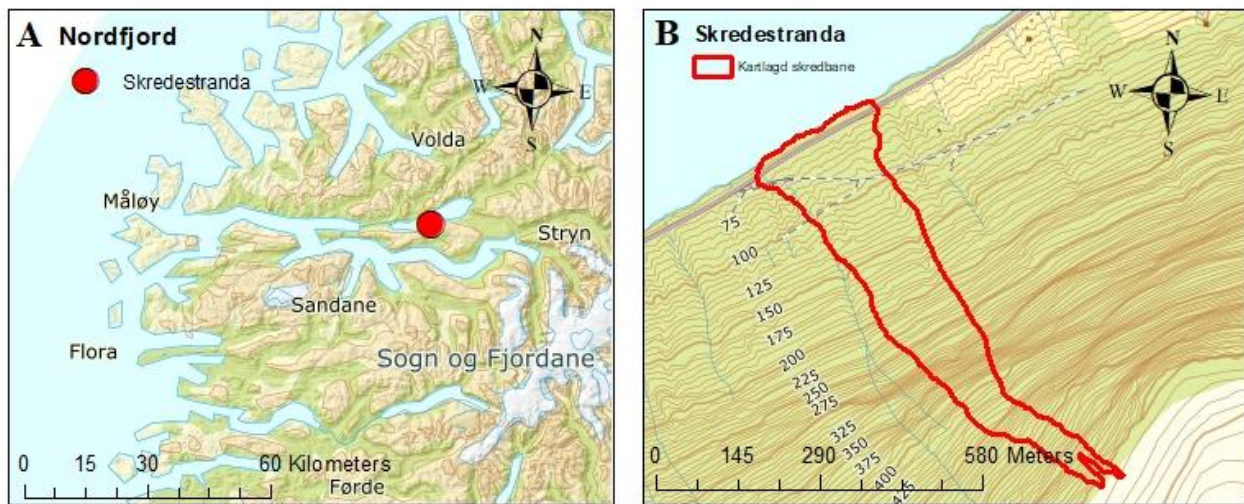


Figur 16 viser resultat frå Flow accumulation i ArcGIS. Lilla punkt betyr at cellene i det punktet får overflateavrenning frå mellom 500 og 1000 andre celler. Medan blå punkt betyr at punktet får overflateavrenning frå mellom 1000 og 215 000 andre celler. Verdiar mellom 0 og 500 er gjort gjennomsiktig for å betre vise signifikante resultat.

5.6. RAMMS

Ein sensitivitetstest har vore utført for å avdekke korleis bruk av RAMMS::Debris flow sin erosjonsmodul påverkar resultatet. I alt har det blitt gjort 61 simuleringar. Det blir kunn vist eit utdrag av resultatet og parametrane då det er for omfattande å syne det fullstendige settet. Informasjon om resterande parametrar som er brukt finnast i vedlegg 1 og 2.

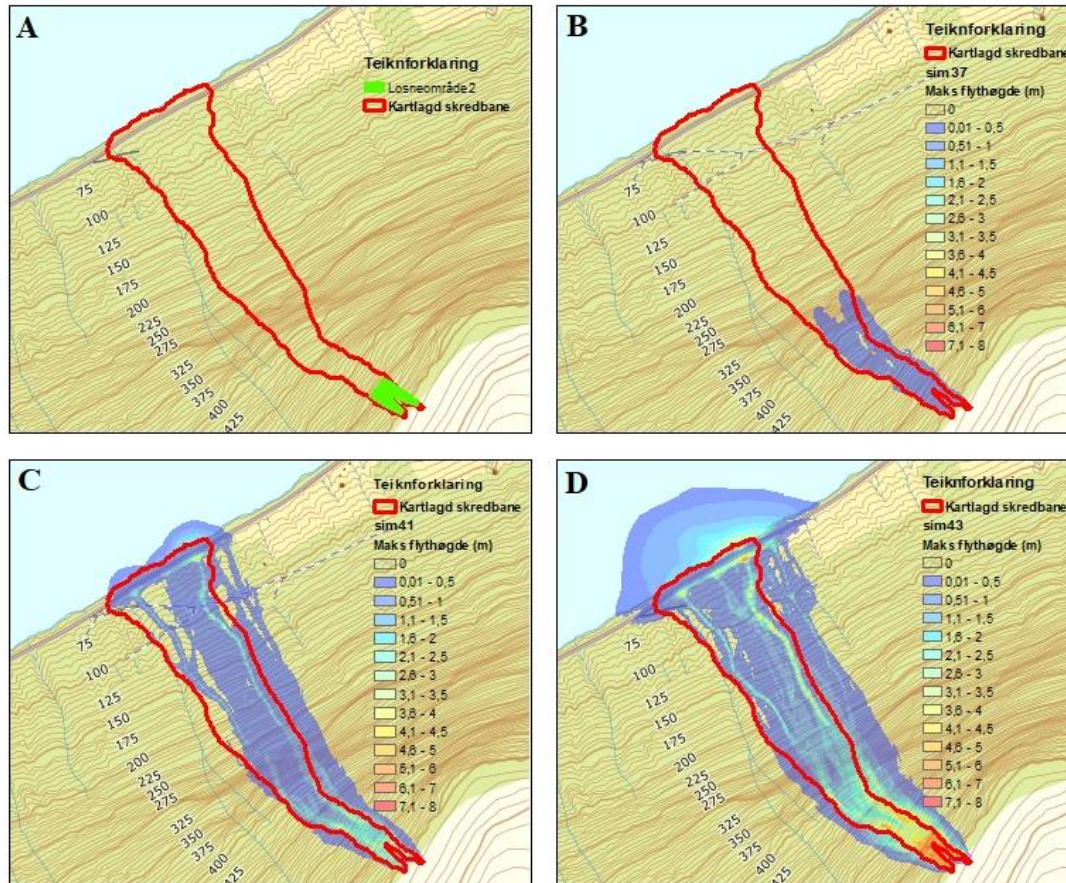
Figur 17A er eit oversiktskart som viser kor Skredestranda er plassert i Sogn og Fjordane, medan figur 17B viser resultatet av den kartlagde skredbana som har vore brukt gjennomgåande i oppgåva og til tolking av simuleringsresultatet. Den kartlagde skredkanten vil vere synleg på alle framtidige simuleringar og er hovudfokus for tolking av resultatet.



Figur 17 inneheld kart A og B. Kart A er eit oversiktskart der Skredestranda er markert med raud punkt. Kart B viser den kartlagde skredbana med nordpil og målestokk. Komande simuleringar vil ha den same målestokken og retning som kart B. Grunnen til at nordpil og målestokk ikkje visast på simuleringskarta er for å ikkje trekke merksemda vekk frå resultatet.

5.6.1. Test utan erosjonsmodul

Sensitivitetstest utan erosjonsmodulen er gjort ved å variere djupna på blokkbrotkanten i same losneområdet. Verdiane som er brukte er gitt i tabell 4. Figur 18A viser avgrensing av utløysingsområdet brukt for simuleringane vist i figur 18B-D. Resultatet på figur 18B følgjer den kartlagde skredbana, men stoppar tidleg i skredløpet. I figur 18C når skredet enden på den kartlagde skredbana, men fyller ikkje ut innafor det kartlagde området i nordvestleg retning. Simuleringa breia seg utanfor det kartlagde området på austleg side. Simuleringa vist på figur 18D dekker storparten av den kartlagde skredbana, men unntak av på nordaust side der det er områder som ikkje er dekt av simuleringa. Resultatet viser at simuleringa ligg utanfor kartlagd skredbane på austsida og har ei firkanta form.

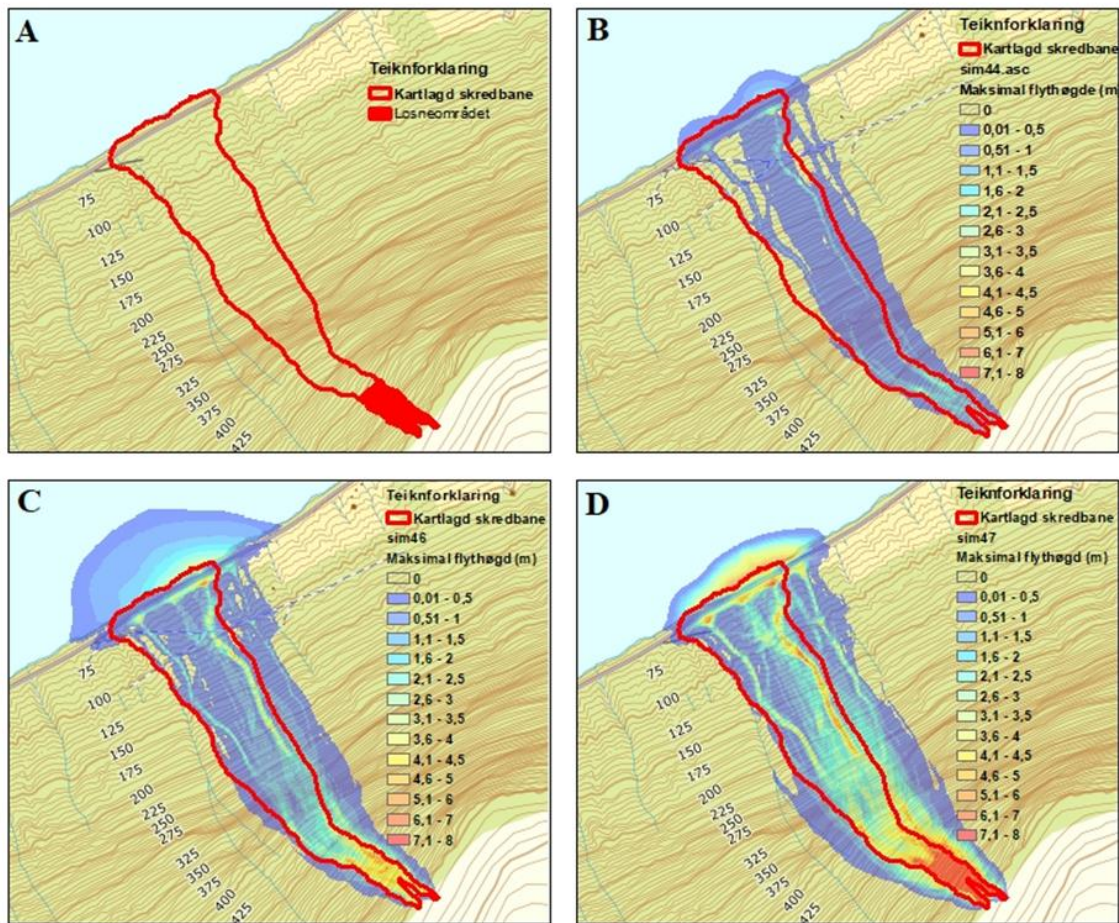


Figur 18 viser simulering utan bruk av erosjonsmodulen. Bilete A viser losneområdet som er brukt i simulering B-D. Ingen av dei tre simuleringane fyller ut eller held seg innanfor kartlagd skredbane. Inngangsverdiane er gitt i tabell 4.

Tabell 4 viser kva blokkbrotkant som var brukt i simuleringane i figur 18. Tabellen viser også kva losnevolum simuleringane hadde.

Figur 18	Blokkbrotkant djupne (m)	Losnevolum (m ³)
B	0,2	898
C	2,0	8975
D	6,0	26 925

Simuleringsresultata på figur 19 er gjort med eit større losneområde som er vist på figur 18A. Dei verdiane som er brukt kan lesast i tabell 5. Resultatet frå simuleringane er vist i figur 19B-D. I figur 19B dekkjer ikkje simuleringa den kartlagde skredbana i nordvest. Simuleringa breier seg ut over den kartlagde skredbana i austleg retning. Skredsimuleringa på figur 19C går utanfor kartlagd skredbane på begge sider i toppen av skredet og held fram på austsida. Blokkbrotkanten for skredsimuleringa vist i figur 19D er 9,7 m for å gje eit losnevolum som samsvara med estimert erosjonsvolum. Resultatet er breiare enn den kartlagde skredbana på begge sider til omlag 250 m o. h. deretter kunn på austsida. Både simulering 19C og D har ei firkanta form.



Figur 19. Simuleringane i desse figurane har større losneområdet (kart A) enn førre figur. Resultatet i figur B dekkjer ikkje den kartlagde skredkanten. I figur C og D går skredsimuleringa utanfor kartlagd skredbane.

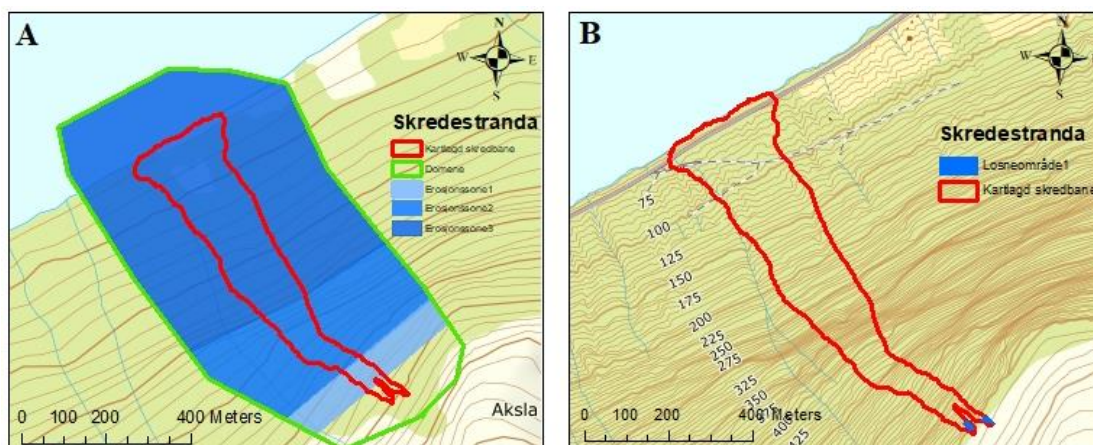
Tabell 5 viser kva blokkbrotkant som er brukt for simuleringane vist i figur 19B-D. Losnevolumet som RAMMS berekna er også vist i tabellen.

Figur 19	Blokkbrotkant djupne (m)	Losnevolum (m ³)
B	1,0	7231
C	4,0	28 925
D	9,7	70 142

5.6.2. Erosjonsmodul

På figur 20A er erosjonssoner og domene vist. Dei same er brukt for alle simuleringane der erosjonsmodulen er nytta. Erosjonssonene er avgrensa til tre områder bestemt av dei spora som var observert under feltarbeidet og er dei same sonene som vart brukt til estimering av erosjonsvolum. Erosjonssone 1 dekker eit området under losneområdet og går ned på den andre, synlege hammaren (figur 6, kap. 5.3). Frå denne og ned til den store hammaren går erosjonssone 2. Nedre del av skredbana er dekt av erosjonssone 3 som strekker seg over eit området der lausmassane har betydeleg større mektighet. Figur 20B viser to losneområder som er brukt for simuleringar utført med erosjonsmodulen. Dei to områda er avgrensa med bakgrunn i analyse av bilete og feltarbeid forklart i kapittel 5.2. Framtidige figurar av simuleringar vil bli vist i same utsnitt og målestokk og med same geografisk retning som på figur 20B. Altså vil ikkje nordpil og målestokk bli vist på komande figurar av simulering, dette for å ikkje lede fokuset vekk frå resultatet.

Tabell 6 inneheld dei erosjonsparametrane som har vore brukt for å simulere skred med erosjonsmodulen. Verdiane i tabellen er førehandsinnstilte når programvaren opnast og det er desse som er anbefalt å bruke i RAMMS-manualen (Bartelt, Bieler, et al., 2017). Det vil kunn vere dei parametrane som varierast og utgjer sensitivitetstestinga som bli teke med i framtidige tabellar. Dette for å lettare forstå kva parameter som er variert og for å unngå unødig repetisjon. Fullstendig liste over dei brukte verdiane er gitt i vedlegg 1 og 2. Bilete A i figur 21-27 i dei komande figurane som testar erosjonsparametrane er ei simulering der verdiane i tabell 6 er brukt. Såleis er simuleringresultatet frå dei varierte verdien lettare å tolke.



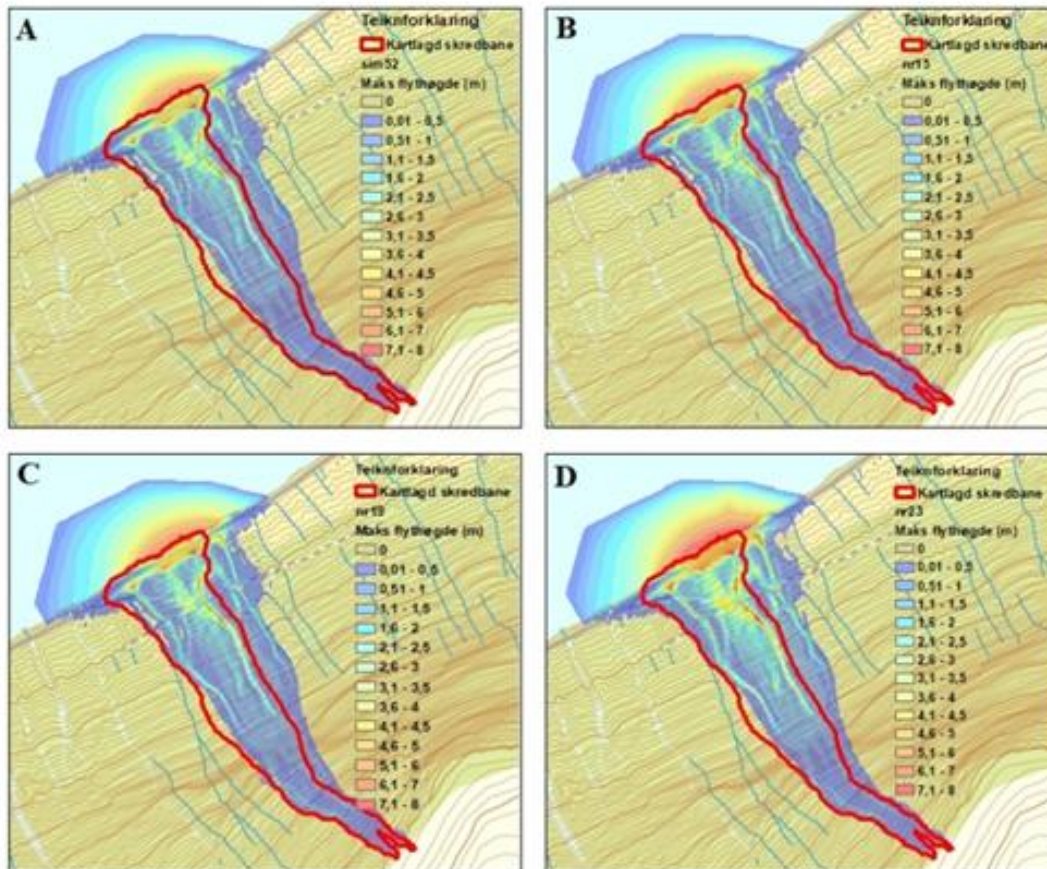
Figur 20 inneheld kart A og B, der A viser dei tre erosjonssonene som er brukt for alle simuleringane utført med erosjonsmodulen. Kart B viser dei to losnepunkta som er brukt i komande simuleringar. Komande simuleringar vil ha same kartutsnitt og retning som figur B. Det vil ikkje bli vist nordpil og målestokk for å unngå uønskt forstyring i resultatet.

Tabell 6 viser dei verdiane for erosjonssonene som er brukt som utgangspunkt for sensitivitetstesten.

Erosjonssoner	Erosjonsrate (m/s)	Potensiell erosjonsdjupne (per kPa)	Kritisk skjerstryke (kPa)	Maksimal erosjonsdjupne (m)
Sone 1	0,025	0,1	1,0	0,2
Sone 2	0,025	0,1	1,0	0,2
Sone 3	0,025	0,1	1,0	5,0

5.6.3. Test av erosjonsrate

Resultatet av simulering med auka erosjonsrate frå 0,025 til 0,05 (m/s) er vist i figur 21B-D. Verdiane som er brukt er oppgitt i tabell 7. Figur 21A viser ei simulering der verdiane som er brukt er anbefalt i RAMMS manualen (tabell 6, ovanfor) Figur 21A-C ser omlag like ut i utbreiing, medan figur 21D breia seg noko lenger utanfor den kartlagde skredkanten i austleg retning. Volumet er større for resultat B-D, samanlikna med A. Alle simuleringane får den karakteristiske trekantforma. Den maksimale flytehogda til figur 21B og D liknar referansesimuleringa A innafor kartlagd skredbane, medan resultat D har meir gult i nedre del av skredbana og dermed høgare maksimal flytehogde.

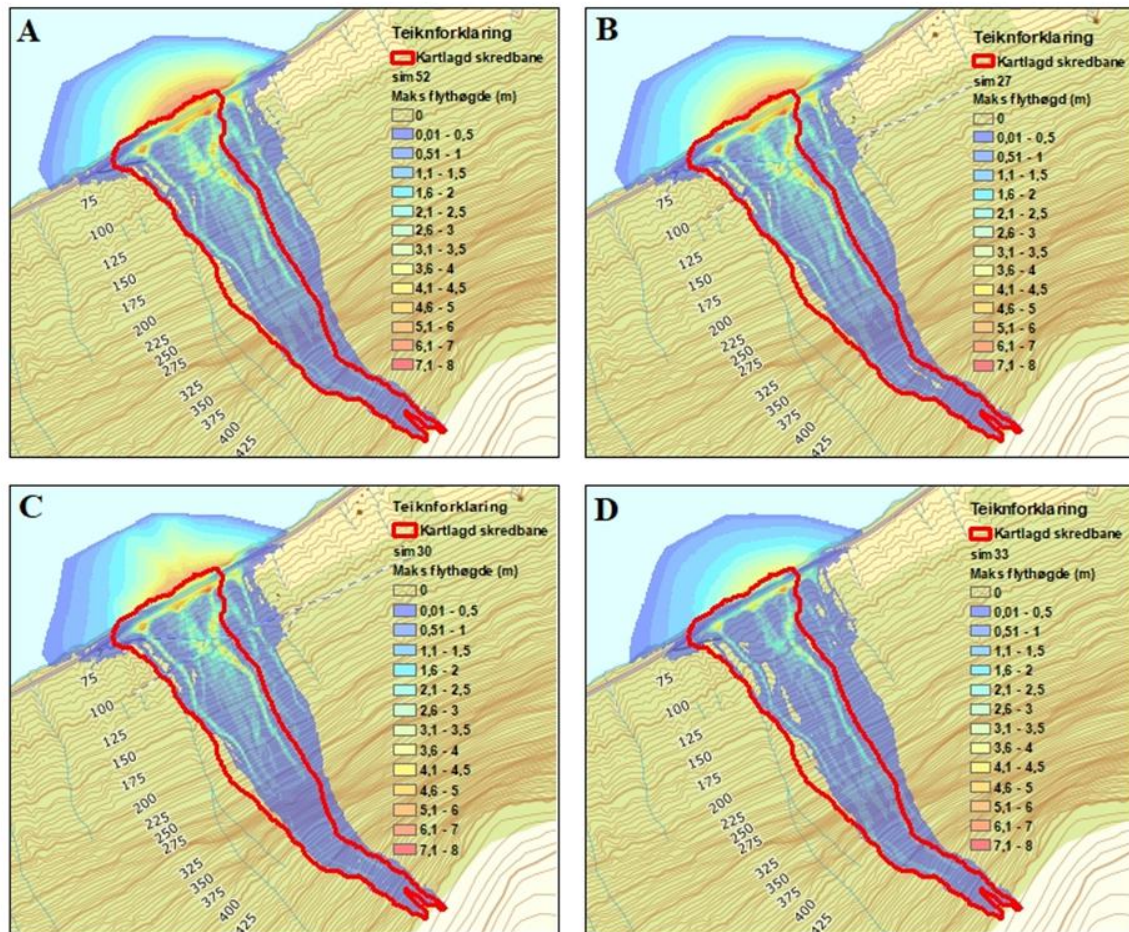


Figur 21 viser tre simuleringar der erosjonsraten er auka. Figur A viser utgangspunktet for sensitivitetstesten og har erosjonsverdiane som er gjeve i tabell 6. Alle simuleringane i figuren er vanskeleg å skilje visuelt frå kvarandre, men resultat D har noko større utbreiing. Erosjonsvolumet er gjeve i tabell 7.

Tabell 7. Erosjonsraten er auka for dei ulike erosjonsområde. Simulering A er utgangspunktet for sensitivitetstesten. Resultatet viser at erosjonsvolumet går opp når erosjonsraten går opp.

Figur 21	Erosjonsområde	Erosjonsrate (m/s)	Total erosjonsvolum (m ³)
A	Erosjonsområde 1, 2 og 3	0,025	126 970
B	Erosjonsområde 1	0,050	129 487
C	Erosjonsområde 2	0,050	130 698
D	Erosjonsområde 3	0,050	173 882

Figuren 22B-D viser simuleringar der erosjonsraten er redusert frå 0,025 m/s til 0,013 m/s. Resultatet viser at den maksimale flytehogda er lågare i figur C og D der kanalane har mellom 1,6 m og 2,5 m i forhold til A og B. Simuleringa på figur 22D følgjer den kartlagde skredbana mindre på vestsida enn dei andre simuleringane. Den har også det minste erosjonsvolumet på 61 011 m³. Simuleringa vist i figur 22B har det høgste erosjonsvolumet på 120 392 m³ (tabell 8).



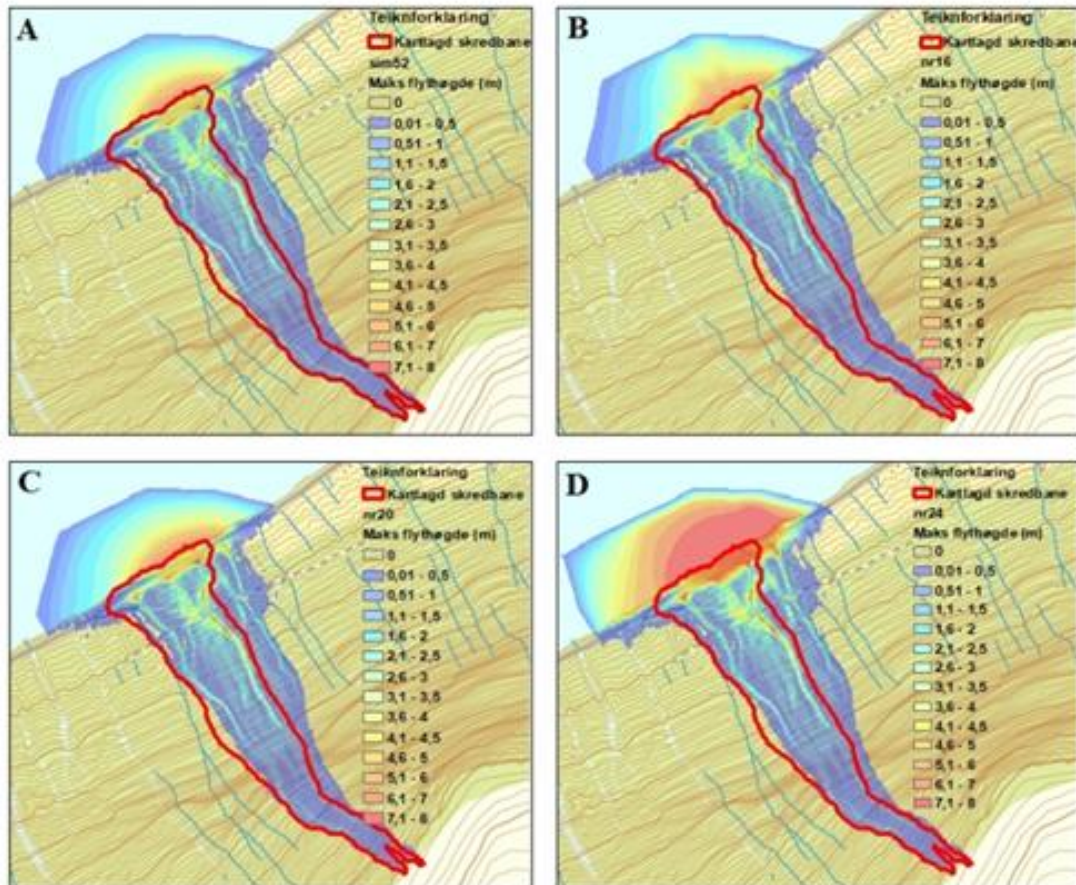
Figur 22. I simulering B-D er erosjonsraten sett ned samanlikna med utgangspunktet vist i A. Visulet er det liten skilnad mellom simuleringane, bortsett frå simulering D som har større holrom mellom kartlag skredkant på vestsida av skredkanten.

Tabell 8 viser at erosjonsraten er sett ned samanlikna med utgangspunktet i simulering A. Det totale erosjonsvolumet variera for dei tre simuleringane der simulering B har størst volum og simulering D har det minste volumet.

Figur 22	Erosjonsområde	Erosjonsrate (m/s)	Total erosjonsvolum (m ³)
A	Erosjonsområde 1, 2 og 3	0,025	126 970
B	Erosjonsområde 1	0,013	120 392
C	Erosjonsområde 2	0,013	98 788
D	Erosjonsområde 3	0,013	61 011

5.6.4. Test av potensiell erosjonsdjupne

Figur 23B-D viser simulering der potensiell erosjonsdjupn per kPa er auka frå 0,1 per kPa til 0,2 per kPa. Resultatet for erosjonssone 1 og 2 (figur B og C) er vanskeleg å skilje frå figur 23A i utbreiing og i maksimal flytehøgde. Figur 23D har større utbreiing enn dei andre simuleringane og eit betydeleg større erosjonsvolum samanlikna med figur A, B og C (tabell 9). Maksimal flytehøgde til simulering D er ikkje høgare i skredkanalane, men på vegen og på Hornindalsvatnet.

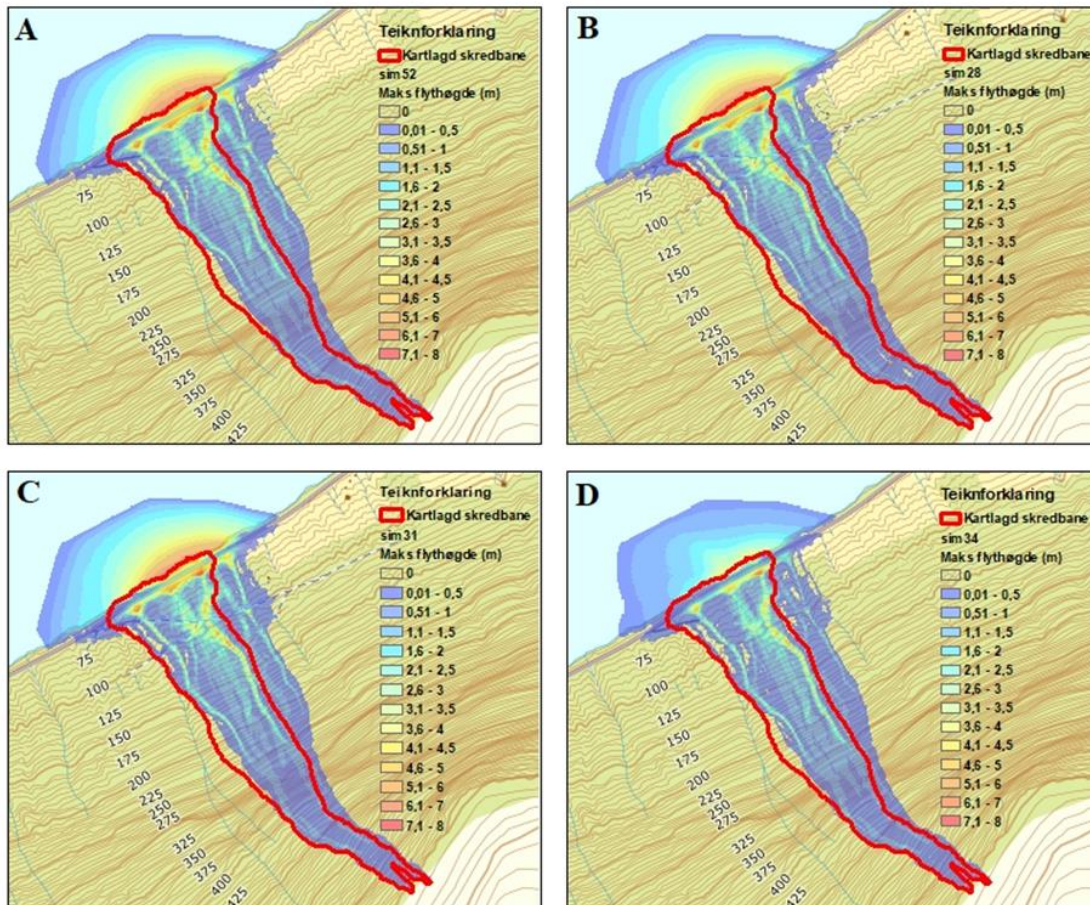


Figur 23 viser test av potensiell erosjonsdjupne. Simuleringane B og C er like A, medan simulering D skil seg klart ut. Den maksimale flytehøgda til D er høg utanfor den kartlagde skredbana.

Tabell 9 Potensiell erosjonsdjupne er auka i denne sensitivitetstesten. Det førte til erosjonsvolumet steig for alle resultat, spesielt resultat D.

Figur 23	Erosjonsområde	Potensiell erosjonsdjupne (per kPa)	Total erosjonsvolum (m ³)
A	Erosjonsområde 1, 2 og 3	0,100	126 970
B	Erosjonsområde 1	0,200	135 675
C	Erosjonsområde 2	0,200	129 849
D	Erosjonsområde 3	0,200	424 382

Når den potensielle erosjonsdjupna er redusert frå 0,1 til 0,05 per kPa er det visuelle resultatet og det totale erosjonsvolumet i simulering B og C om lag likt med simuleringa A (figur 24). Medan simulering C skil seg ved å ha markant mindre erosjonsvolum, men om lag lik utbreiing. Verdiane for simuleringane er gitt i tabell 10. For figur D er den maksimale flytehøgda låg samanlikna med A. Dette heng saman med det låge erosjonsvolumet.



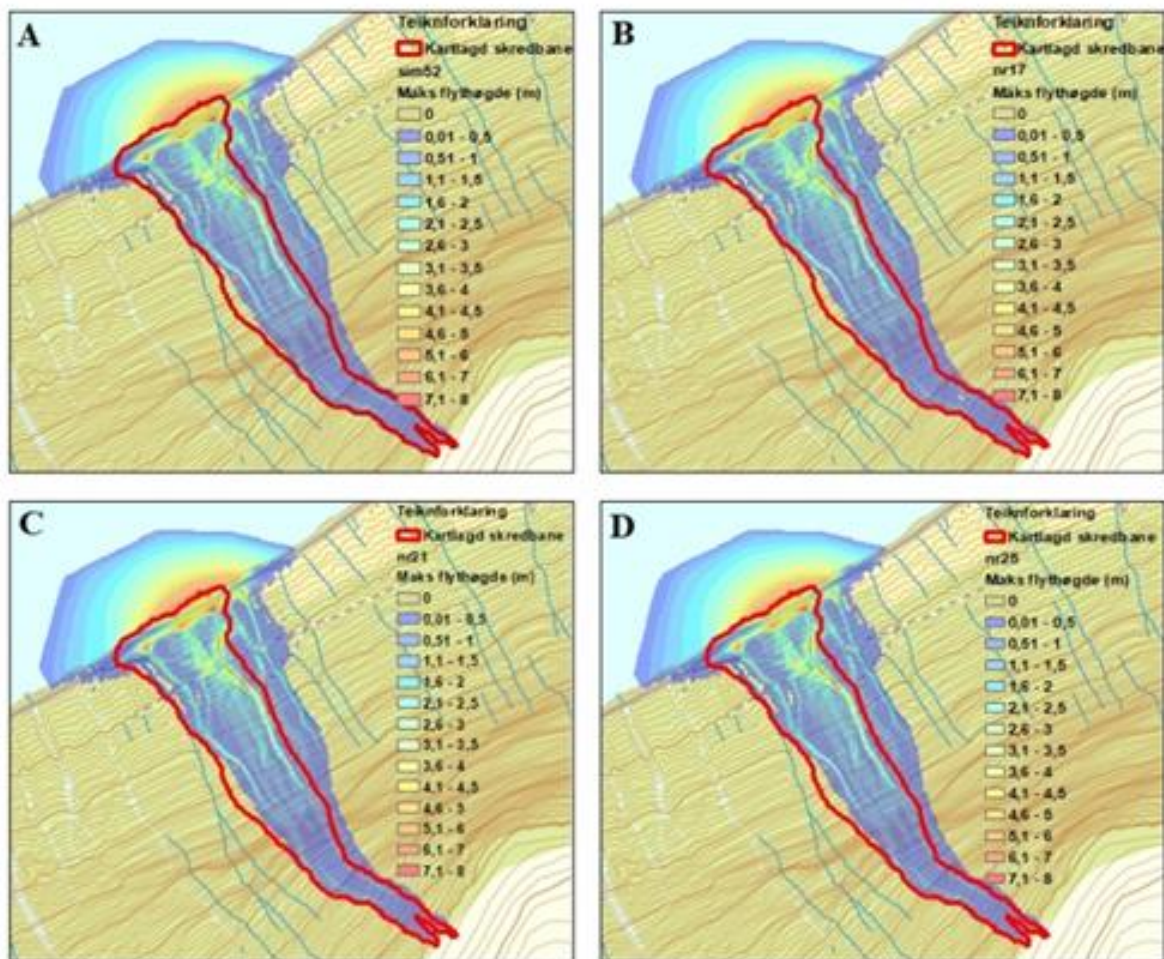
Figur 24. Simulering B-D har lågare potensiell erosjonsdjupne enn referansesimuleringa A. Visuelt har simuleringane lik utbreiing, men simulering D har låg maksimal flytehøgde noko som sjåast av det totale erosjonsvolumet i tabell 10.

Tabell 10 viser at potensiell erosjonsdjupne er sett ned i forhold til referansesimuleringa A. Det totale erosjonsvolumet endra seg lite for B og C simuleringa, medan det er lågt for simulering D.

Figur 24	Erosjonsområde	Potensiell erosjonsdjupne (per kPa)	Total erosjonsvolum (m ³)
A	Erosjonsområde 1, 2 og 3	0,100	126 970
B	Erosjonsområde 1	0,05	120 336
C	Erosjonsområde 2	0,05	115 698
D	Erosjonsområde 3	0,05	39 963

5.6.5. Test av kritisk skjerspenning

Simuleringane på figur 25 B-D har høgare verdi for den kritiske skjerspenninga enn figur 25A (tabell 11). Simuleringane er like i sin utbreiing og maksimal flytehgde. Tabell 11 viser at erosjonsvolumet for B og C ikkje skil seg mykje frå A. Resultatet i simulering D har det minste erosjonsvolumet.

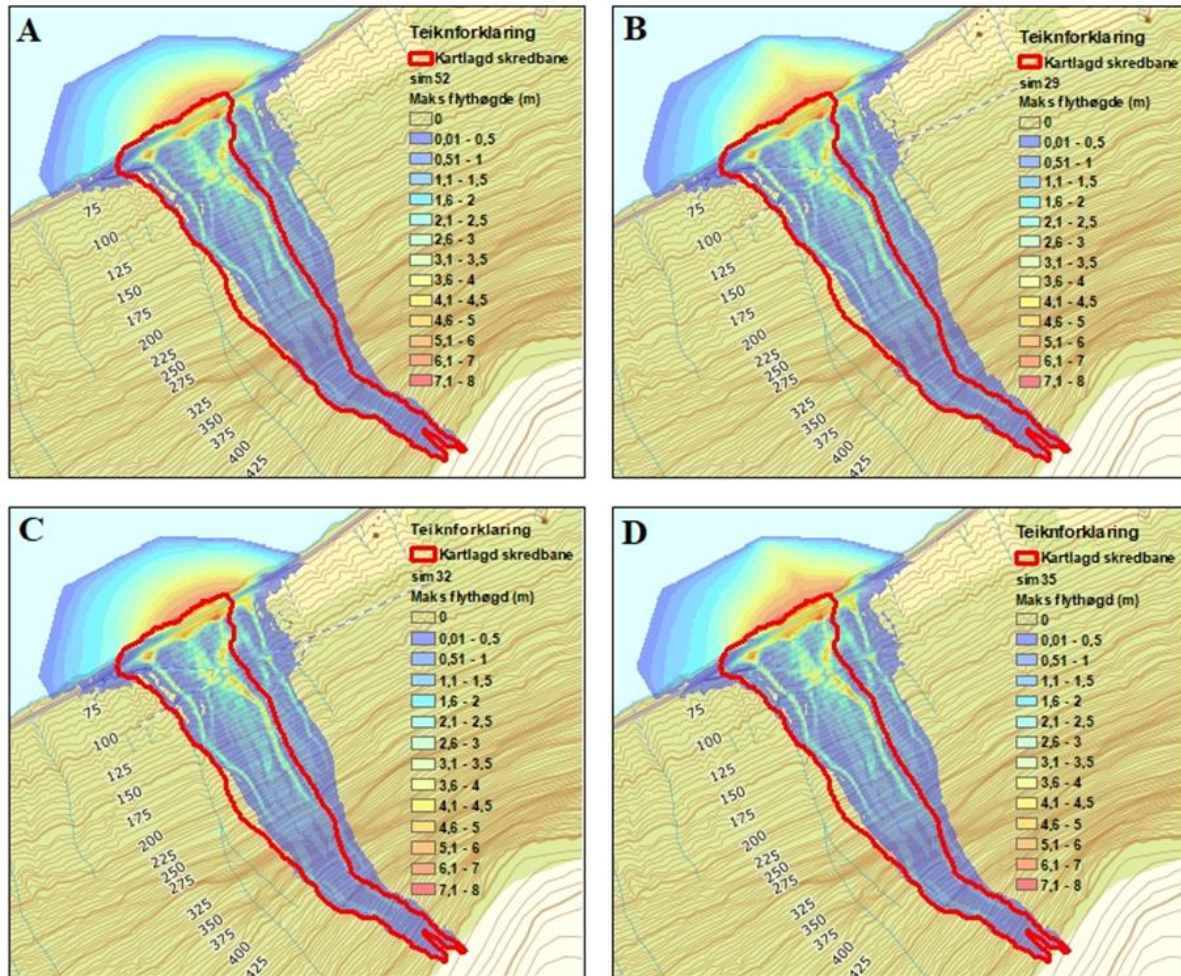


Figur 25. I denne figuren er kritisk skjerspenning auka. Utreiinga til simuleringa ser likt ut med utgangspunktet vist i simulering A. Verdiane er gjeve i tabell 11.

Tabell 11 viser auka verdi for kritisk skjerspenning. Det totale erosjonsvolumet minkar noko for B-D samanlikna med referansesimuleringa A.

Figur 25	Erosjonsområde	Kritisk skjerspenning (kPa)	Total erosjonsvolum (m ³)
A	Erosjonsområde 1, 2 og 3	1,0	126 970
B	Erosjonsområde 1	1,5	122 735
C	Erosjonsområde 2	1,5	121 966
D	Erosjonsområde 3	1,5	108 347

Figur 26B-D viser simuleringresultat der den kritiske skjerspenning er lågare enn for utgangspunktet gitt i figur 26A. Dei tre resultatata er omlag like i den visuelle utbreiinga, men det totale erosjonsvolumet (tabell 12) variera for kvar simulering og er høgare enn referansesimulering A. Det speglar den maksimale flytehogda som har innslag av raudt i kanalane. Flytehogda er dermed mellom 6,1 m – 8 m.



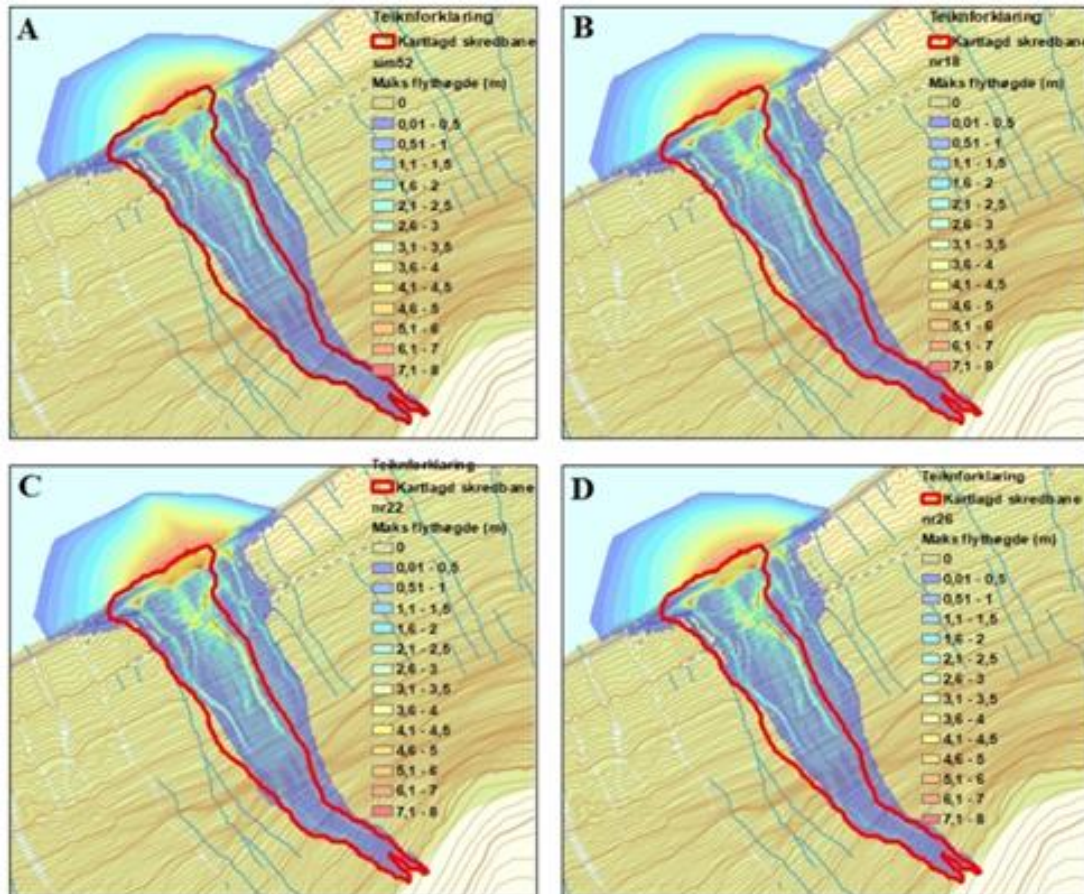
Figur 26 viser resultatet når verdien for kritisk skjerspenning er satt ned. Også desse simuleringane er visuelt vanskeleg å skilje i utbreiing.

Tabell 12 inneheld verdiane for nedsett kritisk skjerspenning. Resultatet viser at det totale erosjonsvolumet går opp for dei tre simuleringane B-D, samanlikna med referansesimuleringa A.

Figur 26	Erosjonsområde	Kritisk skjerspenning (kPa)	Total erosjonsvolum (m ³)
A	Erosjonsområde 1, 2 og 3	1,0	126 970
B	Erosjonsområde 1	0,5	134 036
C	Erosjonsområde 2	0,5	130 234
D	Erosjonsområde 3	0,5	146 076

5.6.6. Test av maksimal erosjonsdjupne

Resultat av simulering med auka maksimal erosjonsdjupne gav liten skilnad i utbreiing av skredet (figur 27A-D). Maksimal flytehogde har like verdiar innanfor den kartlagde skredbana samanlikna med referansesimuleringa A. Erosjonsvolumet variera for kva enkelt simulering og er hogst for 27C med eit volumet på 151 037 m³ (tabell 13).



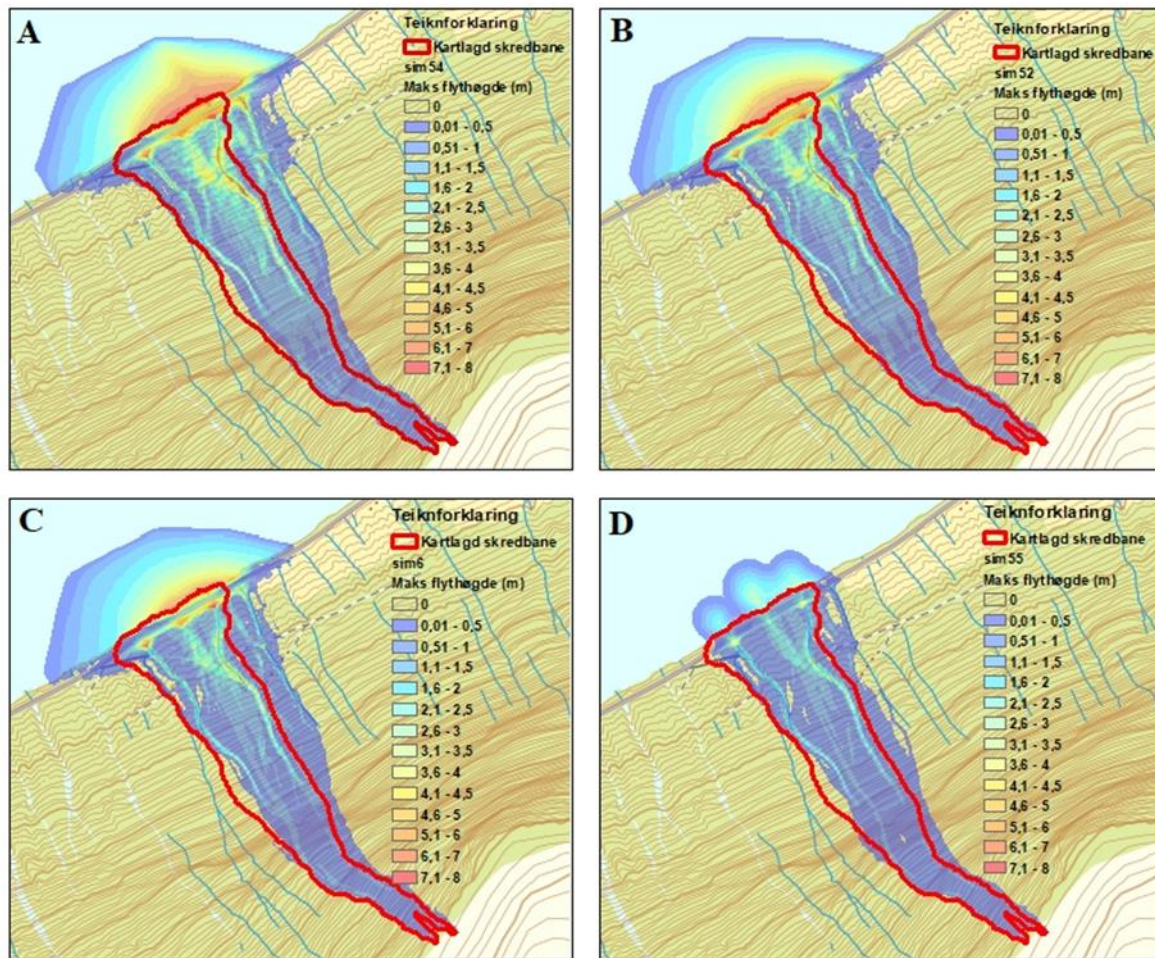
Figur 27. I denne figuren er maksimal erosjonsdjupne testa. Simuleringane B-D er omtrentleg lik simulering A i utbreiing.

Tabell 13 viser kva maksimal erosjonsdjupne som er testa for simuleringane vist i figur 27. Det totale erosjonsvolumet er hogast for simulering C. Dei tre erosjonsvoluma er alle hogare enn referansevolumet A.

Figur 27	Erosjonsområde	Maksimal erosjonsdjupne (m)	Total erosjonsvolum (m ³)
A	Erosjonsområde 1, 2 og 3	0,2, 0,2 og 5	126 970
B	Erosjonsområde 1	0,4	128 536
C	Erosjonsområde 2	0,4	151 037
D	Erosjonsområde 3	8,0	127 003

5.6.7. Test av ξ (ξ) verdien

Figur 28A-D viser resultatet av simuleringar utført med ulike ξ verdi som er oppgjeve i tabell 14. Denne erosjonsparameteren fortel om hastigheita på skredet og er ikkje inndelt i erosjonssoner i denne sensitivitetstesten, men gjeld for heile skredbana. Det visuelle resultatet i figur 28A, B og C er utanfor den kartlagde skredbana på austsida. Det same gjeld for figur 28D, men i mindre grad. Merk at figur 28B viser den simuleringa som er utgangspunktet for sensitivitetstesten av parametrane. Maksimal flytehogde minkar med aukande ξ verdi. For figur D er ikkje verdiar av gult og raudt representert.



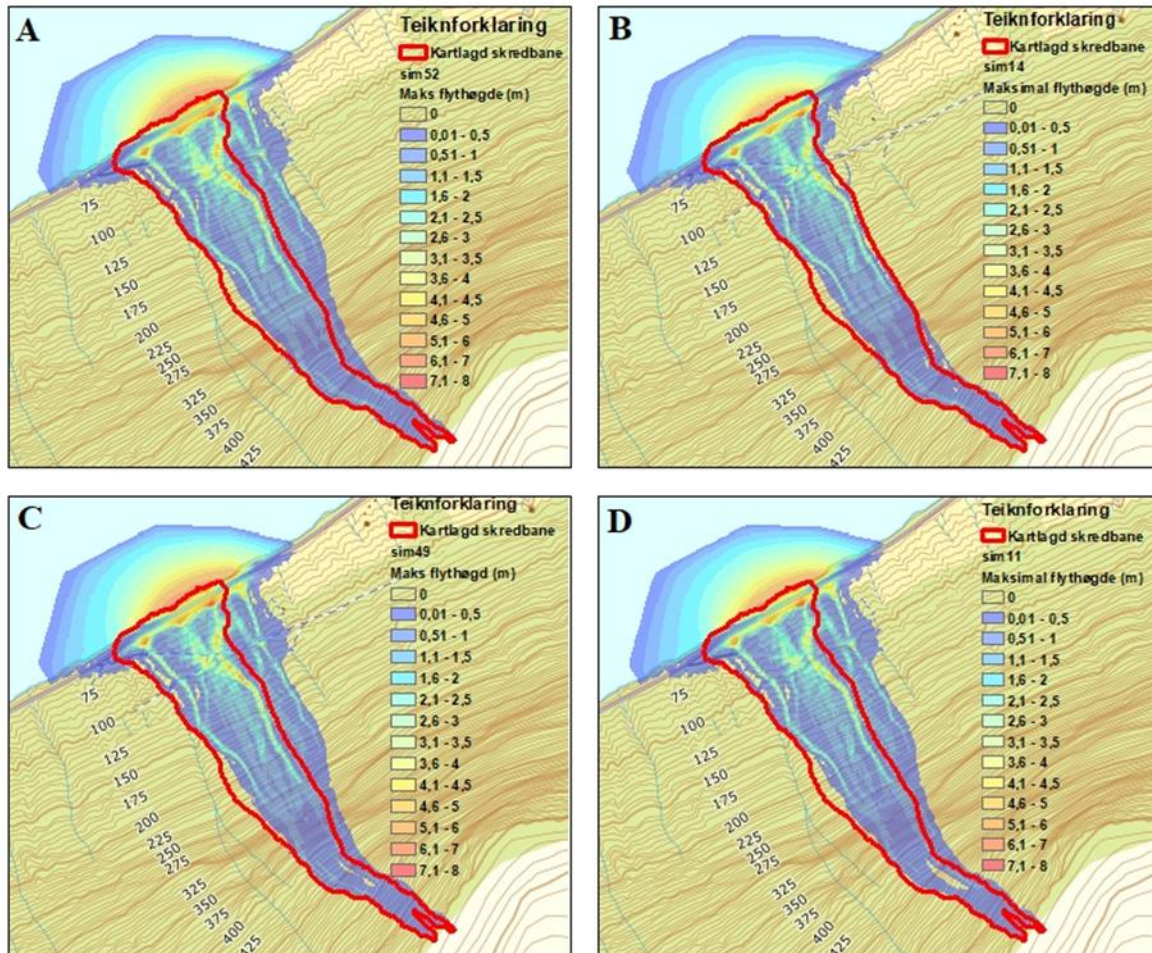
Figur 28 inneheld simuleringar med varierende ξ verdi. Resultatet i simulering D skil seg klart frå dei andre to (B og C) som er om lag lik referansesimuleringa A. Simulering D følgjer den kartlagde skredbana og breia seg lite utanfor. Merk at simulering B er utgangspunktet for sensitivitetstesten.

Tabell 14 inneheld verdi for variert ξ . Auka ξ verdi minkar det totale erosjonsvolumet.

Figur 28	ξ (m/s^2)	Total erosjonsvolum (m^3)
A	100	160 160
B	200	126 970
C	800	87 051
D	1000	26 897

5.6.8. Test av blokkbrotkant

Ved å variere høgda på blokkbrotkanten vil også losnevolumet variere. Figur 29A-D viser resultatet av simuleringane gjort med verdiane lista opp i tabell 15. Simuleringa vist på figur 29B følgjer den kartlagde skredbana godt, medan simulering C og D er utanfor kartlagd skredbane. Maksimal flytehogde i nedre del av den kartlagde skredbana viser hovudsakleg gult som høgste verdi i kanalane, med noko innslag av raudt for simuleringane B-D (6,1 m -8 m).



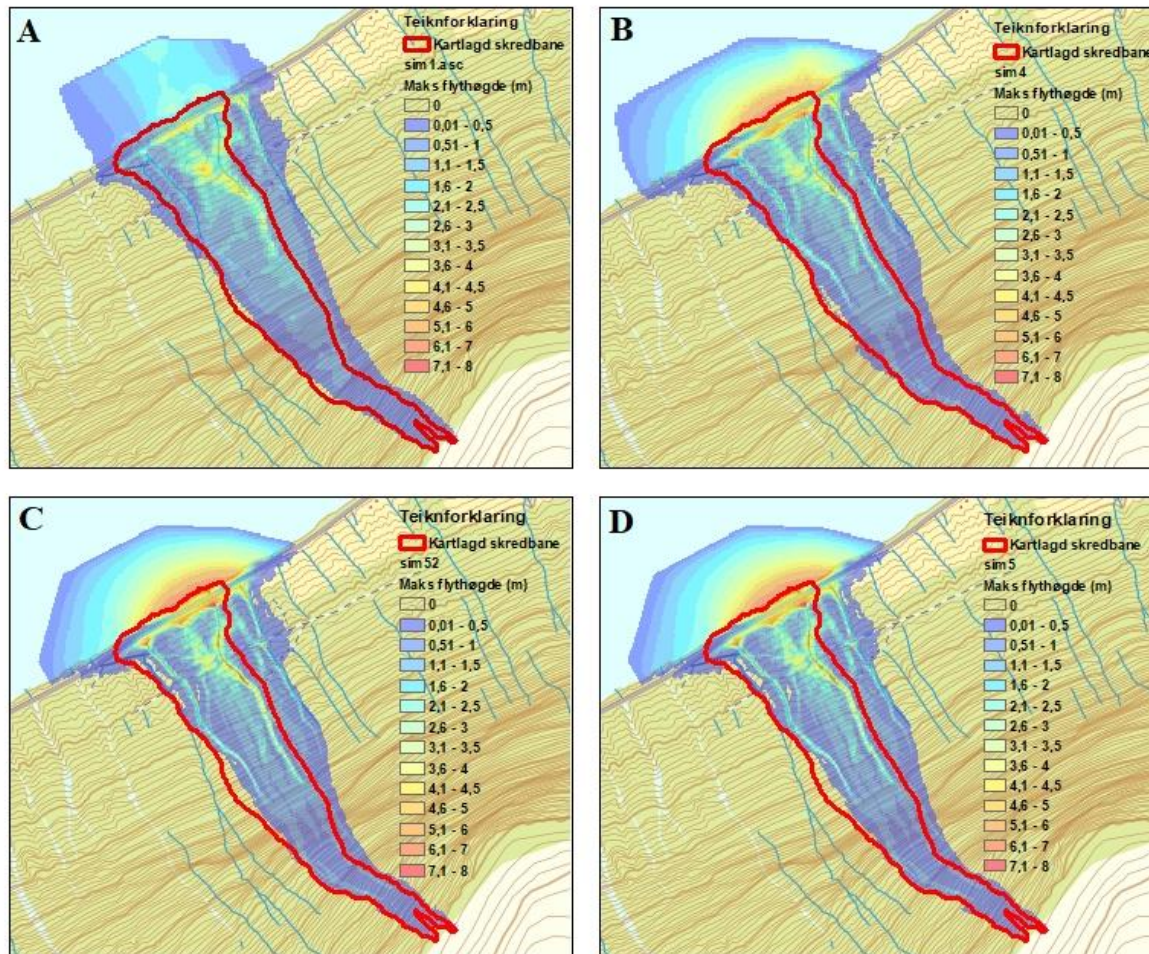
Figur 29 viser simuleringar der djupna på blokkbrotkanten i utløysingsområdet er testa. Simulering B følgjer den kartlagd skredbana utan å gå nemneverdig utanfor. Simulering C og D liknar på utgangspunktet A.

Tabell 15 viser ei oversikt over kor djupt losneområdet som er simulert med i figur 29, samt det totale erosjonsvolumet.

Figur 29	Blokkbrotkant aust	Blokkbrotkant vest	Losnevolum (m ³)	Total erosjonsvolum (m ³)
A	0,5	0,5	290	126 970
B	0,2	0,5	208	90 429
C	0,3	0,3	174	119 436
D	0,5	0,2	198	110 050

5.6.9. Test av oppløysing til digitale høgdemodellar

Simuleringane vist på figur 30A-D har forskjellige digitale høgdemodellar for å teste korleis oppløysinga påverkar resultatet. I tabell 16 er det oppgitt kva oppløysing dei ulike høgdemodellane har. Figur 30C er viser den digitale høgdemodellen som er brukt gjennomgåande under sensitivitetstesten av dei andre parametrane. Figur A viser lågare maksimal flytehogde enn dei andre resultatata. Simulering A har nokre parti med gul farge (3,6 m – 5 m), medan simulering B-D viser tydeleg kanalane med gul og lys blå farge. Vegen har røde parti som indikera flytehogde oppimot 8 m.



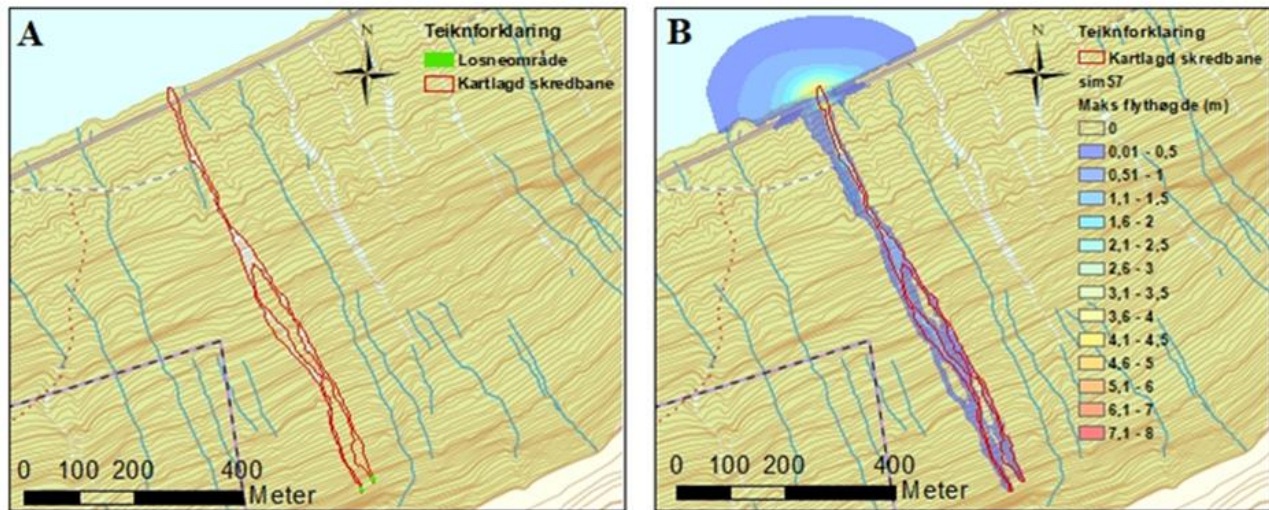
Figur 30. Desse simuleringane har vorte gjort med ulike digitale høgdemodellar. Legg merke til at referansesimuleringa er vist i simulering C. Figur A skil seg mest ut frå dei andre simuleringane.

Tabell 16 viser kva digital høgdemodell som er brukt for dei ulike simuleringane i figur 30. Det totale erosjonsvolumet variera lite for dei fire simuleringane.

Figur 30	Oppløysing DHM (m)	Manuelt innstilt oppløysing i RAMMS	Total erosjonsvolum (m ³)
A	5	-	110 565
B	1	5	130 331
C	1	3	126 970
D	0,25	3	126 448

5.6.10. Simulering av kanalisert skred

Figur 31A og B viser eit mindre skred som vart løyst ut under same vêrsituasjon den 15.11.13. Simuleringa er gjort med dei same parametranne for blokkbrotkant som vart brukt i figur 31B, 0,2 m og 0,5 m (kapittel 5.6.8). Det vart også brukt erosjonssoner med same inndeling som for simulering av det trekanta skredet. Inngangsverdiene og resultat i form av det totale erosjonsvolumet er vist i tabell 17. Erosjonsparametranne som er bruk er gitt i tabell 6 referanseverdiane (kapittel 5.6.2). Den maksimale flytehøgda held seg i det blå fargespekteret mellom 0,01 m og 3 m i kartlagd skredbane.



Figur 31 A viser kartlagd skredbane for eit kanalisert skred som gjekk under same hendinga "Hilde" 15.11.13. Den kartlagde skredbana basera seg kunn på ortofotoet "Sogn 2015" og bilete tekne dagen etter hendinga, det er ikkje gjort feltarbeid for dette skredet. Kart A viser også dei to losneområda som er brukt i simulering B. Losneområdet er basert på bileter teke etter skredhendinga. Kart B viser resultatet av simulering med erosjonsmodulen og dei inngangsverdiene som er vist i tabell 6 og 17.

Tabell 17 viser djupna på dei to blokkbrotkantane aust og vest, losnevolum og erosjonsvolum. Det finnst ikkje estimert erosjonsvolum for dette skredet.

Figur 31	Blokkbrotkant aust	Blokkbrotkant vest	Losnevolum (m ³)	Total erosjonsvolum (m ³)
B	0,2	0,5	48	16 563

6. Diskusjon

Innhaldet i denne delen av oppgåva skal diskutere resultatet og vurdere det saman med andre publiserte funn og teoriar med bakgrunn i dei forskingsspørsmåla som er presentert. Funn frå sensitivitetstesten av RAMMS::Debris Flow skal diskutert med bakgrunn i samanlikning med den kartlagde skredbana og det estimerte, totale erosjonsvolumet. Resultatet frå simulering av kanalisert skred skal koplest til val av digital høgdemodell. Lausmasseilgang skal knytast til planlagde terrengtiltak. Resultatet frå meteorologiske undersøkingar, feltobservasjonar og analyser i ArcGIS skal til saman føreslå losneårsak, samt kvifor skredet fekk trekantform. Avslutningsvis skal diskusjonen samanfatast til eit overblikk og kaste lys over dei sentrale funna i studiet.

6.1. Sensitivitetsanalyse i RAMMS

6.1.1. Erosjonsvolum som losnevolum

Resultatet etter sensitivitetstesten kan kunn samanliknast med den kartlagde skredbana basert på empiriske data og det estimerte erosjonsvolumet basert på lidardatasett og observasjonar gjort i felt. Det finnst ikkje andre tilgjengelege referanseverdier å samanlikne resultatet frå RAMMS med. Dette kan ofte vere realiteten når skred skal tilbakesimulerast. Det er difor med stor usikkerheit at resultatet tolkast. Det tydelegaste funnet er gjort med og utan erosjonsmodulen. Testing utan erosjonsmodulen med lav verdi for blokkbrotkant gjere at det simulerte skredet ikkje har lang nok utløpslengde, men stoppar allereie ved første fjellhammar. Det er naudsynt å bruke det estimerte erosjonsvolumet som inngangsverdi for at simuleringa skal fylle den kartlagde skredbana. Dette er også anbefalt i manualen til RAMMS::Debris Flow (Bartelt, Bieler, et al., 2017). For å få eit losnevolum på 70 000 m³, måtte blokkbrotkanten vere 9,7 m i eit 6270 m² stort losneområde vist i figur 19A og D, kap. 5.6.1, noko som er svært usannsynleg at har skjedd (Høeg et al., 2014; Jakob & Hungr, 2005). Vanleg djupne på losneområdet for lausmasseskred er oftast under 5 m (Colleuille, 2013). Utifrå feltobservasjonar og terrengeanalyser var brotkanten mest sannsynleg mindre enn 1 m. Resultatet viste også at når losnevolumet tilsvara erosjonsvolumet var utløpslengda til simuleringa lang nok til å nå den kartlagde skredbana. Utbreiinga av skredsimuleringa samsvara derimot ikkje med kartlagd skredbane, då det breia seg utanfor i øvre del av skredbana. Difor kan ikkje dette resultatet forklarar skredet si trekanta form, men det kan indikere at berekna erosjonsvolum var fornuftig å bruke.

6.1.2. Det viktige losneområdet

Simulering med den nye erosjonsmodulen har gitt meir truverdig resultat enn utan bruk av den i denne studien. Erfaringar frå sensitivitetstesten var at verdien for blokkbrotkanten var utslagsgjevande for resultatet. Dette er også påpeika i RAMMS::Debris Flow manualen (Bartelt, Bieler, et al., 2017). Simuleringa som gir best resultat i form av å utfylle den kartlagde skredbana mest nøyaktig er vist i figur 29B, kap. 5.6.8. Det totale erosjonsvolumet for denne simuleringa var 90 429 m³, noko som er meir enn det estimerte erosjonsvolumet på 76 800 m³. Volumberekninga vart grovt estimert, difor treng ikkje 90 429 m³ vere eit passende resultat. Det vart ikkje forsøkt å variere størrelsen på losneområdet utover dei simuleringane som var utført utan erosjonsmodulen. Losneområdet var basert på fotografi frå hendinga og feltarbeid vart brukt gjennomgåande i oppgåva. Likevel er det knytt usikkerheit til størrelsen på losneområdet. Det var utfordrande å avgrense losneområdet basert på feltarbeidet fem år etter hendinga samt helikopterfoto teke i dårleg vêr dagen etter hendinga. I følge Bartelt, Bieler, et al. (2017) har definering av losneområdet og losnedjupne sterk innverknad på resultatet. Studien til Frank et al. (2017) viste at resultatet avhenger av hellinga i losneområdet. To ulike skred vart simulert med same losnevolum. For å få eit signifikant erosjonsvolum måtte skredet med slakt losneområde ha dobbelt så stort losnevolum enn skredet med brattare losneområde. Skjerspenninga var høgare for det bratte skredet sjølv om losnetjukkelsen var det same, fordi skjerspenninga i modellen variera som eit produkt av mellom anna hellinga til skredbana (Frank et al., 2017).

Ved å halde losneområdet konstant og variere brotkanthøgda vart kunn ein av desse viktige defineringsane testa. Dermed er det usikkert kva definerings av to små losnepunkt har å seie for trekantforma som RAMMS simulera. Dette understrekar utfordringane for den som utfører analysen. Å plassere små losnepunkt med bestemt losnevolum i forkant av eit skred er ei umuleg oppgåve, men heilt avgjerande for simuleringsresultatet og val av eventuelle tiltak. Resultatet utan erosjonsmodul viste at eit større losneområde gav ei meir firkanta form. Om det skuldast at det høge losnevolumet eller mangel på erosjon er ukjent. Felles for begge metodane er at det er brukt ein detaljert høgdemodell med erosjonsspor etter hendinga.

6.1.3. Val av digital høgdemodell

Detaljert og realistisk simulering av skred krev høgoppløyselig digital høgdemodell (DHM)(Bartelt, Bieler, et al., 2017). I lidardatagrunnlaget er skredet kartlagt med 0,25 m oppløysing. Det vart forsøkt å simulere med 0,25 m oppløysing, men det førte til at RAMMS::Debris Flow slutta å fungere. Difor vart det forsøkt med 1 m oppløysing basert på dei same lidardataa, men det gav lang simuleringstid og var for tidkrevjande. Sensitivitetstest av høgdemodellane vart utført ved å samanlikne 5 m oppløysing frå FKB høgdekoter med 1 m oppløysing som var overstyrt til 5 m i RAMMS. Resultatet viset at detaljnivået var høgare for 5 m lidar-DHM enn for 5 m FKB-DHM. Det totale erosjonsvolumet var også 20 000 m³ høgare for lidar-basert enn for FKB-basert DHM. Resultatet viste at flytehøgda i dei etablerte kanalane kom tydelegare fram for 5 m lidar-DHM. Test av 1 m og 0,25 m DHM overstyrt til 3 m i RAMMS viste 482 m³ skiland i det totale erosjonsvolumet. Simuleringsresultatet hadde lik utbreiing i den kartlagde skredbana. Sidan skilanden var liten vart det bestemt å bruke 1 m overstyrt til 3 m for sensitivitetstesten av erosjonsmodulen.

Det er truleg at bruk av digital høgdemodell som er kartlagt etter skredhendinga, slik som lidardatasettet som er brukt her, legg føringar for simulering i RAMMS og er med å påverke resultatet. På ei anna side viser resultatet der erosjonsmodulen ikkje er brukt, at det ikkje følgjer den kartlagde skredbana i særleg grad. Det kan tyde på at val av høgoppløyselig DHM kunn påverkar simuleringar med erosjon, eller at erosjonsfunksjonen gir eit betre resultat uavhengig av DHM. Korleis resultatet blir utan erosjonsfunksjonen, men med ulike høgdemodellar er ikkje testa i denne studien. Derimot ved å bruke inngangsverdiene som gav best resultat for trekantskredet til å simulere eit kanalisert skred, kan betydinga av høgdemodellen kome tydelegare fram.

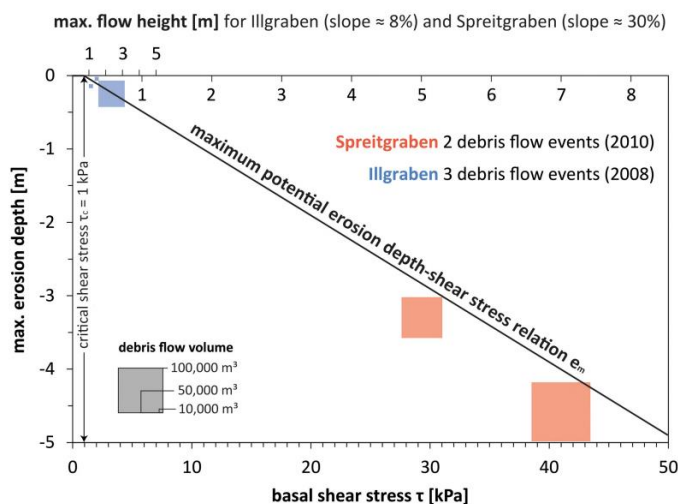
6.1.4. Kanalisert skred

I alt gjekk det tre lausmasseskred under stormen «Hilde» 15.11.13. Ved hjelp av ortofoto og bileter frå hendingdagen vart to av dei tre skreda digitalisert i ArcGIS og simulert i RAMMS::Debris Flow. Dei inngangsverdiene som gav best resultat i sensitivitetstesten av trekantskredet vart brukt som inngangsverdi for det kanaliserte skredet (fig. 31, kap. 5.6.10 resultat). Det visuelle resultatet viser at simuleringa går utanfor den kartlagde skredkanalen langs vestsida, men at det har ei kanalform. Det er ikkje gjort feltarbeid eller teke GPS-spor av denne skredbana. Difor er det truleg at den kartlagde skredkanalen ikkje samsvarar med verkelegheita. Det gjeld spesielt losneområdet som har vist seg å vere viktig for resultatet. Det finnast heller ikkje estimert erosjonsvolum frå dette skredet. Når det er teke i betraktning er resultatet frå tilbake-simuleringa av det kanaliserte skredet av god kvalitet basert på ei visuell tolking. Simuleringa følgjer ein kanal og breia seg ikkje utover til ein trekant. Utløpet til simuleringa er i Hornindalsvatnet, noko som samsvara med bileter frå hendinga. Samla er dette med å validere resultatet frå sensitivitetstesten av trekantskredet. Det er også med på å vise at ein detaljert høgdemodell har betyding for resultatet, men forklara ikkje om det er fordi høgdemodellen er henta etter skredhendinga eller fordi oppløysinga er høg.

6.1.5. Tilgang på lausmassar

Generelt kan det seiast at ved å auke verdien til dei tre parametrane erosjonsrate, potensiell erosjonsdjupne og kritisk skjerspenning, aukar erosjonsvolumet for simuleringane. Dermed var resultatet for høgt

samanlikna med estimert erosjonsvolum. Volumauken var størst når erosjonssone tre vart testa. Det viser at tilgang på lausmasser har innverknad på resultatet. Resultatet for simulering i figur 23D (kap. 5.6.4) der potensiell erosjonsdjupne var dobla gav erosjonsvolum på 424 382 m³ som er ca. 5,5 gonger så stort som estimert volum for trekantskredet. Potensiell erosjonsdjupne er eit lineært forhold mellom maksimal erosjonsdjupne (m) og skjerspenning (kPa)(figur 32). Difor vil ei dobling av parameteren føre til stort erosjonsvolum.



Figur 32 er henta frå Frank et al. (2015). Figuren viser at parameteren potensiell erosjonsdjupne er basert på eit lineært forhold mellom maksimal erosjonsdjupne i meter og skjerspenning i kPa. Spreitgraben og Illgraben er dei to skredlokalitetane som vart brukt for å utarbeide erosjonsparameteren og maksimal flytehoogde er vist for desse testskreda.

Når verdien for parametrane vert satt ned i forhold til standardverdi, minka erosjonsvolumet for alle simuleringane. Også volumreduksjonen vart størst for erosjonssone tre. Også her skil parameteren potensiell erosjonsdjupne seg ut med det lågaste erosjonsvolumet for sensitivitetstesen på 39 963 m³.

Ved å auke maksimal djupne for erosjon i dei ulike erosjonssonene, var det sone to som fekk høgast erosjonsvolum. Forklaringa til dette kan vere at ettersom simuleringa erodera djupare og riv med seg større andel skredmassar i erosjonssone to, vil det føre til auka kraft over den steile fjellhammaren som igjen aukar meddriving og erosjon også i nedre del av skredbana og dermed aukar volumet. Kvifor ikkje erosjonsvolumet er høgt for erosjonssone éin kan mogleg forklarast med at erosjonssona ikkje er stor nok til at det har effekt. Desse funna viser at endringar av parametrane i ei sone med mektig lausmassedekke kan få store konsekvensar for det totale erosjonsvolumet. Og at kjennskap til lausmassedjupna er avgjerande for å få ei realistisk simulering. Trass i at volumet endra seg med tilgang på lausmasser og endring av parametarar, er maksimal flytehöhe stabilt høg for dei etablerte kanalane i den kartlagde skredbana. Det gjer seg synleg ved at kanalane skil seg ut i fargekoden i forhold til omkringliggende skredsimulering. Dette gjeld for alle simuleringane, med unntak av simulering 29A gjort med 5 m FKB-basert høgdemodell.

6.1.6. Terrengtiltak

Små endringar i inngangsverdiar for simulering i RAMMS har synt seg å gje store endringar i total erosjonsvolum. Med tanke på tiltaka som er planlagd for vegstrekka, er dette viktig å ta omsyn til. Det er planlagt to bruer ved dei etablerte kanalane som skal lede skredmassane under vegen og ut i Hornindalsvatnet (Tveit, 2016). Simuleringane viser at trass i lågare erosjonsvolum helde den maksimale flytehoogda seg høg. Resultatet viste at den maksimale flytehoogda kunne vere oppimot 8 m i nedre del av austleg kanal. Det vil krevje at bruene har god kapasitet og at det ikkje vert tetta att under ei hending. Etter kvart når studiar kan dokumentere at resultatet frå maksimal flytehoogde samsvara med feltobservasjonar,

kan den nye erosjonsfunksjonen i RAMMS::Debris Flow vere eit ledd i dimensjonering av tiltak. Samt gje eit betre bilete av korleis massane oppføre seg i fronten av skredet.

6.2. Trekantforma jordskred

Rapporten utarbeida av Sandøy et al. (2017) har undersøkt fem trekantforma skred i detalj. I studien er følgjande likskapar er funne for losneområdet. «Flow accumulation» viste potensielle nedslagsfelt for alle losneområda. Brotkanten til skreda variera mellom 0,5 m til 1 m og hovudårsak til losning er mykje nedbør på kort tid. Funn knytt til utviding til ein trekantform er i hovudsak forklart med førekkomsten av tynt lausmassedekke, og ikkje av fjellhamrar i skredløpet.

6.2.1. Utløysande årsaker

At vatn har ei aktive rolle i utløysing av lausmasseskred er det brei einigheit om i litteraturen (Crozier, 2010; Guzzetti, Peruccacci, Rossi & Stark, 2008; Jakob & Hungr, 2005; Sidle & Ochiai, 2006; Takahashi, 2014; Vegdirektoratet, 2014). Difor vart vêrsituasjonen undersøkt før, under og etter skredet losna. Normalperioden 1961-1990 viste at gjennomsnittsnedbøren per døgn for november var 6,9 mm. Det kom i gjennomsnitt 7,9 mm nedbør per døgn tre veker før skreddagen. Skredestranda ligg i eit klimaområdet som har hyppig nedbør store delar av året. Av den grunn var ikkje samla nedbør før skreddagen betydeleg, som vil sei at lausmassane truleg ikkje var spesielt vassmetta (Sandøy et al., 2017). Dessutan viste ortofotoet frå 2010 vegetasjon i skredbana beståande av gran- og lauvskog som kan ha bidrege til å ta opp nedbør og stabilisere lausmassane. Døgnnedbør for skreddagen var mellom 92,8 mm og 104,9 mm og skil seg klart ut frå dei andre døgnmålingane i resultatet. Grunne skred kan løyse ut ved store nedbørsmengder i løpet av eit døgn (Fuchu, Lee & Sijing, 1999). Det vil vere usikkerheit knytt til nedbørdata fordi dei ikkje er målt direkte i losneområdet, men målingane til Brendehaug viste også betydelege nedbørsmengder sør for Skredestranda. Trekantskredet hadde i tillegg snø i losneområdet. Som vist i grafen i figur 13 kapittel 5.4, steig temperaturen på skreddagen. Truleg bidrog snøsmeltinga til å auke vassmettinga for dette losneområdet. Analysen gjort med «Flow Accumulation» viste ikkje til naturlege samlingspunkt i eller ved losneområdet. Undersøkingar i ArcGIS viste at losneområdet var svakt konvekst, noko som underbygger akkumulerings-analysen. Det kan difor tenkjast at nedbør aleine ikkje var hovudgrunn til losning, men at snøsmeltinga kan ha hatt ei viktig rolle som losneårsak. Tarolli, Borga og Fontana (2008) føreslo at korte og intense nedbørepisodar der berggrunnen var synleg, var meir viktig enn vassmetting i massane.

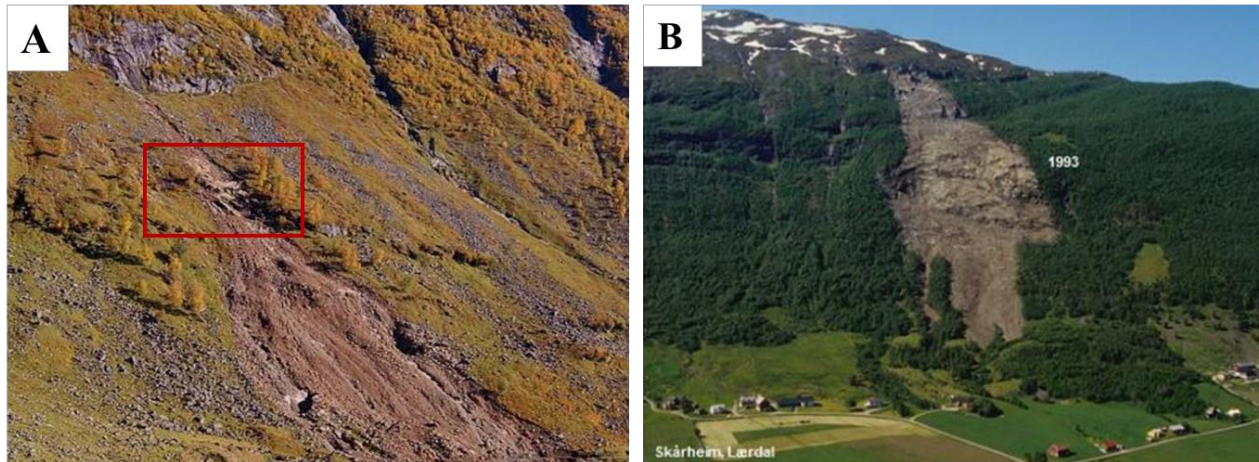
Skredet har sine to losnepunkt i eit området med tynt lausmassedekke med innslag av blotta fjell og blokker. Fjellblotting kan tyde på at nedbør og drenering til det tynne lausmasselaget kan ha auka porevasstrykket og redusert skjervefastheita (Cascini, Cuomo & Pastor, 2013; D. Hyndman & Hyndman, 2016; Sandøy et al., 2017). Det er rimeleg å tru at kombinasjonen av store nedbørsmengder og snøsmelting i eit bratt terreng med tilgang på lausmasser var årsak til at skredet losna, på trass av at det ikkje var naturleg drenering for vatn. Men dette forklarar ikkje kvifor skredet utvikla ein trekanta form i terrenget.

6.2.2. Skredet si utbreiing – trekantforma jordskred

Det finnst lite forskning på trekantforma jordskred (Sandøy et al., 2017). Det er difor usikkert kva som er årsak til den karakteristiske utbreiinga. Simulering i RAMMS::Debris Flow med erosjonsfunksjon viste seg å også gje eit trekanta resultat. Det interessante med dette funnet er at når det kanaliserte skredet vart testa med same parametarar som for trekantskredet, følgde denne simuleringa kanalen og breia seg ikkje ut i trekantform. Dette tyder på at terrenget er avgjerande for resultatet. Den kanaliserte skredbana hadde ikkje tydelege fjellhamrar i løpet. Skredmassane vart raskt samla i ein etablert kanal utan å forlate den. Det trekanta skredet losna i to punkt som straks bevega seg over ein fjellhammar. Analyse av terrengdata viste at losneområdet var lett konvekst. Desse to faktorane kan ha bidrege til dei to losnepunkta breia seg ut til å bli eitt trekantskred. Skredmassane utvidar seg kontinuerlege nedover skredløpet både mellom og over dei to neste fjellhamrane. Studiar av ortofoto teke i 2010 viste teikn til sesongeroderte kanalar som losnepunkta

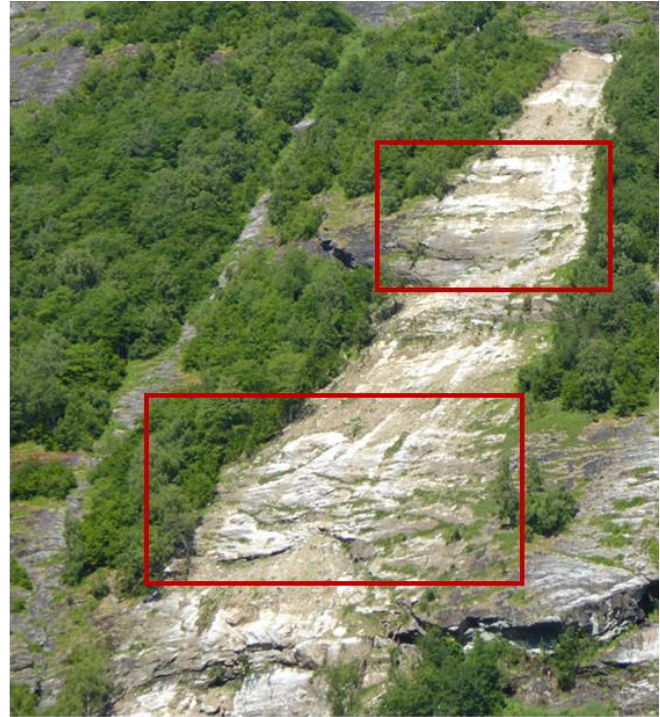
kunne ha følgt. Alle simuleringane utført med den nye erosjonsmodulen viste at skredet breidde seg utanfor kartlagd skredbane etter at simuleringa passerte den nedste, steile fjellhammaren.

Det har vore forsøkt å finne fleire dømer på skred som kan vise teikn til utviding av skredbana som følgje av fjellhamrar eller andre bratte fjellparti som utgjer ein terskel i skredbana. Tyssebotn og Velle (2010) studerte eit skred som gjekk i Sogndal kommune i 2007 vist i figur 33A. Den raude firkanten markera ein fjellhammar som kan ha ført til at utviding av skredet, noko som også vart observert i feltarbeidet (Tyssebotn & Velle, 2010). Bilete viser at skredet utvida si breidde etter å ha passert hammaren. Skredet i figur 33B viser ei hending frå 1993 i Lærdal kommune. Denne hendinga løyste ut på våren i snøsmeltinga og gjekk breitt over eit svaberg før den stoppa opp (Aa & Bondevik, 2014).



Figur 33 består av to bileter A og B. Bilete A er teke ved Anestølsvatnet og er henta frå Tyssebotn og Velle (2010). Den raude firkanten viser ein fjellhammar som kan ha gjort at skredet utvida seg. Bilete B er teke i Lærdal og var ei skredhending frå 1993 (Aa & Bondevik, 2014). Bilete viser tydeleg at skredet har utvida seg over eit bratt fjellparti før det stoppa under fjellpartiet.

Figuren 34 viser to bileter frå same hending (foto: Sandøy). Bileta er tekne på Bolstad i Stryn kommune og hendinga er frå 2013 eller 2014. Denne hendinga har to tydelege bratte parti der skredet har gått over og fått utvida trekantform. Skredhendinga vist i figur 35 med to bileter (foto: Sandøy) er frå Volda kommune. Dei raude firkantane markerar to steile fjellparti som skredet går over. Etter det første partiet delar skredbana seg i to renner som møtast over neste bratte fjellparti og går igjen ut i to skredrenner. Dei to rennene møtast i ein naturleg fordjupingar i terrenget og kanaliseras ned mot fjorden.



Figur 34 er to bileter frå same skredhendinga (fotograf: Gro Sandøy). Bilete som er merka med to raude firkantar viser to steile fjellhamrar. Desse kan ha bidrege til at skredet breia seg ut i terrenget. Skredhendinga er ikkje undersøkt i felt. Bileta er vist med tillating frå opphavar.



Figur 35 viser to bileter frå same hending (fotograf: Gro Sandøy). Bilete med to raude firkantar markera to bratte parti med fjellblotting. Desse kan ha ført til at skredet utvida seg i to kanalar, før skredet går i ein naturleg kanal i terrenget. Det har ikkje vore gjort feltsynfaring ved denne lokaliteten. Bileta er vist med tillating frå opphavar.

Ingen av dei synte skredhendingane (figur 33-35) har vorte undersøkt med tanke på potensiell samanheng mellom form og fjellhamrar i skredbana. Døma er kunn basert på bileter og det er difor usikkerheit knytt til dette. Det kan vere fleire grunnar til kvifor eit lausmasseskred utviklar seg i form og storleik (Benda & Dunne, 1997). Døme kan vere steinblokker eller tre som får skredet til å endre kurs (Revellino, Hungr, Guadagno & Evans, 2004). Skredkanalar kan fylle seg opp og skredet kan ta ein ny retning (D. W. Hyndman & Hyndman, 2011). Medrivning av lausmassar vil også ha ei sentral rolle for utviding av skredforma, spesielt i opne, bratte bakkar (Cascini et al., 2013). Sandøy et al. (2017) har også tilfeller der skreda utvida seg over fjellhamrar, men konkludera med at det er på grunn av det tynne lausmassedekke. Med dette teke i betraktning er det føreslått at fjellhamrane hadde betydning for utvidinga av dette trekantforma skredet.

6.3. Eit samanfattande overblikk

Klimaframskrivingar for Noreg mot år 2100 fortel at det vil kome fleire intense nedbørsperiodar og at faren for jord- og flaumskred vil auke (Hassen-Bauer et al., 2015). I følgje Sandøy et al. (2017) vert ikkje trekantforma jordskred fanga opp i NVE sine aktsemdskart for jord- og flaumskred. Det trengst altså meir informasjon om denne skredtypen og kva kjenneteikn ein skal sjå etter ved skredfarekartlegging. Resultatet frå denne studien viste at losneområdet var lett konvekst og at det ikkje var søkk i terrenget der nedbør kunne samle seg. Losneområdet bestod av tynt lausmassedekke med blokker og fjellblotting. Ideelt sett for framtidig kartlegging burde eit datasystem avdekka hellande terreng i tilknytning til infrastruktur, samt markert konvekse parti som inneheldt lausmasser og såleis avdekke potensielle losneområder. Eit liknande prosjekt vert no utført i ei masteroppgåve som enno ikkje er publisert (pers. med. Ovesen, 2018) Vidare kan eit ledd i kartlegginga vere å bruke RAMMS::Debris Flow til å estimere omfanget av eventuelle skred og avdekke korleis simuleringa oppføre seg i terrenget. Tilbake-simulering med simuleringsprogrammet fungerte godt med den nye erosjonsfunksjonen i denne studien. Utfordringa vil verte å avgrense losneområdet og bestemme blokkbrotkant. Erfaring frå sensitivitetstesten viste store skilnader i resultatet ved å variere dei to parametranne. Det vil vere svært tidkrevjande og simulere for kvart enkelt potensielle losneområdet i bratt terreng. Løysinga er ofte å simulere med store losneområder for både å spare tid og for å sikre seg at alle skredfarlege områder vert avdekka. Denne studien viser at med den nye erosjonsfunksjonen vil denne metoden føre til at overdrevne store områder blir kartlagd som skredfarlege. I potensielle områder bør ein difor undersøke lausmassane si mektigheit og stratigrafi for å finne ein parameter å jobbe med i RAMMS::Debris Flow.

7. Konklusjon

Målet for denne oppgåva var å undersøke trekantskredet på Skredestranda i Eid kommune for å prøve å forklare forma og utbreiinga det fekk med hjelp av feltarbeid, innsamling av data og simulering i RAMMS::Debris Flow. Samt å gjere ein sensitivitetstest med den nye erosjonsfunksjonen for å undersøke om den gav realistisk resultat av utbreiing og total erosjonsvolum.

- Overlappende lidardatasett frå før og etter skredhendinga vart brukt til å finne erosjonsvolum i nedre del av skredbana. For resterande delar av skredbane vart det brukt eit estimat basert på feltobservasjonar og støttande litteratur. Det totale erosjonsvolumet vart estimert til 70 600 m³
- Simulering med RAMMS::Debris Flow sin nye erosjonsmodulen gav realistisk resultat av både utbreiing og det totale erosjonsvolumet når blokkbrotkanten vart justert. Inngangsverdiane for losneområdet var viktigast for resultatet. Det vil seie blokkbrotkant og losnevolum. Det viser viktigheita av å kartlegge lausmassemektigheita i potensielle losneområder.
- Variasjon av erosjonsparametrane hadde liten betydning for det visuelle resultatet, medan det totale erosjonsvolumet varierte i større grad. Derimot haldt maksimal flytehogde seg høg i alle simuleringane gjort med lidar-basert DHM.
- Resultat frå innsamling av nedbørsdata viste at det var lite nedbør i forkant av skredhendinga. Det trekantforma skredet løyste truleg ut på grunn av intense nedbørsmengde saman med tilførsel av snøsmelting.
- Feltarbeid avdekkja at skredet løyste ut i eit området med blokker, bart fjell og tynt lausmassedekke. Det kan ha auka porevasstrykket og redusert skjerspenninga.
- Analyse utført med «Flow accumulation» i ArcGIS fant strøymingsmønsteret til overflatevatnet. Resultatet viste ikkje teikn til naturleg samlingspunkt for overflatedrenering. Analyse i ArcGIS avdekkja at losneområdet var lett konvekst.
- Fjellhamrane i skredbana har truleg bidrege til at skredet fekk ein trekanta form. Dette er basert på observasjonar gjort under feltarbeidet og bileter, samt støtta av resultatet frå RAMMS::Debris Flow med erosjonsmodul.

8. Referansar

- Bartelt, P., Bieler, C., Bühler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Graf, C., ... Schneider, M. (2017). RAMMS::DEBRIS FLOW User Manual v1.7.0. *Institute for Snow and Avalanche Research SLF*. Henta frå http://ramms.slf.ch/ramms/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=70
- Bartelt, P., Bühler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Salz, M., Schneider, M. & Schumacher, L. (2017). RAMMS::AVALANCHE User Manual v1.7.0. *Institute for Snow and Avalanche Research SLF*. Henta frå http://ramms.slf.ch/ramms/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=70
- Benda, L. & Dunne, T. (1997). Stochastic forcing of sediment supply to channel networks from landsliding and debris flow. *Water Resources Research*, 33(12), 2849-2863. doi:10.1029/97WR02388
- Berger, C., McArdell, B. W. & Schlunegger, F. (2011a). Direct measurement of channel erosion by debris flows, Illgraben, Switzerland. *Journal of Geophysical Research-Earth Surface*, 116. doi:10.1029/2010jf001722
- Berger, C., McArdell, B. W. & Schlunegger, F. (2011b). Sediment transfer patterns at the Illgraben catchment, Switzerland: Implications for the time scales of debris flow activities. *Geomorphology*, 125(3), 421-432. doi:10.1016/j.geomorph.2010.10.019
- Bindoff, N. L., Stott P.A., AchutaRao K.M., Allen M.R., Gillett N., Gutzler D., ... Zhang X. (2013). Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. I *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.867.
- Bjordal, H. & Helle, T. E. (2011). *Skred og flom på veg* (5). Henta frå <https://www.vegvesen.no/attachment/254261/binary/454731>
- Calligaris, C. & Zini, L. (2012). Debris Flow Phenomena: A Short Overview? I *Earth Sciences*. InTech.
- Cascini, L., Cuomo, S. & Pastor, M. (2013). Inception of debris avalanches: remarks on geomechanical modelling. *Springer Berlin Heidelberg*, 10(6), 701-711. doi:<https://doi.org/10.1007/s10346-012-0366-0>
- Cepeda, J., Hoeg, K. & Nadim, F. (2010). Landslide-triggering rainfall thresholds: a conceptual framework. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(1), 69-84. doi:10.1144/1470-9236/08-066
- Colleuille, H. (2013). *Jordskred og flomskred*. Norges vassdrag- og energidirektorat: Norges vassdrag- og energidirektorat. Henta frå http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2013/faktaark2013_05.pdf
- Colleuille, H., Boje, S., Devoli, G., Krøgli, I. K., Engen, I. K., Sund, M., ... Wiréhn, P. (2017). *Jordskredvarlingen* (75). Norges vassdrag- og energidirektorat, NVE: NVE, Statens Vegvesen, Meteorologisk institutt, Bane Nor.
- Coussot, P. & Meunier, M. (1996). Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Reviews*, 40(3-4), 209-227. doi:10.1016/0012-8252(95)00065-8
- Crozier, M. J. (2010). Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, 124(3), 260-267. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.04.009>
- Dale, V. H., Joyce, L. A., McNulty, S., Neilson, R. P., Ayres, M. P., Flannigan, M. D., ... Michael Wotton, B. (2001). Climate Change and Forest Disturbances. Climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *BioScience*, 51(9), 723-734. doi:10.1641/0006-3568(2001)051[0723:CCAFD]2.0.CO2
- Dehn, M., Bürger, G., Buma, J. & Gasparetto, P. (2000). Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling. *Engineering Geology*, 55(3), 193-204. doi:[https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00123-4)
- Dyrddal, A. V., Isaksen, K., Hygen, H. O. & Meyer, N. K. (2012). Changes in meteorological variables that can trigger natural hazards in Norway. *Climate Research*, 55(2), 153-+. doi:10.3354/cr01125

- Esri. (2017a). Flow Accumulation Henta frå <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/flow-accumulation.htm>
- Esri. (2017b). Flow Direction. Henta frå <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/flow-direction.htm>
- Esri. (2017c). Hydrology toolset. Henta frå <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>
- Frank, F., McARDell, B. W., Huggel, C. & Vieli, A. (2015). The importance of entrainment and bulking on debris flow runout modeling: examples from the Swiss Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(11), 2569-2583. doi:10.5194/nhess-15-2569-2015
- Frank, F., McARDell, B. W., Oggier, N., Baer, P., Christen, M. & Vieli, A. (2017). Debris-flow modeling at Meretschibach and Bondasca catchments, Switzerland: sensitivity testing of field-data-based entrainment model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(5), 801-815. doi:10.5194/nhess-17-801-2017
- Fuchu, D., Lee, C. & Sijing, W. (1999). Analysis of rainstorm-induced slide-debris flows on natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Engineering Geology*, 51(4), 279-290. doi:[https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(98\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00047-7)
- Gariano, S. L. & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227-252. doi:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- Glade, T. (2005). Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology. *Geomorphology*, 66(1), 189-213. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.023>
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M. & Stark, C. P. (2008). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5(1), 3-17. doi:10.1007/s10346-007-0112-1
- Hassen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., ... Ådlandsvik, B. (2015). *Klima i Norge 2100* (2). Norsk klimaservicesenter: Miljødirektoratet. Henta frå <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8>
- Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167-194. doi:10.1007/s10346-013-0436-y
- Hyndman, D. & Hyndman, D. (2016). *Natural hazards and disasters* Cengage Learning.
- Hyndman, D. W. & Hyndman, D. W. (2011). *Natural hazards & disasters* (4th ed. utg.). Belmont, Calif.: Thomson/Brooks/Cole.
- Hynne, B. I. (2013). *Rv.15 HP 4, km 12,100 - 12,600 Skredestranda - Notat etter synfaring 16.11 og 18.11 2013* (36040 - 460). Statens Vegvesen: Vegteknisk.
- Høeg, K., Lied, K., Karlsrud, K. & Gregory, T. (2014). *Skred : skredfare og sikringstiltak : praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. Oslo: NGI Universitetsforlaget.
- Iverson, R. M. (1997). The physics of debris flows. *Cascades Volcano Observatory U.S. Geological Survey Vancouver, Washington*, 35, 245-296. doi:10.1029/97RG00426
- Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L. H., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., ... Mestl, H. (2008). Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(4), 893-904. Henta frå <Go to ISI>://WOS:000259988700029
- Jakob, M. & Hungr, O. (2005). *Debris-flow hazards and related phenomena* Springer.
- Jenson, S. K. & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(11), 1593-1600. Henta frå <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.138.6487&rep=rep1&type=pdf>
- Lacerda, W. A. (2007). Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations. *Geomorphology*, 87(3), 104-119. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.037>

- Lied, K. & Kristensen, K. (2003). *Snøskred : håndbok om snøskred*. Nesbru,Oslo: Vett & viten I samarbeid med NGI, Norges geotekniske institutt.
- MET. (2013). *Ekstremvêrrapport Hending: Hilde 16.-17.11.2013* (15). Norges Meteorologisk institutt. Henta frå <https://www.met.no/publikasjoner/met-info/ekstremvaer>
- Moen, A., Odland, A. & Lillethun, A. (1998). *Vegetasjon*. Hønefoss: Statens Kartverk.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy* (2nd ed. utg.). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Norem, H. & Sandersen, F. (2012). *Flom- og sørpeskred* (73). Statens Vegvesen: Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen.
- Norges Meteorologisk Institutt. (2018). Gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner. Henta frå http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL
- NVDB. (2018). Skredstatistikk for Skredestranda: Norsk vegdatabank.
- O'Brien, K., Sygna, L. & Haugen, J. E. (2004). Vulnerable or Resilient? A Multi-Scale Assessment of Climate Impacts and Vulnerability in Norway. *Climatic Change*, 64(1), 193-225. doi:10.1023/b:Clim.0000024668.70143.80
- Petkovic, G. (2013). *Klima og transport* (210). Henta frå [https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/_ attachm ent/521603?_ts=15282d54140&fast_title=SVV+rapport+210+Klima+og+transport+_+redig+ekst+lenker+2016-01.pdf](https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/_attachm ent/521603?_ts=15282d54140&fast_title=SVV+rapport+210+Klima+og+transport+_+redig+ekst+lenker+2016-01.pdf)
- Ramberg, I. B. (2013). *Landet blir til : Norges geologi* (2. utg. utg.). Trondheim: Norsk geologisk forening.
- Revellino, P., Hungr, O., Guadagno, F. M. & Evans, S. G. (2004). Velocity and runout simulation of destructive debris flows and debris avalanches in pyroclastic deposits, Campania region, Italy. *Environmental Geology*, 45(3), 295-311. doi:<https://doi.org/10.1007/s00254-003-0885-z>
- Rovick, A. & Sørpdahl, E. (2017, 02.12.17). Ingebjørg (33) satt i den hvite bilen da raset gikk. TV2. Henta frå <http://www.tv2.no/a/9518408/>
- Rye, N., Nesje, A., Lien, R., Blikra, L. H., Eikenæs, O., Hole, P. & Torsnes, I. (1997). Glacial geology and deglaciation chronology of the area between inner Nordfjord and Jostedalbreen Strynefjellet, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 77(1), 51-63. Henta frå
- Sandersen, F., Bakkehøi, S., Hestnes, E. & Lied, K. (1997). The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability. *Publikasjon, Norges Geotekniske Institutt, Oslo, Norway*, 201, 97-114. Henta frå
- Sandøy, G., Rubensdotter, L. & Devoli, G. (2017). *Trekantformede jordskred - studie av fem skredhendelser i Norge* (2017.017). Norges geologiske undersøkelse. Henta frå http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2017/2017_017.pdf
- Sidle, R. C. & Bogaard, T. A. (2016). Dynamic earth system and ecological controls of rainfall-initiated landslides. *Earth-Science Reviews*, 159, 275-291. doi:10.1016/j.earscirev.2016.05.013
- Sidle, R. C. & Ochiai, H. (2006). *Landslides: processes, prediction, and land use*.
- Solberg, S. & Sandved, D. L. (2007). *Effekter av klimaendring på skogens helsetilstand, og aktuelle overvåkingsmetoder*. Norges institutt for skog og landskap.
- Svarstad, S., Solheimsnes, P. A. & Reksnes, A. H. (2018, 25. mars). Måtte bråbremse for å ikke køyre inn i skred. *NRK, Norsk Rikskringkasting*.
- Takahashi, T. (2014). *Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures* CRC press.
- Tarolli, P., Borga, M. & Fontana, D. G. (2008). Analysing the influence of upslope bedrock outcrops on shallow landsliding. *Geomorphology*, 93(3-4), 186-200. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.017>
- Tveit, J. (2016). *Skred E 39, Hp 27, Km 12,554 - Km 13,301. Vurdering av sikring langs Skredestranda* (30137-GEOL-1).
- Tyssebotn, G. M. & Velle, H. J. (2010). *Poretrykksmålinger i ei skredutsatt dalside* (Bacheloroppgåve). Høgskulen i Sogn og Fjordane Brage Bibsys. Henta frå

https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/149778/Bachelor2010_TyssebotnVelle.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special report, 176*, 11-33. Henta frå <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr176/176-002.pdf>

Vegdirektoratet. (2014). *Flom- og sørpeskred*. Statens Vegvesen: Vegdirektoratet.

xgeo.no. (2018). Ekspertverktøy for varsling og beredskap. Henta frå <http://www.xgeo.no/index.html?p=fag>

Øydvin, E. K. (2011). *Plan for skredfarekartlegging (14)*. NVE: Norges vassdrags- og energidirektorat

Aa, A. R. & Bondevik, S. (2014). *Skredfarevurdering - kva kan kommunane sjølve gjere*. Sogndal: Høgskulen i Sogn og Fjordane.

9. Vedlegg

Vedlegg 1

Debris flow - block release																								
Skredhendling 2013																								
Namm	Utløysing	DEM (m)	DEM (m)	Brotkant høi	Brotkant vøi	μ	ξ	Erosjon losneområde			Erosjon midten			Erosjon utløpsområdet										
								shapetil	rate (m/s)	depth (per k critical shear Depth)	shapetil	R	D	CSS	D	R	D	CSS	D					
erosjon1	losneområde	5 flb	5 flb	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosjon2	losneområde	5 flb	5 flb	0.5	0.5	0.2	200	ingen erosjon																
kart3	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	ingen erosjon																
kart4	losneområde	1 (5 grid)	1 (5 grid)	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
kart5	losneområde	0,25 (3 grid)	0,25 (3 grid)	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
mux16	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	500	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
mux17	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	800	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
losne8	losneområde	1	1	0.5	0.3	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
losne9	losneområde	1	1	0.3	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
losne10	losneområde	1	1	0.5	0.4	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
losne11	losneområde	1	1	0.5	0.2	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
losne12	losneområde	1	1	4.0	5.0	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
losne13	losneområde	1	1	3.0	5.0	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
losne14	losneområde	1	1	0.2	5.0	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn15	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,050	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn16	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,200	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn17	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,500	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn18	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,400	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn19	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,050	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn20	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,200	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn21	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,500	0,200	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn22	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,400	eros3	0,025	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn23	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,050	0,100	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn24	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,200	1,000	0,200	5,000	
erosdijupn25	losneområde	1	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0,025	0,100	1,000	0,200	eros2	0,025	0,100	1,000	0,200	eros3	0,025	0,100	1,500	0,200	5,000	

erosdju25	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.500	5.000
erosdju26	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	8.000
erosdju27	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.013	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
erosdju28	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.050	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
erosdju29	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	0.500	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
erosdju30	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.013	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
erosdju31	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.050	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
erosdju32	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	0.500	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
erosdju33	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.013	0.100	1.000	5.000
erosdju34	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.050	1.000	5.000
erosdju35	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	0.500	5.000
erosdju36	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	2.000
losne37	losneområde2	1	0.2	0.2	0.2	200	Ingen erosjon														
losne38	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	Ingen erosjon														
losne39	losneområde	1	0.8	0.8	0.2	200	Ingen erosjon														
losne40	losneområde	1	1.2	1.2	0.2	200	Ingen erosjon														
losne41	losneområde	1	2.0	2.0	0.2	200	Ingen erosjon														
losne42	losneområde	1	4.0	4.0	0.2	200	Ingen erosjon														
losne43	losneområde	1	6.0	6.0	0.2	200	Ingen erosjon														
stortlosne44	losneområde3	1	1.0	1.0	0.2	200	Ingen erosjon														
stortlosne45	losneområde3	1	2.0	2.0	0.2	200	Ingen erosjon														
stortlosne46	losneområde3	1	4.0	4.0	0.2	200	Ingen erosjon														
stort47	losneområde3	1	9.7	9.7	0.2	200	Ingen erosjon														
losne48	losneområde	1	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
losne49	losneområde	1	0.3	0.3	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kart50	losneområde	1 utan grid 3	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kart51	losneområde	1 utan grid 3	0.2	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kart52	losneområde	1 med grid	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
losne53	losneområdet	1 med grid 3	0.2	0.2	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
muxi54	losneområdet	1	0.5	0.5	0.2	100	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
muxi55	losneområdet	1	0.5	0.5	0.2	1000	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kart56	losneområdet	0.5	0.5	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kanals57	skredlosne2	1 med grid	0.2	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kart58	losneområdet	1 med 5 grid	0.2	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kart59	losneområdet	5 FKB	0.2	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kart60	losneområdet	1 med 5 grid	0.2	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000
kart61	losneområdet	1 med 3 grid	0.2	0.5	0.2	200	eros1	0.025	0.100	1.000	0.200	eros2	0.025	0.100	1.000	0.200	eros3	0.025	0.100	1.000	5.000

Vedlegg 3

Dato	Kroken	Nymark	Gjennomsnitt	Temperatur (°C)	Snødekke Nymark (cm)
26.okt	3,3	11	7,15	6,6	.
27.okt	3,1	4,4	3,75	6,4	.
28.okt	7,6	0,8	4,2	5,9	.
29.okt	4,4	5	4,7	4,8	.
30.okt	4,6	3,9	4,25	2,4	.
31.okt	2	4,4	3,2	5,6	.
01.nov	8,6	13,3	10,95	5,7	.
02.nov	12,4	32,4	22,4	3,9	.
03.nov	4,8	0,3	2,55	7,1	.
04.nov	0	0	0	3,2	.
05.nov	2,4	2,4	2,4	3,2	.
06.nov	0,1	0	0,05	0	.
07.nov	0	0,1	0,05	2,5	.
08.nov	8,7	6,4	7,55	2,2	.
09.nov	16,3	23,9	20,1	1,5	.
10.nov	0,4	1,5	0,95	0,1	.
11.nov	1	1	1	2,5	.
12.nov	19,2	18	18,6	3,1	.
13.nov	39,5	29,5	34,5	1,8	.
14.nov	4,4	16,8	10,6	4,6	.
15.nov	1,9	11,7	6,8	4,3	.
16.nov	104,9	92,8	98,85	7,5	.
17.nov	18,9	11,2	15,05	2,7	.
18.nov	2,3	8,9	5,6	3,5	.
19.nov	14,4	20,7	17,55	-1,5	5
20.nov	3,6	4,8	4,2	-2,9	8
21.nov	0	0	0	-0,5	6
22.nov	0	2	1	0,9	4
23.nov	0,3	2	1,15	0,5	.

Vedlegg 3 inneheld tabell med data over nedbørsmålingar for Nymark og Kroken målestasjon i perioden 26.10.13 - 23.11.13. Temperatur er henta frå Kroken (Norges Meteorologisk Institutt, 2018).

Vedlegg 4

	1961-1990	2013	2013	2013
Månad	Nedbør Sindre (mm)	Nymark	Kroken	Gjennomsnitt av Kroken og Nymark
Januar	174,1586207	132	81	106,5
Februar	125,4517241	94,1	64	79,05
Mars	136,6724138	57,7	58,4	58,05
April	71,25172414	184,1	123	153,55
Mai	56,42068966	100,7	93,6	97,15
Juni	73,02413793	160	139,7	149,85
Juli	87,53448276	136,9	93,6	115,25
August	102,7586207	170,9	133,3	152,1
September	201,1103448	94,6	77,6	86,1
Oktober	202,7068966	181,2	183,7	182,45
November	206,4	370,3	326,3	348,3
Desember	225,4965517	405,8	327,8	366,8

Vedlegg 4 er tabell over nedbør for normalperioden 1961-1990 henta frå målestasjon Sindre, samt Nymark og Kroken for 2013 (Norges Meteorologisk Institutt, 2018).

Snødjupne på modellhøgde 940 moh

Dato	Snødjupne (cm)	Snøsmelting (mm)
26. okt.	0	0
27. okt.	0	0
28. okt.	0	0
29. okt.	0	0
30. okt.	2,3	1
31. okt.	3,7	1
1. nov.	1,7	4
2. nov.	0,7	2
3. nov.	0,1	1
4. nov.	0	0
5. nov.	0	0
6. nov.	0	0
7. nov.	0	0
8. nov.	4,6	0
9. nov.	11,2	0
10. nov.	11,3	0
11. nov.	11,6	0
12. nov.	9,3	3
13. nov.	24,6	0
14. nov.	27,9	0
15. nov.	25,7	2
16. nov.	19,3	4
17. nov.	18,3	2
18. nov.	20,3	0
19. nov.	28	0
20. nov.	31,9	0
21. nov.	31,6	0
22. nov.	31,2	0
23. nov.	31,1	0

Vedlegg 5 viser interpolerte snødata henta frå xgeo.no (2018). Dataa er frå 26.10.13-23.11.13.