

Nr. 9/2021

Bruk av RAMMS::DEBRISFLOW på kjente sørpeskredhendelser

.....
Skred AS



NVE Ekstern rapport nr. 9/2021

Bruk av RAMMS::DEBRISFLOW på kjente sørpeskredhendelser

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Sunniva Skuset/NVE

Forfatter: Skred AS v/Kalle Kronholm

Forsidefoto: Andrea Taurisano/NVE

ISBN: 978-82-410-2131-2

ISSN: 2535-8235

Saksnummer: 202003668

Sammendrag: Det finnes per i dag ingen dynamiske modeller spesifikt utviklet for beregning av bevegelse av sørpeskred. Hypotesen i dette arbeidet har vært at RAMMS::DEBRISFLOW (RDF) versjon 1.7.20, også kan anvendes til beregning av sørpeskred, dersom friksjonsparametere tilpasses. Det er gjennomgått fem sørpeskredhendelser, som har varierende informasjon tilgjengelig. I beregningene er det testet ulike sett med friksjonsparametre, plassering av løsneområder, volum i løsneområder og bruk av erosjonsmodulen. Beregningsresultatene er sammenliknet med observerte hastigheter, klatrehøyder, skredbane og skredutbredelse. Resultatene viser at det i noen grad er mulig å bruke RDF for å etterregne hendelsene, men at sørpeskred har betydelig større mobilitet enn det standard friksjonsparametre for flomskred gir ($M_y=0,2$; $K_{si}=200$ m/s²). For å få beregnede hastigheter og skredutbredelse, er det nødvendig å anvende kombinasjoner av friksjonsverdier med $M_y \leq 0,08$ og med $K_{si} \geq 2000$ m/s². For at funnene skal være direkte anvendelige for skredfarekartlegging, er det, til tross for et begrenset antall analyserte hendelser, anbefalt et sett med verdier av M_y og K_{si} , som bør brukes som utgangspunkt for beregninger av sørpeskred i kartleggingsoppdrag. Merk at verdiene er svært usikre grunnet lite datagrunnlag, men trolig er bedre enn flere av de parametersett som tidligere har vært brukt. På grunn av sørpeskreds kompleksitet, er det trolig varierende reologi gjennom sørpeskredbanen. Problemstillingen er her forenklet ved at det bare er brukt ett sett med M_y/K_{si} verdier for hele skredbanen, da det er mest realistisk i en kartleggingssituasjon. Det er også kommentert hvordan en kan håndtere medrivning av masser i skredbane og slake utløsningsområder.

Emneord: Sørpeskred, skredfareutredning, dynamisk modellering, RAMMS::DEBRISFLOW

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

Forord

Både statlig forvaltning og kommunene er helt avhengige av at skredfareutredninger er gode nok som beslutningsgrunnlag for arealdisponering, herunder å avdekke behovet for sikring. Store sprik i metodikk og dermed også konklusjoner som trekkes, gir betydelige kostnader for samfunnet. Ens og god metodikk for identifisering av fareområder vil gi et godt beslutningsgrunnlag for forvaltningen og dermed også bedre og tryggere arealutnyttelse.

En felles og oppdatert veileder for utredning av skredfare i bratt terreng ble lansert høsten 2020, og en slik veileder vil bedre aktørene i bransjens evne til å levere gode og etterprøvbare produkter. FOU-arbeidet som presenteres i denne rapporten gir konkrete anbefalinger på metodikk som brukes i skredfareutredning, og vil være et bidrag til å bedre samfunnets evne til å håndtere disse skredtypene i framtidig skredfarekartlegging.

Å få konkrete anbefalinger om bruk av et verktøy som er tilgjengelig for mange av aktørene i bransjen vil være et bidrag til å tette huller i dagens metodikk.

Denne rapporten presenterer resultater av casestudier gjort av sørpeskred i Norge og anbefalinger for bruk av programmet RAMMS::DEBRISFLOW for modellering av sørpeskred. Arbeidet er utført av Skred AS.

Innholdet i rapporten, herunder prinsipielle betraktninger, står for Skred AS sin regning.

Førde, juni 2021

Brigt Samdal

direktør

Lars Harald Blikra

seksjonssjef

Dokumentet sendes uten underskrift. Det er godkjent i henhold til interne rutiner.

Oppdragsgiver	Navn Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Kontaktperson Sunniva Skuset
Oppdrag	Nummer og navn 20181 FoU, NVE - Bruk av RAMMS for sørpeskred	Oppdragsleder Kalle Kronholm
Dokument	Nummer 20181-01-1 Utført av Kalle Kronholm	Dato 2021-05-18 Kontrollert av Andrea Taurisano

Bruk av RAMMS::DEBRISFLOW på kjente sørpeskredhendelser

Sammendrag

I forbindelse med utarbeidelse av ny veileder for kartlegging av skredfare i bratt terreng, ble det identifisert et behov for en mer validert og robust metodikk for modellering av sørpeskredutløpet ved hjelp av eksisterende modellverktøy. Prosjektet ble finansiert i 2020 gjennom NVE, som prosjekt 40319-B801. Denne rapporten er hovedleveransen fra FoU prosjektet.

Det finnes per i dag ingen dynamiske modeller spesifikt utviklet for beregning av bevegelse av sørpeskred, men modeller utviklet for andre strømlignende skredprosesser, f.eks. RAMMS::DEBRISFLOW (RDF), inneholder sett med friksjonsparametere anbefalt for beregning av flomskred. Hypotesen i dette arbeidet har vært at RDF kan også anvendes til beregning av sørpeskred, hvor skredmassenes vanninnhold og mobilitet trolig er noe høyere enn ved flomskred, dersom friksjonsparametere tilpasses.

Vi har gått gjennom fem sørpeskredhendelser, som har varierende informasjon tilgjengelig. Mengden av informasjon har dog vært slik at vi har kunnet sette opp RDF slik at vi har hatt noenlunde mulighet for å teste om modellresultatene stemmer med observasjoner. I beregningene har vi testet ulike sett med friksjonsparametre, plassering av løснеområder, volum i løснеområder og bruk av erosjonsmodulen. Beregningsresultatene er sammenliknet med observerte hastigheter, klatrehøyder, skredbane og skredutbredelse.

Gjennomgangen av hendelsene, viser at det i noen grad er mulig å bruke RDF for å etterregne hendelsene, men at sørpeskred har betydelig større mobilitet enn det standard friksjonsparametre for flomskred ($M\gamma=0,2$; $K_{si}=200 \text{ m/s}^2$) gir. For å få beregnede hastigheter og skredutbredelse, er det nødvendig å anvende kombinasjoner av friksjonsverdier med

$My \leq 0,08$ og med $Ksi \geq 2000 \text{ m/s}^2$. For at funnene skal være direkte anvendelige for skredfarekartlegging, har vi, til tross for et begrenset antall analyserte hendelser, anbefalt et sett med verdier av My og Ksi , som bør brukes som utgangspunkt for beregninger av sørpeskred i kartleggingsoppdrag (se tabell under). Merk at verdiene er svært usikre grunnet lite datagrunnlag, men trolig er bedre enn flere av de parametersett som tidligere har vært brukt.

Årlig sannsynlighet	Bruk av erosjon?	My (-)	Ksi (m/s^2)
1/100	Nei	0,08	2000
	Ja	0,08	3000
1/1000	Nei	0,05	3000
	Ja	0,05	4000
1/5000*	Nei	0,04	4000
	Ja	0,04	5000

* For faresoner 1/5000 der sørpeskred er dimensjonerende hendelse, anbefales det å legge større vekt på geomorfologisk tolkning enn på beregningsresultater fra en dynamisk modell.

De analyserte sørpeskredene viser at det er svært mye medrivning av masser, både snø og løsmasser, i skredbanen. Flere av hendelsene har trolig gått fra sørpeskred i løsnemrådet til flomskred, med en annen reologi enn sørpeskred, i utløpsområdet. Vi har forenklet problemstillingen ved bare å bruke ett sett med My/Ksi verdier for hele skredbanen, da det er mest realistisk i en kartleggingssituasjon.

Medrivning av masser i skredbanen håndteres best beregningsteknisk ved å bruke erosjonsmodulen i RDF, i stedet for å plassere antatt mengde eroderte/medrevne masser i løsnemrådet. Vi har bare testet innstillingene som gir størst mulig erosjon med minst mulig energitap. Verdiene i RDF er definert for løsmasser, og det bør gjøres mer arbeid for å overføre disse verdiene til medrivning av snø i sørpeskred. Valg av kombinasjonen av My/Ksi avhenger av om erosjonsmodulen brukes eller ikke (se tabell over).

Ved beregning av sørpeskred som antas å løsne i terreng slakere enn 10° , anbefaler vi å bruke «beregningstekniske løsnemråder», plassert i terreng brattere enn 10° , men i den samme skredbanen. I slike tilfeller, og dersom faresonene i stor grad lages med støtte fra sørpeskredberegningene, bør det undersøkes og kommenteres hvordan plassering av «beregningstekniske løsnemråder» påvirker modellresultatene. Dette kan for eksempel gjøres ved å utføre beregninger med to ulike «beregningstekniske løsnemråder», og studere hvordan valg av disse påvirker resultatene.

Innhold

1	Innledning	8
1.1	Bakgrunn	8
1.2	Problemstilling	8
1.3	Hypotese	8
1.4	Mål	8
1.5	Metodikk som beskrevet i søknaden	8
1.6	Avgrensninger	8
1.7	Tidligere studier og rapporter	9
1.7.1	Resultater fra NGI FoU på snøskred	10
1.7.2	Skred AS rapport med anbefalinger fra Vannledningsdalen, Longyearbyen	11
2	Metodikk	13
2.1	Grunnlag og antakelser	13
2.2	Praktisk tilnærming	14
2.3	Hendelsene	14
2.4	Bruk av den dynamiske modellen RAMMS	16
2.4.1	Om RAMMS::DEBRISFLOW	16
2.4.2	Løsneområdet («Release area» i RDF)	17
2.4.3	Utløsningsparametere («Release parameters» i RDF)	18
2.4.4	Bruddkanthøyde	18
2.4.5	Friksjonsparametere («Mu/Ksi Friction parameters» i RDF)	18
2.4.6	Medrivning/erosjon («Erosion parameters» i RAMMS)	19
2.4.7	Generelle simuleringsparametere («Simulation parameters» i RDF)	21
2.4.8	Tetthet av skredmassene	21
2.4.9	Oppløsning av terrengmodellen	22
2.4.10	Kartforklaringer	22
3	Oppdal, Storlidalen, Landlaupet; 2018-05-10	24
3.1	Bruk av hendelsen	24
3.2	Grunnlag	24
3.3	Hendelsen	25
3.4	Modellresultater	29
3.4.1	Reelt (øvre) løsneområde uten erosjon	29
3.4.2	Løsneområde på hele platået uten erosjon	30
3.4.3	Reelt (øvre) løsneområde med (snø)erosjon	31
3.4.4	Beregningsteknisk justert løsneområde; uten erosjon	32
3.5	Diskusjon	36
3.5.1	Initialhastighet av skredmassene i modellen	36
3.5.2	Bruk av erosjonsmodul	37
3.5.3	Bruk av ett sett med verdier for My og Ksi i en kompleks skredprosess	37
3.5.4	Bruk av «beregningstekniske løsneområder»	38
4	Vik, Juvik, Djupevikelvi; 2019-12-29	39

4.1	Bruk av hendelsen	39
4.2	Grunnlag	39
4.3	Hendelsen	39
4.4	Modellresultater	40
4.4.1	Løsneområde	40
4.4.2	Beregninger uten erosjon	41
4.4.3	Beregninger med erosjon	44
4.4.4	Oppløsning	50
4.5	Diskusjon og anbefalinger fra hendelsen	52
4.5.1	Ulike løsneområder	52
4.5.2	Bruk av My/Ksi verdier	52
4.5.3	Oppløsning i terrengmodell	52
5	Balestrand, Ese; 2011-03-21.....	54
5.1	Bruk av hendelsen	54
5.2	Grunnlag	54
5.3	Hendelsen	55
5.4	Modellresultater	55
5.4.1	My/Ksi med begrenset volum ($V_L=8000 \text{ m}^3$) og uten erosjon	55
5.4.2	My/Ksi med økt volum enten ved erosjon eller i løsneområdet	58
5.5	Diskusjon.....	60
6	Tinn, Stavsro, Stavsrobekken; 2019-04-29.....	61
6.1	Bruk av hendelsen	61
6.2	Grunnlag	63
6.3	Hendelsen	63
6.4	Modellresultater	64
6.4.1	Uten erosjon eller ekstra masser i løsneområdet.....	64
6.4.2	Større volum i løsneområdet	65
6.4.3	Medrivning	68
6.4.4	Horisontal oppløsning	70
6.5	Diskusjon.....	70
6.5.1	Terrengmodell	70
6.5.2	Valg av My og Ksi.....	71
6.5.3	Hvordan oppnå realistiske skredvolum.....	71
7	Hattfjelldal, Skardmodalen, Rapbekken; 2010-05-16.....	72
7.1	Bruk av hendelsen	72
7.2	Grunnlag	72
7.3	Hendelsen	72
7.4	Modellresultater	74
7.5	Diskusjon.....	76
8	Diskusjon og anbefalinger for bruk av RDF for sørpeskred i kartleggingsoppdrag.....	78
8.1	Bruk av RAMMS::DEBRIS FLOW for hendelsene	78

8.2	Valg av friksjonsparametre M_y og K_{si}	78
8.2.1	Avgrensning av M_y og K_{si}	78
8.2.2	Overgang fra sørpeskred til flomskred.....	79
8.2.3	Anbefalte verdier for M_y og K_{si} for sørpeskred.....	79
8.2.4	Valg av løснеområder.....	80
8.2.5	Valg av løsnævolum og bruk av erosjon.....	80
8.3	Andre observasjoner fra de analyserte hendelsene	81
8.3.1	Definisjon av område med skredskader av betydning.....	81
9	Referanseliste	82

Figurer

Figur 1: Fronthastighet av sørpeskred i Skardmodalen 2010-05-16 beregnet fra en serie bilder. Fra (NGI, 2016, 2015b).	11
Figur 2: Plassering av de analyserte hendelsene.	16
Figur 3: RDF fane med innstillinger for erosjonen i skredbanen.	21
Figur 4: Skredhendelsen ved Landlaupet med løснеområder (reelt og beregningstekniske), erosjonsområde (medrivning; for snø), skredutbredelse og benevnelse av de ulike deler av skredbanen.	25
Figur 5: Løснеområdet vest for Springtverråtjønna. Foto: Gunne Håland, SVV. Foto mot nord.	27
Figur 6: Skredbanen langs Springtverråa. Tydelige oscillasjoner, der skredmasser har klatret oppover i dalsidene, er vist med piler. Foto: Gunne Håland, SVV. Foto mot nordøst.	28
Figur 7: Dronefoto som viser skredavsetninger på øvre del av vifta ved Landlaupet. Hytta på Åmellom 33 nærmest skredavsetningene. Foto mot sørøst.....	28
Figur 8: Storlidalsvegen og massestrømmen over denne, kort tid etter skredhendelsen. Foto: Gunne Håland, SVV. Foto mot nord.	29
Figur 9: Beregnet hastighet for et tilfelle der området langs bekken på hele platået er definert som løśnieområde, og $M_y=0,05$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$; $V_L=21.200 \text{ m}^3$. Merk at det nordlige løpet på vifta her er aktivert, men med for liten arealmessig utbredelse, og at det er for stort overløp langs den sørlige avgrensning av skredutløpet.....	31
Figur 10: Modellert erosjon av snø nedenfor løøgneområdet «Øvre», som her er brukt [A_06].	32
Figur 11: Kart med beregnet avsetning av masser på vifta ved Landlaupet, og for kort utløp. $M_y=0,15$; $K_{si}=500 \text{ m/s}^2$; løøgneområde «nedre», $V_L=6000 \text{ m}^3$ [A_23].	35
Figur 12: Beregnet flyte høyde med $V_L=6300 \text{ m}^3$; $M_y=0,08$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ [A_20] gir beste beregnet utløp sammenliknet med observasjoner, av de vi har testet. Man kunne sikkert få til enda bedre overensstemmelse ved å justere enda mer på parametrene, men det gir ikke bedre grunnlag for å anbefale verdier for en kartleggingssituasjon.	36
Figur 13: RAMMS innstilling for hydrograf.....	37
Figur 14: Bilde tatt etter hendelse i Juvik. Fra https://beta.regobs.no/registration/204816 . Foto: Jan Helge Selbu, SVV.	40

Figur 15: De tre ulike løснеområdene testet for sørpeskredet i Juvik.....	41
Figur 16: Modellerte flyte høyde på skredmasser med øvre løsningsområde og $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ [A_08].	44
Figur 17: Modellert erosjonsdybde for hendelsen i Juvik.....	46
Figur 18: Utviklingen i total massetransport med erosjon i skredbanen: $My=0,08$; $Ksi=2000$ m/s^2 ; med erosjon [A_17]. Løsningsvolum var 8000 m^3 , men erosjon gjorde at det totale volum i bevegelse økte til rundt 27.000 m^3 . Områdene med erosjon er vist i Figur 17A.	47
Figur 19: Modellerte flyte høyder med/uten erosjon for $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$	48
Figur 20: Modellerte maksimale hastigheter med/uten erosjon for $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$. Nedre del av erosjonspolygonen ses med blå strek. Merk overløpet av den markerte ryggen indikert med svart pil.....	49
Figur 21: Modellerte maksimale hastigheter med horisontal oppløsning på 1 m (venstre), 2 m (midt) og 5 m (høyre), for $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$. Modellerte hastigheter og klatrehøyder er svært like, spesielt mellom 1 m og 2 m oppløsning.	51
Figur 22: Bilde av hendelsen i Balestrand, Ese, tatt av NGI. Fra NGI rapport 20130593-01-R, henvist til fra (Devoli mfl., 2020).	54
Figur 23: Eksempler på beregninger (hastighet er vist) som ikke gir skredutløp på en større del av vifta på Ese. Blå polygon viser estimert skredutbredelse fra NVE Atlas. For alle er $V_L=8000 \text{ m}^3$	58
Figur 24: Resultater for beregninger med store volum, som gir skredutløp på en større del av vifta på Ese.....	59
Figur 25: Utvikling av volum ved bruk av erosjon i beregningene på Ese, for $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$; $V_L=8000 \text{ m}^3$ og erosjonsinnstillingene vist i Figur 3.	60
Figur 26: Skredutbredelse og løsningsområde langs Stavsrobekken fra NVE Atlas og utløpsområdet tolket fra bilder.....	61
Figur 27: Løsningsområdet. Foto: Espen Faane (NCC), oversendt fra NVE. Foto tatt mot vest...	62
Figur 28: Utløpsområdet sett ovenfra. Foto: Espen Faane (NCC), oversendt fra NVE. Foto tatt mot sørøst.	62
Figur 29: Utløpsområdet ved parkeringsplassen ved Stavsro. Utedoen i høyre bildekant. Foto: Espen Faane (NCC), fra https://regobs.no/Registration/193038	63
Figur 30: Flyfoto fra 2002, med spor etter nylig sørpeskred. Gul linje viser grovt estimert utløpsområde, der det er avsatt løsmasser. Fra kart.finn.no.	64
Figur 31: Maksimal flyte høyde for beregning uten erosjon og med $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$; $V_L=2100 \text{ m}^3$. Utbredelsen av skredmasser er betydelig mindre enn observasjoner viser.	65
Figur 32: Maksimal flyte høyde (A; C) og hastighet (B) for beregning uten erosjon og med $V_L=14.000 \text{ m}^3$. Utbredelsen av skredmasser i øvre deler av skredbanen er bredere enn vist i NVE Atlas, og utbredelsen i utløpsområdet er mindre enn observasjoner tilsier.	67
Figur 33: Oppsummering av beregning med erosjon som vist i Figur 3 og med $V_L=2100 \text{ m}^3$; $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ [06]. Utbredelsen av skredmasser i øvre del av skredbanen	

er bredere enn vist i NVE Atlas, men mer som observert i Figur 27, og utbredelsen i ytterst i utløpsområdet er mindre enn observert.....	69
Figur 34: Oppsummering av beregning med erosjon som vist i Figur 3 og med $V_L=2100 \text{ m}^3$; $M_y=0,08$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ [14]. Inngangsverdiene er som i Figur 33, men her med horisontal oppløsning i terrengmodellen på 5 m i stedet for 2 m som i Figur 33. Se Figur 32 for tegnforklaring.....	70
Figur 35: Løsneområde, erosjonsområde i modellen og skredbanen fra hendelsen i Skardmodalen.....	73
Figur 36: Beregnede hastigheter langsetter en profil i skredbanen, med parametre som i best mulig grad representerer hendelsen i Skardmodalen. Merk at usikkerhetene i NGI sin beregning av hastigheter ikke er vist.	75
Figur 37: Beregnede hastigheter langsetter en profil i skredbanen i Skardmodalen, med justerte parametre for å vise effekten av erosjon (rød linje) og større bruddkant (økt fra 150 cm til 300 cm; oransje linje) i en tenkt kartleggings situasjon.....	76

Tabeller

Tabell 1: Oppsummering av modelloppsett for tidligere dynamiske modelleringer av sørpeskred.	10
Tabell 2: Verdier for designskred for de ulike årlige sannsynlighetene gitt i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018). Scenarioer merket med GRÅ bakgrunn er relevante for typiske oppdrag med faresonekartlegging, gitt dagens krav til sikkerhetsklasse S1, S2 og S3. Estimerte løsnevolum er en funksjon av den lokale topografien, og kan ikke overføres direkte til andre områder.	12
Tabell 3: Utvalg av anbefalte verdier for M_y og K_{si} for RAMMS or snøskred. Fra RAMMS brukerhåndboken (SLF, 2021).	13
Tabell 4: Oversikt over de analyserte hendelsene. Lokasjon av hendelsene er vist i Figur 2..	15
Tabell 5: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsene.	19
Tabell 6: Kartforklaringer brukt i figurene i rapporten.	23
Tabell 7: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen ved Landlaupet med «beregningstekniske løsneområder».....	33
Tabell 8: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen i Juvik.	43
Tabell 9: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen ved Ese, Balestrand.....	56
Tabell 10: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen i Stavsrobekken.....	66
Tabell 11: Tolket informasjon fra skredhendelsen i Skardmodalen.	74
Tabell 12: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen i Skardmodalen.	74
Tabell 13: Anvendte kombinasjoner av M_y og K_{si} for utførte beregninger av skredhendelsene, som antas å ha en årlig sannsynlighet på 1/10-1/100.....	78
Tabell 14: Anbefalte verdier for friksjonsparametre M_y og K_{si} til bruk i modellering ved kartlegging av faresoner dimensjonert av sørpeskred.....	79

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Gjennom et arbeid med utkast til en bransjestandard/veileder for kartlegging av skred i bratt terreng, utført i 2018-2019 ble det av de ulike prosjektgrupper identifisert behov for forskning innen visse områder. I gruppa som utarbeidet forslag til metodikk for jordskred, flomskred og sørpeskred ble det identifisert et behov for en mer validert og robust metodikk for modellering av sørpeskredutløpet ved hjelp av eksisterende modellverktøy, for dermed bedre å kunne kartlegge faresoner for sørpeskred (Prosjektsøknad SV20x06).

Prosjektet ble finansiert i 2020 gjennom NVE, som NVE FoU prosjekt 40319-B801. Denne rapporten er hovedleveransen fra FoU prosjektet.

1.2 Problemstilling

Det finnes per i dag ingen dynamiske modeller spesifikt utviklet for beregning av bevegelse av sørpeskred. Dette er et usikkerhetsmoment ved skrefarekartlegging i store deler av Norge.

Dynamiske modeller utviklet for andre strømlignende skredprosesser, f.eks. RAMMS::DEBRISFLOW (heretter forkortet til RDF), inneholder sett med friksjonsparametere anbefalt for beregning av flomskred.

1.3 Hypotese

RDF kan også anvendes til beregning av sørpeskred, hvor skredmassenes vanninnhold og mobilitet trolig er noe høyere enn ved flomskred, dersom friksjonsparametere tilpasses.

1.4 Mål

Definere og anbefale friksjonsparametere (μ «My» og ξ «Ksi») som gir akseptable resultater når RDF brukes for beregning av bevegelsen av sørpeskred.

1.5 Metodikk som beskrevet i søknaden

Metodikken som ble beskrevet i søknaden, er under prosjektutførelsen blitt justert i metodikken for best mulig resultat. Metodikken er nærmere beskrevet i kapittel 2, men nedenfor følger beskrivelsen, slik den var satt opp i prosjektsøknaden:

Det innsamles data fra et utvalg av 5 – 10 kjente sørpeskred. En forutsetning er at både løsneområdet og skredutløpet skal være kjent. Et volumanslag for skredhendelsene som skal etterregnes, bør ideelt også være tilgjengelig eller må kunne estimeres med brukbar nøyaktighet.

Etterregning av de utvalgte skredhendelsene både med standard friksjonsparametere kalibrert for flomskred og nye sett av friksjonsparametere. Sensitivitetsanalyser for å dokumentere effekten av friksjonsparametere vs. volumet, på det beregnede utløpet.

1.6 Avgrensninger

For hver av de kjente hendelsene er løsneområdene estimert på ulike måter, men vi har ikke forsøkt å trekke konklusjoner fra dette til definisjon av løsneområder i mer generelle

kartleggingsoppdrag. Vi oppfatter det slik at det arbeidet inngår i et parallelt FoU oppdrag «anbefaling av kriterier for definisjon av løsnemråder for sørpeskred», som utføres av NGI for NVE.

1.7 Tidligere studier og rapporter

Det er tidligere utført flere studier av sørpeskred både i Norge og i utlandet. Dog har vi ikke kjennskap til mange studier der sørpeskredbevegelse etterregnes med dynamiske modeller. De få vi kjenner til er oppsummert nedenfor. Merk at flere av kildene er konsulentrapporter, der dynamisk modellering er anvendt, men der grunnlaget i liten grad er beskrevet og bygger mer på forfatterens egne erfaringer enn på FoU-validert kunnskap.

Tabell 1: Oppsummering av modelloppsett for tidligere dynamiske modelleringer av sørpeskred.

Inngangsparameter og informasjon	NGI rapport 20120650-01-R (NGI, 2015a)	NVE rapport 91-2016 (NVE, 2016)	NGI FoU rapport (NGI, 2016, 2015b)	Skred AS rapport Longyearbyen (Skred AS/HNIT Consulting, 2018)
Sted	Longyearbyen	Longyearbyen	Hattfjelldal, Skardmodalen	Longyearbyen
Bruk	Faresoner/sikringstiltak	Faresoner	Enkelthendelse	Faresoner/sikringstiltak
Dynamisk modell	RAMMS, versjon og modul ikke gitt	RAMMS, versjon og modul ikke gitt	RAMMS, versjon og modul ikke gitt	RAMMS, modul for «debris flow», versjon 1.7.20
Ksi (m/s ²)	3000, 5000, 10.000 (de to høyeste verdier ble ansett «å være veldig høye og neppe realistiske»)	600	1000-3000 (best er 2000)	500-4500 (se Tabell 2)
My (-)	0,05	0,08	0,05	0,14-0,04 (se Tabell 2)
Bruddhøyde HB (m)	4	1	1,5	
Utløsningsvolum (m ³)			15.300	4000-60.000
Erosjon (m)	4 (inkludert som volum i løsneområdet)	Ikke gitt	Ikke gitt	Inkludert som volum i løsneområdet

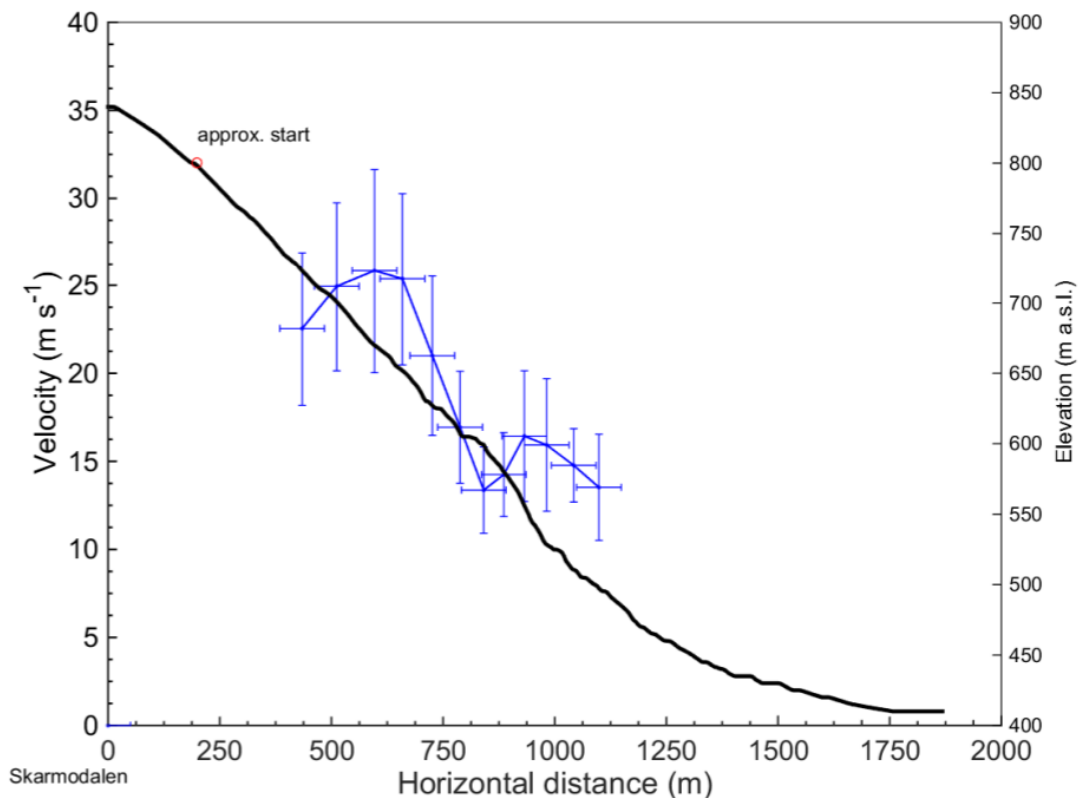
1.7.1 Resultater fra NGI FoU på snøskred

I årsrapporten for 2014 fra NGI sitt FoU-prosjekt på snøskred (NGI, 2015b), er det beskrivelse av en enkelt sørpeskredhendelse i Skardmodalen (vår case Skardmodalen, beskrevet i avsnitt 7). Basert på en bildesekvens, er fronthastighet av hendelsen beregnet over en strekning på rundt 600 m, gjengitt nedenfor i Figur 1. Maksimal fronthastighet er målt til 15-25 m/s, men usikkerhetene er relativt store.

I årsrapporten for 2015 fra NGI sitt FoU-prosjekt på snøskred (NGI, 2016) er samme hendelsen etterregnet med RAMMS. Bruddkanthøyde (1,5 m) og areal er estimert, og det er utført beregninger med $My=0,05$ og Ksi 1000-3000 m/s². Det er ikke gitt ytterligere

informasjon om modelloppsettet, som er oppsummert i Tabell 1.

NGI har ikke variert friksjonsparameteren M_y i beregningene, men brukt $M_y=0,05$. Basert på generelle betraktninger, har de argumentert for at $M_y \leq 0,1$. Beste verdi for K_{si} er ifølge rapporten 2000 m/s^2 (med $M_y=0,05$), uten at resultatene er vist.



Figur 1: Fronthastighet av sørpeskred i Skardmodalen 2010-05-16 beregnet fra en serie bilder. Fra (NGI, 2016, 2015b).

1.7.2 Skred AS rapport med anbefalinger fra Vannledningsdalen, Longyearbyen

I forbindelse med prosjektering av sikringstiltak mot sørpeskred langsetter Vannledningsdalen, gjorde Skred AS flere beregninger med RDF (Skred AS/HNIT Consulting, 2018). Et sett med verdier for følgende parametre ble brukt som dimensjonerende skredhendelser (Tabell 2):

- Løsneområde; både plassering og areal ble differensiert
- Bruddkant; og dermed løsnevolum, når kombinert med løsnearealet
- Friksjonsparametre M_y og K_{si}

Verdiene ble valgt basert på faglig skjønn, delvis basert på en gjennomgang av tidligere hendelser i Vannledningsdalen, og delvis basert på geometriske betraktninger rundt løsneområde og potensiale for medrivning. Funksjonalitet i RDF for medrivning ble ikke brukt, men medrivningsvolum ble håndtert ved å legge til dette i løsneområdet.

Beregningene viste en tendens til oscillasjoner langsetter Vannledningsdalen. Dette er ikke observert i den dalen, men flere andre steder (se blant annet vår case i Vik, avsnitt 4).

Tabell 2: Verdier for designskred for de ulike årlige sannsynlighetene gitt for Vannledningsdalen på Svalbard i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018). Scenarioer merket med GRÅ bakgrunn er relevante for typiske oppdrag med faresonekartlegging, gitt dagens krav til sikkerhetsklasse S1, S2 og S3. Estimerte løsnepolum er en funksjon av den lokale topografien, og kan ikke overføres direkte til andre områder.

Scenario (årlig sannsynlighet)	Volum (m ³)	My (-)	Ksi (m/s ²)
1/10	4000	0,15	500
1/20	10.000	0,12	1000
1/50	20.000	0,09	1600
1/100	25.000	0,075 NB: RDF runder av dette til 0,08	2000
1/333	35.000	0,06	2700
1/1000	45.000	0,05	3500
1/5000	60.000	0,04	4500

2 Metodikk

2.1 Grunnlag og antakelser

Arbeidet har hatt som mål å undersøke om RDF kan brukes som dynamisk modell til beregning av bevegelse av sørpeskred. Prosjektet er gjennomført som en casestudie ved at vi har samlet inn informasjon om kjente sørpeskredhendelser, og deretter satt opp RDF for hver enkelt hendelse. For hver hendelse har vi testet flere sett med friksjonsparametre μ og ξ , og ofte også flere løsneområder og -volum. Det har vært arbeidet mer spesifikt med hver enkelt hendelse enn i det tidligere arbeidet med bruk av RDF på jordskred (Taurisano, 2020), der det var en mer overordnet tilnærming til å kunne bruke RDF for jordskred i kartlegging av faresoner. I dette prosjektet har vi studert strømningsmønster i hver enkelt hendelse, og basert på det, forsøkt å konkludere på spørsmålet om RDF kan brukes til å modellere sørpeskredbevegelse. Dette har vært første steg i arbeidet.

For å bringe arbeidet videre mot kartlegging av faresoner for sørpeskred, har vi i steg 2, forsøkt å generalisere funnene fra beregningsresultater fra hver enkelt hendelse. Der har vi hatt som utgangspunkt samme tilnærmingen til bruken av en dynamisk modell, som for RAMMS for snøskred (Tabell 3): mer ekstreme og sjeldne hendelser kan modelleres med lavere friksjon (lavere μ og høyere ξ), i tillegg til mulig større løsneområder og økt løsnevolum. Tanken har vært at man kan definere et sett med verdier av μ og ξ , for hver årlig sannsynlighet definert i TEK17 (1/100, 1/1000 og 1/5000), på samme måten som anbefalingene er gjort i RAMMS for snøskred (Tabell 3), dog for noe høyere årlige sannsynligheter, og uten detaljene rundt høydenivå. Videre har utgangspunktet vært at løsneområde (areal og plassering) og løsnevolum (i RDF definert sammen med løsneområde med en bruddkanthøyde) må defineres for hvert sett med beregninger ut fra terreng og klima.

Tabell 3: Utvalg av anbefalte verdier for μ og ξ for RAMMS or snøskred. Fra RAMMS brukerhåndboken (SLF, 2021).

Large avalanche (> 60'000 m ³)		300-Year		100-Year	
	Altitude (m.a.s.l.)	μ	ξ	μ	ξ
unchannelled	above 1500	0.155	3000	0.165	3000
	1000 - 1500	0.17	2500	0.18	2500
	below 1000	0.19	2000	0.2	2000
channelled	above 1500	0.21	2000	0.22	2000
	1000 - 1500	0.22	1750	0.23	1750
	below 1000	0.24	1500	0.25	1500
gully	above 1500	0.27	1500	0.28	1500
	1000 - 1500	0.285	1350	0.3	1350
	below 1000	0.3	1200	0.315	1200
flat	above 1500	0.14	4000	0.15	4000
	1000 - 1500	0.15	3500	0.16	3500
	below 1000	0.17	3000	0.18	3000

2.2 Praktisk tilnærming

Arbeidet har foregått etter følgende steg, hvorav de viktigste er nærmere beskrevet i avsnittene nedenfor:

- Utvalg av hendelser (case).
- Nedlastning av 1 x 1 m DTM fra LiDAR-data (fra www.hoydedata.no) for områdene rundt hendelsene.
- Produksjon av helningskart og skyggekart fra DTM, i GIS.
- Tolkning av informasjon om skredhendelsene: blant annet løснеområde, skredbane, utløpsområde og hastigheter.
- Oppsett av nytt prosjekt i RDF og simuleringer.
- Sammenstilling og vurdering av modellresultater i GIS.

2.3 Hendelsene

Tidlig i prosjektet sendte vi ut en e-post til rådgivere og etater som kunne tenkes å sitte på verdifull informasjon om kjente sørpeskred. Vi fikk begrenset med tilbakemeldinger, og valgte derfor å gå videre med primært de hendelsene vi kjente fra før.

I august/september 2020 så vi at det i NVE Atlas var lagt inn flere sørpeskredhendelser, men da vi ikke kjenner til detaljene for disse hendelsene, har vi bare brukt enkelte av dem. I oktober 2020 fikk vi tilgang til registrerte sørpeskred i en database laget av NGI. Siden disse var laget primært for informasjon om løснеområdene, og vi er usikre på presisjonen av de tegnede områdene, har vi ikke brukt disse. Dog er ligger flere av de hendelsene vi har brukt også i NGI sin database.

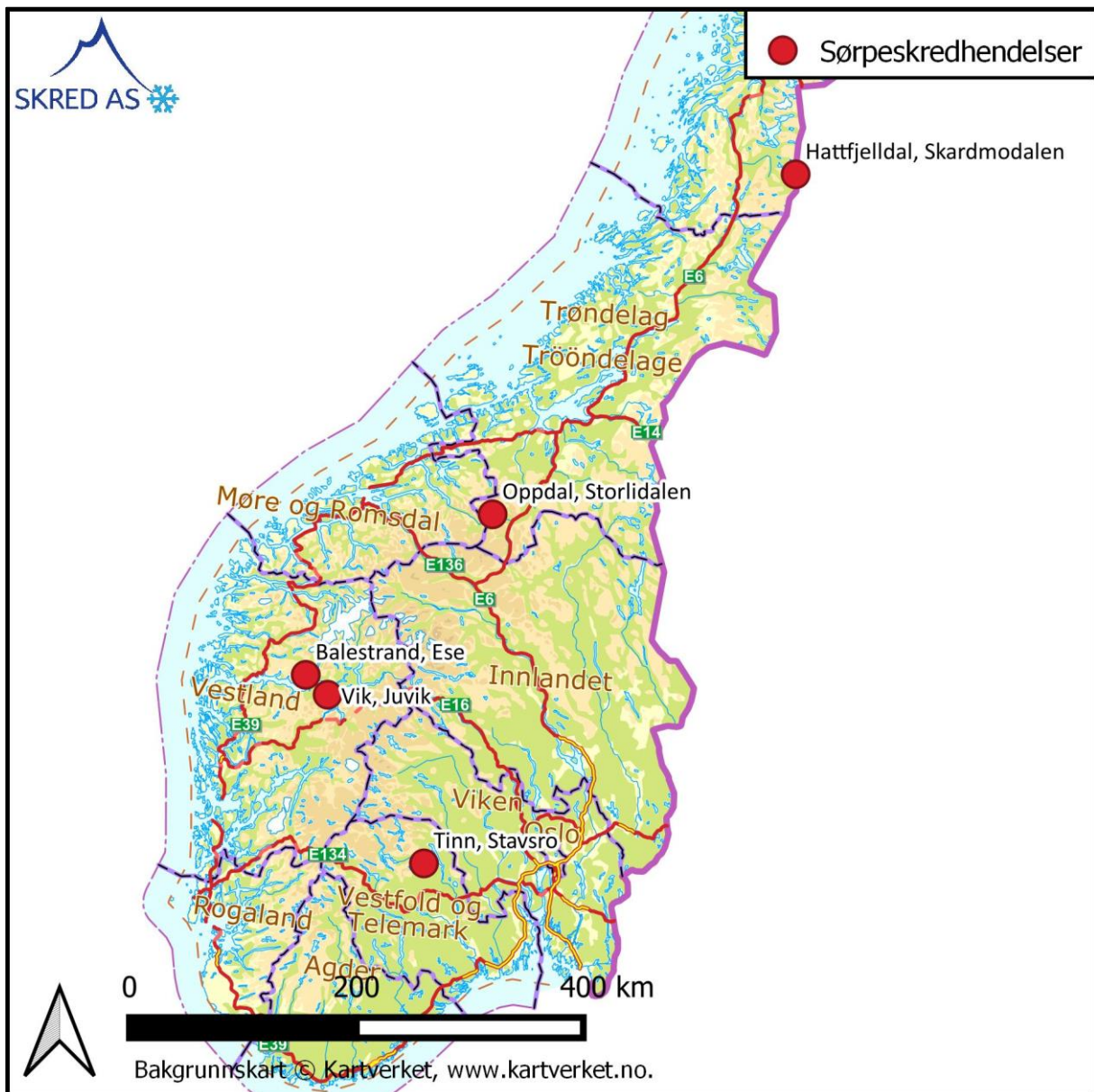
Hendelsene som er brukt (Tabell 4; Figur 2), har vi så god dokumentasjon av, at vi mener de kan brukes til dette semi-kvantitative studiet. Hendelsene vi har brukt, gir oss informasjon om minst en av følgende:

- 1) hastighet i skredbanen gjennom både målinger av plassering av fronten over tid,
- 2) klatrehøyder på naturlig terreng, eller
- 3) skredutbredelse i utløpsområdet.

I tillegg til hendelsene vist i Tabell 4, har vi utført beregninger på to hendelser fra Vannledningsdalen på Svalbard, men vi så at det var for lite informasjon til at hendelsene ga nok grunnlag for å vurdere beregningsresultatene. Hendelsene med ID 05 og 06 mangler derfor i Tabell 4.

Tabell 4: Oversikt over de analyserte hendelsene. Lokasjon av hendelsene er vist i Figur 2.

ID	Plassering	Dato	Info om løsneområde	Info om dynamikk og utløp
01	Oppdal, Storlidalen, Landlaupet	2018-05-10	Bilder fra rett etter skredet, oversendt fra SVV. Løsneområdet er godt synlig.	Bilder fra dagen etter hendelsen oversendt fra SVV. Skred AS befaring i området i 2018. Skredmasser ut over en vifte og med utløp på et jorde.
02	Vik, Juvik, Djupevikelvi	2019-12-09	Bilder fra RegObs, tatt av SVV. Løsneområdet er ikke tydelig definert.	Bilder viser skredløp ned gjennom trang dal, over vei og på sjøen (Sognefjorden). Ned gjennom dalen har skredmasser klatret over flere markerte rygger.
03	Balestrand, Ese	2011-03-21	Lite informasjon, mest fra NVE Atlas	Utløp fra NVE atlas og bilder i NGI rapport.
04	Tinn, Stavsro, Stavsrobekken	2019-04-29	Usikkert, mest fra NVE Atlas	Fra bilder i media og NVE Atlas.
07	Hattfjelldal, Skardmodalen, Rapbekken	2010-05-16	Fra bilder i NGI rapport. Bruddkant og volum estimert av NGI fra bilder.	Hastigheter estimert av NGI fra bildesekvens.



Figur 2: Plassering av de analyserte hendelsene.

2.4 Bruk av den dynamiske modellen RAMMS

2.4.1 Om RAMMS::DEBRISFLOW

RAMMS (Rapid Mass Movements Simulation) er et todimensjonalt numerisk simuleringsprogram som beregner massebevegelser over et tredimensjonalt terreng. Alle RAMMS-moduler, inkl. RAMMS::DEBRISFLOW (RDF) (Christen mfl., 2012; SLF, 2021), er utviklet i Sveits av WSL-institutt for snø og skredforskning SLF. Den aktuelle RAMMS-modulen er utviklet for modellering av «torrent based debris flows and hillslope debris flows».

Dette kapittelet omtaler RDF's funksjoner av størst betydning for praktisk bruk av programvaren, men forutsetter at leseren allerede er kjent med programvaren. For informasjon om den teoretiske bakgrunnen for verktøyet, veiledning til utførelse av

simuleringer, eller fordykning av temaene omtalt nedenfor, henvises det til (Christen mfl., 2010) og RDF [Manual](#) (SLF, 2021). I denne studien er versjon 1.7.20 av RDF benyttet. Denne versjonen introduserer noen endringer i forhold til tidligere versjoner, beskrevet i manualen i lenken ovenfor.

I RDF kan følgende parametre justeres av brukeren:

- Løsneområde
 - o Plassering
 - o Arealmessig dekning og form
- Bruddhøyde
 - o Sammen med areal, gir dette løsnevolum
- My
 - o Bakkefriksjon: Styrer primært hastighet i utløpsområdet og utløpslengde
- Ksi
 - o Intern friksjon: Styrer primært den maksimale hastighet i den modellerte skredbevegelsen
- Erosjon
 - o I modellen eroderes masser i skredbanen, og bringes i bevegelse (kalles også medrivning)
- Tetthet av skredmassene
 - o Har bare betydning for beregning av trykk, ikke for beregnet hastighet eller utløpslengde
- Oppløsning på underliggende terrengmodell brukt i beregningene (trenger ikke være lik den terrengmodellen som leses inn i RDF)

Hver av disse beskrives nedenfor. **Fet tekst** markerer hvilke innstillinger som er anvendt i beregningene, i de tilfelle de er holdt konstant eller det er benyttet et fast sett med verdier.

2.4.2 Løsneområdet («Release area» i RDF)

RDF gjør det mulig å tegne løsneområder i terrengmodellen, noe som blir lettere dersom et utsnitt av topografisk kart og/eller flyfoto også er benyttet som datagrunnlag for beregningen.

Et bedre alternativ er å importere en shape-fil med løsneområder tegnet i GIS, der man har bedre tegnefunksjonalitet og mer datagrunnlag å bruke for å avgrense løsneområder (f.eks. helningskart, skyggekart og historiske flyfoto).

I dette oppdraget er løsneområder tegnet med bakgrunn i registrerte hendelser, basert på tilgjengelig datagrunnlag, hovedsakelig bilder og SHP filer hentet fra NVE Atlas. Det pågår et eget FoU prosjekt, som ser nærmere på løsneområder for sørpeskred, og definisjoner av løsneområder på mer generell basis inngår derfor ikke direkte i vårt prosjekt.

I dette prosjektet har det vært viktig å skille mellom faktiske løsneområder og beregningstekniske løsneområder, noe som er av store betydning for sørpeskred som kan løsne i relativt slakt terreng.

2.4.3 Utløsningsparametere («Release parameters» i RDF)

Fanen for valg av utløsningsforholdene gir følgende to muligheter:

- Hydrograph: Anbefales brukt for modellering av flomskred i løp der volumet som i ulike tidsintervall passerer gjennom et gitt snitt, er kjent f.eks. fra direkte målinger. Det samme kan tenkes praktisert for sørpeskred, men vi har ikke hatt tilstrekkelig datagrunnlag til å kunne anvende denne funksjonen.
- **Block release:** Volumet som forutsettes utløst, beregnes som produkt av løsneområdet areal og den gjennomsnittlige dybden for den utløste «blokken» som er definert ved en bruddkanthøyde (avsnitt 2.4.4 nedenfor). Denne innstillingen er brukt i alle beregninger.

2.4.4 Bruddkanthøyde

Bruddkanthøyde har vi definert i forhold til massen som var tilgjengelig i løsneområdet, og er vurdert fra bilder fra hver hendelse. Der det ikke er godt grunnlag for å vurdere bruddkanthøyde, er det estimert. Vi har ikke i dette prosjektet forsøkt å komme frem til en mer generell tilnærming, som eksempelvis en ekstremverdianalyse.

2.4.5 Friksjonsparametere («Mu/Ksi Friction parameters» i RDF)

RAMMS beskriver friksjonskreftene som virker på et skred, og derved bevegelsen av skredet fra utløsning til skredet stopper opp, ved hjelp av Voellmy-Salm modellen. Denne deler friksjonskreftene inn i to deler.

Den totale friksjonsmotstanden i Voellmy-Salm modellen («S» i formelen nedenfor, fra (Christen mfl., 2010) er direkte proporsjonal med Coulomb-friksjon M_y (« μ ») og omvendt proporsjonal med hastighetsavhengig friksjon K_{si} (« ξ »).

$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\xi} \quad \text{with} \quad N = \rho h g \cos(\phi)$$

Dette betyr at en reduksjon av M_y og en økning av K_{si} i forhold til standardverdiene gir mindre total motstand og lenger skredutløp. Coulomb-friksjonen, μ (« M_y »), tar hensyn til friksjonen som oppstår på grunn av den faste delen av skredet og dominerer når skredet er nær ved å stoppe. Den hastighetsavhengige friksjonen, ξ (« K_{si} »), tar hensyn til friksjonen som oppstår som følger av de viskøse og turbulente kreftene. Denne friksjonen vil dominere når skredet har stor hastighet, og bestemmer i praksis de maksimale hastigheter skredmassene oppnår. Friksjonsmotstanden avhenger i tillegg av skråningsvinkelen ϕ og densiteten av materialet i bevegelse ρ . For alle beregninger er tettheten av massene satt til 1000 kg/m^3 .

RDF manualen anbefaler å alltid utføre en første beregning med standardverdier for M_y og K_{si} . I versjon 1.7.20 av RDF er standardverdiene $M_y=0,2$ og $K_{si} = 200 \text{ m/s}^2$ (i tidligere versjoner av programvaren var standardverdien for $M_y= 0,1$).

Voellmy-Salm modellen som ligger bak RDF gir store muligheter til å kalibrere modellen på kjente hendelser. For etterregning av en konkret hendelse vil man imidlertid ha lite grunnlag for å velge en bestemt verdi for My og en for Ksi. Øvelsen avsluttes generelt når man har oppnådd en tilfredsstillende match mellom beregnet skredutløp og registrert utløp. Man vet da ikke om hver av de valgte verdiene er «riktig», men kun at kombinasjonen av dem synes å gi et akseptabelt resultat – i den aktuelle banen, og for den konkrete hendelsen. En sensitivitetsanalyse kan indikere hvilke parametere resultatet er mer eller mindre følsomt for, men vil ikke gi en fasit for verdiene en bør gi til de enkelte parameterne.

I dette prosjektet har vi brukt ulike, men fastsatte, kombinasjoner av friksjonsparametere, som vist i Tabell 5.

Tabell 5: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsene.

Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Løsneområde	Variabelt	Vurdert i hvert enkelt tilfelle. Det skilles noen steder mellom «reelt løsneområde» og «beregningsteknisk løsneområde».
Bruddkant	Variabel, 1-4 m	Estimert ut fra tilgjengelig informasjon.
Volum	Variabelt	Estimert fra areal x bruddkanthøyde.
My/Ksi	0,20/200	Standard for RDF, for flomskred.
	0,15/500	Som foreslått i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) for årlig sannsynlighet = 1/10
	0,08/600	Som i (NVE, 2016)
	0,08/2000	Som foreslått i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) for årlig sannsynlighet = 1/100
	0,05/2000	Som NGI rapport (NGI, 2016)
	0,05/3500	Som foreslått i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) for årlig sannsynlighet = 1/1000
	0,04/4500	Som foreslått i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) for årlig sannsynlighet = 1/5000
Erosjon	A) Ikke erosjon B) Bruk av erosjon	Når erosjon er benyttet, er innstillingene vist i Figur 3 brukt, med unntak av at eroderbar snømengde er justert til terrenget. Erosjon er primært brukt sammen med My/Ksi=0,08/2000, men også andre verdier.

2.4.6 Medrivning/erosjon («Erosion parameters» i RAMMS)

Versjon 1.7.20 av RDF har en fane som gir mulighet å ta i betraktning medrivning (heretter kalt erosjon, for å bruke samme begrep som i RDF) langs skredbanen (Figur 3). Dette gjøres ved å importere en eller flere Shape-filer tegnet i GIS med polygoner som markerer områder der erosjon tillates. Erosjon starter i modellen når den beregnede skjærspenningen for skredet som simuleres, overskrider en viss terskelverdi.

Polygonene ble generelt tegnet på bakgrunn av terrengeanalyse. I hver hendelse har vi vurdert hvor det er mulighet for erosjon av snø, basert på tilgjengelige bilder. Erosjon av

Løsmasser, som ofte observeres i sørpeskred (for eksempel i hendelsen i Landlaupet), er ikke inkludert her. Øvre avgrensning av erosjonspolygonene er typisk tegnet rett i underkant av løsneområdene. Nedre avgrensning av erosjonsområdet er satt skjønnsmessig, basert på de tilgjengelige bilder.

I eventuelt videre arbeid, kan man undersøke andre, mer generelle, måter å definere dette på, slik at observasjonene fra de hendelsene vi har analysert, kan overføres til en mer generell kartleggingssituasjon. Her har vi dog prioritert å sjekke om RDF, med justerte friksjonsparametre, kunne gjenskape observert hastighet og utløp.

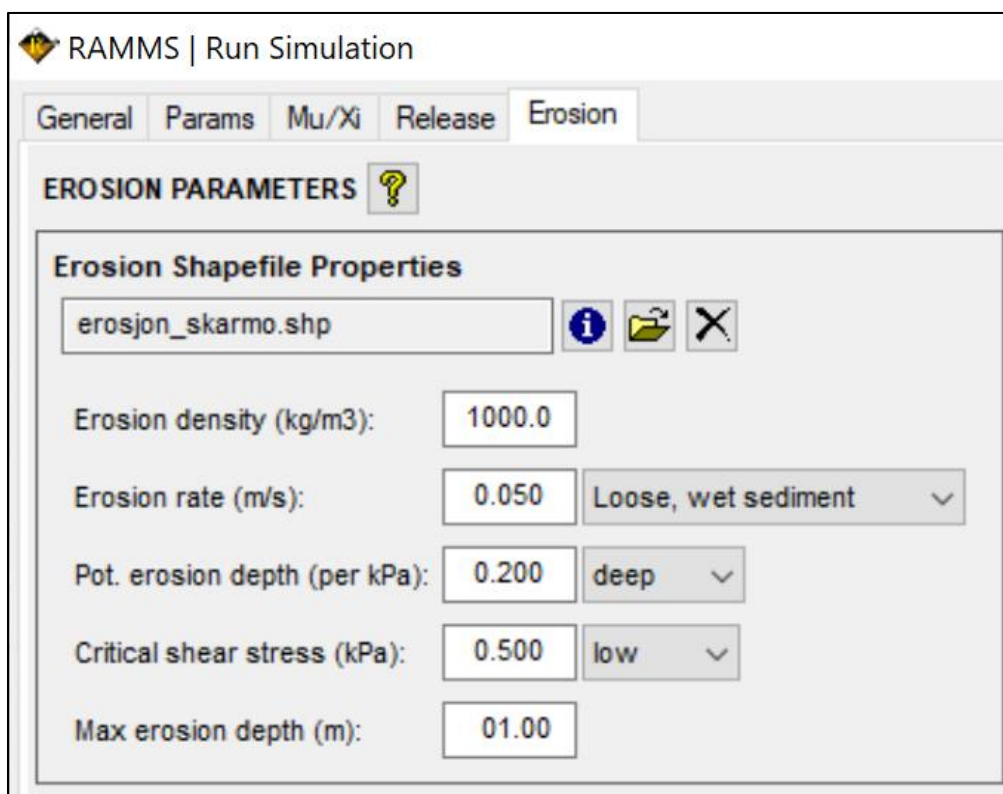
Bruken av erosjonsmodulen på jord- og flomskred har vi belyst i et annet FoU-prosjekt (Taurisano, 2020). Mens RDF er laget for bruk på løsmasser, har vi brukt erosjonsmodulen til å modellere erosjon av snø langsetter sørpeskredbanen. En viktig avgrensning er at vi bare ser på erosjon av snø i skredbanen. Mange sørpeskred går over til flomskred i nedre deler av skredbanen, men vi har ikke forsøkt å modellere denne overgangen til en annen massetype. Dette er for eksempel svært relevant i Landlaupet-hendelsen (kapittel 3 nedenfor).

For å forenkle beregningene for hver hendelse, har vi valgt ut ett sett med parametre som vi mener best representerer prosessen med erosjon i sørpeskred. Disse verdiene er vist med fet skrift i listen nedenfor og i Figur 3. Valget av parametre er ikke gjort basert på forskning, men ut fra en generell betraktning om at medrivningsprosessen i sørpeskred kan sammenliknes med medrivning av løst lagrede løsmasser i flomskred, og at energien som kreves til medrivning er forholdsvis lav. Disse valgene må undersøkes nærmere ved videre FoU arbeid.

For hver importert Shape-fil med erosjonspolygoner, settes parametre som styrer omfanget av erosjon:

- «Erosion density (kg/m^3)», tettheten av de eroderte masser.
 - For alle beregninger er denne satt til **1000 kg/m^3** . Dette er gjort under en antakelse om at snødekket som rives med, er vannmettet, og derfor har en tetthet nærmere vann enn tørr snø.
- «Erosion rate (m/s)», med standard verdier for
 - normalt lagrede («normal»; 0,025 m/s)
 - **løst lagrede («loose wet»; 0,050 m/s)** og
 - tett lagrede sedimenter («densely packed»; 0,013 m/s).
 - Denne verdien vil nok avhenge av hvordan snødekket som eroderes er. Hardt snødekke med mange islag, kan tenkes å eroderes saktere enn nysnø eller velutviklede kantkorn.
- «Potential erosion depth (m/kPa)», som angir hvor dyp medrivning hver kPa av skjærkraft skal kunne utløse. Denne varierer mellom
 - **«deep» (0,20 m/kPa)**,
 - «normal» (0,10 m/kPa) og
 - «shallow» (0,05 m/kPa).

- Også denne verdien vil avhenge av snødekket. Vi har valgt verdien som gir størst erosjon.
- «Critical shear stress (kPa)», som angir en terskelverdi for skjærkrefter som fører til medrivning i skredbanen. Denne kan varieres mellom
 - «low» (0,5 kPa),
 - «medium» (1,0 kPa) og
 - «high» (1,5 kPa).
- «Max erosion depth (m)», der brukeren kan sette en maks grense for hvor dypt løsmassedekket kan medrives, forutsatt at skjærkreftene er store nok. Denne verdien settes ut fra forholdene i terrenget, men **for de fleste hendelsene her satt til 1 m**. For sørpeskred vil den bestemmes av snømengden i skredbanen.



Figur 3: RDF fane med innstillinger for erosjonen i skredbanen.

2.4.7 Generelle simuleringsparametere («Simulation parameters» i RDF)

De første to fanene brukeren skal gjennom, under forberedelse av en simulering i RDF, inneholder generelle parametere. Dette er blant annet stopparameter (satt til 5% av totalt moment), «end time» (satt til 1000 sek) og «dump step» (satt til 2 sek).

2.4.8 Tetthet av skredmassene

I alle beregninger er densitet av **skredmassene i bevegelse satt til 1000 kg/m³**. Denne verdien har ikke stor betydning for beregnede hastigheter, men for trykkverdiene, dersom disse anvendes. I modulen for erosjon er også tettheten av masser satt til 1000 kg/m³. Dette er gjort under en antakelse om at snødekket som eroderes, er vannmettet, og derfor har en tetthet nærmere vann enn tørr snø.

2.4.9 Oppløsning av terrengmodellen

Beregningsresultater fra RAMMS en viss avhengighet av oppløsningen av den underliggende terrengmodell (Bühler mfl., 2011). Vi kjenner ikke til tilsvarende studier for flomskred eller sørpeskred. Det er dog også forskjell på om terrengmodellen er grov, eller om den er grov og representerer terrenget feilaktig. En høyoppløst terrengmodell (for eksempel med horisontal oppløsning på 0,5 m kan lages fra koter med ekvidistanse på 20 m, eller den kan lages fra en LiDAR skanning med en punkttetthet på 5 pkt/m². Den horisontale oppløsningen i begge modellene er lik, men terrengmodellen basert på LiDAR data vil mest sannsynlig gi et mer nøyaktig bilde av terrenget.

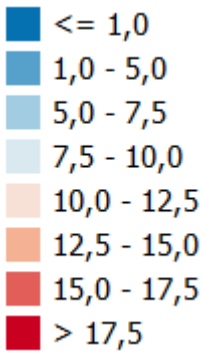


Simuleringsoppløsningen («Sim resolution») er i RDF automatisk satt lik oppløsningen av terrengmodellen, men kan endres av brukeren, f.eks. dersom terrengmodellen har 1 m oppløsning, men simuleringen ønskes utført med 2, 5 eller 10 m oppløsning.

Alle nedlastede terrengmodeller er laget fra LiDAR data og har horisontal oppløsning på 1 m eller 0,5 m, men **beregninger er utført med 2 m horisontal oppløsning**, der ikke annet er nevnt. Dette er valgt basert på tidligere erfaringer. Bedre oppløsning, for eksempel 1 m, gjør at beregningene tar betydelig mer tid, uten at det er store forskjeller i resultatene. Grovere oppløsning enn 2 m, for eksempel 5 eller 10 m gir raskere modellberegninger. I enkelte hendelser har vi sammenliknet resultater for oppløsninger på 1 m, 2 m og 5 m.

2.4.10 Kartforklaringer

I figurene i rapporten har vi benyttet forklaringer som vist i Tabell 6, med mindre annet er beskrevet. Kantede parenteser «[]» angir nummeret på beregningen, for senere referanser.

Tabell 6: Kartforklaringer brukt i figurene i rapporten.

Verdi	Kartforklaring/fargeskala
Hastighet (m/s)	 <p><= 1,0 1,0 - 5,0 5,0 - 7,5 7,5 - 10,0 10,0 - 12,5 12,5 - 15,0 15,0 - 17,5 > 17,5</p>
Flyte høyde (m)	 <p>2 0</p>
Erosjonsdybde (m)	 <p>1 0</p>

3 Oppdal, Storlidalen, Landlaupet; 2018-05-10

3.1 Bruk av hendelsen

Vi bruker denne hendelsen til å undersøke

- Modellering av løснеområder i slakt terreng (<math><10^\circ</math>).
- Modellering av skredmasser i utløpsområdet på en typisk skredvifte.

3.2 Grunnlag

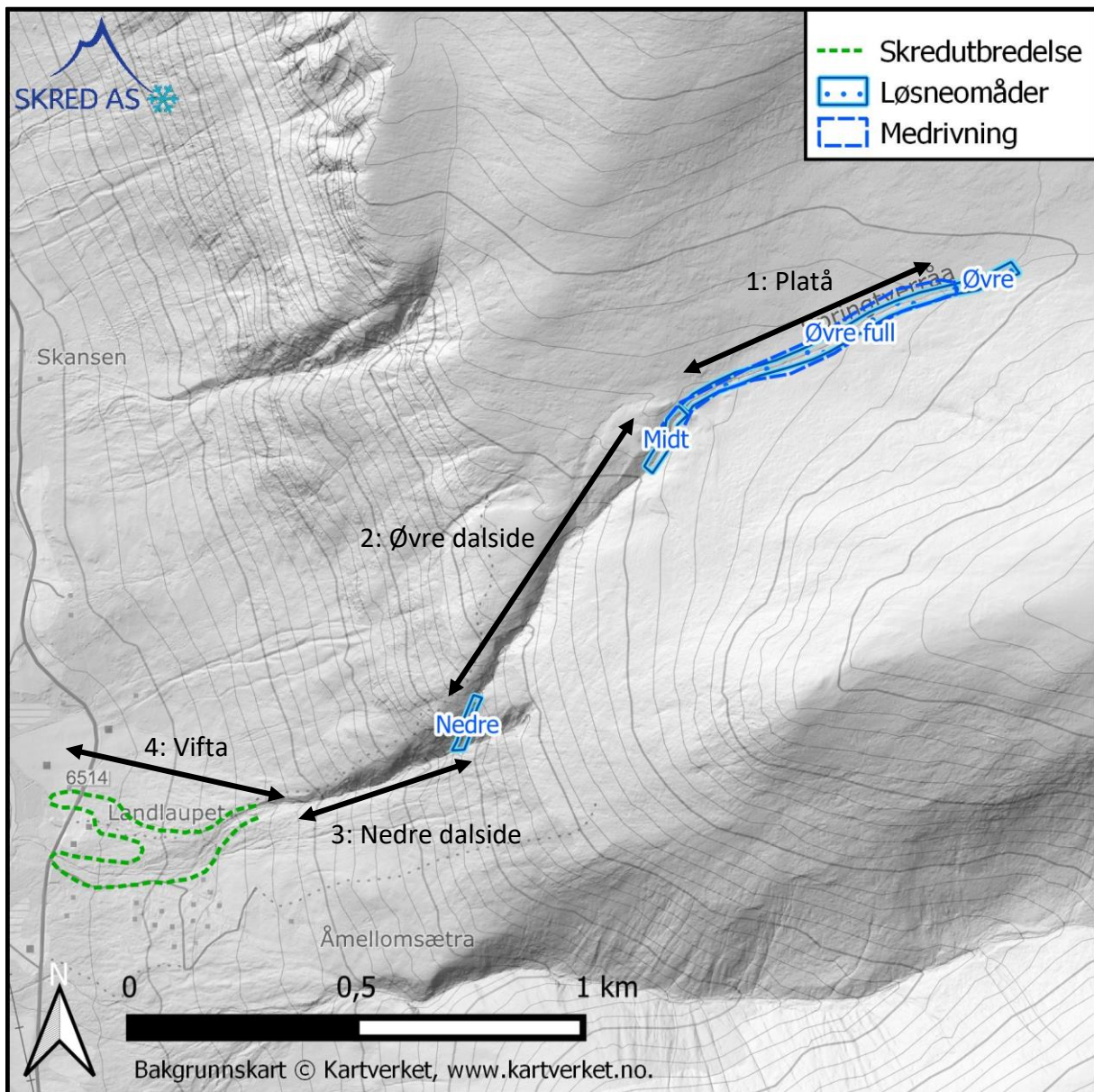
Terrengmodellen anvendt er en rastermodell fra prosjektet «NDH Oppdal 2pkt 2016» med en horisontal oppløsning på 1 m. Grunnlaget er altså fra før skredhendelsen, noe som kan ha stor betydning for modellert utløp.

Hendelsen er registret i NVE Atlas (SkredID={09CDACB9-4C5A-4129-99B2-3AF1CFCF7117}) med følgende beskrivelse:

Mulig sørpeskred fra Springtverrtjønna som krysset Fv. 6514 i Storlidalen på formiddagen. Massene som lå på vegen ser ut som skitten sørpe. Det står skrevet i artikkel at det var varmt og stor snøsmelting i området. Skredet har gått ved at en is/snøpropp har løsnet slik at store mengder oppdemmet vann har strømmet ut og tatt med seg snø, løsmasser og sten. Da proppen har gått og vannet nå strømmer jevnt vil det ikke være fare for nye skred i samme størrelsesorden, i dette skredløpet på nåværende tidspunkt. Skredløpet har noen partier med løsmasser der det fortsatt kan erodere, samt noen partier med snø som kan løsne. Det kan derfor ikke utelukkes at mer skredmasser kan komme. Men det er lite sannsynlig at disse vil nå fylkesveien. Det er fortsatt stor vannføring men det har avtatt noe i løpet av befaringen. Store deler av massene som har kommet ned har stanset i det markerte området på kartet nedenfor. I dette området har vannet funnet nye veier slik at mye vann renner utenfor bekkeløpene Sørpeskredet er veldig godt dokumentert. Her er det mulig å kartlegge hele skredet og stedfeste alle punkt tilnærmet eksakt. Derfor får skredet en kvalitet A.

I NVE Atlas er løснеområdet, skredbanen og utløpsområdet tegnet inn som vist i Figur 4.

I forbindelse med en faresonekartlegging av området (Taurisano, 2018), har vi tidligere utført beregninger og observasjoner på stedet. Vi fikk også oversendt bilder fra Gunne Håland (SVV), som var på stedet kort tid etter hendelsen. Bildene viser tydelig løснеområdet, deler av skredbanen, og området ved Storlidalsvegen, se avsnitt 3.3 nedenfor.



Figur 4: Skredhendelsen ved Landlaupet med løsneområder (reelt og beregningstekniske), erosjonsområde (medrivning; for snø), skredutbredelse og benevnelse av de ulike deler av skredbanen.

3.3 Hendelsen

Skredet løsnet trolig etter kraftig snøsmelting 10. mai 2018, men vi har ikke gått inn i detaljene rundt utløsning. Bilder fra helikopter av løsneområdet (Figur 5) tolker vi slik at det var kraftig vannstrømning fra Springtverratjønna ned langs Springtverråa. Løsneområdet er dog ikke rett på nedsiden av Springtverratjønna slik NVE Atlas viser, men på nedsiden av der sidebekken fra nord renner inn i Springtverråa (Figur 4). I det området estimerer vi bruddkanten til å være i underkant av 1 m.

Fra den øvre del av løsneområdet og videre nedover i skredbanen viser bildene at det har vært medrivning av snø i skredbanen minst helt ned til kote 1140 (område 1: Platå), der det

blir mindre snø, og skredbanen blir brattere (Figur 6; område 2: øvre dalside). Figur 6 viser tydelige spor i snøen langs skredbanen på oscillasjoner av skredmassene i svingene langs skredløpet på plataet. Vi klarer dog ikke å stedfeste nøyaktig steder med stor klatrehøyde. Definisjonsmessig er skillet mellom «løsneområde» og «medrivning/erosjon» vanskelig, men uansett er det tydelig at det er revet store snømengder med langs hele øvre del av skredbanen på plataet.

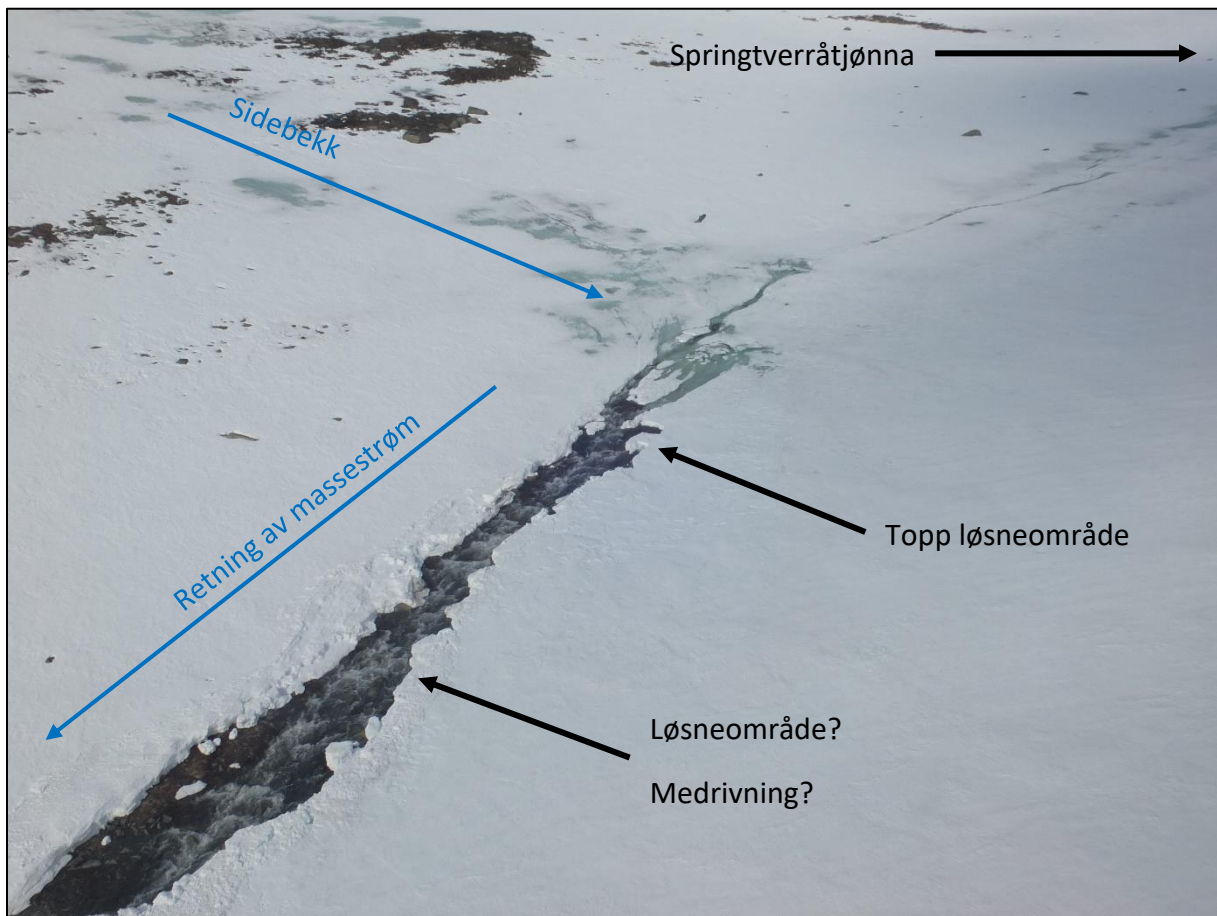
Et lavt estimat på volum av snø i skredet er gjort ut fra en erodert/løsnet dybde på 1 m. Bredden av snømassene som er revet med er estimert til 6 m. Hvis vi antar at bruddkantene er vertikale, får vi et rektangulært tverrsnitt på 6 m^2 , over 800 lengdemeter langs hele plataet, altså totalt 4800 m^3 . Et øvre estimat er at bruddkanten var på 2 m over en bredde på 10 m, altså et rektangulært tverrsnitt på 20 m^2 , over 800 m; totalt 16.000 m^3 .

Det har trolig også vært stor medrivning/erosjon av løsmasser fra nedre del av skredbanen, spesielt i området der bekken er nedskjært i nedre dalside, ned til rotpunktet på vifta. På dronefoto fra vår befaring ser man antydning til en grense for hvor løsmassene tidligere lå opp mot berget i nord, men vi har ikke nok grunnlag for å vurdere erodert volum av løsmasser fra de ulike deler av skredbanen.

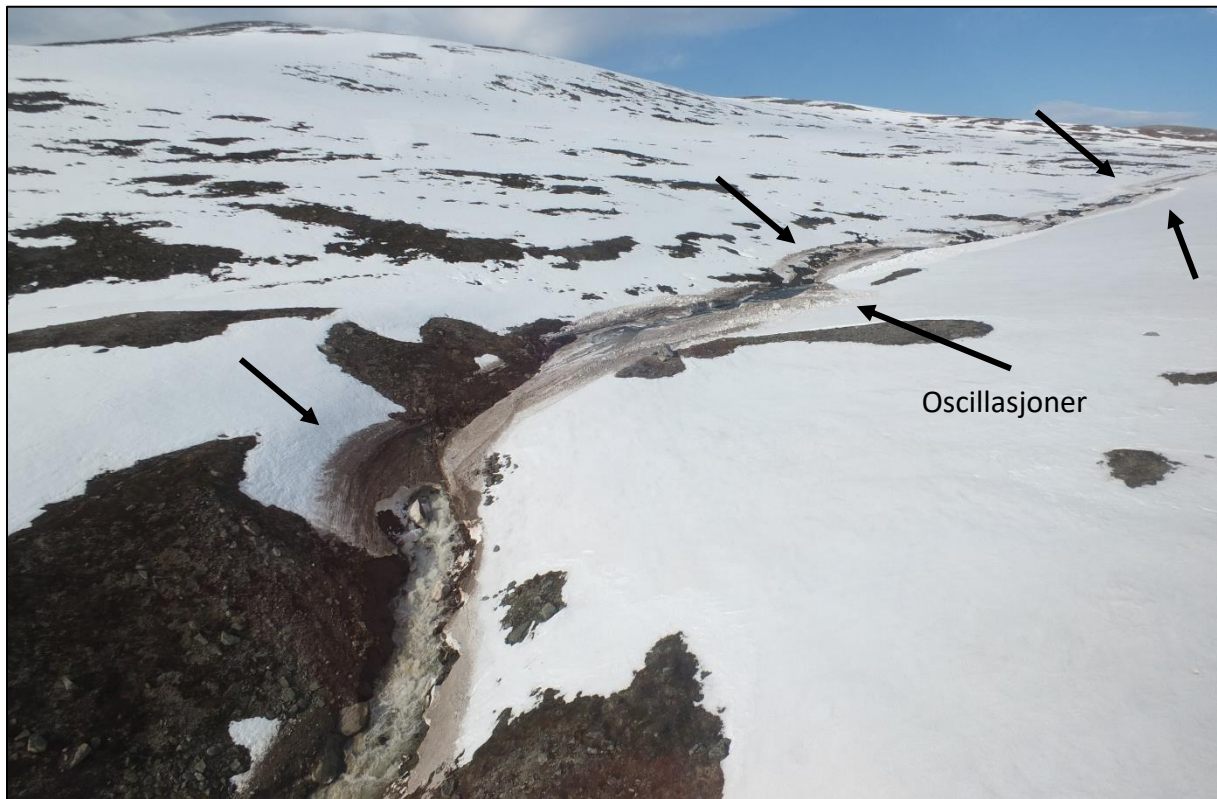
Våre egne bilder fra befaring, viser at det var avsatt store mengder løsmasser fra toppunktet av vifta og omtrent halvveis ned til bebyggelsen ved Storlidalsvegen (Figur 7). Mye av de avsatte løsmasser er trolig spylt ut av gjelet ovenfor vifta (område 3: nedre dalside), og andre deler er remobilisert løsmasse fra toppen av vifta.

I utløpsområdet til skredet, ved Storlidalsvegen, viser bildene fra SVV at det var noen løsmasser igjen, men hovedsakelig finkornet materiale (slam). Våre egne observasjoner fra befaringen viser at det trolig var avsatt løsmasse helt ned til Vinndøla. Den kartlagte ytre grense for skredavsetningen avhenger derfor i stor grad av om man kartlegger «...skred med en intensitet som kan medføre fare for liv og helse eller større materielle skader.», i hehold til kravene i TEK17, eller om man kartlegger maksimalt utløp. Figur 4 viser vår subjektive tolkning av utløpsområdet med potensiale for betydelig skader, basert på informasjonen beskrevet over. Vi har estimert totalt volum av avsetningene på skredvifta er på rundt 100.000 m^3 . Dette er bare løsmasser, ikke avsatte snømasser. Volumet er et forsiktig overslag basert på estimerte tykkelsen av de avsatte løsmasser, vurdert i terreng og bilder.

Vi har dårlig grunnlag for å vurdere historikken for denne typen skred i området, men det er ikke registrert andre, tilsvarende hendelser i NVE Atlas. Dog er avsetningen etter 2018-hendelsen relativt liten i forhold til størrelsen og mektigheten av skredvifta. Utfra det har vannrelaterte skred og/eller masseførende flom skjedd mange ganger før. Et grovt estimat er at årlig sannsynlighet for hendelsen ligger mellom 100 og 1000 år. Mengden av løsmasser som eroderes ved en sørpeskredhendelse vil dog avhenge av perioden siden siste hendelse med erosjon av løsmasser.



Figur 5: Løsneområdet vest for Springtverratjønnna. Foto: Gunne Håland, SVV. Foto mot nord.



Figur 6: Skredbanen langs Springtverråa. Tydelige oscillasjoner, der skredmasser har klatret oppover i dalsidene, er vist med piler. Foto: Gunne Håland, SVV. Foto mot nordøst.



Figur 7: Dronefoto som viser skredavsetninger på øvre del av vifta ved Landlaupet. Hytta på Åmellom 33 nærmest skredavsetningene. Foto mot sørøst.



Figur 8: Storlidalsvegen og massestrømmen over denne, kort tid etter skredhendelsen. Foto: Gunne Håland, SVV. Foto mot nord.

3.4 Modellresultater

Først har vi kjørt beregningene med det aktuelle løснеområdet, og deretter justert løснеområdet.

3.4.1 Reelt (øvre) løснеområde uten erosjon

Det er gjennomført beregninger med et realistisk løснеområde og -volum (Figur 4). Terrenghelningen i løснеområdet er 3-7°.

Resultatene viser at ved valg av $My > 0,05$; $K_{si} = 2000 \text{ m/s}^2$, og et løsnenvolum på $V_L = 4000 \text{ m}^3$ (altså litt under det minimum estimerte løsnenvolum), når ikke skredmassene ut over «kanten» på platået og ned i de brattere deler av løpet. For beregningene der $My = 0,05$; $K_{si} = 2000 \text{ m/s}^2$; $V_L = 4000 \text{ m}^3$, har skredmassene rekkevidde ned til Vinndøla, men bare langs bekken. Den observerte horisontale spredningen på skredvifta reflekteres ikke i beregningsresultatene. Maksimal hastighet er i det bratte terrengeparti rundt kote 860, hvor hastighetene er på rundt 16 m/s.

Dersom det øvre løснеområdet gis en bruddkanthøyde på 3 m får man et volum på $V_L = 12.000 \text{ m}^3$. Beregninger med dette volum og $My = 0,05$; $K_{si} = 2000 \text{ m/s}^2$ viser at modellerte skredmasser når frem til vifta, men der ikke har så stor spredning som observert og at det er

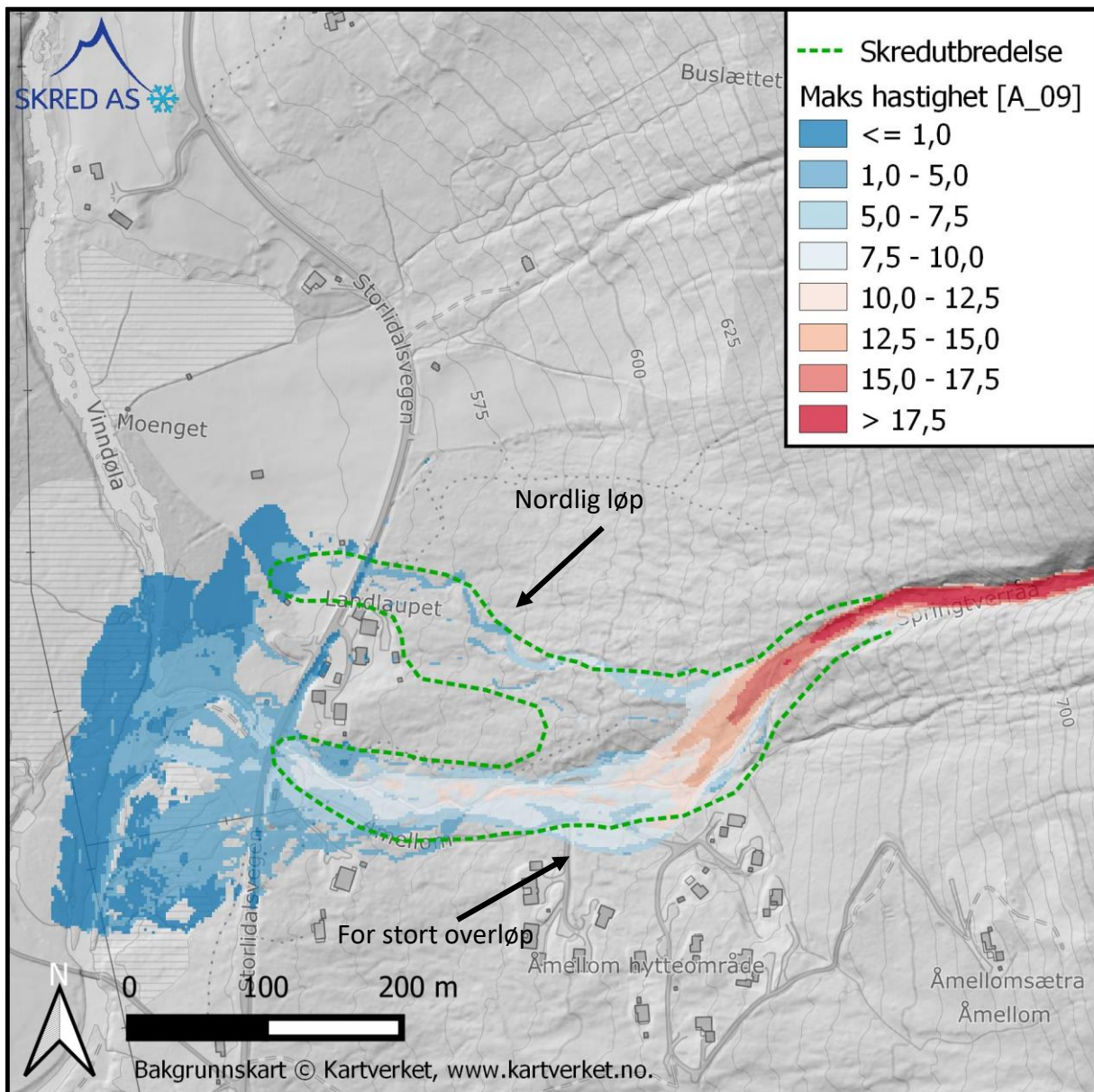
for stort overløp i den sørlige avgrensningen av utbredelsen (omtrent som vist i Figur 9 diskutert under). Med $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$; $V_L=12.000 \text{ m}^3$ når skredmassene ikke ned til vifta.

3.4.2 Løsneområde på hele platået uten erosjon

For å teste et tilfelle der modellert løsneområde er omtrent likt området der snøen er fjernet, har vi plassert et løsneområde langs bekken på hele strekningen på platået. Det er brukt bruddhøyde på 1 m, til tross for at det gir et løsnevolum på $V_L=21.200 \text{ m}^3$, altså større enn estimert.

Resultatene viser at med $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ er det begrenset med masser som når ned på vifta, og at spredningen av masser på vifta er betydelig mindre enn observert. Det nordlige løpet på vifta er for eksempel ikke aktivert av de modellerte skredmassene. Ved en modellert bruddkanthøyde på 2 m ($V_L=42.400 \text{ m}^3$) er så vidt det nordlige løpet aktivert, men utbredelsen på vifta er betydelig mindre enn observert.

Ved bruk av $My=0,05$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$; $V_L=21.200 \text{ m}^3$ (Figur 9) blir en større del av skredmassene ledet til det nordlige løpet, men fortsatt ikke over et så stort areal som observert. Dessuten viser beregningen for stort overløp langs den sørlige avgrensningen av skredet.

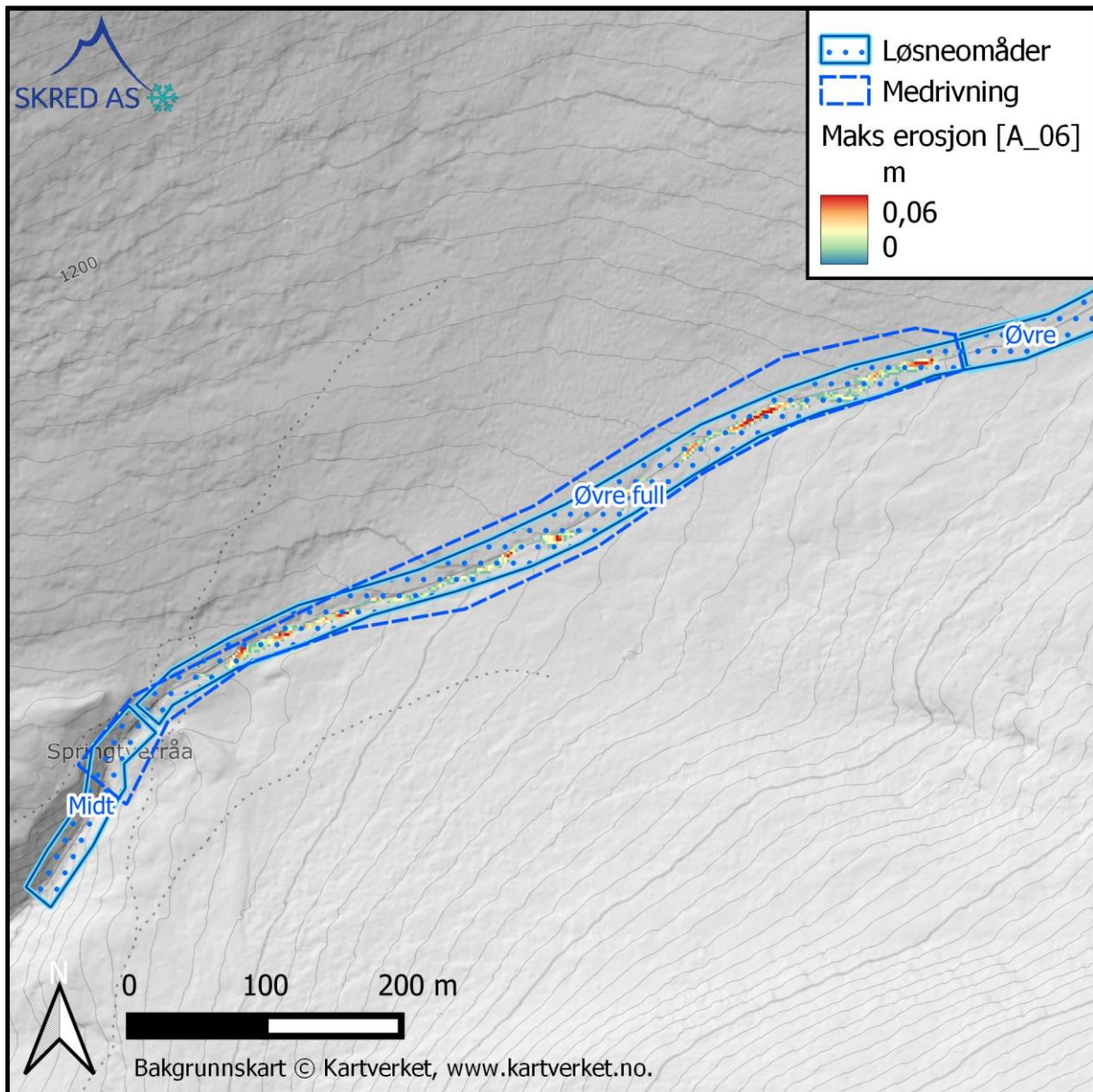


Figur 9: Beregnet hastighet for et tilfelle der området langs bekken på hele platået er definert som løснеområde, og $M_y=0,05$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$; $V_L=21.200 \text{ m}^3$. Merk at det nordlige løpet på vifta her er aktivert, men med for liten arealmessig utbredelse, og at det er for stort overløp langs den sørlige avgrensning av skredutløpet.

3.4.3 Reelt (øvre) løснеområde med (snø)erosjon

Vi vurderer at det totale volum av snø i sørpeskredet trolig var større enn 4000 m^3 , og at størsteparten av snømassene i bevegelse kom fra medrivning av snø fra platået. Derfor har vi testet om bruken av erosjonsmodulen vil øke volumet av snø i bevegelse. Vi har definert området på platået fra bunnen av løснеområdet til kote 1130 som et område for mulig erosjon (Figur 10). Fra flybilder har vi estimert at maksimal erosjonsdybde er 1 m. For de andre innstillingene for erosjon er brukt verdiene vist i Figur 3.

Beregningene har et løsnevolum på $V_L=3991 \text{ m}^3$. Med $M_y=0,05$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ øker volum i bevegelse til maksimalt 4062 m^3 med maksimal erosjonsdybde på 6 cm, fordelt som vist i Figur 10. For $M_y=0,08$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ er erodert masse betydelig mindre. Ingen av beregningene viser store endringer i modellerte hastigheter eller skredutbredelse på vifta fra beregningene beskrevet ovenfor, uten erosjon (avsnitt 3.4.2).



Figur 10: Modellert erosjon av snø nedenfor løsneområdet «Øvre», som her er brukt [A_06].

3.4.4 Beregningsteknisk justert løsneområde; uten erosjon

Siden beregninger med løsneområde i terreng slakere enn kanskje 10° gir for lav skredutbredelse i forhold til observasjoner, mener vi at man må innføre begrepet

«beregningsteknisk løsneområde». Her gjennomfører vi beregninger med to slike: ett i toppen og ett i bunnen av «øvre dalside» (hvh. løsneområde «midt» og «nedre» i Figur 4). Begge beregninger er utført med innstillinger som vist i Tabell 7.

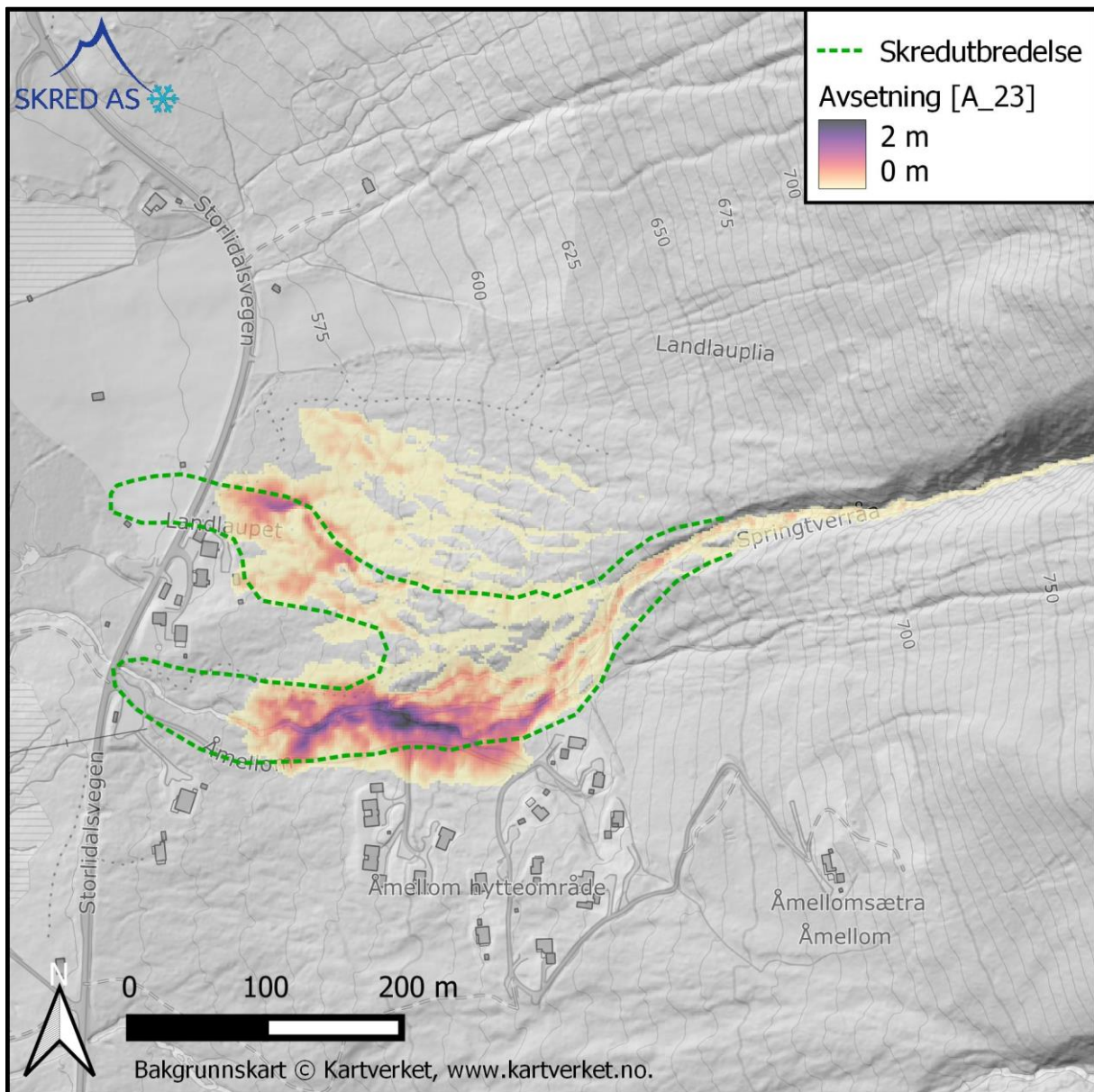
Tabell 7: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen ved Landlaupet med «beregningstekniske løsneområder».

Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Løsneområde	«midt» «nedre»	Se Figur 4.
Bruddkant	1,4 m/2,7 m 1,5/2,9 m	Justert for å oppnå volum V_L på rundt 6000 m ³ og 12.000 m ³ for hvert av løsneområdene.
Volum	6000 m ³ 12.000 m ³	Satt for å representere verdier i øvre hhv. nedre verdier for estimert løsnevolum, som er på 4800-16.000 m ³ .
Sett med My/Ksi verdier	0,20/200 m/s ² 0,15/500 m/s ² 0,05/2000 m/s ² 0,08/2000 m/s ² 0,05/3500 m/s ²	Standard for RDF 1/10 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) Som (NGI, 2016) 1/100 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) Verdier på 0,05/3500 som foreslått i Skred AS rapport er ikke gjennomregnet, da $M_y=0,05$; $K_{si}=2000$ m/s ² allerede gir betydelig lenger utløp enn observert.
Erosjon	Ikke erosjon	I den nedre delen av skredbanen er det trolig en del erosjon av løsmassene. Dette er ikke inkludert her.

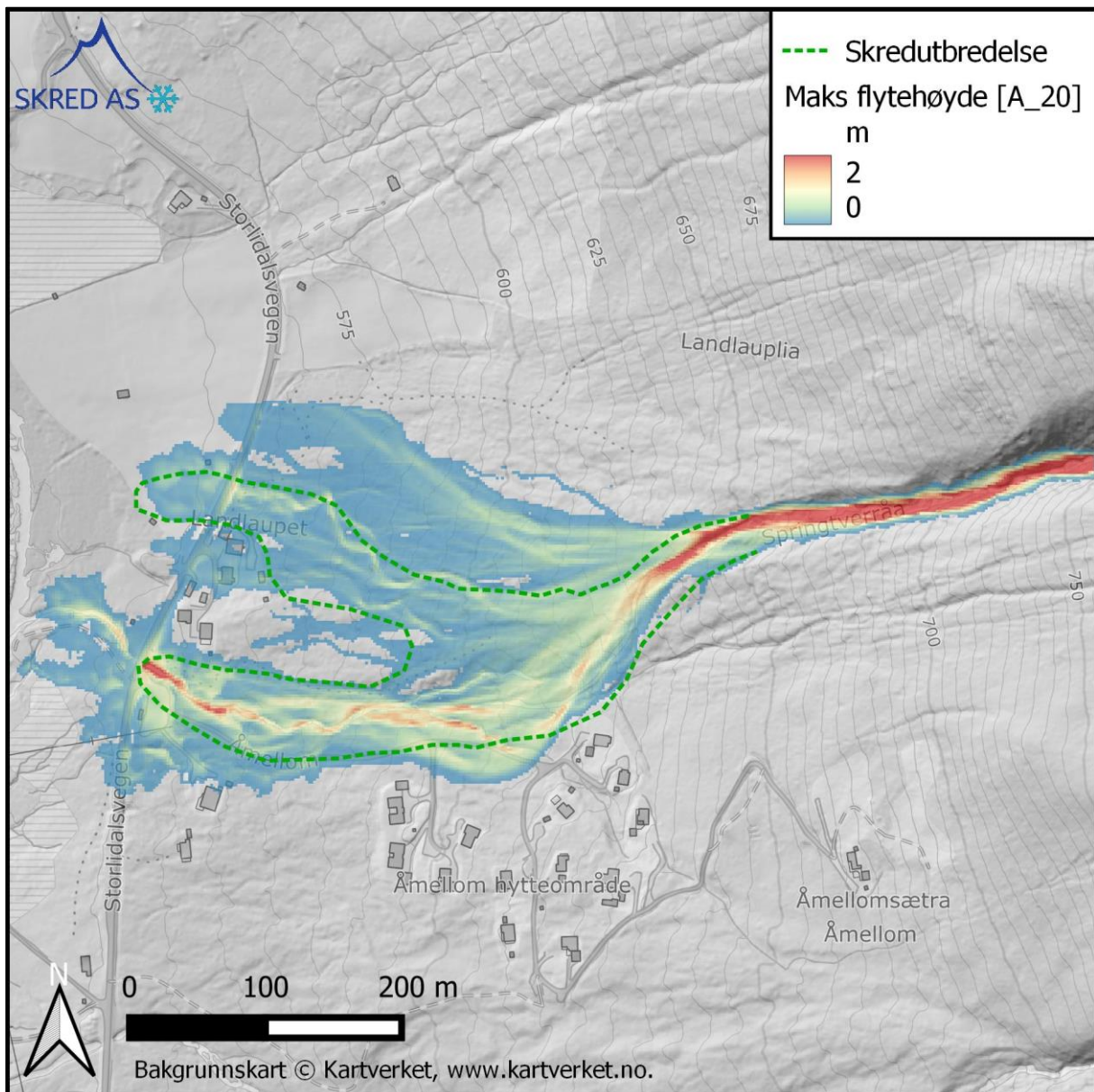
Oppsummert viser beregningene at

- 1) $M_y=0,20$; $K_{si}=200$ m/s²
 - a. Alle beregningene gir for kort rekkevidde. De standard friksjonsparametere for flomskred gir ikke resultater som er sammenlignbare med observasjonene.
- 2) $M_y=0,15$; $K_{si}=500$ m/s²
 - a. For løsneområde «nedre» er det for korte utløpslengder. Dette gjelder for begge volum i beregningene. For beregningene med $V_L=12.000$ m³, stuves massene opp i øvre del av vifta (Figur 11), og det blir derfor en spredning av masser lenger nord på vifta enn det som var observert.
 - b. For løsneområde «midt» er spredningen av masser ut over vifta ganske realistisk, spesielt med $V_L=12.000$ m³. Et mindre volum på $V_L=6000$ m³ gir for lite masser i det nordlige observerte skredløpet.
 - c. Plassering av løsneområde er altså viktig, også for «beregningstekniske løsneområder».
- 3) $M_y=0,08$; $K_{si}=2000$ m/s²

- a. For begge løснеområdene «midt» og «nedre» gir beregningene litt for lange rekkevidder i de to «fingrene» i utløpsområdet, og det er overløp mot nord på toppen av vifta, noe som ikke ble observert i hendelsen. Dette er spesielt tydelig i beregningene med størst volum $V_L=12.000 \text{ m}^3$.
 - b. Av de innstillingene som er brukt for de «beregningstekniske løснеområdene», er dette de som overordnet sett passer best.
- 4) $M_y=0,05$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$
- a. Med lavere verdier for M_y , øker rekkevidden av skredmasser nederst på vifta, og blir betydelig større enn observert. Dette må dog ses sammen med avgrensningen vi har gjort av avsetningene, der vi har tegnet inn områder der vi tolker at det var betydelig skadepotensiale.



Figur 11: Kart med beregnet avsetning av masser på vifta ved Landlaupet, og for kort utløp. $M\gamma=0,15$; $Ksi=500 \text{ m/s}^2$; løsnemråde «nedre», $V_L=6000 \text{ m}^3$ [A_23].



Figur 12: Beregnet flytehode med $V_L=6300 \text{ m}^3$; $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ [A_20] gir beste beregnet utløp sammenliknet med observasjoner, av de vi har testet. Man kunne sikkert få til enda bedre overensstemmelse ved å justere enda mer på parametrene, men det gir ikke bedre grunnlag for å anbefale verdier for en kartleggings situasjon.

3.5 Diskusjon

3.5.1 Initialhastighet av skredmassene i modellen

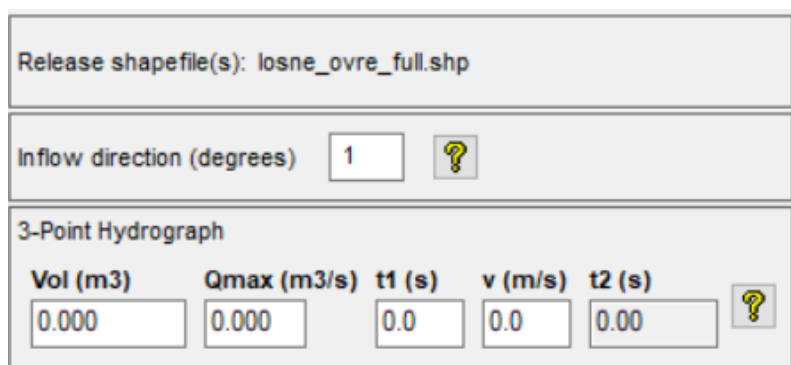
Proessen som er modellert i RAMMS i dette prosjektet, er en blokk som løsnar med en starthastighet på 0 m/s. Den reelle sørpeskredprosessen er trolig at snø rives med av vann i bevegelse (se Figur 5), og derfor er det allerede en hastighet og en retning på vannmassene (men selve sørpeskredmassene akselereres opp fra 0 m/s). Dette kan i noen grad settes opp i RAMMS, ved bruk av hydrograf-funksjonen, der også retningen på innkommende masser

(her vann) kan defineres (Figur 13). Vi har dog valgt å ikke bruke denne innstillingen, da vi prøver å komme frem til et sett med generelle anbefalinger som kan brukes i faresonekartlegging. Til det blir bruken av hydrografen etter vår mening for spesifikk. Ved enda nøyere etterregning av den konkrete hendelsen, bør hydrograf-funksjonen testes ut.

3.5.2 Bruk av erosjonsmodul

Fra dette ene eksemplet tolker vi det slik at selv om bruk av erosjonsmodulen trolig gir en mer «riktig» tilnærming til sørpeskredprosessene, så er det allikevel to mulige utfordringer (eventuelt en kombinasjon av de to):

- 1) Modellerte skredmasser akselerer ikke så raskt i det slake løsneområdet som i et reelt sørpeskred. Selv om dette bare er en observasjon fra en enkelt sørpeskredhendelse, antar vi at det vil være en utfordring ved dynamisk modellering av sørpeskred som løsner i terreng slakere enn kanskje 10° . Dette kan muligens forbedres i modellen ved å bruke hydrograf-funksjonen i RAMMS (Figur 13). Dog mener vi dette blir for detaljert i en kartleggingssituasjon. En annen mulig måte å håndtere for lav akselerasjon på, er å justere løsneområder slik at de defineres med tanke på beregningstekniske forhold (se avsnitt 3.5.4 nedenfor).
- 2) Parameteriseringen av størrelsen av erosjon (Figur 3) er ikke kalibrert for sørpeskred, men er et sett med semi-empiriske verdier for løsmasser. Erosjon av snø har trolig andre verdier, og dette bør det forskes mer på. Som en ytterligere praktisk utfordring, er det i RDF ikke mulig å legge inn egne verdier manuelt, men bare å hente standardverdier fra en plukklister. Dersom man finner ut de «riktige» parametre, og disse ikke ligger i plukklister i programmet, er det derfor ikke mulig å bruke de.



Vol (m3)	Qmax (m3/s)	t1 (s)	v (m/s)	t2 (s)
0.000	0.000	0.0	0.0	0.00

Figur 13: RAMMS innstilling for hydrograf.

3.5.3 Bruk av ett sett med verdier for My og Ksi i en kompleks skredprosess

Vi har hatt som utgangspunkt at bare en fast verdi for My og Ksi skal anvendes i hele beregningen; altså at det ikke må være ulike verdier i ulike deler av beregningsdomenet. Dette er valgt, fordi det er slik beregningsverktøyet brukes i en reell skredfarekartlegging der

man ofte ikke har mulighet for å etterregne en kjent hendelse. Ved detaljert etterregning av denne hendelsen, ville man muligens ha hatt bedre resultat, dersom man hadde hatt ulike verdier for My/Ksi :

- Et sett med verdier på plataået, der skredmassene primært besto av snø og vann;
- en sett med verdier ned gjennom forsenkningen i dalsiden, for å representere massebevegelsen ved pågående erosjon og transport av løsmasser;
- et sett med verdier på vifta for å representere området med avsetning av løsmasse
 - o eller muligens en rekke verdier for å representere først grove blokker, deretter finstoff ut over vifta
- et sett med verdier på nedsiden av Storlidalsveien, der det hovedsakelig var vann i bevegelse.

Dersom man har en god formening om forløpet av skredprosessen, som er dimensjonerende for de tre faresoner som skal tegnes (100; 1000; 5000), er dette gjennomførbart. Det har man dog aldri, og det er derfor ikke en praktisk gjennomførbar løsning. Dermed må man i en kartleggingssetting akseptere at en enkelt hendelse sjeldent lar seg nøyaktig etterregne med valgte parametre.

For eksempel ser man ved beregninger her (Figur 12), at for å få masser langt nok ut i den nordlige «finger», må man ha verdier som gir for langt utløp i den sørlige «finger», og overløp mot nord på toppen av vifta.

Viktigst i kartleggingssituasjon er dog at man ikke grovt underestimerer utbredelse av skredmasser. En konservativ tilnærming, for eksempel gitt med $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ for 1/100-hendelsen virker derfor fornuftig. Da gjenstår det dog å definere løsneområder.

3.5.4 Bruk av «beregningstekniske løsneområder»

For løsneområder i terreng slakere enn omtrent 10° , oppnår modellerte sørpeskredmasser ikke alltid hastigheter store nok til å komme ut over de slakere deler av fjellsiden. I slike tilfeller anbefaler vi å bruke «beregningstekniske løsneområder». Beregningene gjort for Landlaupet, viser at valg av løsneområde kan ha betydning for modellresultat, til tross for at volum og friksjonsparametre holdes konstante. Dersom et kartleggingsoppdrag krever bruk av beregningstekniske løsneområder, og de resulterende faresoner støtter seg tungt mot beregningsresultatene, må det derfor kreves at sensitivitet til plassering av disse belyses.

4 Vik, Juvik, Djupevikelvi; 2019-12-29

4.1 Bruk av hendelsen

Fra denne hendelsen kjenner vi ikke løснеområdet, men vi vet at det gikk ned langsetter Djupevikelvi. Om utløpslengden vet vi bare at det gikk ut i Sognefjorden. Det interessante ved hendelsen er at sørpeskredmassene har beveget seg gjennom et trangt gjel langsetter Djupevikelvi, og har klatret over flere rygger. Dette bruker vi til å se om RAMMS klarer å beregne riktige klatrehøyde, som er en funksjon av hastighet. Vi har også testet effekt av volum og oppløsning av den underliggende terrengmodell på modellresultatene.

4.2 Grunnlag

Hendelsen er beskrevet her: <https://beta.regobs.no/registration/204816>:

Snøskred frå stor høgd. Usikker på om det har starta som sørpeskred eller snøskred. Truleg snøskred grunna det bratte terrenget. Har vidare utvikla seg til eit sørpeskred/flomskred nedover i elveløp. Vitner opplyser om at det truleg har kommet i tre omganger. Eit fyste skred omlag kl 17, så eit nytt omlag to timer etterpå. Det har også truleg gått eit tredje skred iløpet av natta da det var vesentlig meir masser i vegen i dag enn etter skred nummer to i går ettermiddag. Det er usikkert om det har vore fleire separate skredhendingar høgt i løsneområdet, eller om sekunderskred har kommet av kollaps av avsetningane frå fyste skred i elvegjelet og vidare oppdemming.

Terrengmodellen anvendt er en rastermodell fra prosjektet «NDH Høyanger-Vik-Stølsheimen 2pkt 2016» med en horisontal oppløsning på 1 m. Vi antar at terrengmodellen i stor grad viser det markerte terrenget ned langs Djupevikelvi, men har ikke studert dette i detalj.

4.3 Hendelsen

Vi har ikke mer kjennskap til hendelsen enn informasjonen gitt i regObs-lenken ovenfor. Klatrehøyder er ikke målt inn nøyaktig, men vi har estimert klatrehøydene (Figur 14) visuelt utfra tilgjengelige bilder og sammenlignet dem med modellresultater. Overløpet på de enkelte rygger virker å være til stede, men med relativt begrenset flyte høyde. Dette vurderer vi, da det er noen skader på vegetasjonen på lesiden av ryggene, men løsmassedekket er ikke fullstendig erodert bort.

I NVE Atlas er det også registrert skred i 2011 og i 1999, men ikke detaljert informasjon om disse hendelsene. Basert på historikken antar vi at det går skred i gjelet med årlig sannsynlighet rundt 1/10. Hendelsen i 2019 kan ha vært større eller mindre enn vanlig, men vi antar grovt at hendelsen er representativ for en hendelse med årlig sannsynlighet på 1/10-1/100.



Figur 14: Bilde tatt etter hendelse i Juvik. Fra <https://beta.regobs.no/registrasjon/204816>.
Foto: Jan Helge Selbu, SVV.

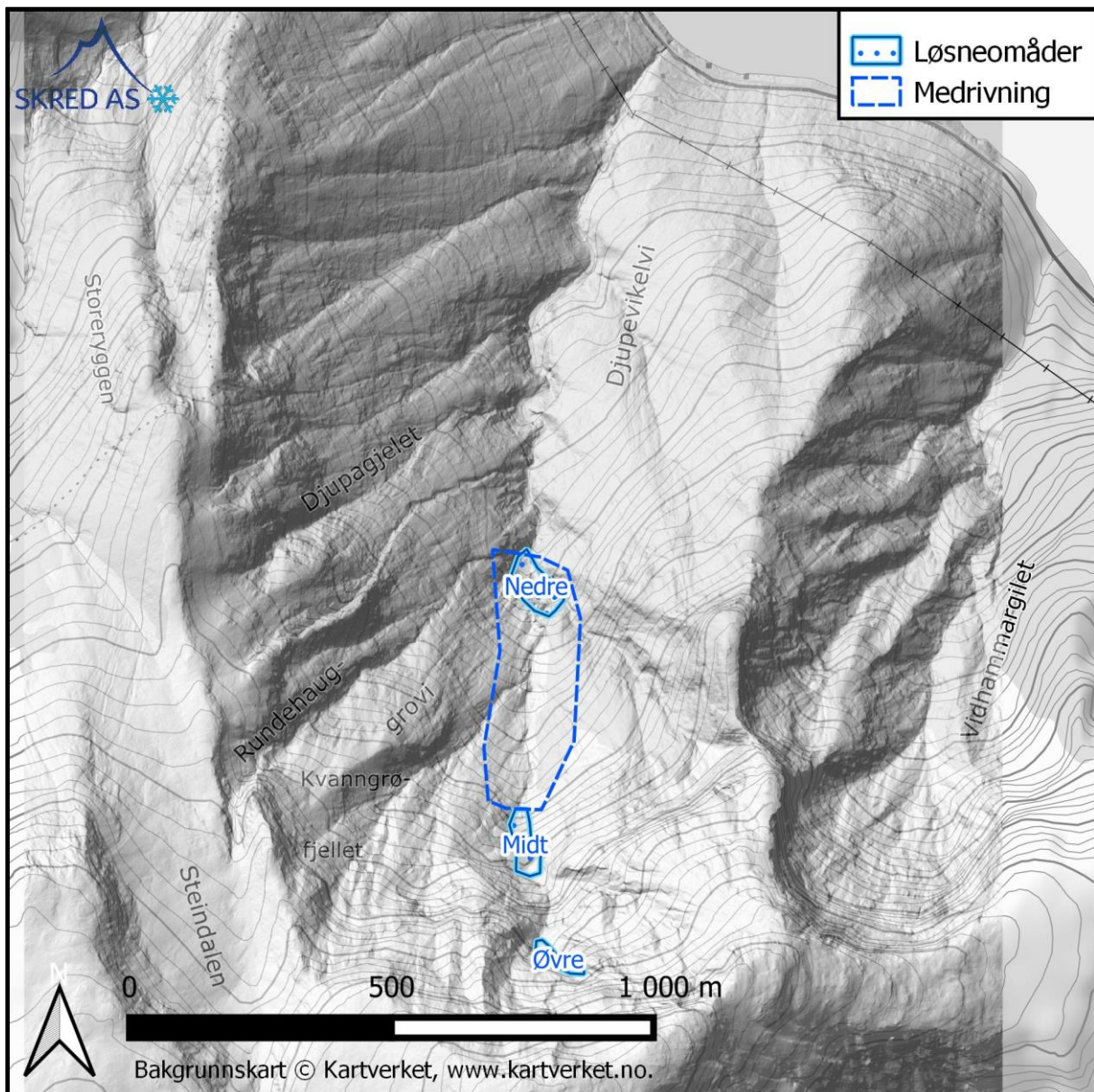
4.4 Modellresultater

4.4.1 Løsneområde

I beskrivelsen av hendelsen er det ikke tydelig svar på hvor løsneområdet var. En mulighet er at det har løstnet som et snøskred og i Djupevikelvi etter hvert gått over til et sørpeskred. Vi har gjort beregninger med tre ulike løsneområder (Figur 15):

- «Øvre», som er plassert i en liten renne godt oppe i fjellsiden.
- «Midt», som er plassert nedenfor den bratteste delen av fjellsiden, der terrenget åpner seg litt opp.
- «Nedre», som er plassert der botnen snevrer seg inn og går over i gjelet med Djupevikelvi.

Det er kjørt beregninger for alle tre løsneområder med samme friksjonsparametre og tilnærmet likt skredvolum. Reelt løsnevolum V_L har vi ikke kunnskap om, men det er estimert til rundt 8000 m³. Vi har så lite informasjon at vi ikke har mulighet for å estimere usikkerheten i anslaget, men det er kanskje $\pm 50\%$. Bruddkanthøyden i de ulike løsneområder er rundt 1 m, men er altså justert for å komme nært samme V_L for alle beregningene.



Figur 15: De tre ulike løsneområdene testet for sørpeskredet i Juvik.

4.4.2 Beregninger uten erosjon

Oppsettet for modellering uten erosjon er vist i Tabell 8. Beregningene viser følgende:

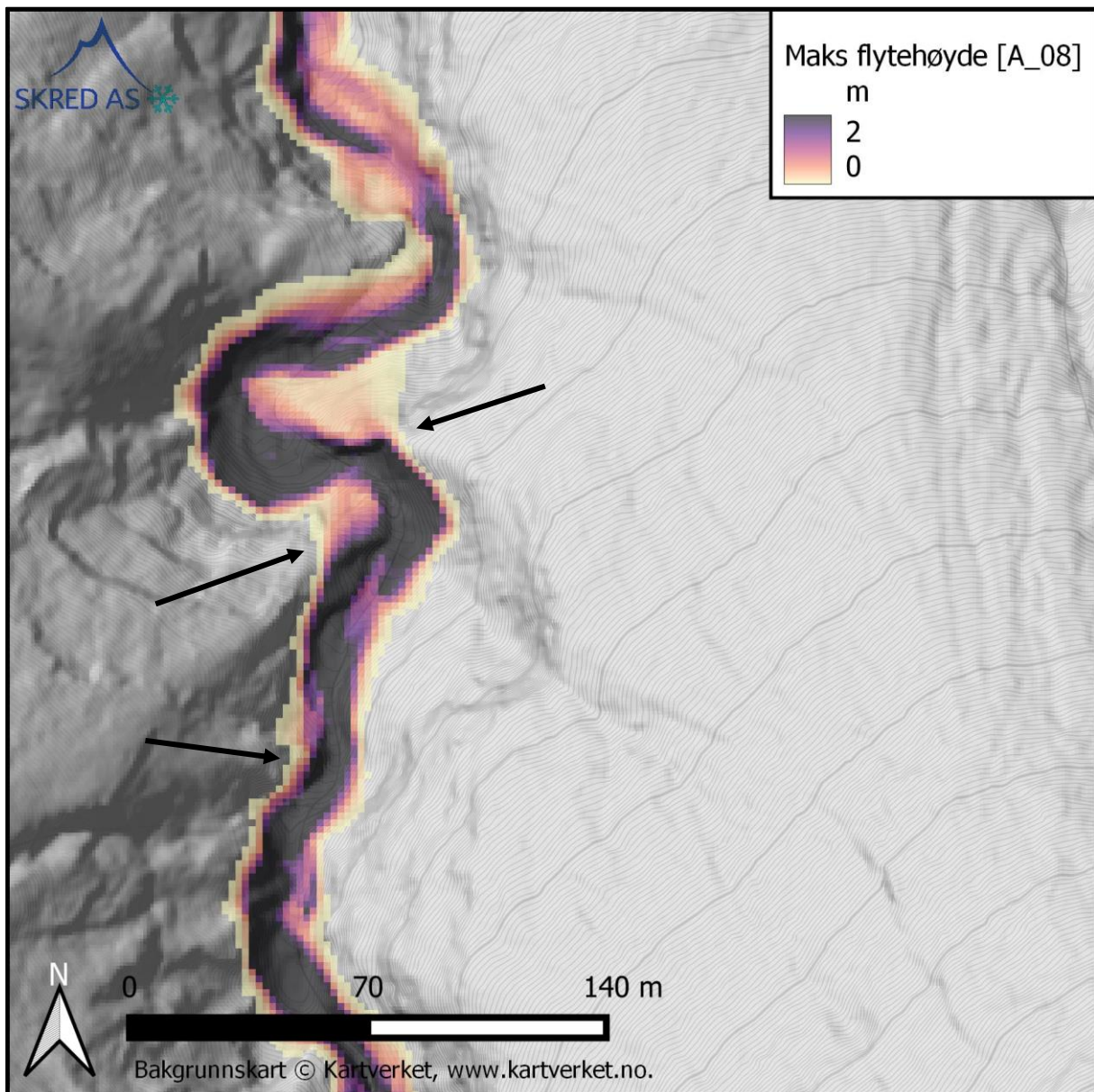
- Ved en kombinasjon av $My=0,20$; $Ksi=200 \text{ m/s}^2$ og $My=0,15$; $Ksi=500 \text{ m/s}^2$ klatrer ikke beregnet massestrøm over den markerte ryggen rundt kote 280, slik observasjonene viser (Figur 14).
 - o Modellerte hastigheter er dermed ikke så store som i den aktuelle hendelsen. Standard modellparametere for flomskred ($My=0,20$; $Ksi=200 \text{ m/s}^2$) er dermed ikke representative for velutviklede sørpeskred, og vårt tidligere forslag om bruk av $My=0,15$; $Ksi=500 \text{ m/s}^2$ for hendelser med årlig sannsynlighet på 1/10 kan underestimere hastigheter.

- Ved Fresvikvegen viser modellberegningene for stor spredning av masser langs veien, i stedet for at massene fortsetter på fjorden, slik observasjonene viser.
- For alle tre løснеområder testet, viser kombinasjonen $M_y = 0,08$; $K_{si} = 2000 \text{ m/s}^2$ at det er overløp på den markerte ryggen rundt kote 280 (Figur 16), slik observasjonene viser (Figur 14).
 - Modellerte hastigheter og dermed klatrehøyde og flyte høyde på masser som har overløp på de markerte ryggene avtar med høyden av løснеområdet i fjellsiden.
 - Masser krysser nesten rett over Fresvikvegen, slik observasjonene viser.
 - Generelt virker de anvendte kombinasjoner av friksjon og løснеområder å representere hendelsen relativt bra.
- For alle tre løснеområder gir kombinasjonen $M_y = 0,05$; $K_{si} = 2000 \text{ m/s}^2$ noe mer overløp på de markerte ryggene enn med $M_y = 0,08$, og for det nedre løśnieområdet ser overløpet på ryggen rundt kote 280 ut til å være større enn observert. Det samme gjelder for $M_y = 0,05$; $K_{si} = 3500 \text{ m/s}^2$, men da for alle tre løøgneområder.

Merk at beregningene bare er utført med ett løsnévolum. Dette kan føre til en konstant over- eller underestimert hastigheter.

Tabell 8: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen i Juvik.

Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Løsneområde	«øvre»; «midt»; «nedre»	Se Figur 15.
Bruddkant	1,3 m; 1,0 m; 0,6 m	Justert for å oppnå volum V_L på rundt 8000 m ³ fra alle tre løsneområder.
Volum	8000 m ³ 4000 m ³	Bruddhøyden er justert for å komme nær 8000 m ³ for alle tre løsneområder. For løsneområde «midt» er det utført beregninger med halvparten av volumet.
Sett med My/Ksi verdier	0,20/200 m/s ² 0,15/500 m/s ² 0,05/2000 m/s ² 0,08/2000 m/s ² 0,05/3500 m/s ²	Standard for RDF 1/10 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) Som (NGI, 2016) 1/100 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) Verdier på 0,05/3500 som foreslått i Skred AS rapport er ikke gjennomregnet, da My=0,05; Ksi=2000 m/s ² allerede gir betydelig lenger utløp enn observert.
Erosjon	Testet uten og med erosjon	Løsneområde «midt» er testet med erosjon fra nedre del av løsneområdet og ned til kote 360 (Figur 15). Erosjon er satt opp med innstillingene vist i Figur 3. I den nedre delen av skredbanen er det trolig en del erosjon av løsmasser fra skredløpet (observert i bilder). Dette er ikke inkludert her.



Figur 16: Modellerte flyte høyde på skredmasser med øvre løsneområde og $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ [A_08].

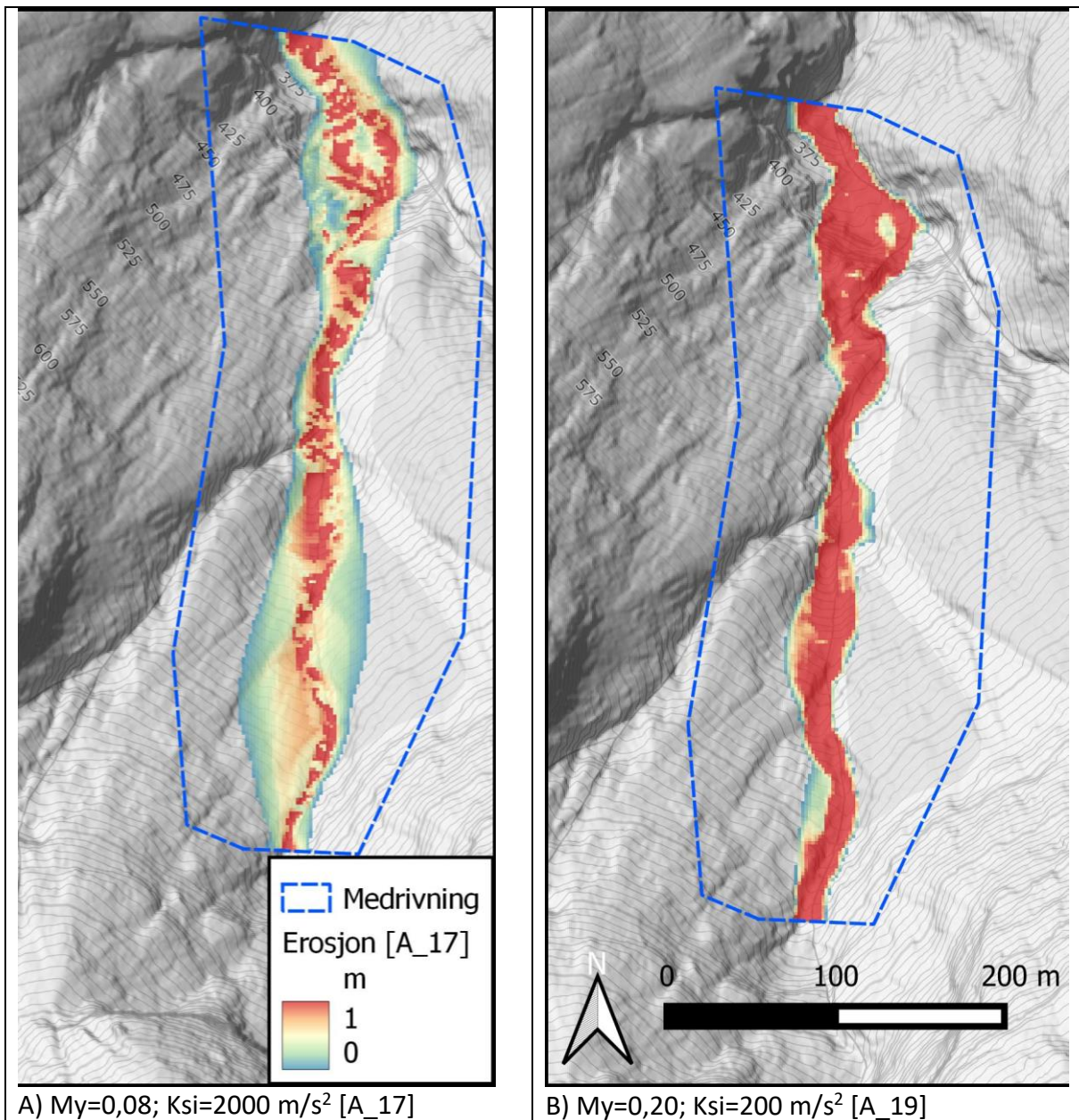
4.4.3 Beregninger med erosjon

Oppsettet for modellering med erosjon er utført for løsneområde «midt», et erosjonsområde nedenfor (Figur 15), med verdier som vist i Tabell 8 og Figur 3. Merk at vi ikke har observasjoner som tillater oss å kvantifisere mengden av erosjon, og at disse beregningene derfor bare viser eksempler på hvordan prosessen kan tenkes modellert. Beregningene viser følgende:

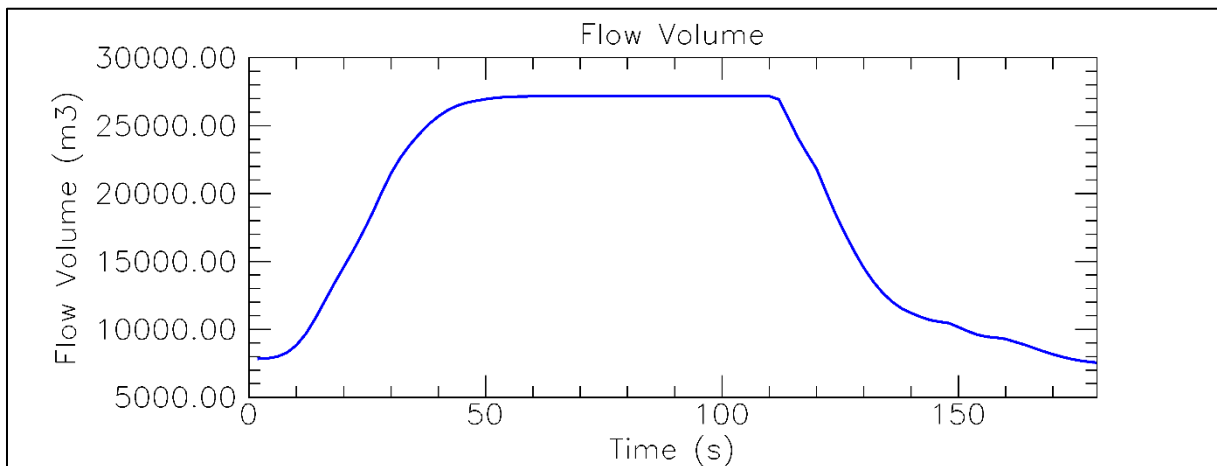
- Erosjonsdybde er avgrenset til 1 m i innstillingene i RAMMS. Både i beregninger med lav mobilitet ($My=0,20$; $Ksi=200 \text{ m/s}^2$) og høy mobilitet ($My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$) er det store områder med maksimal medrivning (Figur 17).

- For et tilfelle med høy mobilitet ($M_y=0,08$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$), øker volum på flytende masser fra 8000 m^3 i løsneområdet til 27.000 m^3 når skredmassene er gjennom erosjonsområdet (Figur 18). En tredobling av massene mener vi er et realistisk scenario.
- I vårt scenario med erosjon oppnår massene større flyte høyder over de markerte ryggene ned gjennom skredbanen (Figur 19), og hastighetene er generelt høyere (Figur 20). Det er mulig dette bare gjelder i en bratt skredbane, der mobiliserte masser raskt akselerer, mens erosjon i slake skredbaner vil ha mer en tendens til å bremse ned/stoppe skredmassene.

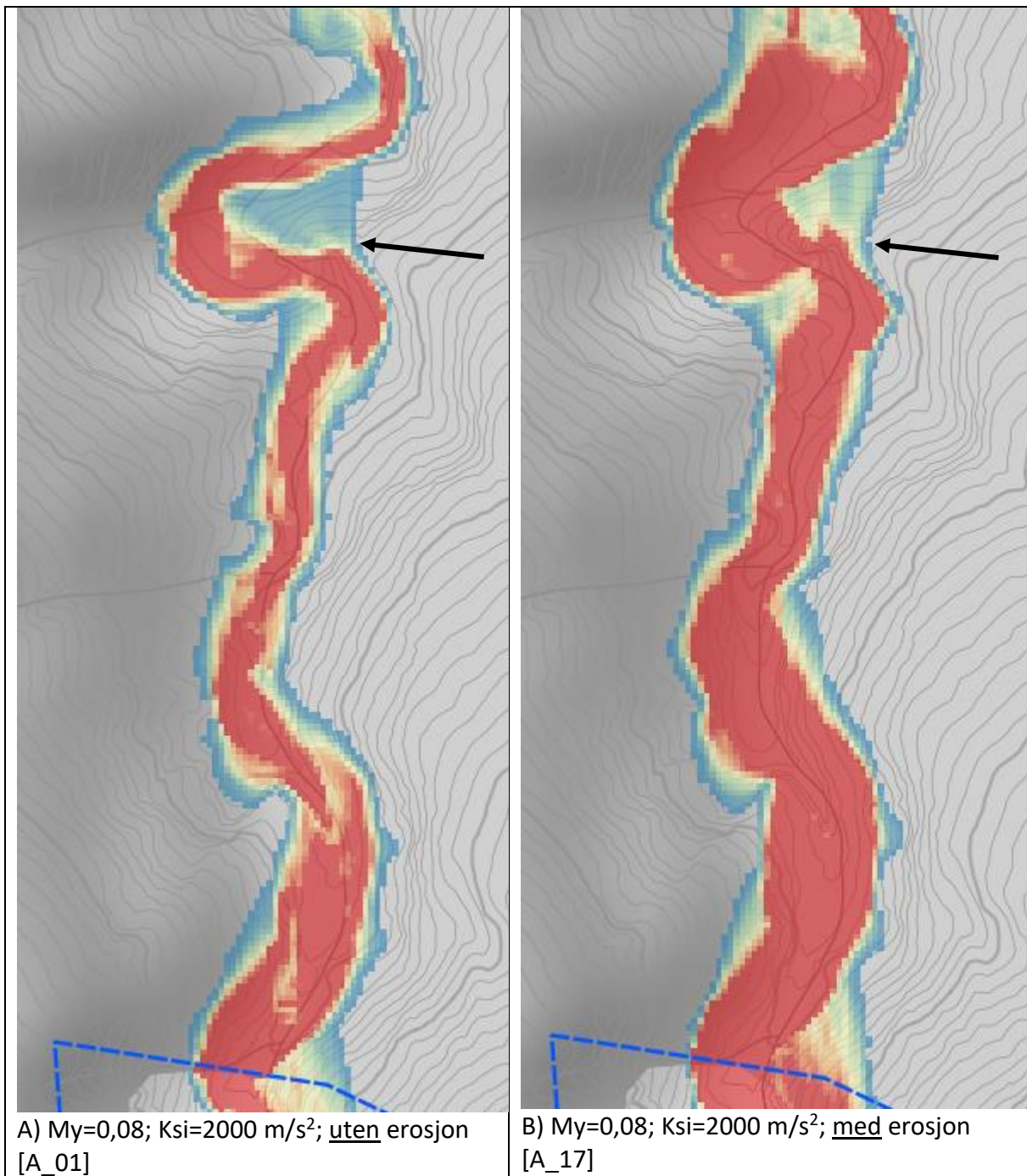
Merk at det i RDF versjon 1.7.20 er en feil som gjør at maksplottet av erosjonsdybde ikke er korrekt. For å visualisere maksimal erosjon, bruk verdiene fra det siste «dump step».



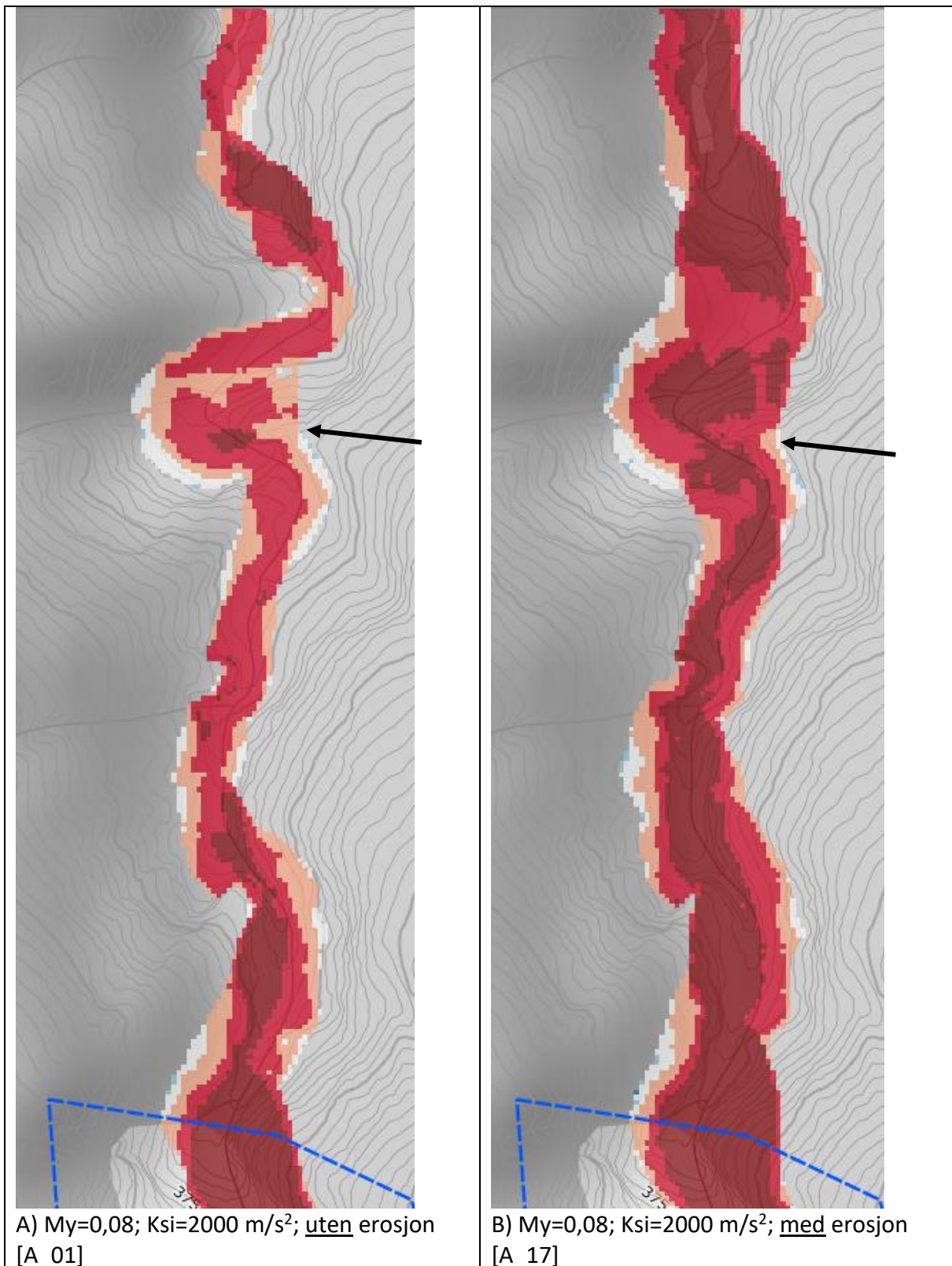
Figur 17: Modellert erosjonsdybde for hendelsen i Juvik.



Figur 18: Utviklingen i total massetransport med erosjon i skredbanen: $My=0,08$; $Ksi=2000$ m/s^2 ; med erosjon [A_17]. Løsnenvolum var $8000 m^3$, men erosjon gjorde at det totale volum i bevegelse økte til rundt $27.000 m^3$. Områdene med erosjon er vist i Figur 17A.



Figur 19: Modellerte flytehighyder med/uten erosjon for $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$.

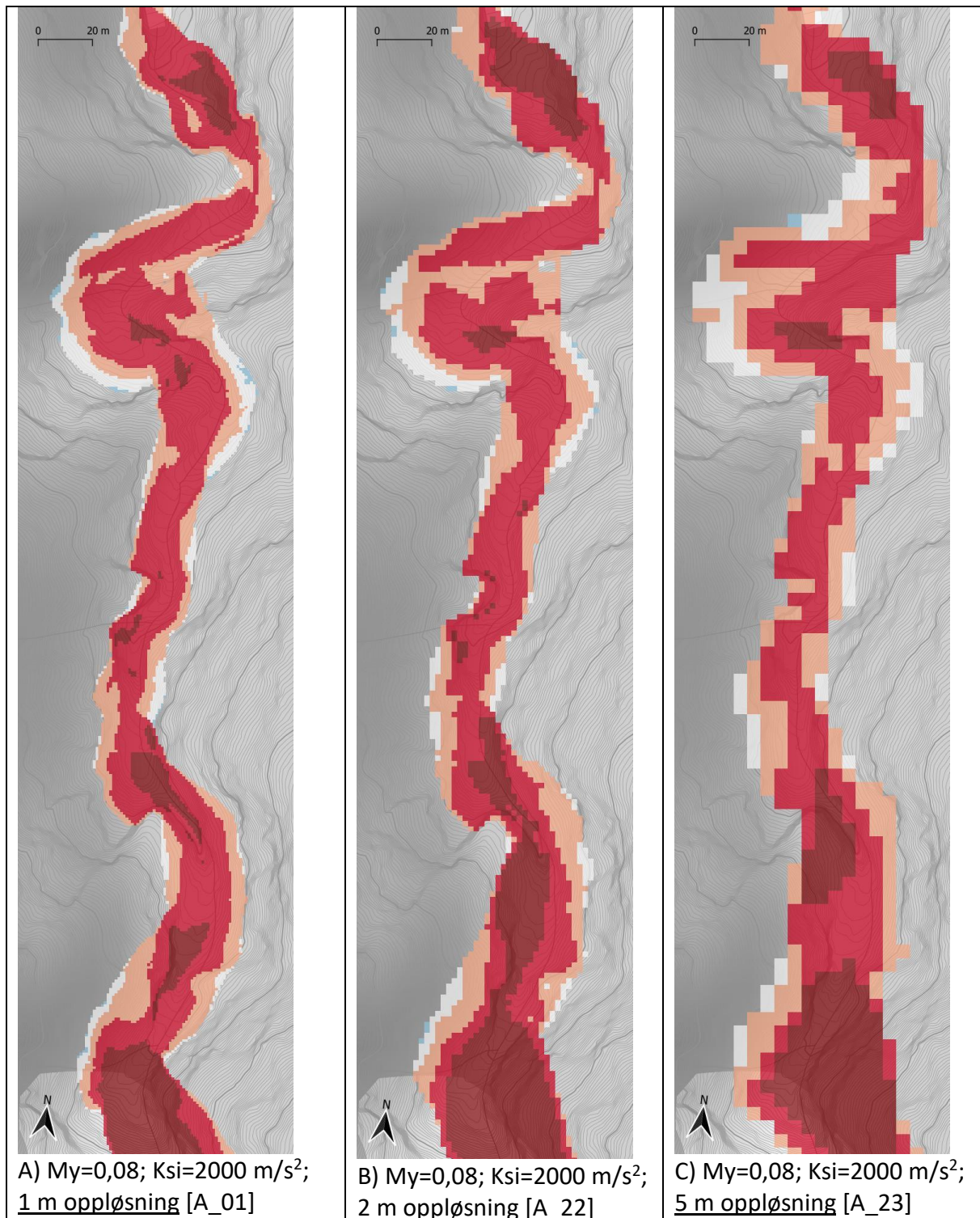


Figur 20: Modellerte maksimale hastigheter med/uten erosjon for $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$. Nedre del av erosjonspolygonen ses med blå strek. Merk overløpet av den markerte ryggen indikert med svart pil.

4.4.4 Oppløsning

For å teste effekten av horisontal oppløsning i RAMMS på beregnede hastigheter og klatrehøyder, er det utført beregninger med løснеområde «midt»; $V_L=8000 \text{ m}^3$; $M_y=0,08$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ med oppløsning på 1 m, 2 m (som benyttet for samtlige andre beregninger) og 5 m. Resultatene er vist i Figur 21. Tidsbruken for beregningene var:

- 5 m oppløsning: 31 sek
- 2 m oppløsning: 5 min 21 sek
- 1 m oppløsning: 37 min 5 sek



Figur 21: Modellerte maksimale hastigheter med horisontal oppløsning på 1 m (venstre), 2 m (midt) og 5 m (høyre), for $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$. Modellerte hastigheter og klatrehøyder er svært like, spesielt mellom 1 m og 2 m oppløsning.

4.5 Diskusjon og anbefalinger fra hendelsen

4.5.1 Ulike løснеområder

Bruk av de ulike løснеområdene «øvre», «midt» og «nedre», med ellers tilnærmet like verdier av løsnevolum og like verdier av M_y/K_{si} , gir noe ulike hastigheter ned gjennom skredbanen, og dermed litt forskjell i klatrehøyde. I forhold til justeringer av M_y/K_{si} og løsnevolum, er forskjellene dog relativt begrenset. Der løsneområdene er usikre i en kartleggingssituasjon, anbefaler vi å gjøre en studie av sensitivitet ved ulike mulige valg av løsneområder.

I dette eksemplet har vi bare brukt ett enkelt løsnevolum, men fra tre ulike løsneområder. For en mer fullstendig gjennomgang av sensitivitet til løsnevolum, burde det utføres beregninger med ulike volum.

4.5.2 Bruk av M_y/K_{si} verdier

For den aktuelle hendelsen, med et antatt løsnevolum på $V_L=8000 \text{ m}^3$, uten erosjon i skredbanen, er det av de testede sett med friksjonsverdier kombinasjonen med $M_y=0,08$ og $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ som gir klatrehøyder som stemmer best overens med tilgjengelige bilder. Denne kombinasjonen gir også utløp som stemmer godt med observasjoner av området der skredmasser krysser vegen, nederst i skredbanen.

Kombinasjonen som er standard for flomskred i RDF ($M_y=0,20$; $K_{si}=200 \text{ m/s}^2$) og $M_y=0,15$; $K_{si}=500 \text{ m/s}^2$, som vi tidligere har anbefalt for hendelser med årlig sannsynlighet på $1/10$, gir for liten klatrehøyde. Verdier på $M_y=0,05$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ og $M_y=0,05$; $K_{si}=3500 \text{ m/s}^2$, som vi tidligere har brukt for et $1/1000$ -scenario, gir for store klatrehøyder.

Sett opp mot vårt estimat av at denne hendelsen er med årlig sannsynlighet på $1/10$ - $1/100$, virker verdier på rundt $M_y=0,08$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ å gi realistiske resultater for et slikt scenario.

Når beregningene gjøres med erosjon, øker hastighetene i den bratte skredbanen. Vi antar dette ikke bare gjelder dette eksemplet, men generelt for bratte skredbaner. I en kartleggingssituasjon må valg av friksjonsparametre derfor gjøres avhengig av om man legger inn erosjon eller ikke.

4.5.3 Oppløsning i terrengmodell

For denne skredbanen, med store endringer i terreng både horisontalt (svinger) og vertikalt (rygger), men en veldefinert, enkelt skredbane, er det overraskende små forskjeller i beregningsresultater med utgangspunkt i ulik oppløsning av terrengmodellen i RDF (Figur 21). Vi forventer at dette kan være annerledes i terreng der skredbanen er mindre markert. I slike tilfeller vil bare en høy oppløsning av terrengmodellen for beregningen gi riktig grunnlag for å beregne hvor skredmassene beveger seg. Allikevel vil det også i slike tilfeller være knyttet usikkerheter til hvor massene strømmer, da det vil avhenge av tilfeldige plasseringer av blokker og tre transportert og avsatt med skredstrømmen.

For kanaliserte løp foreslår vi at sørpeskredberegninger kan gjøres med en horisontal oppløsning på opptil 5 m. Dette kan spare en del tid på beregninger, og det bør heller prioriteres å utføre beregninger for ulike sett med friksjonsparametre, løsneområder og -

volum. I tilfeller der skredbanen er mindre definert (for eksempel på en vifteform), bør horisontal oppløsning være 2 m eller bedre. Der beregninger skal gjøres for en skredbane med tydelig kanalisert skredbane og utløpsområde på en vifte, bør beregningene derfor gjøres med oppløsning på 2 m eller bedre.

5 Balestrand, Ese; 2011-03-21

5.1 Bruk av hendelsen

Fra denne hendelsen kjenner vi ikke løснеområdet i detalj. Nedre deler av skredbane og utløpsområdet har vi fra bilder. Før toppen av skred-/flomvifta ser man tydelig fra bildet (Figur 22) at skredmassene klatrer opp den sørlige dalsiden før de krysser bekken og svinger ut på den nordlige delen av vifta. Det er denne oscillasjonen som gir oss mest verdifull informasjon fra hendelsen. Dette bruker vi til å se om RDF klarer å gjengi oscillasjonen.



Figur 22: Bilde av hendelsen i Balestrand, Ese, tatt av NGI. Fra NGI rapport 20130593-01-R, henvist til fra (Devoli mfl., 2020).

5.2 Grunnlag

Hendelsen er beskrevet i NVE Atlas med skredID={D6242643-D2EB-455C-AC71-65EF0564B77E}:

Rett før midnatt den 21. mars 2011, nokså samtidig med ulykka ved Flesje, losna snøskred høgt oppe i fjellet ved Ese. Eit sørpeskred og jordskred kom i området som blir omtalt som Grisagrø, og kom etter store mengder nedbør siste veka forut. Skredet var fleire hundre meter breitt, og tok med seg både steinar og heile tre på vegen ned fjellsida. Skredet la seg over store deler av bøane til Lars Ese, relativt nær busetnaden. Dette var truleg det største som har gått i området sidan 1928. I 1928 gjekk eit 500

meter breitt snøskred ned frå Grisagrø som tok hus og dyr. Sjå 1928, idnr. 14261. Det er uvisst kor skredet starta, medan bilete dokumenterer utbredelsen i utløpsområdet. Dette skredet får kvalitet B ettersom det er godt beskrevet og dokumentert som gjør det mulig å kartlegge deler av skredet, samt stedfeste ulike lokaliteter.

Terrengmodellen anvendt er den nasjonale rastermodellen med en horisontal oppløsning på 1 m. Terrengmodellen er sydd sammen av ulike LiDAR prosjekt, mest sannsynlig fra 2011 og 2017, der det er betydelig grovere grunnlagsdata i øvre i forhold til nedre dalside. Det er blant annet en relativ dårlig overgang mellom ulike datasett rundt kote 300, i kort avstand fra nedre del av det modellerte løснеområdet. Denne overgangen ser dog ikke ut til å ha betydelig effekt på modellert utløp.

5.3 Hendelsen

Vi har ikke mer kjennskap til hendelsen enn informasjonen gitt ovenfor. Utbredelsen av skredmasser inklusive klatrehøyde er ikke målt inn nøyaktig, men vi har sammenliknet klatrehøydene i Figur 14 visuelt med modellresultater. På vifta er det registrert tre «fingre» med skredmasser. Basert på tolkning av bilder, virker det å være betydelig flyte høyde på skredmassene et stykke ut i disse fingrene, kanskje med unntak av avsetningen lengst mot nordøst. Vi kjenner ikke til om skredmassene kom ned samlet, eller i flere «bølger».

Løснеområdet har vi utvidet litt i forhold til NVE Atlas, men vi har ikke testet ut helt andre løśnieområder.

I NVE Atlas er det også registrert skred i 1830 og i 1928. Det kan virke som om hendelsen i 1830 var på våren, og det kan ha vært et sørpeskred. Hendelsen i 1928 var trolig et tørrsnøskred. Basert på dette, kan det være 100-200 år mellom sørpeskred som når helt frem til gårdene ved Ese.

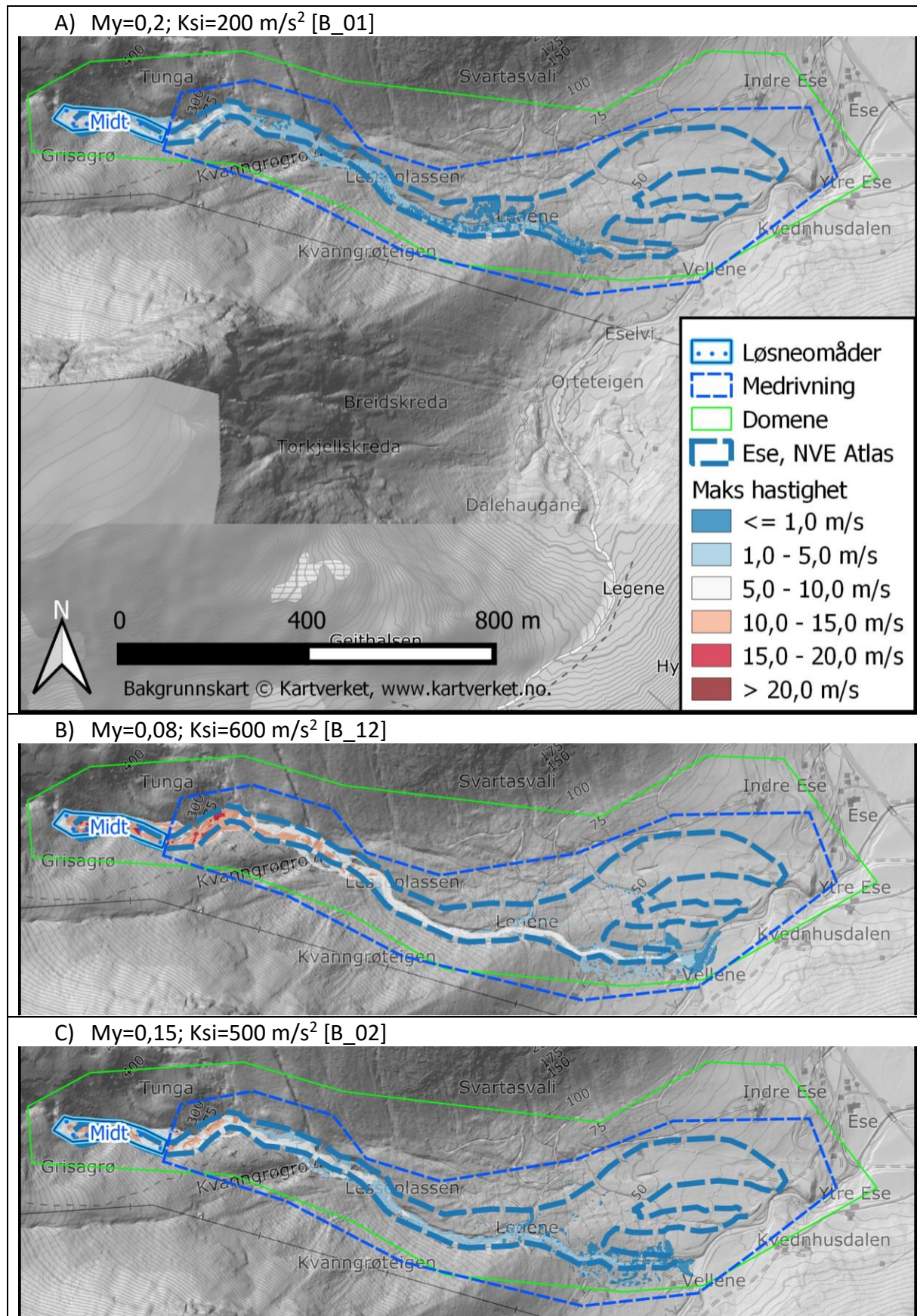
5.4 Modellresultater

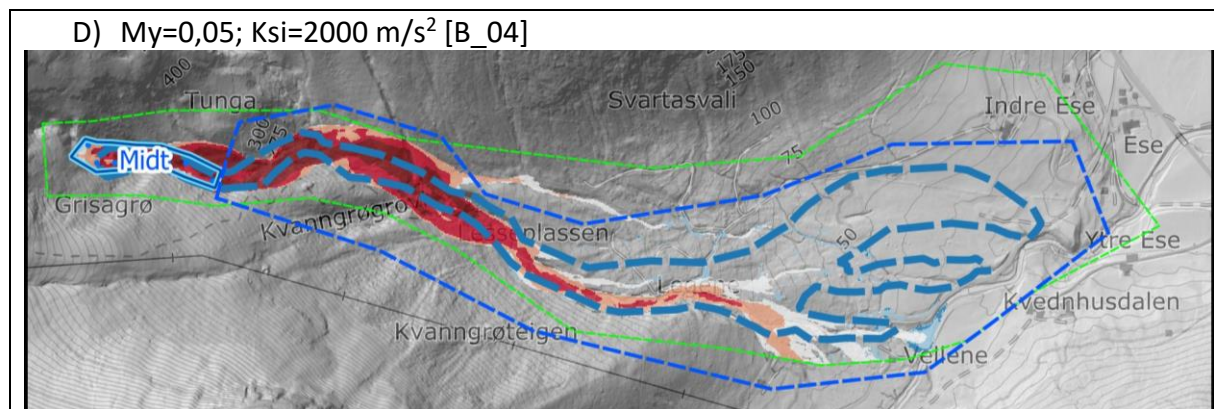
5.4.1 M_y/K_{si} med begrenset volum ($V_L=8000 \text{ m}^3$) og uten erosjon

Beregninger med standard RDF friksjon på $M_y=0,2$; $K_{si}=200 \text{ m/s}^2$ gir skredmasser ned til toppen av vifta, men utløpet er betydelig kortere enn observert (Figur 23A). Med lavere $M_y=0,08$ og høyere $K_{si}=600 \text{ m/s}^2$ når skredmassene relativt langt, men de oppnår ikke hastigheter som gjør at massen får oscillasjoner, og dermed følger skredmassen bare det definerte bekkeløpet (Figur 23B). Med $M_y=0,15$; $K_{si}=500 \text{ m/s}^2$ når skredmassene ned til hovedelva (Figur 23C), men bare i den sørligste finger, mens det ikke er masser ut over vifta i den nordlige fingeren. Det samme gjelder alle andre beregninger med $V_L=8000 \text{ m}^3$: Ingen av beregningene klarer å gjenskape klatrehøyden på dalsiden vest for brua ved Legene, og dermed ikke heller krysningen av bekkeløpet og videre utbredelse av skredmasser ut i den nordligste finger av utløpet.

Tabell 9: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen ved Ese, Balestrand.

Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Løsneområde	Ett område er testet	Se Figur 23.
Bruddkant	0,7 m; 1,4 m; 5 m	Justert for å oppnå volum V_L på rundt 8000 m ³ (ved bruddkant 0,7 m).
Volum	8000 m ³ 16.000 m ³ 41.000 m ³	Bruddhøyden er justert for å komme nær 8000 m ³ for første sett med beregninger.
Sett med My/Ksi verdier	0,20/200 m/s ² 0,15/500 m/s ² 0,05/2000 m/s ² 0,08/2000 m/s ² 0,05/3500 m/s ²	Standard for RDF 1/10 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) Som (NGI, 2016) 1/100 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) Verdier som foreslått i Skred AS rapport er ikke gjennomregnet.
Erosjon	Testet uten og med erosjon	Beregningene er kjørt med og uten erosjon. Erosjonspolynonen (Figur 24) dekker hele skredbanen og utløpsområdet, fra den nedre avgrensningen av løsneområdet.





Figur 23: Eksempler på beregninger (hastighet er vist) som ikke gir skredutløp på en større del av vifta på Eese. Blå polygon viser estimert skredutbredelse fra NVE Atlas. For alle er $V_L=8000 \text{ m}^3$.

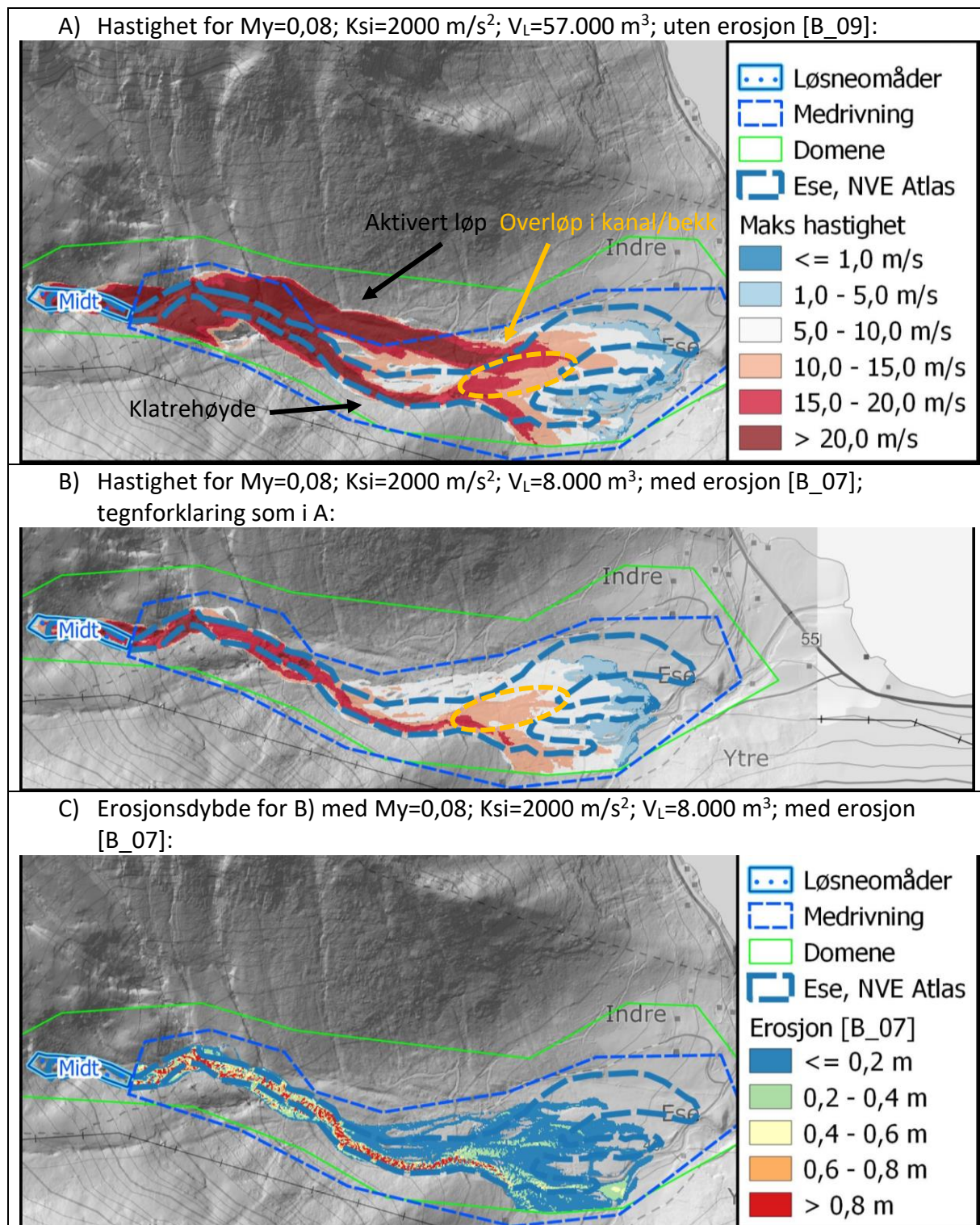
5.4.2 My/Ksi med økt volum enten ved erosjon eller i løsneområdet

Det er ingen direkte observasjoner av løsnevolum i hendelsen, men bildene viser at det var noe snø på bakken når skredet gikk. Det har derfor trolig vært en del medrivning av masser i skredbanen. Ulike strategier for å øke volum av massen i bevegelse ble derfor testet.

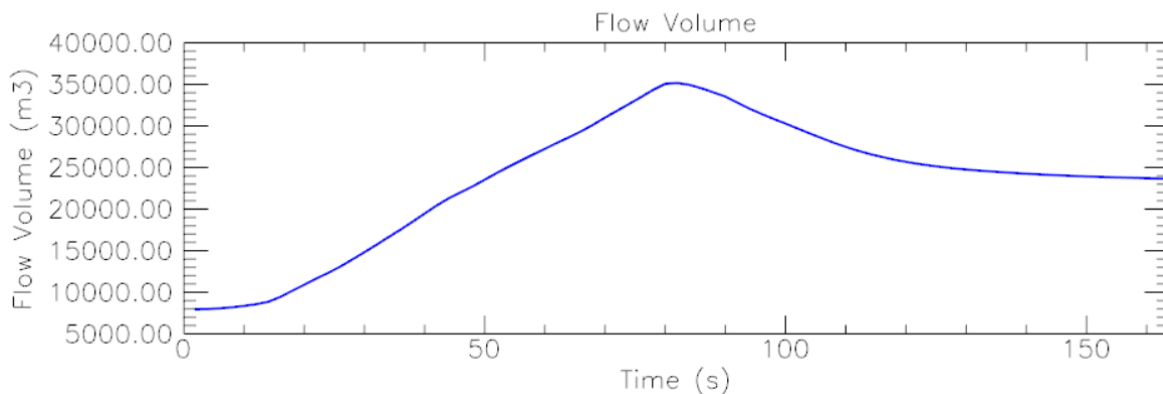
En dobling av bruddkanthøyde og dermed volum til $V_L=16.000 \text{ m}^3$, begynner å gi litt overløp mot vest og den nordlige finger, men det er fortsatt begrenset med masser ut i den nordlige finger på vifta.

Hvis vi antar at det har vært 1 m snø tilgjengelig i skredbanen, og vi antar at det var medrivning av snø til toppen av vifta (rundt brua på Legene), har det gitt en antatt volumøkning på 41.000 m^3 . Dersom hele denne massen plasseres i løsneområdet, gir det en bruddkant på rundt 5 m. Dette gir modellerte skredmasser mot den nordlige del av vifta (Figur 23A; omtrent samme resultat for My/Ksi 0,05/2000). Dette skyldes dog hovedsakelig at et annet skredløp aktiveres ovenfor vifta, og bare delvis at skredmassen klatrer ut av bekkeløpet.

Dersom erosjonsmodulen brukes som vist i Figur 3, og med erosjonspolygon som vist i Figur 23B, får man utløp som vist i Figur 23B. Her er det større mengde masser ut over vifta, og disse kommer hovedsakelig fra overløp ved brua ved Legene, og i mindre grad fra det nordlige løpet ovenfor vifta. Området med erosjon er vist i Figur 23C, og utviklingen av volum i bevegelse er vist i Figur 25. Det maksimale volum i bevegelse er omtrent 4x større enn løsnevolumet.



Figur 24: Resultater for beregninger med store volum, som gir skredutløp på en større del av vifta på Ese.



Figur 25: Utvikling av volum ved bruk av erosjon i beregningene på Ese, for $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$; $V_L=8000 \text{ m}^3$ og erosjonsinnstillingene vist i Figur 3.

5.5 Diskusjon

Ingen av de anvendte sett med My/Ksi kombinert med definert løsneområde (areal) og bruddkant (volum), eller bruk av erosjon, gir utløp så langt på nord vifta som observasjoner viser. Vi er dog usikre på tykkelsen av avsatte masser i utløpsområdet. Bruk av $My=0,2$; $Ksi=200 \text{ m/s}^2$ og $My=0,15$; $Ksi=500 \text{ m/s}^2$ gir nesten ikke masser på vifta, og må regnes som lite representative for denne hendelsen. Med $My=0,08$; $Ksi=600 \text{ m/s}^2$ følger massene bare bekkeløpet, men det er ikke overløp ved brua ved Legene, som observert.

De resultatene som passer best med observert utløp, fås ved bruk av erosjonsmodulen og $My=0,05$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ eller $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$. Når antatt erosjonsvolum plasseres i løsneområdet, og kombineres med My/Ksi som tilsier mobile masser, gir det feil i hvilke deler av skredløpet som aktiviseres: I beregningene hvor antatt erosjonsvolum plasseres i løsneområdet, går store deler av skredmassen i det nordlige løpet, noe som ikke ble observert under hendelsen.

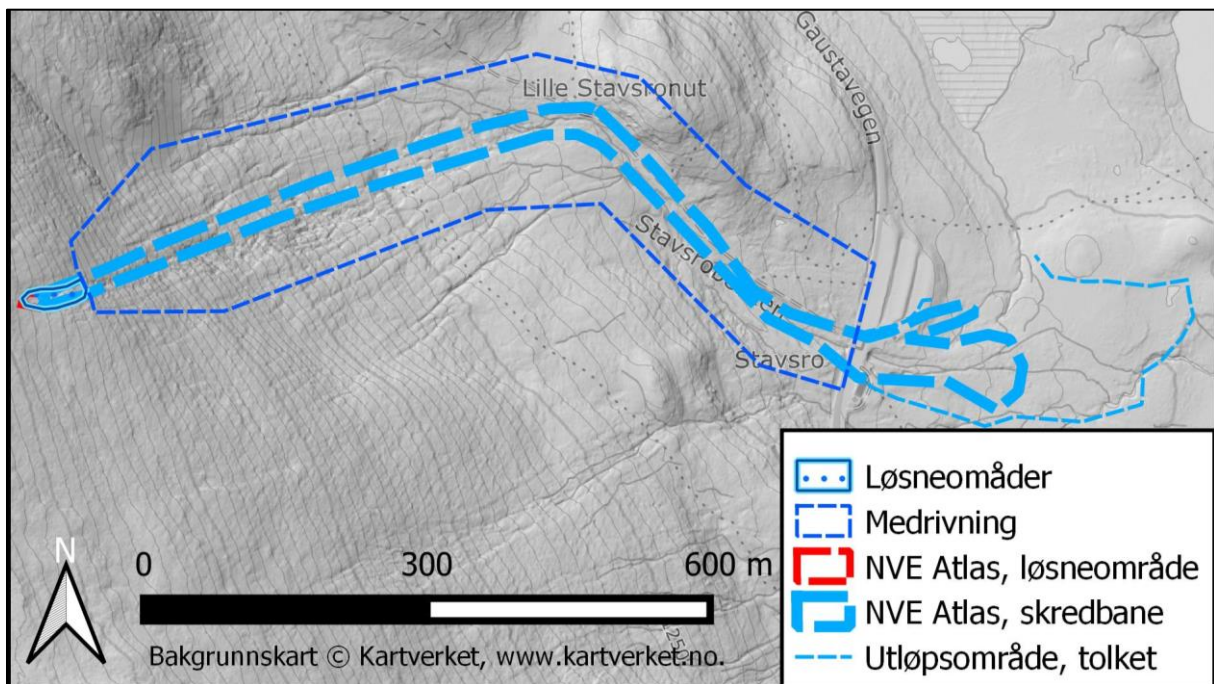
Vi har ikke vært i felt for å studere terrenget rundt brua ved Legene, som er det kritiske punktet der overløpet må skje, for å få masser helt ut i fingeren mot nordøst. Det er mulig at bekkeløpet er mer veldefinert i terrengmodellen anvendt i beregningene, enn det var under hendelsen. LiDAR skanningene som terrengmodellen bygger på, er trolig fra 2011 og/eller fra 2017. Det kan derfor være tatt ut masser i perioden mellom hendelsen og LiDAR skanningen. Dette burde undersøkes nærmere dersom man ønsker å gå videre med mer detaljerte beregninger av hendelsen.

Vi kjenner ikke til hvor nøyaktig løsneområdet i NVE Atlas er definert, og hvilken informasjon som ble brukt til å definere det. Et annet løsneområde kan gi helt andre oscillasjoner ned gjennom skredbanen, og vil ha andre utslag på retning av masser nede på toppen av vifta. Effekten av dette kan testes i RDF, men det er ikke gjort her.

6 Tinn, Stavsro, Stavsrobekken; 2019-04-29

6.1 Bruk av hendelsen

Fra denne hendelsen har vi informasjon om løснеområdet fra NVE Atlas (Figur 26), regObs og bilder oversendt av NVE (Figur 27). Nedre deler av skredbane og utløpsområdet har vi fra NVE Atlas og bilder i media og oversendt av NVE. Utløpsområdet fra veien og nedover kan defineres relativt bra fra bilder i regObs (Figur 29). Dette bruker vi til å se på modellert skredutløp.



Figur 26: Skredutbredelse og løснеområde langs Stavsrobekken fra NVE Atlas og utløpsområdet tolket fra bilder.



Figur 27: Løsneområdet. Foto: Espen Faane (NCC), oversendt fra NVE. Foto tatt mot vest.



Figur 28: Utløpsområdet sett ovenfra. Foto: Espen Faane (NCC), oversendt fra NVE. Foto tatt mot sørøst.



Figur 29: Utløpsområdet ved parkeringsplassen ved Stavsro. Utedoen i høyre bildekant. Foto: Espen Faane (NCC), fra <https://regobs.no/Registration/193038>.

6.2 Grunnlag

Hendelsen er beskrevet i regObs (<https://www.regobs.no/Registration/193067>; <https://regobs.no/Registration/193038>) og i NVE Atlas med skredID={7DA9A1B3-2ECF-4EE5-8719-5F9356FC6352}:

Et stort sørpeskred har gått over Fv 651 ved Stavsro mellom 03 og 06 om morgenen. Skredet er estimert til å være mellom 80-100 m bredt. Skredet har ødelagt veien og er stengt i minst et døgn. Videre har skredet ødelagt et toalettbygg og andre installasjoner forbundet med Stavsro. I tillegg er stien opp til Gaustatoppen blitt delvis ødelagt. Skredpunkt og utløpspunkt er eksakt grunnet dokumentasjon og satellittbilder etter skredhendelsen. Løsneområde er vanskelig å stedfeste eksakt, men er rimelig sikkert. Tidspunkt er noe usikkert men er antatt å utløst mellom 03 og 06 om morgenen.

På grunn av god dokumentasjon, og ulike kilder som ga mulighet til å kartlegge løsneområde og utløpsområde har dette sørpeskredet fått kvalitet A.

Terrengmodellen anvendt er den nasjonale rastermodellen med en horisontal oppløsning på 1 m.

6.3 Hendelsen

Vi har ikke mer kjennskap til hendelsen enn informasjonen gitt ovenfor, og vi har ikke studert forholdene for skredutløsning i detalj, da det er mindre relevant for prosjektet.

Utløpsområdet er justert i forhold til NVE Atlas basert på foto fra regObs (Figur 28; Figur 29): skredutbredelsen vist i NVE Atlas virker å være et område med forholdsvis store flyteøyder og hastigheter. Fra bilder og flyfoto tatt i juni 2019, mener vi at den reelle skredutbredelsen var betydelig større enn NVE Atlas viser. Løsneområdet har vi utvidet litt i forhold til polygonen vist i NVE Atlas, blant annet i forhold til Figur 27, men vi har vanskelig ved å skille hva som er selve løsneområde, og hva som er medrivning.

I NVE Atlas er det ikke registrert flere skred i denne skredbanen, men det er registrert et sørpeskred i Langefonn (Longefonn), omtrent 2 km nord for Stavsro, den 12. mai 2002. Klima og terreng ligger altså tydelig til rette for sørpeskred. Observasjoner fra eldre flyfoto viser følgende:

- Veien til Tuddal ble bygd mellom 1961 og 1975.
- Bygningen på østsiden av veien ble oppført på et tidspunkt mellom 1975 og 2002.
- På flyfoto fra 2002 virker det å ha vært et nylig sørpeskred langs Stavsrobekken. Dette kan ha vært samtidig med 2002-hendelsen i Langefonn. Skredmassene har avsatt løsmasser i veien og videre nedover, med omtrent samme utbredelse som NVE Atlas viser i hovedløpet fra 2019, muligens noe lenger (Figur 25).

Basert på dette kan det være 20-50 år mellom hver sørpeskredhendelse i Stavsrobekken.



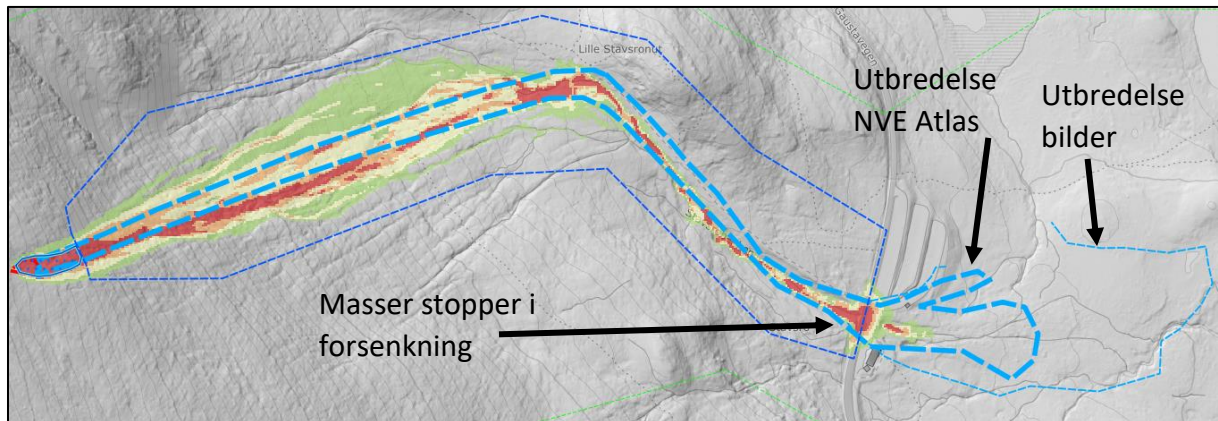
Figur 30: Flyfoto fra 2002, med spor etter nylig sørpeskred. Gul linje viser grovt estimert utløpsområde, der det er avsatt løsmasser. Fra kart.finn.no.

6.4 Modellresultater

6.4.1 Uten erosjon eller ekstra masser i løsneområdet

Modellberegningene med realistiske volum i løsneområdet har en bruddkant på 1,5 m, og et volum på $V_L=2100 \text{ m}^3$. Bare beregningene med $M_y=0,05$ ($K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ og 3500 m/s^2) har

tilnærmet samme utbredelse som vist i NVE Atlas, og ingen har samme utbredelse som observasjonene viser.



Figur 31: Maksimal flyte høyde for beregning uten erosjon og med $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$; $V_L=2100 \text{ m}^3$. Utbredelsen av skredmasser er betydelig mindre enn observasjoner viser.

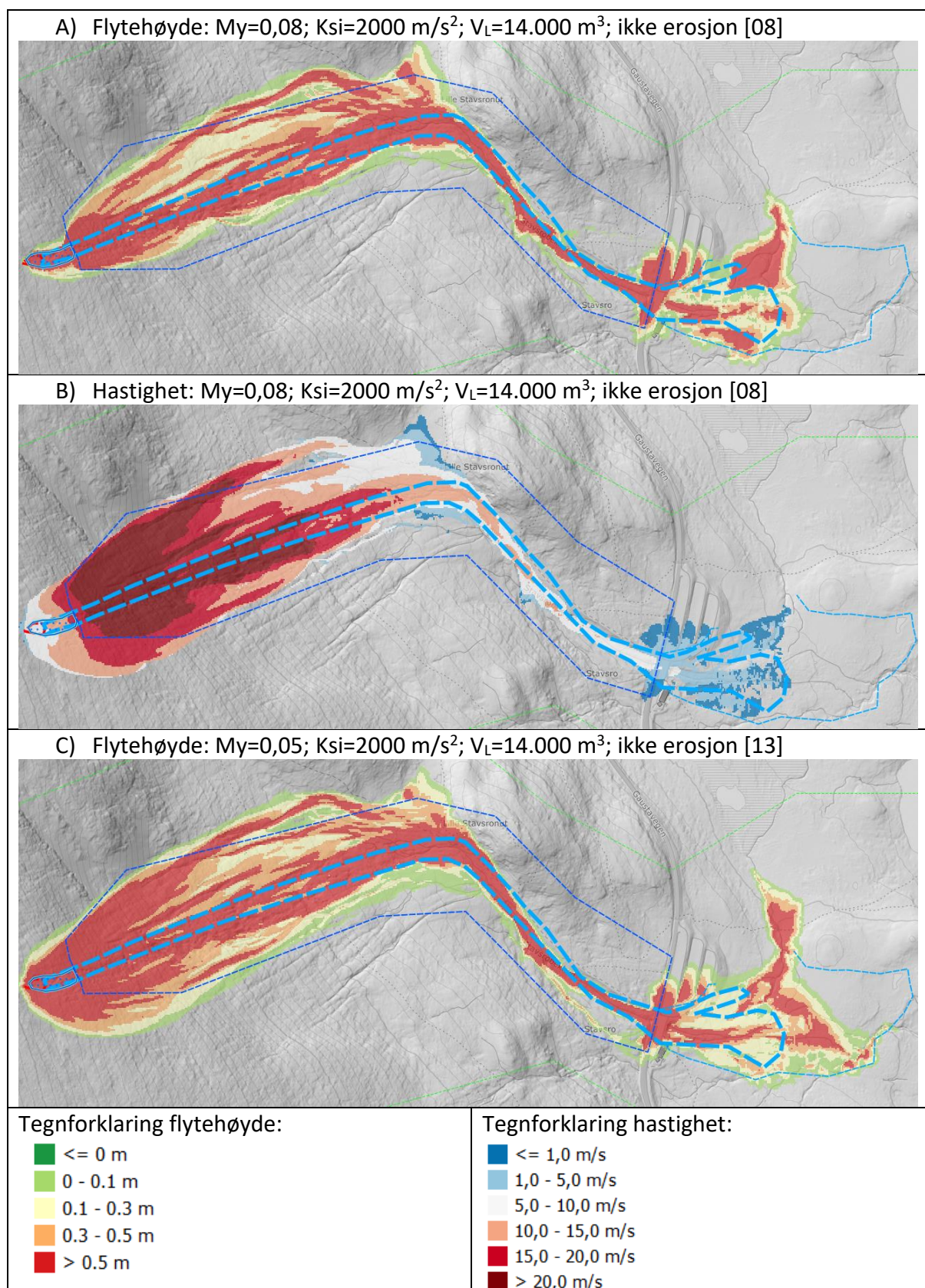
6.4.2 Større volum i løснеområdet

For å få mer realistisk volum, og derav større andel av skredmasser ut over flaten nedenfor parkeringsplassen, har vi forsøkt å legge til volum i løснеområdet, og å inkludere medrivning i skredbanen. Arealet med mulig erosjon fra nedre del av løснеområdet til Gaustavegen er omtrent 26.000 m^2 . Basert på bilder, estimerer vi at det kan ha vært 0,5-1 m snø tilgjengelig for medrivning. Nedenfor Gaustavegen var det også mulighet for noe medrivning, men vi er usikre på hvor mye, og i beregningene er området med medrivning avsluttet ved Gaustavegen.

Beregninger med $V_L=14.000 \text{ m}^3$ plassert i løснеområdet, gir en bruddkant på 10 m. Resultat med $My=0,08$ og $0,05$ og $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ er vist i Figur 32. Lenger utløp, som tolket fra bilder, oppnås bare med $My<0,08$, men også $My=0,05$ gir kortere utløp enn observert.

Tabell 10: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen i Stavsrobekken.

Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Løsneområde	Ett område er testet	Se Figur 31.
Bruddkant	1,5 m; 10 m	1,5 m: Justert i forhold til observasjoner på bilder. 10 m: for å oppnå realistisk total skredmasse inkl. medrevet material.
Volum	2100 m ³ 14.000 m ³	
Sett med My/Ksi verdier	0,20/200 m/s ² 0,15/500 m/s ² 0,05/2000 m/s ² 0,08/2000 m/s ² 0,05/3500 m/s ²	Standard for RDF 1/10 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) Som (NGI, 2016) 1/100 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) 1/1000 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018)
Erosjon	Testet uten og med erosjon	Beregningene er kjørt med og uten erosjon. Erosjonspolynonen (Figur 31) dekker hele skredbanen ned til vegen.

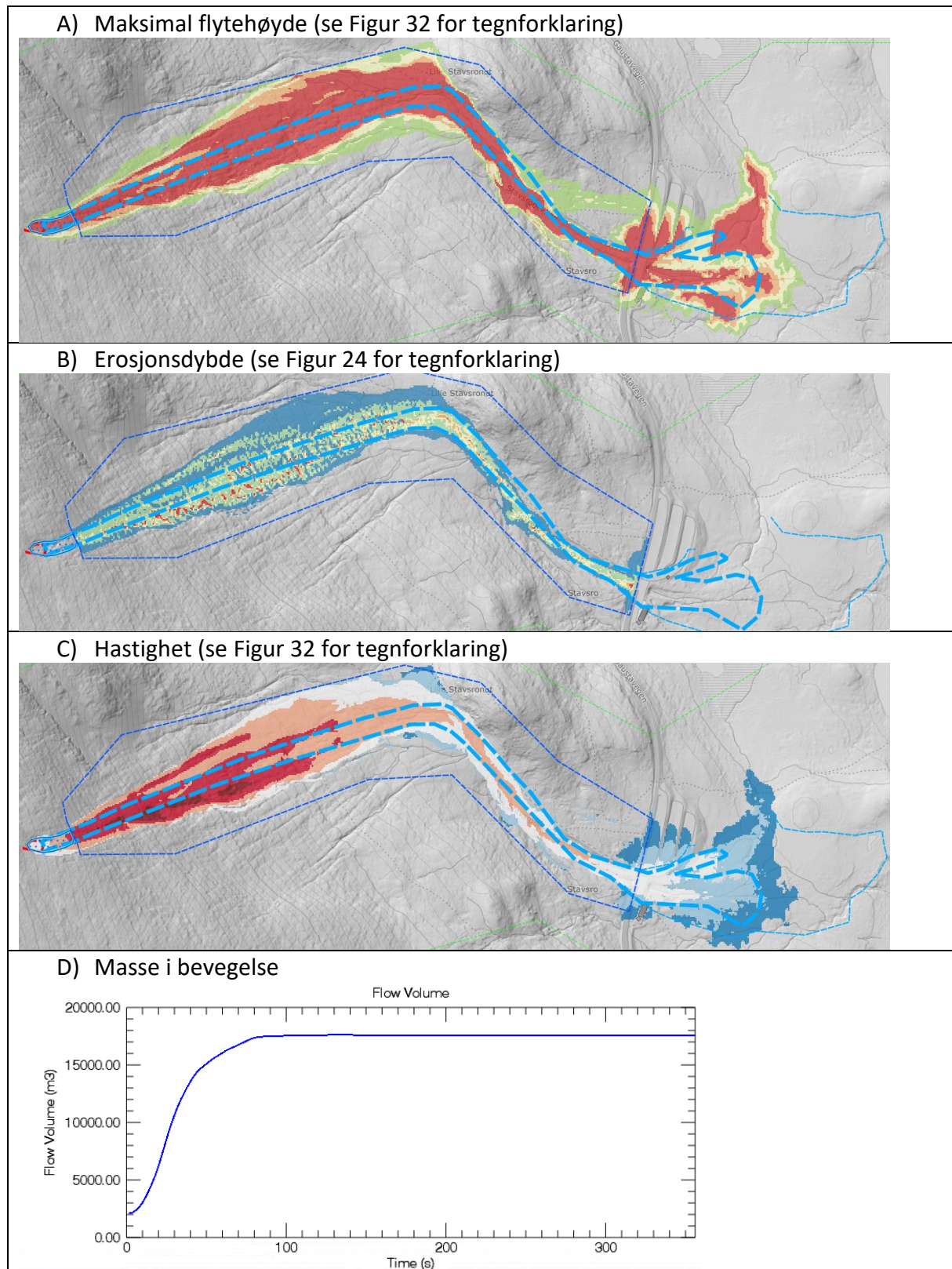


Figur 32: Maksimal flyte­høyde (A; C) og hastighet (B) for beregning uten erosjon og med $V_L=14.000 \text{ m}^3$. Utbredelsen av skredmasser i øvre deler av skredbanen er bredere enn vist i NVE Atlas, og utbredelsen i utløpsområdet er mindre enn observasjoner tilsier.

6.4.3 Medrivning

En annen måte å få mer realistisk volum på, er å inkludere medrivning i skredbanen. Vi har satt maksimal dybde på erodert materiale til 1 m. Nedenfor Gaustavegen var det også mulighet for noe medrivning under hendelsen, men vi er usikre på hvor mye, og i beregningene er området med medrivning avsluttet ved Gaustavegen.

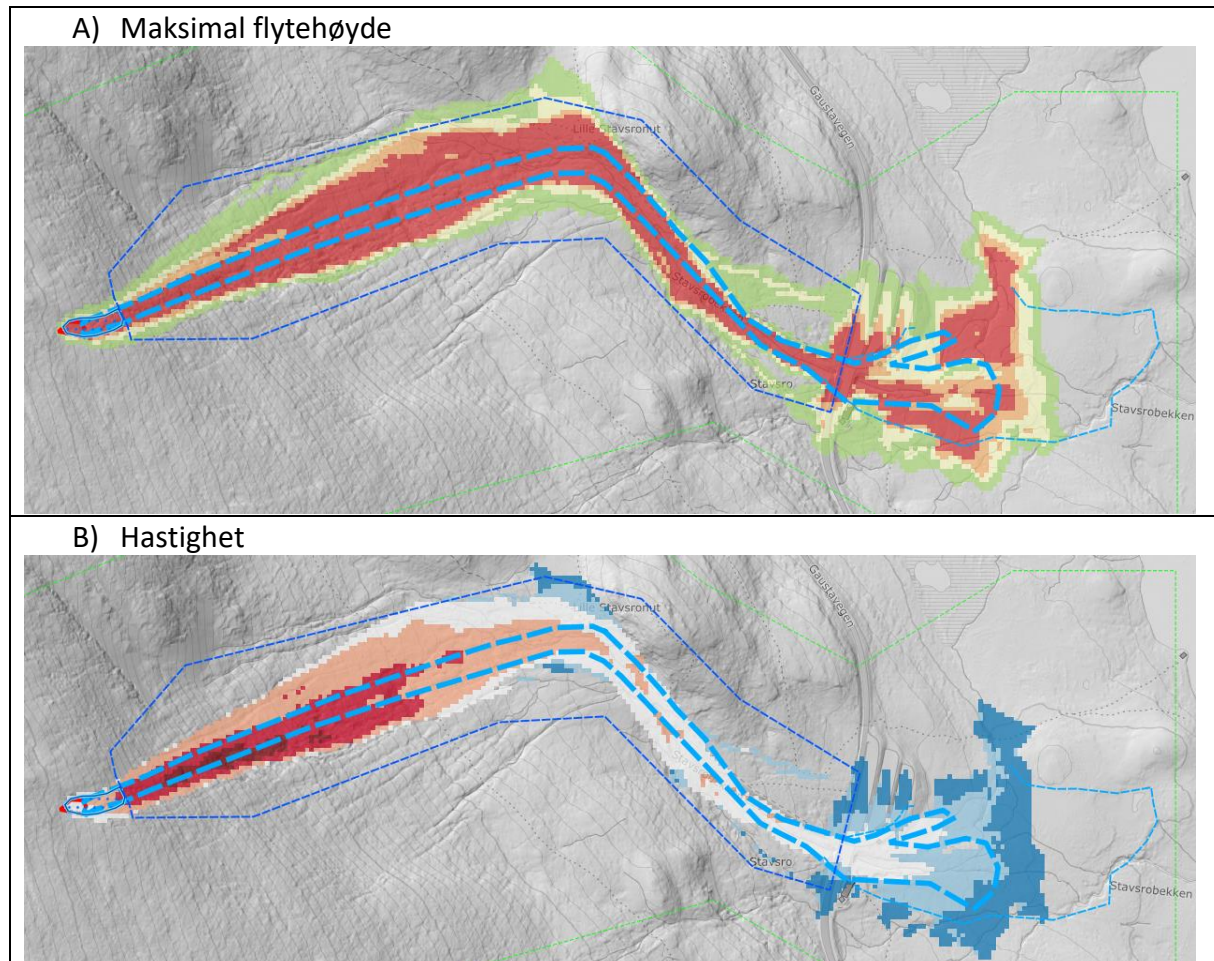
Beregningene med medrivning (Figur 33) viser at massen øker fra $V_L=2100 \text{ m}^3$ til knapp 18.000 m^3 (Figur 33D), altså mer enn beregningene med 10 m bruddkant i løснеområdet (Figur 32). Dybden av modellert medrevet masse, viser at det tas masser langs hele skredløpet (Figur 33B). Sideveis utbredelse av skredmassene nedenfor løснеområdet er mer realistiske enn med 10 m bruddkanthøyde, men fortsatt mye større enn kartlagt i NVE Atlas. Dette stemmer dog godt med bildet av løснеområdet i Figur 27. Med $M_y=0,08$ er utbredelsen av masser omtrent lik den utbredelsen som oppnås ved å inkludere alle masser i løснеområdet (Figur 32A vs. Figur 33A), men hastigheten i utløpsområdet holder seg høyere når massene inkluderes ved medrivning (Figur 33C) i stedet for å legge massen inn i løснеområdet (Figur 32B).



Figur 33: Oppsummering av beregning med erosjon som vist i Figur 3 og med $V_L=2100 \text{ m}^3$; $M\gamma=0,08$; $K_{si}=2000 \text{ m/s}^2$ [06]. Utbredelsen av skredmasser i øvre del av skredbanen er bredere enn vist i NVE Atlas, men mer som observert i Figur 27, og utbredelsen i ytterst i utløpsområdet er mindre enn observert.

6.4.4 Horizontal oppløsning

Beregninger med en horisontal oppløsning på 5 m er gjort for scenario med erosjon, $My=0,05$ og $0,08$ og med $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$. Et utvalg av resultater (med $My=0,08$) er vist i Figur 34. Resultatene viser svært like resultater i utløpsområdet som med horisontal oppløsning på 2 m (Figur 33).



Figur 34: Oppsummering av beregning med erosjon som vist i Figur 3 og med $V_L=2100 \text{ m}^3$; $My=0,08$; $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ [14]. Inngangsverdiene er som i Figur 33, men her med horisontal oppløsning i terrenngmodellen på 5 m i stedet for 2 m som i Figur 33. Se Figur 32 for tegnforklaring.

6.5 Diskusjon

6.5.1 Terrenngmodell

Beregningene viser at en stor del av massene bremses opp i forsenkningen ved innløpet til kulverten under Gaustavegen, og sprer seg ut til sidene. Under selve hendelsen har nok denne forsenkningen blitt fylt inn raskt, eller var kanskje allerede fylt med snø når skredmassene kom ned, slik at massene ikke ble bremses opp, som beregningene viser. For å få en bedre tilpasning til forholdene under selve hendelsen, kunne man forsøke å «fylle inn»

forsenkningen i terrengmodellen. Det har vi ikke gjort, da det ikke er realistisk å gjøre i en kartleggingssituasjon.

Sammenlikning av beregninger med horisontal oppløsning på 2 m og 5 m viser svært liten forskjell, og at forskjellen er betydelig mindre enn usikkerheten rundt valg av løснеområde, medrivning og friksjonsparametre.

6.5.2 Valg av M_y og K_{si}

Vi har ikke grunnlag fra observasjonene til å si noe om valg av K_{si} . Til det trenger vi for eksempel å se mer detaljert på klatrehøyder i svingen mot Lille Stavsrnut, eller informasjon av laster fra området rundt Gaustavegen.

Fra observasjonene virker sørpeskredmassene i utløpsområdet å ha større mobilitet (større rekkevidde) enn selv $M_y=0,05$ gir. Det er spesielt den nordvestlige delen av utløpsområdet, som ikke dekkes av skredmasser i beregningene. Dette kan dog skyldes usikkerheter i våre observasjoner, og trenger mer detaljert gjennomgang. En annen grunn kan være at det under hendelsen lå snø i det slake utløpsområdet nedenfor Gaustavegen, som gjør at terrenget var annerledes enn i terrengmodellen brukt i RAMMS. Med så lav friksjon som $M_y=0,05$, kan det ha stor betydning.

I utløpsområdet viser flyfoto fra 2019 at det ikke er avsatt andre masser enn enkelte planker fra bygningene, noe som understøttes av bilder fra regObs. Massene i bevegelse har derfor vært med svært liten andel av annet enn snø og vann. I slike tilfeller er mobiliteten trolig større enn i tilfeller der det er løsmasser eller trær i massene.

6.5.3 Hvordan oppnå realistiske skredvolum

Ved modellering av samtlige masser fra løснеområdet, blir bredden av skredet urealistisk stor, i forhold til det som inntegnet i NVE Atlas, men mer som vist i Figur 27. En terrengformasjon, Stavsrnut, sørger for at massene i modellen ledes tilbake i riktig løp, men i en jevn fjellside hadde ikke det skjedd. Bruk av medrivningsmodulen er derfor å foretrekke i stedet for å legge inn massene i løснеområdet. En økning av volum med nesten 10x nedover i skredbanen, virker ikke urealistisk.

7 Hattfjelldal, Skardmodalen, Rapbekken; 2010-05-16

7.1 Bruk av hendelsen

Vi bruker hendelsen til å sammenlikne beregnede hastigheter med hastigheter fra en analyse av en bildesekvens, gjort av NGI 2015 (NGI, 2016, 2015b).

7.2 Grunnlag

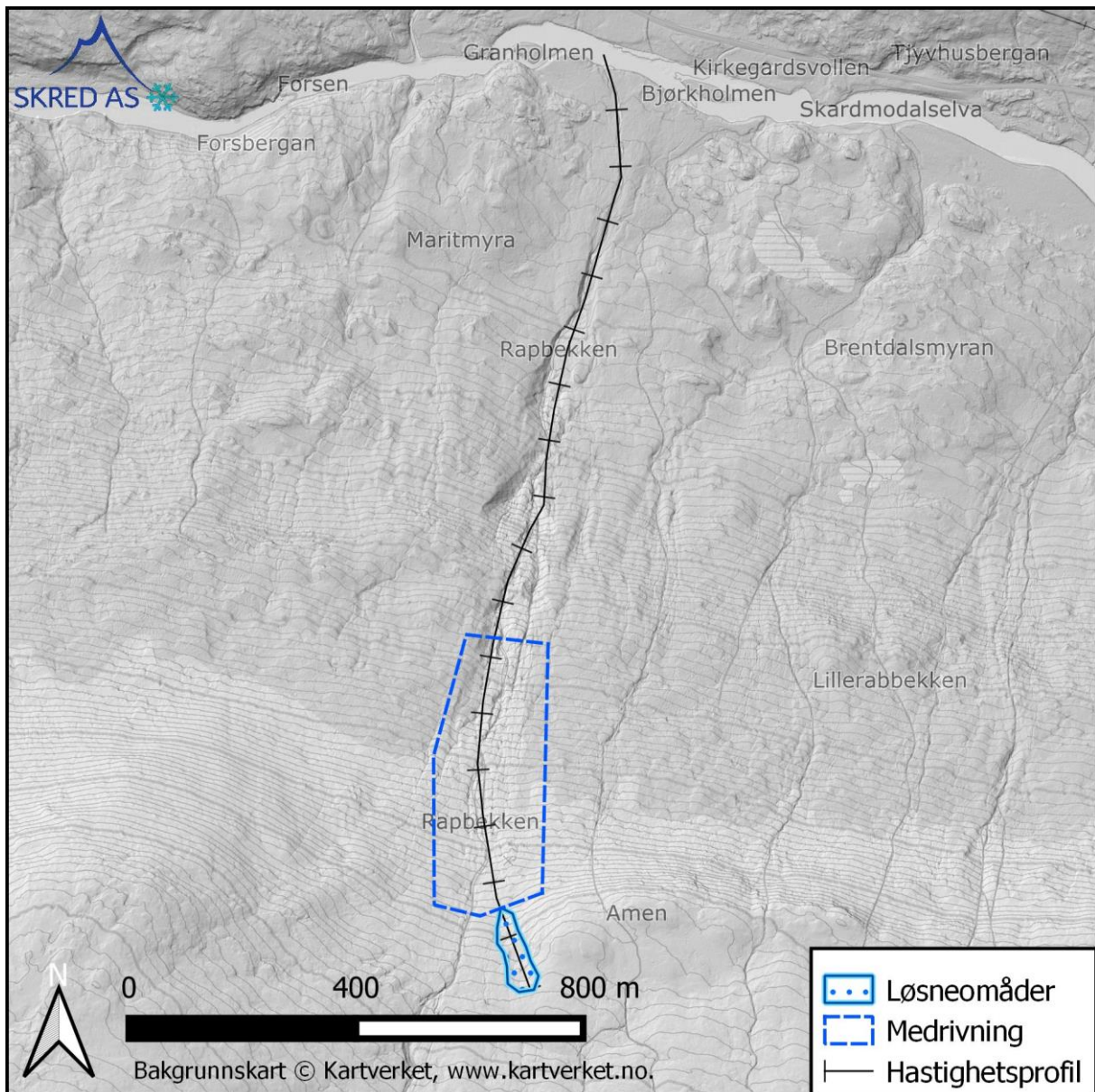
Terrengmodellen anvendt er en rastermodell fra prosjektet «NDH Hattfjelldal sør 2pkt 2019» med en horisontal oppløsning på 0,5 m.

Hendelsen er beskrevet i årsrapportene fra NGI sitt FoU prosjekt fra 2014 og 2015 (NGI, 2016, 2015b), og vår informasjon er hentet derfra.

7.3 Hendelsen

Hendelsen er brukt og beskrevet i årsrapportene fra NGI sitt FoU prosjekt fra 2014 og 2015 (NGI, 2016, 2015b). I de to årsrapportene ligger det tre bilder av hendelsen, som er fanget på kamera. Det er ingen beskrivelse av utløsningsforholdene. Fra bildene har NGI beregnet hastigheten på skredmassene over en 600 m lang strekning av skredbanen (Figur 1). I årsrapporten fra 2015 er det også vist i kart en skisse av løsningsområdet, og dette kan identifiseres i bildene.

Det er ingen bilder eller annen informasjon som viser utbredelsen av sørpeskredet i utløpsområdet. Bildene viser at det har kommet et sørpeskred fra øvre deler av terrenget ned gjennom samme skredbane før den aktuelle hendelsen. Vi har ikke informasjon om de tidligere hendelser i denne skredbanen. Gjentakintervall på hendelsen er ikke kjent, men vi estimerer at den var i størrelsesorden 10-100 år, og langt fra en 1000-års hendelse.



Figur 35: Løsneområde, erosjonsområde i modellen og skredbanen fra hendelsen i Skardmodalen.

Tabell 11: Tolket informasjon fra skredhendelsen i Skardmodalen.

Informasjon om skredhendelsen	Verdi	Kommentar
Løsneområde	Se Figur 35. Areal ca. 5860 m ²	Areal og plassering estimert ut fra bilder.
Bruddkant	1,5 m	Estimert ut fra bilder og basert på NGI rapporter.
Volum	9400 m ³	Estimert fra areal x bruddkant. Merk at denne verdi er noe lavere enn volumet estimert av NGI (15.300 m ³), noe som trolig skyldes at løsneområdet er tegnet forskjellig.
Hastighet	Se Figur 1	Estimert av NGI fra en bildesekvens.
Utbredelse	-	Ingen informasjon om skredutbredelsen.

7.4 Modellresultater

RDF beregninger er satt opp for å etterregne hastigheter i skredbanen med ulike innstillinger. Vi har ikke gjort forsøk på å etterregne utbredelse i utløpsområdet, da det ikke foreligger informasjon om det. Innstillinger for utførte modellkjøringer er vist i Tabell 12.

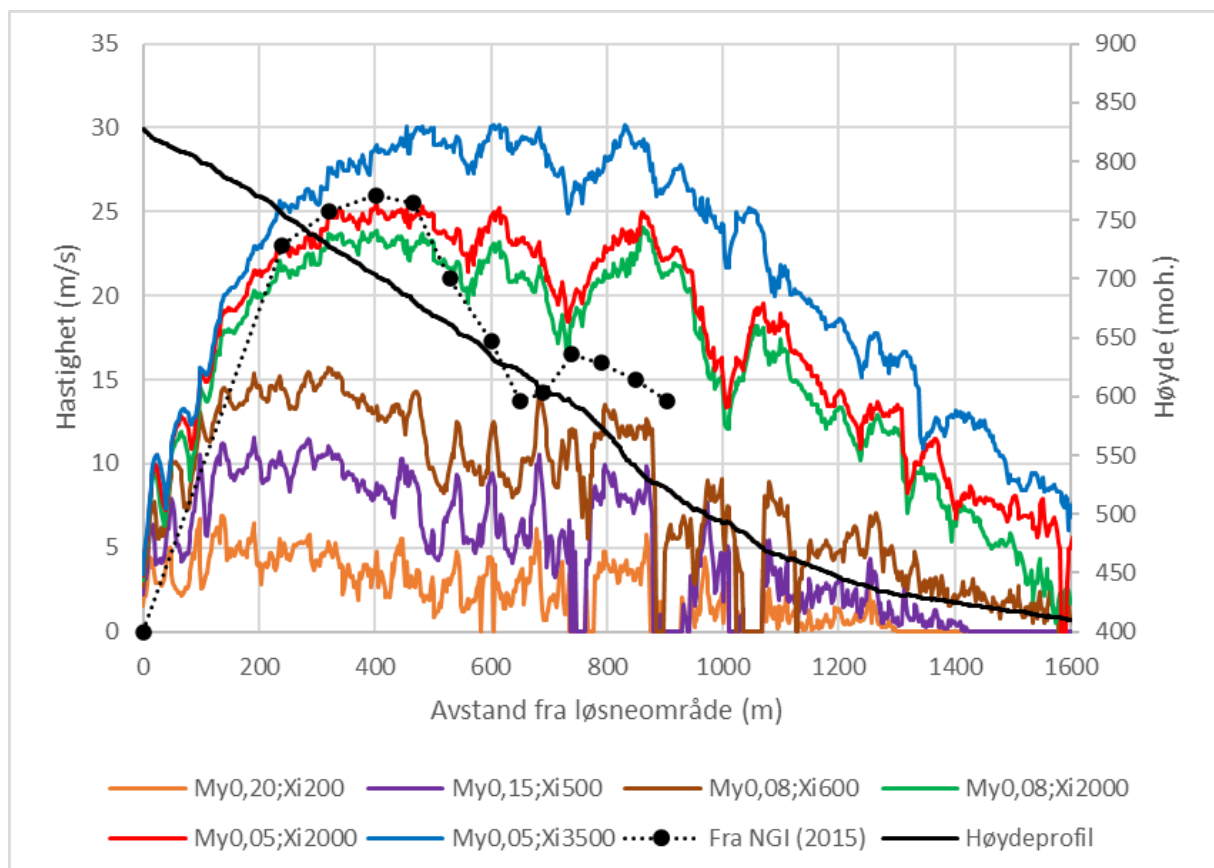
Tabell 12: Innstillinger for utførte beregninger av skredhendelsen i Skardmodalen.

Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Løsneområde	Se Figur 35. Areal ca. 5860 m ²	Bare et enkelt løsneområde er brukt, med areal og plassering estimert ut fra bilder.
Bruddkant	1,5 m 3,0 m	Estimert til 1,5 m ut fra bilder og basert på NGI rapporter. I tillegg er en bruddkant på 3 m testet.
Volum	9400 m ³	Estimert fra areal * bruddkant, ikke verifisert på noen annen måte. Volum var 18.800 m ³ med bruddkant på 3 m.
Sett med My/Ksi verdier	0,20/200 m/s ² 0,15/500 m/s ² 0,08/600 m/s ² 0,05/2000 m/s ² 0,08/2000 m/s ² 0,05/3500 m/s ²	Standard for RDF 1/10 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) Som (NVE, 2016) Som (NGI, 2016) 1/100 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) 1/1000 (Skred AS/HNIT Consulting, 2018)
Erosjon	Ikke erosjon Erosjon (som i Figur 3)	Den reelle hendelsen virker å ha begrenset med erosjon av snø i skredbanen, da det allerede har gått ett sørpeskred i Rapbekken. Vi har allikevel satt opp modellkjøringer med opptil 1 m erosjonsdybde.

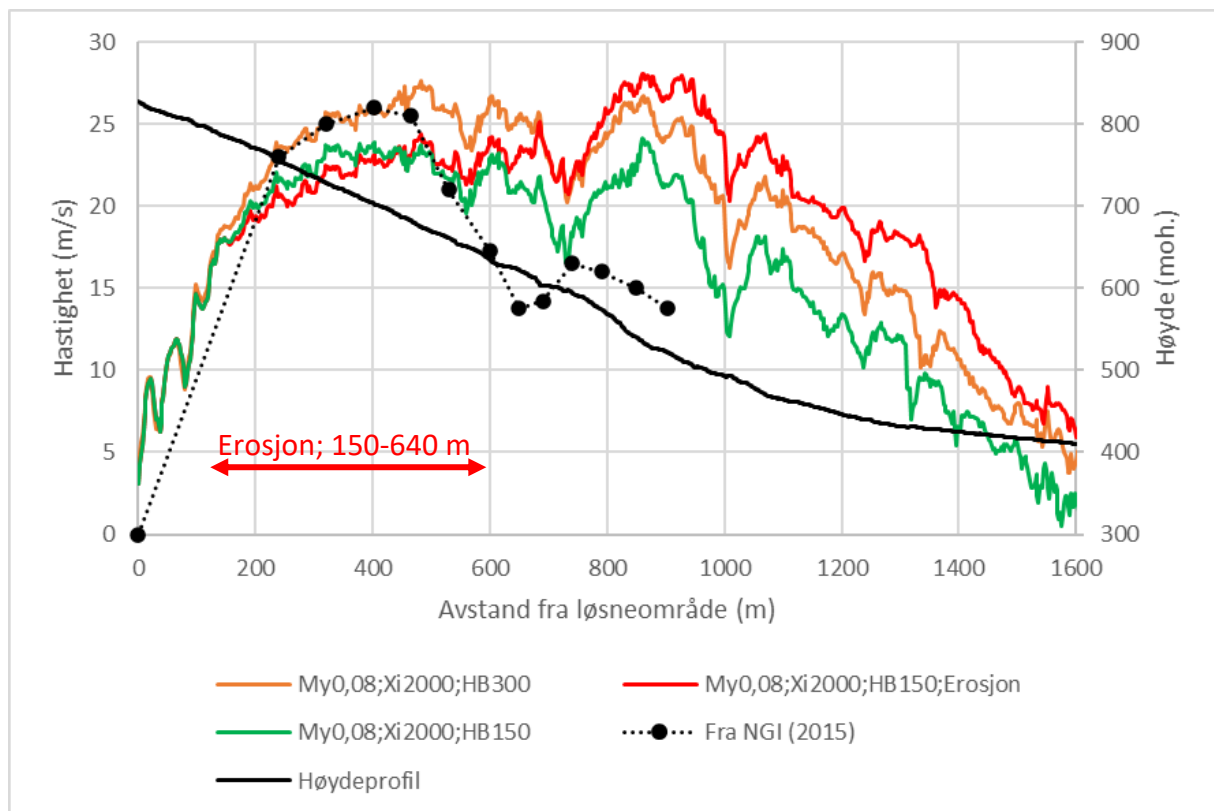
For å kunne sammenlikne hastigheter i skredbanen, har vi tegnet en profillinje langsetter den delen av skredbanen med omtrentlig høyeste hastigheter (Figur 35). Det kan være uoverensstemmelser mellom NGI sin lengdeprofil og den vi har tegnet. Reduksjonen i NGI sine hastigheter rundt $X=700$ m (Figur 36), virker ikke realistiske basert på terrengprofilen fra den banen vi har hentet hastigheter fra.

Hastigheten langs denne profilen er sammenliknet i Figur 36 med inngangsparametre som tilsvarer i størst mulig grad hendelsen. Merk at vi har brukt maksimalverdiene fra RDF beregningene. Disse reflekterer ikke nødvendigvis frontens hastighet. Usikkerhetsbåndene i NGI sin vurdering av hastighetene er ikke vist i de nedenstående grafer, men er vist i Figur 1.

I Figur 37 har vi sammenliknet beregninger med erosjon og større bruddhøyde i løснеområdet med en av beregningene vist i Figur 36, samt NGI sitt estimat på hastighet i skredbanen.



Figur 36: Beregnede hastigheter langsetter en profil i skredbanen, med parametre som i best mulig grad representerer hendelsen i Skardmodalen. Merk at usikkerhetene i NGI sin beregning av hastigheter ikke er vist.



Figur 37: Beregnede hastigheter langs en profil i skredbanen i Skardmodalen, med justerte parametre for å vise effekten av erosjon (rød linje) og større bruddkant (økt fra 150 cm til 300 cm; oransje linje) i en tenkt kartleggings situasjon.

7.5 Diskusjon

Beregningene med standard friksjonsparametre i RDF (0,20/200) viser hastigheter på opptil 6-8 m/s (oransje linje i Figur 36). Dette er 30-50% lavere enn hastighetene beregnet av NGI på 15-25 m/s, og viser tydelig at beregninger for sørpeskred i RDF ikke kan anvende friksjonsparametre med friksjonsverdier fra flomskred. Også de foreslåtte parameterne fra (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) for en hendelse med årlig sannsynlighet på 1/10 ($My=0,15$; $Ksi=500 \text{ m/s}^2$), gir for lav mobilitet av skredmassene i forhold til observasjonene (lilla linje i Figur 36).

I våre beregninger, som i (NGI, 2016), gir en verdi av $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ beregnede hastigheter som ligger rundt de observerte hastighetene. Forskjellen i maks hastighet med $Ksi=2000 \text{ m/s}^2$ kombinert med $My=0,05$ (NGI, 2016) hhv. $My=0,08$ (Skred AS/HNIT Consulting, 2018) er omtrent 2 m/s, altså relativt begrenset (Figur 36). Forskjellen kommer dog tydelig frem i nedre del av skredbanen (omtrent nedenfor $X=1400 \text{ m}$), der hastighetene er relativt lave. Det er også slik at kombinasjonen av $Ksi=2000$ og $My=0,08$ gir for lave hastigheter i den øvre del av skredbanen.

I en tenkt kartleggings situasjon, der bruddhøyde og erosjonspotensiale er en del av vurderingen, men der man tenker seg at My og Ksi er holdt konstant, viser Figur 37 at hastighetsutviklingen ned gjennom skredbanen endres i noen grad, avhengig av valgene

gjort. Dersom man velger å legge inn en relativt høy bruddkant for å gi stort løsnenvolum i stedet for å legge inn erosjon i skredbanen, viser beregningene her høyere hastigheter i øvre del av skredbanen. Hvis man i stedet velger å ha en realistisk bruddhøyde, men legger til et erosjonsområde i beregningene, vil man få saktere akselerasjon av massene opp mot de maksimale hastighetene, som altså vil komme lavere i skredbanen. Dette kan ha betydning for design av sikringstiltak i skredbanen, for eksempel ledevoller og nett.

Grunnet utilstrekkelig informasjon om skredmassenes oppførsel i nedre del av skredbanen og i utløpsområdet, kan vi ikke konkludere mer fra denne hendelsen i forhold til faresoner. Av samme grunn er det heller ikke mulig å bruke denne hendelsen til å si noe om fornuftige verdier av M_y .

8 Diskusjon og anbefalinger for bruk av RDF for sørpeskred i kartleggingsoppdrag

I gjennomgangen av hver hendelse ovenfor, er det en diskusjon med «læringspunkt» for hver av hendelsene. Nedenfor følger en diskusjon med bakgrunn i alle hendelsene som er analysert ovenfor, sett i lyset av problemstilling, hypotese og mål(avsnitt 1.2, 1.3 og 1.4).

8.1 Bruk av RAMMS::DEBRIS FLOW for hendelsene

Ved bruk av RDF har vi kunnet modellere kjente hendelser med tilfredsstillende grad av presisjon, gitt begrenset informasjon tilgjengelig for hver av hendelsene. Bruk av standard friksjonsparametre $M_y=0,2$ og $K_{si}=200 \text{ m/s}^2$ gir dog ikke tilfredsstillende resultater, og disse kan ikke brukes til modellering av sørpeskred. De fem analyserte hendelsene har betydelig større mobilitet (større hastighet og større utbredelse) enn standard friksjonsparametre gir.

8.2 Valg av friksjonsparametre M_y og K_{si}

8.2.1 Avgrensning av M_y og K_{si}

Det er en uendelig rekke med kombinasjoner av M_y og K_{si} som kunne vært testet. Vi valgte å teste et utvalg av disse, gjengitt i Tabell 13. Av de testede kombinasjoner er det bare beregninger med $M_y \leq 0,08$ som gir stor nok utbredelse i utløpsområdet, og kombinasjoner med $K_{si} \geq 2000 \text{ m/s}^2$, som gir store nok hastigheter.

Hendelsene vi har etterregnet, har antatt gjentakintervall på 10-100 år. For faresonekartlegging rettet mot kravene i TEK17 (1/100; 1/1000 og 1/5000), er det derfor nødvendig å anvende kombinasjoner av friksjonsverdier med $M_y \leq 0,08$ og med $K_{si} \geq 2000 \text{ m/s}^2$.

Tabell 13: Anvendte kombinasjoner av M_y og K_{si} for utførte beregninger av skredhendelsene, som antas å ha en årlig sannsynlighet på 1/10-1/100.

Verdi M_y/K_{si}	Brukt i	Kommentar
0,20/200 m/s^2	Standard for RDF, for flomskred	Gir ikke store nok hastigheter og ikke langt nok utløp.
0,15/500 m/s^2	Som i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018); 1/10	Gir ikke store nok hastigheter og ikke langt nok utløp.
0,08/600 m/s^2	Som i (NVE, 2016)	Gir ikke store nok hastigheter. Utløp er langt, men begrenset til smal skredbane.
0,08/2000 m/s^2	Som i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018); 1/100	Gir brukbare hastigheter og brukbar skredutbredelse.
0,05/2000 m/s^2	Som NGI rapport (NGI, 2016)	Gir brukbare hastigheter og brukbar skredutbredelse.
0,05/3500 m/s^2	Som i (Skred AS/HNIT Consulting, 2018); 1/1000	Eneste som gir store nok hastigheter når erosjonsmodulen er aktiv.

8.2.2 Overgang fra sørpeskred til flomskred

En utfordring i flere av hendelsene, og i faresonekartlegging generelt, er at skred som løsner som sørpeskred (snø og vann), kan gå over i for eksempel flomskred (snø, vann, trær og løsmasser) i nedre deler av skredbanen (e.g. Landlaupet i kapittel 3). I disse tilfeller endres mobiliteten og reologien i skredmassene i så stor grad at man ideelt sett bør variere friksjonsparametre fra løsneområdet til utløpsområdet, for å få best mulig beskrivelse av hendelsen. Siden målet med faresonekartleggingen for sørpeskred er å finne frem til områder som er berørt av sørpeskred, mener vi at man bør holde seg til et enkelt sett med parametre ved modellering. Ved Landlaupet mener vi for eksempel at beregningene med ett sett friksjonsparametre er gode nok til modellering for å underbygge kartlegging av faresoner.

Dersom målet er å designe sikringstiltak mot slike hendelser, må man vise både effekten av tiltakene mot sørpeskred og mot eventuelle andre typer hendelser, for eksempel hendelser som starter som sørpeskred og går over i flomskred. I en slik situasjon er det derfor nødvendig å justere friksjonsparametere nedover i skredbanen.

8.2.3 Anbefalte verdier for M_y og K_{si} for sørpeskred

Til tross for at vi bare har studert fem hendelser, og at disse har et antatt gjentaksintervall på 10-100 år, har vi allikevel forsøkt oss på en anbefaling for bruken av verdier for M_y og K_{si} for faresoner 1/100 og 1/1000 (Tabell 14). Vi har svært lite grunnlag for å vurdere verdiene for beregninger for faresonen 1/5000, og mener at den i stor grad bør defineres basert på geomorfologiske observasjoner, ikke beregningsresultater. Det er også svært få sikringstiltak som skal sikre opp til en årlig sannsynlighet på 1/5000. For å gjøre anbefalingen komplett, har vi allikevel foreslått verdier også for 1/5000-hendelser, men disse er enda mer usikre enn de for 1/100 og 1/1000.

Merk at også løsneområde (avsnitt 8.2.4), løsnevolum og eventuell bruk av erosjonsmodulen (avsnitt 8.2.5), i tillegg til friksjonsparametre må defineres i tråd med observasjoner og anbefalinger, for at beregningene skal være brukbare som støtte til å kartlegge faresoner.

Tabell 14: Anbefalte verdier for friksjonsparametre M_y og K_{si} til bruk i modellering ved kartlegging av faresoner dimensjonert av sørpeskred.

Årlig sannsynlighet	Bruk av erosjon?	M_y (-)	K_{si} (m/s ²)
1/100	Nei	0,08	2000
	Ja	0,08	3000
1/1000	Nei	0,05	3000
	Ja	0,05	4000
1/5000	Nei	0,04	4000
	Ja	0,04	5000

8.2.4 Valg av løснеområder

Størrelsen av løснеområdene har direkte betydning for volumet av massene som forutsettes utløst i en RAMMS simulering og, sammen med plasseringen av løснеområdene, påvirker resultatet av beregningene. En fornuftig avgrensning av løснеområdene er derfor viktig.

En gjennomgang av mulige løснеområder for sørpeskred er ikke en del av dette prosjektet. Vi har her bare sett på løснеområder i de utvalgte hendelsene opp mot beregninger med RDF.

Etterregning av hendelsene viser at løснеområder som er slakere enn 10° , ikke gir bevegelser av masser fra løснеområdet ned i skredbanen, som observasjoner tilsier (se for eksempel Landlaupet i kapittel 3). Dette nesten uansett hvor mye masse som plasseres i løснеområdet, og uansett om man bruker erosjonsmodulen. Dette er trolig mest tydelig i terreng med en lang, slak del av skredbanen, før skredbanen blir brattere.

I situasjoner der løснеområdet er slakere enn 10° , anbefaler vi å bruke «beregningstekniske løснеområder», plassert i terreng brattere enn 10° , men i den samme skredbanen. I slike tilfeller, og dersom faresonene i stor grad lages med støtte fra sørpeskredberegningene, bør det undersøkes og kommenteres hvordan plassering av «beregningstekniske løснеområde» påvirker modellresultatene. Dette kan for eksempel gjøres ved å utføre beregninger med to ulike «beregningstekniske løснеområder», og studere hvordan valg av disse påvirker resultatene.

8.2.5 Valg av løsnévolum og bruk av erosjon

Realistiske verdier for volum av modellerte skredmasser er kritisk for å kunne modellere realistiske hastigheter og utbredelse i utløpsområdet. Ved for små volum i løснеområdet, uten bruk av erosjonsmodulen, vil det typisk være for lite skredmasser i utløpsområdet, og dermed vises ikke potensialet som skal kartlegges med faresoner (se Ese i kapittel 5). Ved bruk av stor bruddkanthøyde for å oppnå realistisk løsnévolum, er det stor sideveis spredning av massene, spesielt hvis løснеområdet ligger i terreng uten tydelig sideveis avgrensning (se Stavsro i kapittel 6). Dette kan føre til for stor sideveis utbredelse av faresoner nedenfor løснеområder, med mindre terrenget etter hvert samler sammen skredmasser i det riktige skredløpet. For Stavsro i kapittel 6 ble massene ledet sammen før de traff bunnen av skredbanen, mens det i hendelsen på Ese ble modellert skredmasser i et helt annet løp enn det som var kartlagt (som dog endte på samme vifte).

Basert på beregningene for de undersøkte hendelsene, anbefaler vi å bruke erosjonsmodulen, fremfor å legge store masser i løснеområdet. Vi har ikke eksperimentert med ulike innstillinger for erosjonsmodulen, men foreslår å bruke innstillingene som tilsier størst mulig erosjon per energienhet (Figur 3).

I hendelsene her, har vi brukt en maksimal erosjonsdybde på 1 m, og flere steder er det medrevet opptil 1 m masse. Maksimal erosjonsdybde må vurderes i hvert enkelt tilfelle. I et trangt gjel, der det kan avsettes mange meter med snø i løpet av en vinter, er mulig erosjonsdybde kanskje 4 m. Våre beregninger viser at volumøkningen på grunn av medrivning kan være opp mot 10x løsnévolum, noe som absolutt ikke er urealistisk. Ved

bruk av erosjonsmodulen, må brukeren se på grafen som viser massevolum (e.g. Figur 18), og på oversikten som viser hvor erosjon/medrivning skjer (e.g. Figur 17), og vurdere om det er realistisk. Merk at det i RDF versjon 1.7.20 er en feil, som gjør at plottet med maksimal erosjonsdybde ikke vises riktig. I stedet brukes erosjonsdybden fra det siste tidssteg i beregningene.

Dersom man ved kartlegging ikke ønsker å bruke erosjonsmodulen, må man estimere et volum som rives med i skredbanen, og legge det til løsneområdet. Medrevet volum kan estimeres ved å måle en lengde langs skredbanen der medrivning antas å pågå, og deretter estimerer et tverrsnittsareal av massen som rives med. Dette gir et volum, som så legges til løsneområdet.

Beregningene fra Rapbekken i Skardmodalen (kapittel 7) viser at i tilfeller der erodert/medrevet volum inkluderes i løsneområdet, kan man bruke lavere verdier av Ksi for å oppnå realistisk akselerasjon. Motsatt, dersom modulen for medrivning brukes, så må man bruke høyere verdier for Ksi, for å oppnå realistisk akselerasjon. Det er mulig at dette bare er tilfellet i bratte skredbaner som Rapbekken, men vi har inkludert det i våre anbefalinger for valg av My og Ksi i Tabell 14 .

8.3 Andre observasjoner fra de analyserte hendelsene

8.3.1 Definisjon av område med skredskader av betydning

I veiledning til TEK17 §7-3 (2) står det:

Sannsynligheten som er oppført i tabellen i forskriften, angir den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning, det vil si skred med en intensitet som kan medføre fare for liv og helse eller større materielle skader. Dette innebærer at en for de fleste skredtyper kan redusere utløpsområdet i forhold til det maksimale utløpet til skred med den aktuelle sannsynligheten.

Sørpeskred kan ha svært lange utløp, men det er trolig et begrenset skadepotensiale ytterst i skredet, der flyte høyden er lav, og/eller massene består av finstoff og vann. For best mulig å kunne definere faresonene på en tilnærmet standard måte, er det behov for ytterligere spesifisering av hva som avgrenser faresonene. For sørpeskred kan det for eksempel være en flyte høyde, eller en hastighet, eller en kombinasjon, som det er gjort for flom i §7-2.

8.4 Videre arbeid

I løpet av arbeidet med prosjektet har vi sett flere steder man kan fortette arbeidet med modellering av sørpeskred med RAMMS:

- Teste ut bruken av hydrograf-modulen (se avsnitt 3.5.1).
- Få tak i mer detaljert informasjon fra hver av hendelsene beskrevet her. For eksempel er vi usikre på tykkelsen av skredmasser i skredet ved Ese (avsnitt 5).
- Undersøke ytterligere hendelser som case-studier.
- Sette opp modellforsøk i et lab, for å se om det er mulig å skalere sørpeskred, og deretter etterregne modellforsøkene.

9 Referanseliste

- Bühler, Y., Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., 2011. Sensitivity of snow avalanche simulations to digital elevation model quality and resolution RID B-9859-2011. *Ann. Glaciol.* 52, 72–80. doi:10.3189/172756411797252121
- Christen, M., Bühler, Y., Bartelt, P., Leine, R., Glover, J., Schweizer, A., Graf, C., Mcardell, B.W., Gerber, W., Deubelbeiss, Y., Feistl, T., 2012. Integral Hazard Management Using a Unified Software Environment Numerical Simulation Tool «RAMMS». *Congr. Interpraevent* 77–86.
- Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., 2010. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Reg. Sci. Technol.* 63, 1–14. doi:10.1016/j.coldregions.2010.04.005
- Devoli, G., Jarsve, K.T., Mongstad, H.H., Sandboe, K.S., Jensen, O.A., 2020. Kontroll av registrerte skredhendelser og tildeling av kvalitetsnivå for utglidning, jordskred, flomskred og sørpeskred, NVE Rapport.
- NGI, 2016. Results 2015 from SP 4 FoU Snøskred: Work Package 3 - Slushflows.
- NGI, 2015a. Vannledningsdalen, Longyearbyen. Forprosjektering av sikringstiltak for bebyggelse og infrastruktur nedenfor Vannledningsdalen, 20120650-01-R. Oslo, Norge.
- NGI, 2015b. Results 2014 from SP 4 FoU Snøskred : Work Package 3 — Sørpeskred.
- NVE, 2016. Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard, NVE Rapport.
- Skred AS/HNIT Consulting, 2018. Svalbard, Longyearbyen - Prosjektering av sikringstiltak, Sukkertoppen og Vannledningsdalen. Forprosjektering av sikringstiltak – Fase B2, Skred AS Rapport.
- SLF, 2021. RAMMS, Rapid mass movements simulation, Version 1.7.20.
- Taurisano, A., 2020. FOU 80607 - RAMMS::Debris Flow for beregning av jordskred - Casestudier og anbefalinger for bruk, NVE Ekstern rapport.
- Taurisano, A., 2018. Skredfarekartlegging i Oppdal kommune, NVE Ekstern rapport.



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNS GATE 29
POSTBOKS 509 I MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no