

Ruben Jacobsen

Snøskredfarekartlegging og vurdering av skredsikringstiltak ved Rv15, Grasdalen

Masteroppgave i Berggrunns- og ressursgeologi

Veileder: Rune Berg-Edland Larsen

Medveileder: Halgeir Dahle

Mai 2022

Ruben Jacobsen

Snøskredfarekartlegging og vurdering av skredsikringstiltak ved Rv15, Grasdalen

Masteroppgave i Berggrunns- og ressursgeologi
Veileder: Rune Berg-Edland Larsen
Medveileder: Halgeir Dahle
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for geovitenskap og petroleum



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Rv15 gjennom Grasdalen på Strynefjellet er en av mange skredutsatte vegstrekninger i Norge. Strekningen mellom Grasdaltunnelen og Oppljostunnelen har vist seg å være spesielt skredutsatt. Analyser av historiske skredhendelser viser at det er registrert 53 snøskred i vegen langs strekningen siden anleggsarbeidet startet i 1973.

I denne oppgaven kartlegges faren for snøskred langs vegstrekningen mellom Grasdaltunnelen og Oppljostunnelen i Grasdalen i Stryn. Faresonene relateres til SVV (2021) sine krav til sikkerhet mot skred i Håndbok N200. Akseptabel risiko for skred langs denne vegstrekningen er 1/50 per km per år i områder hvor trafikken er i flyt.

Oppgaven drøfter videre ulike fysiske tiltak som vil kunne øke sikkerheten mot skred på vegen. De fysiske tiltakene som vurderes er en fangvoll, aktiv snøskredkontroll ved hjelp av snøskredtårn og lysregulering av vegstrekningen ved automatisk skreddeteksjon.

Skredfaren i kartleggingsområdet vurderes på bakgrunn av feltarbeid, analyser av historiske skredhendelser, GIS-analyser og skredsimuleringer i RAMMS:: Avalanche. Det konkluderes med at 700 m av den totalt 900 m lange vegstrekningen i dagen ligger i områder med en årlig sannsynlighet for snøskred $\geq 1/10$ per km, mens hele vegstrekningen ligger i områder med en årlig sannsynlighet $\geq 1/50$ per km.

I vurderingen av en fangvolls effekt som skredsikringstiltak, benyttes skredhastigheter og strømningsmønstre fra skredsimuleringer i RAMMS:: Avalanche ved dimensjoneringen av en 18 m høy og 225 m lang fangvoll. Vollen inkluderes i en terrengmodell av den snødekte skredbanen. Terrengmodellen brukes videre i skredsimuleringsverktøyet RAMMS:: Avalanche hvor fangvollens innvirkning på skredmassene i utløpsområdet vurderes.

Av de tre vurderte skredsikringstiltakene er det aktiv snøskredkontroll ved hjelp av snøskredtårn som gir best resultater. Ved å bruke syv snøskredtårn ser det ut til å være mulig å øke sikkerheten mot snøskred langs vegstrekningen til 1/50 per km per år. Dette forutsetter at metoden fungerer bra i området, og at anlegget driftes aktivt. Den vurderte fangvollen vil mulig kunne fungere effektivt mot snøskred med en returperiode på opp mot 10 år. Et automatisk skredvarslingsanlegg og lysregulering vil ikke være egnet som skredsikringstiltak i området, da stoppestedene for bilister ikke oppnår krav til sikkerhet mot skred.

Abstract

The Norwegian national road 15 through Grasdalen on Strynefjellet is one of many road sections in Norway prone to snow avalanches. The section between Grasdaltunnelen and Oppljotunnelen has proven to be particularly prone to avalanches. Analyses of historical avalanche events along the road section shows that 53 avalanches were registered at the road since the start of construction work in 1973.

In this thesis, the risk of avalanches along the road section between Grasdaltunnelen and Oppljotunnelen in Grasdalen in Stryn is surveyed. The result is a hazard map where the danger zones are related to the requirements of the Norwegian Public Roads Administration for safety against avalanches in the manual named "Håndbok N200" (SVV, 2021). Acceptable risk of avalanches along the road section is 1/50 per km per year where the traffic is moving.

The thesis further discusses various physical measures that can increase the safety against avalanches on the road. The physical measures that are considered are, i) catchment walls forming avalanche reservoirs, ii) preventive avalanche release by using avalanche towers and, iii) light regulation of the road section by automatic avalanche detection.

The risk of avalanches in the mapping area has been assessed on the basis of fieldwork, analyses of historical avalanches, GIS analyses and avalanche simulations using RAMMS::Avalanche. It is concluded that 700 m of the total 900 m long road section, which does not pass through the avalanche gallery, is in areas with an annual probability of avalanches $\geq 1/10$ per km, while the entire road section is in areas with an annual probability $\geq 1/50$ per km.

As a part of the assessment of a catchment dam's effect as an avalanche protection measure, avalanche speeds and flow patterns from avalanche simulations in RAMMS::Avalanche was used in the dimensioning of an 18 m high and 225 m long wall forming a catchment dam accommodating the avalanche volume. The dam is included in a high-resolution terrain model of the snow-covered avalanche path. The terrain model is further used in the avalanche simulation tool RAMMS::Avalanche, where the effect of the catchment dam on the avalanche masses is assessed.

Of the three avalanche protection measures assessed, preventive avalanche release using avalanche towers gives the best results. By using seven avalanche towers, it seems possible to increase safety against avalanches along the road section to 1/50 per km per year. This presupposes that the method works well in the area, and that the towers are actively operated. The catchment dam can possibly be able to function effectively against avalanches with a return period of up to 10 years. An automatic avalanche detection system operating stop lights is not suitable as an avalanche protection measure in the area, because the emergency parking zones for vehicles do not guarantee safety against oncoming avalanches.

Forord

Min masteroppgave er utført ved fakultetet for ingeniørvitenskap ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim, og er skrevet i samarbeid med Statens vegvesen. Først vil jeg takke min hovedveileder Rune Berg-Edland Larsen som har gitt meg gode råd, veiledning og konstruktive tilbakemeldinger under arbeidet. En stor takk rettes til medveileder Halgeir Dahle ved Statens vegvesen i Molde som har deltatt under feltarbeid, samlet høydedata fra området vinterstid, og ikke minst bistått oppgaven med sin skredekspertise.

Takk til Ingelin for gjennomlesning og tilbakemeldinger på oppgaven, og til medstudenter for avbrekk fra en ellers ensformig studiehverdag.

Jeg vil takke Geir Skjåk og Krister Kristensen som har bidratt med nyttig kunnskap og informasjon om skredhistorien i Grasdalen. Til slutt, takk til alle andre som har bidratt til oppgaven.

Trondheim, 14.05.2022

Ruben Jacobsen

Innhold

Figurer	viii
Tabeller	xi
Forkortelser/symboler	xii
1 Oppgavetekst, Master i geologi, Ruben Jacobsen, NTNU	1
2 Innledning	2
3 Områdebeskrivelse.....	3
3.1 Geografisk beliggenhet.....	3
3.2 Vegens historie	4
3.3 Topografi, geologi og geomorfologi	4
3.4 Vegetasjon	6
3.5 Klima	6
3.5.1 Temperatur.....	8
3.5.2 Vinndata	9
3.5.3 Ekstremverdier for nedbør	10
3.5.4 Snødybde.....	12
3.6 Fremtidig klima	12
4 Teori.....	14
4.1 Kartlegging av skredfare i bratt terreng	14
4.2 Snøskred	15
4.2.1 Snødekkets egenskaper.....	15
4.2.2 Klassifisering av snøskred.....	17
4.2.3 Snøskredstørrelser	20
4.2.4 Snøskredterrenget.....	21
4.2.5 Skredbevegelsen	24
4.2.6 Utløpsdistanser	25
4.2.7 Skredtrykk.....	25
4.2.8 Værforhold og snøskred.....	25
4.3 Skredsikringstiltak.....	28
4.3.1 Aktiv skredsikring	28
4.3.2 Sikringsvoller	30

4.3.3	Bremsekjeger.....	31
4.3.4	Skredoverbygg.....	32
4.3.5	Infralyd	32
4.4	Skredmodellering.....	33
4.4.1	Alfa-beta metoden for snøskred	33
4.4.2	Bratthet- og utløpsområdekart	34
4.4.3	Energilinjemodellen	35
4.4.4	RAMMS:: Avalanche – Dynamisk modellering av snøskred.....	37
4.5	Klimadata fra SeNorge.no.....	42
5	Tidligere arbeid i området	44
5.1	Aktsomhetskart	46
5.2	Bratthet- og utløpsområdekart	46
5.3	Eksisterende skredsikringstiltak	48
5.4	Eksisterende måle- og deteksjonsinstrumenter.....	48
6	Metode	50
6.1	Kartleggingsområdets avgrensing	50
6.2	Forarbeid til feltarbeid.....	51
6.2.1	Historiske skredhendelser	51
6.2.2	Intervju av lokalkjente.....	55
6.2.3	GIS-analyser.....	55
6.3	Feltarbeid.....	61
6.4	Skredmodellering.....	62
6.4.1	Alfa-beta metoden	62
6.4.2	RAMMS:: Avalanche	62
6.5	Fastsetting av skredfaresoner	69
6.6	Vurdering av aktuelle skredsikringstiltak	69
6.6.1	Fangvoll	69
6.6.2	Snøskredtårn	76
6.6.3	Langdistanse skredradar (i.e. automatisk skreddeteksjon)	77
7	Resultat.....	79
7.1	Historiske skredhendelser	79
7.2	Registreringskart.....	81

7.3	Delområder.....	85
7.3.1	Område 1 - Sætreskarsfjellet Øst.....	86
7.3.2	Område 2 – Sætreskarsfjellet Nord.....	94
7.3.3	Område 3 – Sætreskarsfjellet Sør	100
7.3.4	Område 4 – Oppljostunnelen	107
7.3.5	Område 5 - Kvitenova.....	113
7.3.6	Område 6 – Raudnova.....	118
7.3.7	Oppsummering av simuleringer fra delområdene.....	124
7.4	Skredsikringstiltak.....	126
7.4.1	Fangvoll	126
7.4.2	Snøskredtårn	129
7.4.3	Langdistanse skredradar (i.e. automatisk skreddeteksjon)	131
8	Diskusjon.....	133
8.1	Skredsimulering	133
8.1.1	Alfa-beta-modellen, snøskred	133
8.1.2	Bratthet- og utløpsområdekart.....	133
8.1.3	RAMMS:: Avalanche	134
8.2	Skredfaresoner	139
8.2.1	Nord for skredoverbygget	139
8.2.2	Sør for skredoverbygget.....	140
8.2.3	Samlede skredfaresoner	141
8.3	Skredsikringstiltak.....	143
8.3.1	Fangvoll	143
8.3.2	Snøskredtårn	144
8.3.3	Langdistanse skredradar (i.e. automatisk skreddeteksjon)	146
9	Konklusjon	147
10	Videre arbeid.....	148
	Referanser	149
	Vedlegg	154

Figurer

Figur 3.1: Oversiktsbilde over studieområdet. Lilla polygon viser kartleggingsområdet.	3
Figur 3.2: Løsmassekart. Målestokk 1:250 000. Modifisert etter NGU (2022).	5
Figur 3.3: Kartet viser normal årsnedbør (i mm) for normalperioden 1971-2000.	7
Figur 3.4: Gjennomsnittlig månedsnedbør og temperatur i Grasdalen (1958-2020).	8
Figur 3.5: Frekvensfordeling av vind ved Kvitenova i vinterhalvåret. Perioden 2015-2018.	9
Figur 3.6: Prosentvis fordeling av vindretningen ved nedbør.	10
Figur 3.7: Beregnet 3-døgnsnedbør for månedene desember-februar.	11
Figur 3.8: Beregnet 1-døgnsnedbør for månedene desember-februar.	12
Figur 4.1: Skred i bevegelse.	15
Figur 4.2: Spenningene tilknyttet et snøflak.	17
Figur 4.3: Løssnøskredets karakteristiske trekantform.	18
Figur 4.4: Typisk oppbygning av et snødekke hvor et flakskred kan oppstå.	19
Figur 4.5: Snøskavl dannet over en ryggformasjon.	20
Figur 4.6: Løsneområdet, skredløpet og utløpsområdet.	21
Figur 4.7: Mulig avgrensninger av skredet i overkant.	22
Figur 4.8: Sammenhengen mellom brattheten i løsneområdet og type skred.	23
Figur 4.9: Returperioden øker ved økende utløpslengde.	25
Figur 4.10: Sannsynligheten for skred ved gitte 3-døgns nedbørsmengder for fem skredløp.	26
Figur 4.11: Vinden styrer redistribusjonen av snø.	27
Figur 4.12: Skredsikringstiltak inndelt etter passive, aktive og virkningens varighet.	28
Figur 4.13: Skisse av α - β -modellen og tilhørende parametere.	34
Figur 4.14: Høydeprofil av skredløpet Nakkefonn ved Rv70 i Møre og Romsdal.	37
Figur 4.15: Forholdet mellom Normalspenningen og skjærspenningen i et snødekke.	39
Figur 5.1: Skredområder i Grasdalen kartlagt i forbindelse med planlegging av vegen.	46
Figur 5.2: Bratthet- og utløpsområdekart for kartleggingsrområdet.	47
Figur 6.1: Kartleggingsområdet, påvirkningsområdet og delområdene.	51
Figur 6.2: Historiske snøskred fra den Nasjonale skreddatabasen.	53
Figur 6.3: Stort skred fra Sætreskarsfjellet.	54
Figur 6.4: Bilde av skredet som gikk fra Sætreskarsfjellet den 23.02.2020.	55
Figur 6.5: Skyggerelieffkart av $DTM_{Snø}$ med 1 m oppløsning.	56
Figur 6.6: Brattheten i området Sætreskarsfjellet \emptyset st.	57
Figur 6.7: Positiv kurvatur. Overflaten er sidevegs konveks.	58
Figur 6.8: Kurvatur lik null. Overflaten er plan.	58
Figur 6.9: Negativ kurvatur. Overflaten er sidevegs konkav.	58
Figur 6.10: Kurvaturen i terrengoverflaten vinkelrett på fallretningen (plan kurvatur).	58
Figur 6.11: Fjellsidens fallretning i forhold til himmelretning.	59
Figur 6.12: Snødybde ved Sætreskarsfjellet den 31.01.2022.	60
Figur 6.13: Beregnet 3-døgnsnedbør for månedene desember-februar.	64
Figur 6.14: Kalibrering av høydeintervaller i RAMMS.	66

Figur 6.15: Kalibrering av returperiode i RAMMS.....	68
Figur 6.16: Sammenligning av simuleringer over en terrengmodell med og uten snø	71
Figur 6.17: Skyggerelieffkart av $DTM_{Snø}$ og $DTM_{U-bremsekjegler}$	72
Figur 6.18: Skredhastighet og energihøyde langs skredløpet Sætreskarsfjellet Øst 1.	73
Figur 6.19: Skredhastighet ved simuleringer av 10-års scenarioer for snøskred.....	74
Figur 6.20: Skyggerelieffkart av terrengmodellen DTM_{Voll}	75
Figur 6.21: Simuleringer av snøskred ved Sætreskarsfjellet Øst og Sør.	76
Figur 6.22: Snødybden (31.01.2022) og påvirkningsområdene til tre av sprengladningene... 77	
Figur 7.1: Historisk snøskredaktivitet i delområdene i Grasdalen. Perioden 1973-2022.	80
Figur 7.2: Historiske skredhendelser på veg i delområdene i Grasdalen.....	80
Figur 7.3: Registreringskart	82
Figur 7.4: Grus og småstein over tunnelportalen. Fotoretning: Vest.	83
Figur 7.5: Snøskredavsetninger.....	83
Figur 7.6: Avsetning løst balanserende på hverandre. Fotoretning: Nordvest.	84
Figur 7.7: Navngivning av de forskjellige delområdene.....	85
Figur 7.8: Oversiktsbilde over delområdet Sætreskarsfjellet Øst.....	86
Figur 7.9: Øvre del av delområdet Sætreskarsfjellet Øst.....	87
Figur 7.10: Løsneområdet Sætreskarsfjellet Øst 1 med tilhørende skredløp.....	89
Figur 7.11: Løsneområdene Sætreskarsfjellet Øst 2 og 3.	89
Figur 7.12: Løsneområdenes plassering i det snødekte landskapet.....	90
Figur 7.13: Sætreskarsfjellet Øst og Nord. Simuleringer av ulike 10-års scenarioer	92
Figur 7.14: Sætreskarsfjellet Øst og Nord. Simuleringer av ulike 50-års scenarioer	93
Figur 7.15: Oversiktsbilde over delområdet Sætreskarsfjellet Nord.	94
Figur 7.16: Avgrensning av løsneområder ved Sætreskarsfjellet Nord.	94
Figur 7.17: Løsneområdene ved Sætreskarsfjellet Nord med tilhørende skredløp.	95
Figur 7.18: Sætreskarsfjellet Nord 3. Simuleringer av 10-års scenarioer for snøskred.	98
Figur 7.19: Sætreskarsfjellet Nord 3. Simuleringer av 50-års scenarioer for snøskred	99
Figur 7.20: Oversiktsbilde og avgrensning av delområdet Sætreskarsfjellet Sør.	100
Figur 7.21: Oversiktsbilde og navngivning av løsneområdene ved Sætreskarsfjellet Sør.	100
Figur 7.22: Oversiktsbilde av løsneområdene ved Sætreskarsfjellet Sør.	101
Figur 7.23: Oversiktsbilde av løsneområdene med tilhørende skredløp.....	103
Figur 7.24: Sætreskarsfjellet Sør. Simuleringer av ulike 10-års scenarioer for snøskred.	105
Figur 7.25: Sætreskarsfjellet Sør. Simuleringer av ulike 50-års scenarioer for snøskred.	106
Figur 7.26: Avgrensning av delområdet vist ved svart heltrukken linje.....	107
Figur 7.27: Oversiktsbilde over løsneområdene avgrenset av rød stiplet linje..	107
Figur 7.28: Oppljøstunnelen. Simuleringer av ulike 10-års scenarioer for snøskred.....	111
Figur 7.29: Oppljøstunnelen. Simuleringer av ulike 50-års scenarioer for snøskred.....	112
Figur 7.30: Avgrensningen av delområdet Kvitenova og avgrensningen av løsneområdene 113	
Figur 7.31: Kvitenova. Simuleringer av ulike 10-års scenarioer for snøskred i RAMMS.....	116
Figur 7.32: Kvitenova. Simuleringer av ulike 50-års scenarioer for snøskred i RAMMS.....	117
Figur 7.33: Heltrukken linje viser avgrensningen av området Raudnova..	118

Figur 7.34: Oversiktsbilde over løsneområdene innenfor delområdet Raudnova.	118
Figur 7.35: Raudnova. Simuleringer av ulike 10-års scenarioer for snøskred i RAMMS.....	122
Figur 7.36: Raudnova. Simuleringer av ulike 50-års scenarioer for snøskred i RAMMS.....	123
Figur 7.37: Simuleringer av 10-års scenarioer for snøskred i Grasdalen.	124
Figur 7.38: Simuleringer av 50-års scenarioer for snøskred i Grasdalen.	125
Figur 7.39: Tverrsnitt av fangvollen.	126
Figur 7.40: Skisse av vollmagasinet. Tverrsnittet fra Figur 7.39 er vist ved lilla markør.....	127
Figur 7.41: Simulering av 10-års scenario for snøskred mot en 14,2 m høy fangvoll.....	128
Figur 7.42: Plasseringen av skredtårn ovenfor Opplostunnelen og ved Sætreskarsfjellet...	130
Figur 7.43: Plassering av radarene og avstanden mellom lyssignalene.....	132
Figur 8.1: Faresoner for snøskred med årlig sannsynlighet 1/10 og 1/50 per km veg.	142

Tabeller

Tabell 3.1: Oversikt over benyttede værstasjoner.....	7
Tabell 3.2: Beregnet 1- og 3-døgnsnedbør i mm ved varierende returperiode	12
Tabell 4.1: Sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg.	14
Tabell 4.2: Likheter og ulikheter mellom aktsomhetskart og faresonekart.....	14
Tabell 4.3: ICSI sitt klassifiseringssystem for vanninnhold i snø.	17
Tabell 4.4: Klassifisering av snøskred.	18
Tabell 4.5: Snøskredstørrelser klassifisert fra 1 til 5.	21
Tabell 4.6: Inndelingen av snøskredterrenget.	22
Tabell 4.7: Ruheten av terrengoverflaten i løsnemrådets evne til å forankre snødekket....	23
Tabell 4.8: Utløpsområdets inndeling i korte- middels- og lange utløp etter alfavinkler.....	35
Tabell 4.9: Sammendrag av standardverdiene for friksjonsverdiene μ og ξ	41
Tabell 4.10: Utløpslengden for et bestemt skredløp som en funksjon av returperioden	42
Tabell 6.1: Terrenget inndelt i konveks-, plan- og konkav plankurvatur etter Parametrene ..	58
Tabell 6.2: Tidspunkt, vær- og snøforhold ved utført feltarbeid.	61
Tabell 6.3: Beregnet 1- og 3-døgnsnedbør i mm ved 10 og 50 års returperiode.	64
Tabell 6.4: Oversikt over parametere benyttet ved simuleringen av historisk snøskred.....	65
Tabell 6.5: Oversikt over parametere benyttet ved simuleringen av historiske snøskred.....	67
Tabell 6.6: Oversikt over parametere benyttet i simuleringene.....	70
Tabell 6.7: Inngangsparametere i RAMMS:: Avalanche ved dimensjonering av fangvollen...	74
Tabell 6.8: Tiden skredet bruker til veg ved forskjellige skredscenarioer	78
Tabell 7.1: Forklaring av symboler benyttet i Registreringskartet (Figur 7.3)	81
Tabell 7.2: Beskrivelse og biler av informasjonspunktene fra registreringskartet.	83
Tabell 7.3: Sætreskarsfjellet Øst. Beskrivelse av delområdet.....	87
Tabell 7.4: Parametere benyttet i simuleringer av snøskred. Sætreskarsfjellet Øst.	91
Tabell 7.5: Sætreskarsfjellet Nord. Beskrivelse av delområdet.	95
Tabell 7.6: Parametere benyttet i modelleringer av snøskred. Sætreskarsfjellet Nord 3.	97
Tabell 7.7: Sætreskarsfjellet Sør. Beskrivelse av delområdet.	101
Tabell 7.8: Parametere benyttet i Simuleringer av snøskred. Sætreskarsfjellet Sør.	104
Tabell 7.9: Oppljostunnelen. Beskrivelse av delområdet.	108
Tabell 7.10: Parametere benyttet i modelleringer av snøskred i området Oppljostunnelen	110
Tabell 7.11: Kvitenova. Beskrivelse av delområdet.	113
Tabell 7.12: Parametere benyttet i simuleringene av snøskred i området Kvitenova.	115
Tabell 7.13: Raudnova. Beskrivelse av delområdet.	119
Tabell 7.14: Parametere benyttet i simuleringene av snøskred i området Raudnova.	121
Tabell 7.15: Oversikt over parametere benyttet i simuleringene med fangvoll i RAMMS....	127
Tabell 7.16: Tiden et kjøretøy bruker mellom lyssignalene ved forskjellige hastigheter.	131
Tabell 8.1: Nedbørsdata fra ekstremværet Gyda og beregnet 3-døgnsnedbør 582 moh.....	136

Forkortelser/symboler

DTM	Digital terrengmodell
DTM _{Snø}	Digital terrengmodell av snøoverflaten 31. januar 2022
DTM _{NDH}	Digital terrengmodell fra prosjektet Nasjonal detaljert høydemodell (hoydedata.no)
DTM _{U-bremsekjeglere}	Digital terrengmodell hvor bremsekjeglere i området er fjernet fra terrengmodellen
DTM _{Voll}	Digital terrengmodell hvor fangvullen er inkludert i terrengmodellen
GIS	Geografisk informasjonssystem
ICSI	International Commission on Snow and Ice
IDA	Infrasound Detection of Avalanches
kPa	Kilopascal
Lidar	Light Detection and Ranging
MuXi-fil	Fil med friksjonsparametere i RAMMS:: Avalanche
NEVINA	Nedbørfelt og vannføringsindeksanalyse
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NGI	Norges Geotekniske institutt
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
UiO	Universitetet i Oslo
Pa	Pascal
RAMMS	Rapid Mass Movements Simulation
RKE	Random kinetic energy
SVV	Statens vegvesen
TauDEM	Terrain Analysis Using Digital Elevation Models
Tek 17	Byggteknisk forskrift. Gyldig fra juli 2017
μ	Friksjonskonstanten Mu benyttet i RAMMS:: Avalanche
ξ	Friksjonskonstanten Xi benyttet i RAMMS:: Avalanche

1 Oppgavetekst, Master i geologi, Ruben Jacobsen, NTNU

Rv15 mellom Stryn og Skjåk går over et høyfjellsområde, ofte omtalt som 'Strynefjellet'. Vegstrekningen mellom Hjelledalen i vest og Breiddalen i øst er snøskredutsatt. Spesielt utsatt er strekningen mellom Oppljostunnelen og Grasdaltunnelen.

Hypotese: Sikkerheten mot snøskred på vegstrekningen mellom Oppljostunnelen og Grasdaltunnelen kan økes uten å bygge dyre konstruksjoner som tunnel og skredoverbygg.

Oppgaven går ut på å kartlegge faren for snøskred mellom disse to tunnelene med NVEs «Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng» som utgangspunkt og relatere faresonene til Statens vegvesen sine krav til sikkerhet mot skred i Håndbok N200. Oppgaven må også drøfte ulike tiltak som vil øke sikkerheten mot skred på vegen.

Oppgaven baseres blant annet på følgende datagrunnlag:

- Tidligere skredfaglige rapporter fra området
- Feltkartlegging av skredterrenget sommer og vinter
- Registrerte skredhendelser på strekningen
- Instrumentering i området (infralyd og webkamera)
- Samtale med lokalkjente
- Meteorologiske forhold

Oppgaven må blant annet inneholde følgende:

- Sammenstilling av eksisterende data
- Funn fra feltarbeidet
- Resultater fra ulike metoder for å anslå skredutløp
- Faresonekart relatert til krav satt i Håndbok N200
- Drøfting av ulike aktuelle skredsikringstiltak
- Skredfare på strekningen før og etter ulike skredsikringstiltak

2 Innledning

Snøskred er et vanlig naturfenomen i Norge. Siden år 1836 har 1510 mennesker mistet livet som følge av snøskred. Året 1868 er kjent som den verste skredvinteren. 161 mennesker mistet livet i løpet av flere dager med stor skredaktivitet på Nordvestlandet. Hardest rammet var bygda Stryn med 35 omkomne (NGI, u.å.).

I perioden 1998-2008 registrerte Statens vegvesen (heretter SVV) ca. 22000 skred på det norske riks- og fylkesvegnettet. Av disse var 6500 snøskred. Skredtypen er dermed en av de hyppigste naturlige årsakene til at veger sperres for trafikk (Norem, 2014). Dette medfører økonomiske kostnader, fare for trafikantene langs vegen, og fare for vedlikeholdsarbeiderne som må oppholde seg i skredutsatte områder ved brøyting og gjenåpning av vegen (Norem, 2014). Siden 1972 har i alt 27 personer mistet livet langs vegen som følge av snøskred (NGI, u.å-c).

Rv15 gjennom Grasdalen på Strynefjellet er en av mange skredutsatte vegstrekninger i Norge. SVVs Veglogg¹ viser at Rv15 mellom Hjelle i Oppstryn og Grotli i Skjåk i gjennomsnitt har vært stengt 1,6 ganger per år de siste ti årene. Bakgrunnen har vært isnedfall eller snøskred/fare for snøskred. I gjennomsnitt har vegen vært stengt i 7 timer per hendelse.

Den mest skredutsatte strekningen gjennom Grasdalen er den en km lange vegstrekningen mellom Grasdalstunnelen og Oppljostunnelen. Analyser av historiske skred utført i denne oppgaven viser at det er registrert 53 snøskred i vegen langs strekningen siden oppstart av anleggsarbeidet i 1973.

I denne oppgaven kartlegges faren for snøskred langs vegstrekningen mellom Grasdalstunnelen og Oppljostunnelen i Grasdalen i Stryn. Faresonene relateres til SVV (2021) sine krav til sikkerhet mot skred i Håndbok N200. Oppgaven drøfter ulike fysiske tiltak som vil kunne øke sikkerheten mot skred på vegen. De fysiske tiltakene som vurderes er en fangvoll, aktiv snøskredkontroll ved hjelp av snøskredtårn, og lysregulering av vegstrekningen ved automatisk skreddeteksjon.

Basert på blant annet feltarbeid, analyser av historiske skredhendelser, GIS-analyser og skredsimuleringer i RAMMS:: Avalanche, ser det ut til at skredfaren i kartleggingsområdet er vesentlig høyere enn 1/50 per km og år som er akseptabelt ifølge Håndbok N200 (SVV, 2021). Ifølge eldre utgaver av håndbok N200 (SVV, 2021) er tolererbar skredsannsynlighet for vegstrekningen lik 1/10 per km per år. Gjennom aktiv snøskredkontroll vil faren kunne reduseres til et akseptabelt nivå.

¹ Vegloggen er et internt verktøy hvor SVV loggfører hendelser langs Europa-, riks- og fylkesvegnettet.

3 Områdebeskrivelse

3.1 Geografisk beliggenhet

Grasdalen ligger i Stryn kommune i Vestland fylke, og er en sidedal av Skjerdingdalen. Sammen danner de en hengende dal som slutter mot Hjelledalen i sør. Hjelledalen strekker seg videre vestover og ned til tettstedet Stryn. Fra Skjerdingdalen i vest, 585 m over havet (moh.) strekker den 7 km lange Grasdalen seg i retning nordøst og ender ved Grasdalsvatnet på 1033 moh. (Norgeskart.no, u.å). Grasdalsvatnet og Oppljosvatnet som ligger 2 km sørøst for Grasdalsvatnet drenerer ut av dalføret og danner elven Grasdøla. Rv15 går i bunnen av dalen. En og en halv km av vegstrekningen ligger i dagen (ikke i tunnel/skredoverbygg), og har vist seg å være svært utsatt for skred (Bakkehoi, 1987). Figur 3.1 viser et oversiktsbilde av området. Kartleggingsområdet er avgrenset av lilla polygon.



Figur 3.1: Oversiktsbilde over studieområdet. Lilla polygon viser kartleggingsområdet.

3.2 Vegens historie

I 1894 åpnet fjellovergangen mellom Hjelle i Oppstryn og Grotli i Skjåk, som i dag går under navnet Gamle Strynefjellsvegen. Veggen mellom Geiranger og Grotli var ferdig i 1889 (Norsk skredfaglig forening, 2018). Strynefjellsvegen var lokalbefolkningens eneste fergefrie forbindelse med Østlandet på den tiden. Den vinterstengte og smale veggen var i hovedsak tiltenkt turister som kom reisende med jernbanen til Otta (Starheim, 2018). Ved hjelp av organisert transport med hest og kjerre kunne de ta seg over fjellet og ned til Oppstryn hvor veggen stoppet. Herfra måtte de krysse Oppstrynsvatnet med dampbåt, før veien fortsatte videre til Stryn. Først i 1922 var det vegforbindelse helt fra Stryn sentrum til Grotli (Starheim, 2018). Turistnæringen og inntektene den førte med seg var viktig for lokalbefolkningen i Stryn. Hver vår brukte de flere uker på å grave opp veggen så turistene skulle kunne komme seg over fjellet så tidlig som mulig. Veggen var normalt brøytet først i juni, og ble holdt åpen i fire måneder før den igjen ble vinterstengt (Hegdstrand, 2013).

I 1967 ble det bestemt at det skulle bygges en ny helårsveg (Rv15) som skulle erstatte den gamle Strynefjellsvegen (Starheim, 2018). Tre ulike veglinjer ble vurdert. Raudalslinja, Grasdalslinja og Bråtådalslinja. Grasdalslinja ble til slutt valgt, til tross for sine skredrelaterte utfordringer (Norsk skredfaglig forening, 2018).

Arbeidet med Ospelitunnelen startet i 1969, og var ferdig i 1972 (Ese, 2019). Først da var det mulig å gjennomføre ordentlige undersøkelser og evalueringer av snøskredfaren i Grasdalen. Skredfaren var stor, og det ble bestemt at vegstrekningen måtte legges videre i en 3720 m lang tunnel, Grasdaltunnelen. Denne var ferdigstilt i august 1972, fire år før Oppljostunnelen (4537 m) som var ferdigstilt november 1976. Etter en åtte år lang anleggsperiode ble den nye helårsvegen over Strynefjellet åpnet for trafikk 11. september 1977 (Ese, 2019; Norsk skredfaglig forening 2018).

3.3 Topografi, geologi og geomorfologi

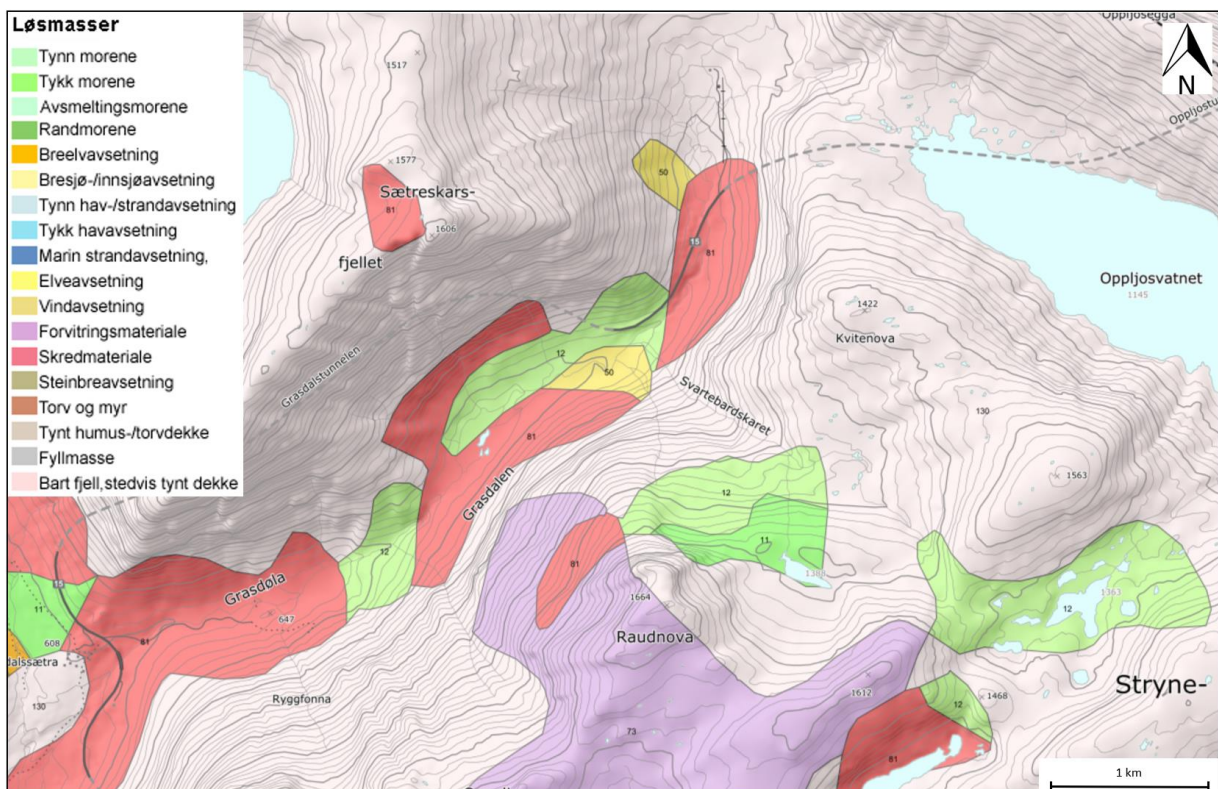
Grasdalen ligger i den indre delen av Nordfjord. Landskapet har utviklet seg fra et steppelandskap fra tidsperioden mesozoikum (261-65 millioner år siden). Siden den tid har flere istider knust og erodert ned landskapet, mens fluviale prosesser og skredaktivitet i hovedsak har formet landskapet i mellomistidene (Rye et al., 1997). U-formede daler, hengedaler, innsjøer og bratte fjellsider danner topografien i de indre delene av Nordfjord, og bærer tydelig preg av glasial erosjon (Rye et al., 1997).

Grasdalen er en typisk breformet U-dal, med bratte fjellsider på hver side. Topografien i området er kupert, og fjelltoppene ruver opp til 1770 moh. Av fjelltopper i direkte tilknytning til Grasdalen strekker Raudnova seg høyest med sine 1664 moh. tett etterfulgt av Ospelifjellet og Sætreskarsfjellet på 1619 og 1606 moh. Det er flere isbreer i området. Blant dem Skjerdingdalsbreen, Grasdalsbreen og Tystigbreen (Norgeskart.no, u.å).

Ifølge Norges geologiske institutts (NGU) nasjonale løsmassedatabase (NGU, 2022) eksisterer det kun løsmassekart i målestokken 1:250 000 over området. Kartet er ment for å gi en regional oversikt, og det vil være store usikkerheter rundt de inntegnede grensene.

Løsmassene i området er vist i Figur 3.2. Områdene i høyden består hovedsakelig av bart fjell med et stedvis tynt løsmasse-dekke (lys rosa). Over toppene på sørsiden av Grasdalen er det også markert et større område med forvitningsmateriale (lilla), bestående av steinur/blokkhav (NGU, 2022).

Avsetningene i dalbunnen er preget av tykke og tynne moreneavsetninger (grønn) som kan ha en mektighet fra under 0,5 til flere titalls meter. Dette er materiale som er erodert/plukket opp, transportert og avsatt av isbreer. Avsetningene består normalt av kornstørrelser fra leir til blokk, og er hardt pakket. Større områder består også av skredmateriale (rød) etter steinsprang, steinskred, snøskred eller løsmasseskred. Det er også markert mindre fluviale elve- og bekkeavsetninger (gul) i dalbunnen. Materialet består hovedsakelig av rundet sand og grus som er avsatt av elver og bekker i området. Mektigheten kan variere fra 0,5 til mer enn 10 m (NGU, 2022).



Figur 3.2: Løsmassekart. Målestokk 1:250 000. Modifisert etter NGU (2022).

3.4 Vegetasjon

Nord for tunnelportalen i den vestlige delen av kartleggingsområdet er det et lite område med bjørkeskog. Under feltarbeidet ble det fastslått at den maksimale høyden av trærne var på 2 m, mens stammen hadde en maksimal diameter på 7 cm i brysthøyde. Det er ellers ikke skog i kartleggingsområdet, men noen spredte vierkjerr.

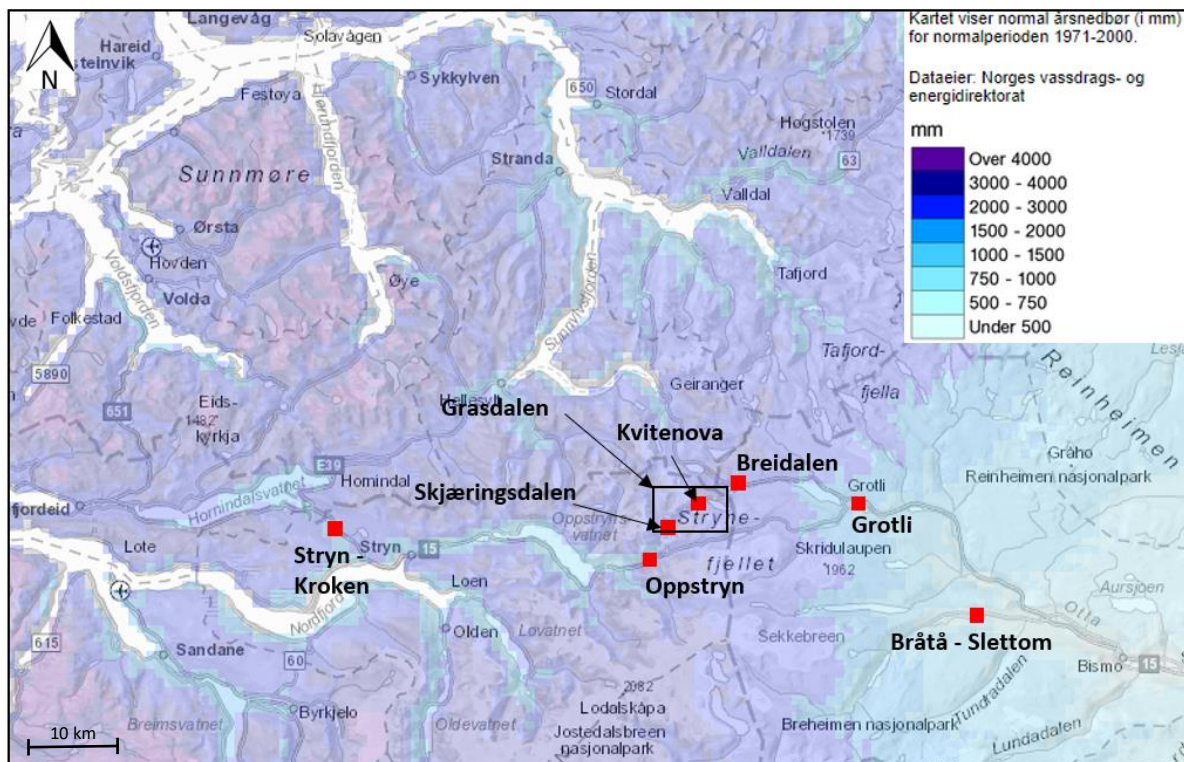
Av feltsjikt, altså lyng, urter, gress og bregner består vegetasjonen i de sørvendte sidene for det meste av gress, røsslyng og bregner, mens gress alene er noe mer dominerende i de nordlige skyggeområdene. I de høyereliggende områdene (>1300 moh.), og områder som drenerer vann domineres veksten av mosearter.

3.5 Klima

Det har vist seg å være utfordrende å finne representative data fra værstasjoner i området, da de fleste enten har korte måleserier, befinner seg ved en mye lavere høyde over havet, eller generelt er langt unna. Det benyttes derfor interpolerte data sammen med data fra utvalgte værstasjoner i området. Værstasjonene er valgt ut etter hvilke som anses som mest representative for de forskjellige værobjektene. Resultatene av analysen er derfor usikre, samtidig som de gir den mest objektive informasjonen om klimaet i området. Det er spesielt stor usikkerhet knyttet til beregningene av ekstremverdier for nedbør. Bakgrunnen for noen av klimadataene omtales i teori-kapittelet.

Figur 3.3 viser plasseringen av de benyttede værstasjonene, mens Tabell 3.1 viser informasjon om hver enkelt av dem, og hvilke værelement som har blitt benyttet fra de forskjellige. Av Meteorologisk institutts tilgjengelige værstasjoner har følgende stasjoner blitt vurdert:

- 58700 Oppstryn
- 58900 Kroken i Stryn
- 15890 Grotli
- 60300 Geiranger



Figur 3.3: Kartet viser normal årsnedbør (i mm) for normalperioden 1971-2000. Røde firkanter indikerer benyttede værstasjoner plassering i forhold til Grasdalen. Grasdalen ligger innenfor den sorte firkanter. Værskillet i området kommer også tydelig fram av den vesentlig lavere årsnedbøren i øst. Kilde: Seklima (2021a) og SeNorge.no (2021).

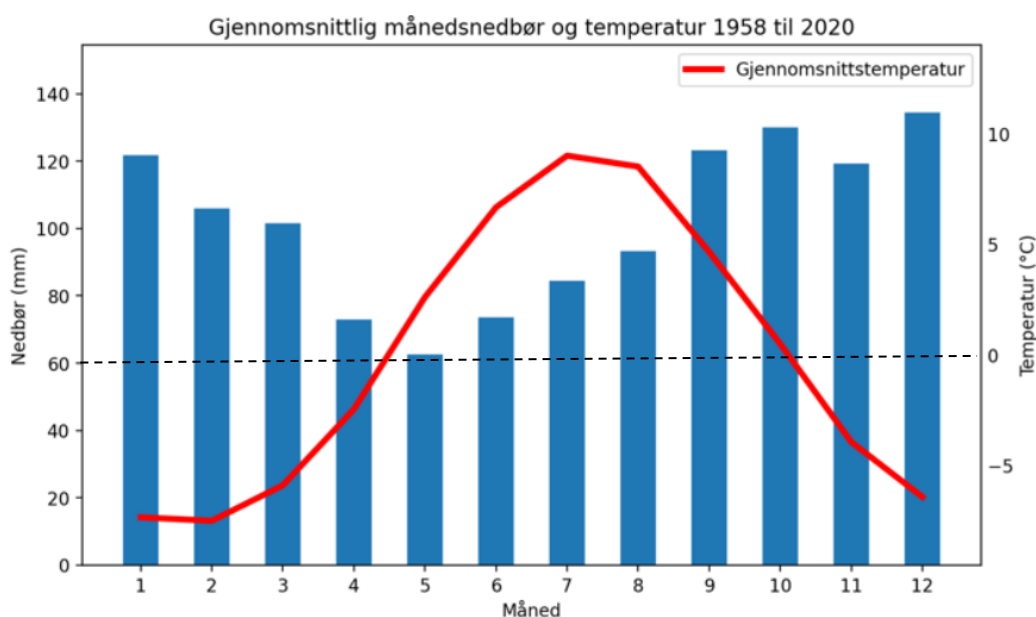
Tabell 3.1: Oversikt over benyttede værstasjoner, lokasjon og hvilke værelementer som har blitt benyttet fra de forskjellige.

Stasjonsnavn	ID	Moh.	Værelement (måleperiode)	Breddegrad	Lengdegrad
Grotli III	SN15890	872	Temperatur og nedbør (1958-2020).	62.0162° N	7.6637° Ø
Bråtå - Slettom	SN15730	664	Beregnet 1- og 3-døgnsnedbør (1998-2020).	61.8957° N	7.8955° Ø
Oppstryn	SN58700	201	Beregnet 1- og 3-døgnsnedbør (1895-1991).	61.9322° N	7.2246° Ø
Stryn - Kroken	SN58900	208	Nedbør døgn (2000-i dag).	61.9157° N	6.5585° Ø
Breiddalen	SN15950	930	Nedbør (21.06.2018-30.11.2020).	62.0105° N	7.3928° Ø
Kviteno	SN58705	1400	Vindretning (2012-i dag). Middelvind (2012-i dag).	61.9878° N	7.3288° Ø
Skjæringdalen	SN58703	582	Nedbør (11.01.2022-i dag).	61.9632° N	7.2544° Ø
SeNorge.no			Nedbør og temperatur (1958-2020). Snødybde (1971-2020). Nedbørsførende vindretning (2018-2020).	Landsdekkende griddede data.	

SVV har også tre værstasjoner. I Breiddalen, på Kvitenoa og i Skjæringsdalen (se Figur 3.3). Målestasjonene i Oppstryn ligger 201 moh. Høydeforskjellen fører til usikkerhet knyttet til om stasjonen har representative verdier for nedbøren i Grasdalen ved 900 moh. Vindmålinger fra stasjonen vil også være påvirket av topografien i området, da stasjonen ligger i en dalbunn. Til tross for den korte avstanden til værstasjonen på Grotli og Bråtå - Slettom har også dataene herfra vist seg å være mindre representative for nedbør da nedbøren i området er vesentlig lavere som følge av værs skillet (se Figur 3.3). Vinddataene bærer også preg av topografien. For stasjonen i Geiranger var det ikke mulig å laste ned ekstremverdier fra eklime.no.

3.5.1 Temperatur

Årlig middeltemperatur i området i normalperioden 1971-2000 har ligget på 0-2 °C (SeNorge.no, 2021). Normalt er det kuldegrader fra starten av november til midten av april ved 900 moh. (NVE, 2021b; Aalbu, 2021). Nedbør i månedene november-april kommer derfor som regel som snø (se Figur 3.4), og perioden defineres som vinterhalvåret. Grasdalen grenser til vannskillet, og de topografiske forholdene medfører store nedbørsmengder. Klimaet i området er maritimt, og styres delvis av store værsystemer i Atlanterhavet (Bakkehoi, 1987). Ifølge NVE (2021b) sin tjeneste NEVIDA (nedbørfelt og vannføringsindeksanalyse) og SeNorge.no (2021) varierer årsnedbøren i området mellom 1400-3000mm (Figur 3.3), hvor det er mest nedbør i perioden november til mars (Figur 3.4) (Aalbu, 2021). Nedbøren ved 900 moh. i vinterhalvåret varierer mellom 940-2440 mm. Dette er basert på nedbørsdata fra Seklima (2021a) hvor data fra SVVs værstasjon i Breiddalen har blitt hentet ut, samt tall fra NEVIDA (NVE, 2021b) og Aalbu (2021). Måleserien for værstasjonen i Breiddalen er her på kun to sesonger.



Figur 3.4: Gjennomsnittlig månedsnedbør og temperatur i Grasdalen (1958-2020). Kilde: Aalbu (2021).

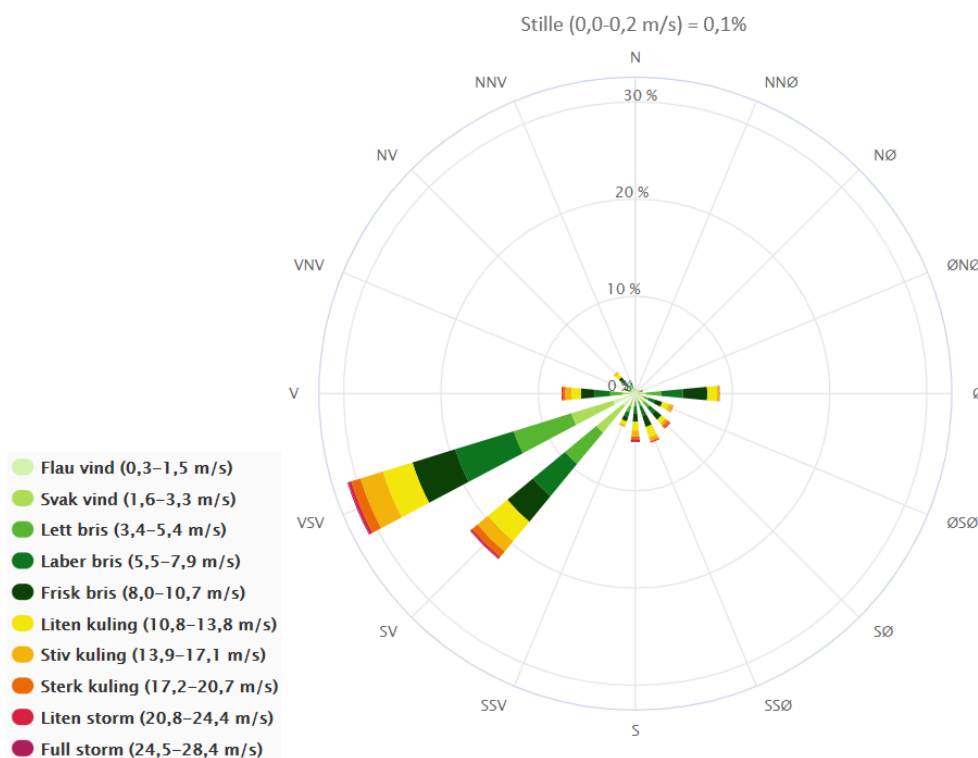
3.5.2 Vinndata

Vinddataene er hentet fra SVVs værstasjon på Kvitenoa (1400 moh.) for at de skal være minst mulig påvirket av topografien i området. Stasjonen har vært i drift siden 2012. Figur 3.5 fra Seklima (2021b) viser frekvensfordeling av vindretning og middelvind i månedene november til april. Prosentisirkelene representerer prosentandelen av dataene som kommer fra de ulike retningene (Seklima, 2021b). Figuren viser at den fremherskende vindretningen i vintermånedene er mellom V-SV.

Vindrosen til venstre i Figur 3.6 viser prosentfordeling av vindretningen ved nedbør i Breiddalen i perioden 2018-2020, og er basert på data fra Seklima (2022). Vindrosen til høyre viser antall dager med gitt vindretning ved nedbør som snø på Kvitenoa (Aalbu, 2021). Begge rosene viser at mesteparten av nedbøren kommer ved vindretninger fra SV til NV. Måleseriene for vinddata i denne analysen er begrenset. Resultatene anses likevel som troverdige da lokalkjente fra området bekrefter mange av opplysningene (G. Skjåk pers. kom 20.10.2021; K. Kristensen. pers. kom. 8.11.2021). Ved vindretninger fra SV-V er det ifølge NVE (2017) gjerne områdene sør for Stadt som får mest nedbør. Dersom lavtrykket beveger seg videre nordover vil vinden dreie mot vestlig til nordlig vindretning, og mesteparten av nedbøren treffer områdene nord for Sognefjorden.

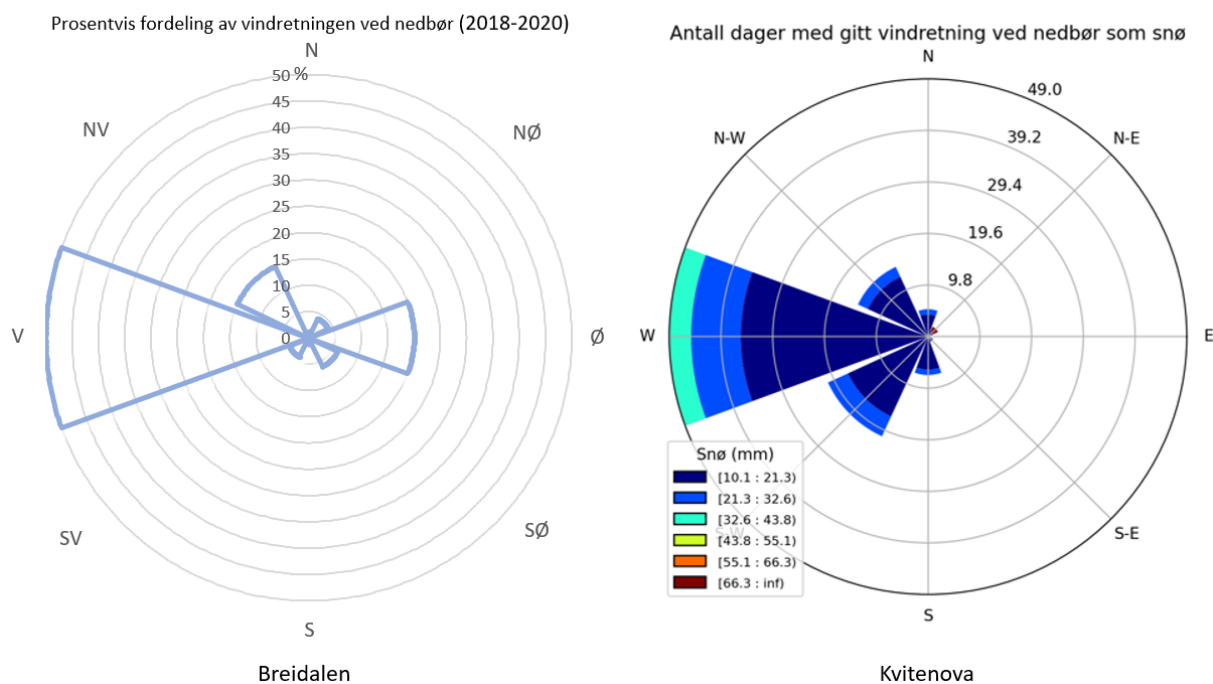
Frekvensfordeling av vind ved Kvitenoa 1400 moh.

Perioden 11.2015-03.2018. Mnd: 11, 12, 1, 2, 3, 4.



Figur 3.5: Frekvensfordeling av vind ved Kvitenoa i vinterhalvåret. Perioden 2015-2018. Kilde: Seklima (2021b).

Nedbørsførende vindretning



Figur 3.6: Vindrosen til venstre representerer Breiddalen og viser prosentvis fordeling av vindretningen ved nedbør. Kilde: Modifisert etter Seklima (2021a). Vindrosen til høyre viser antall dager med gitt vindretning ved nedbør som snø for Kvitenoa. Kilde: Aalbu (2021).

3.5.3 Ekstremverdier for nedbør

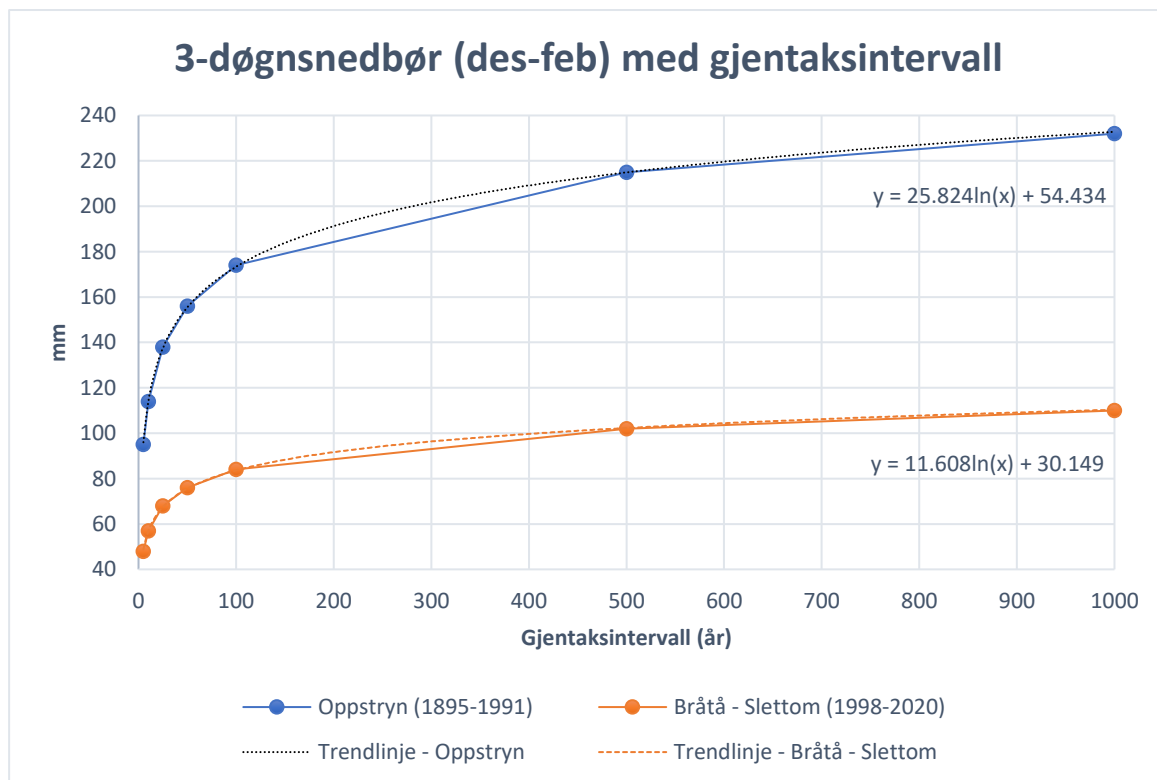
For å vurdere snøskredfaren er ekstremverdier for nedbøren viktigere enn årsverdier. Særlig maksimal observert døggnedbør i vinterhalvåret og beregnet 1- og 3-døgns nysnø ved forskjellige gjentakintervaller er av interesse (NVE, 2020b).

Maksimal observert døggnedbør er hentet fra målestasjonen Stryn – Kroken som ligger 39 km vest for Grasdalen, 201 moh. I midten av november 2013 og 2020 målte stasjonen en døggnedbør på 105 og 78 mm. I følge NVE (2018) kan man korrigere for høydeforskjellen ved å legge til 5 mm per 100 høydemeter mellom målestasjonen og interesseområdet. Høydeforskjellen på 700 m mellom målestasjonen og kartleggingsområdet vil da tilsa en økt nedbør på 35 mm. De to største døgnobservasjonene av nedbør i vinterhalvåret i Grasdalen ved 900 moh. i perioden 2000-2021 blir da mellom 140 og 113 mm.

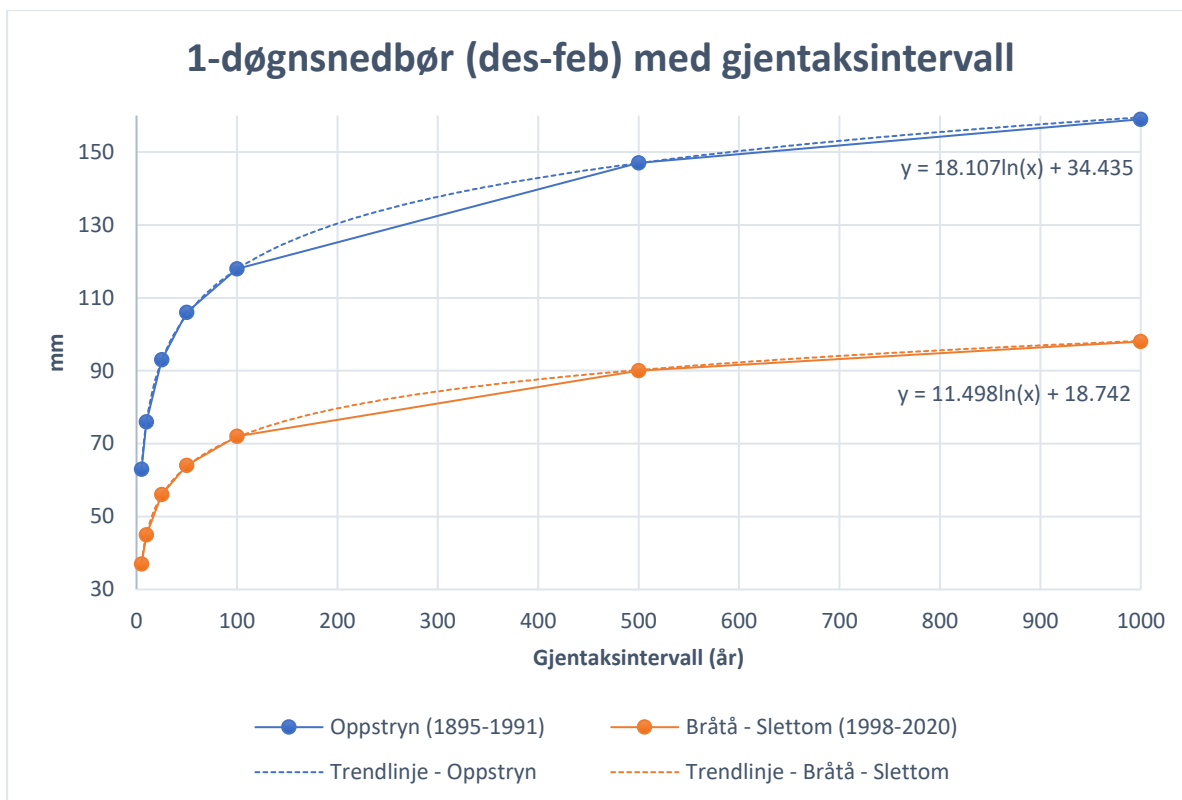
Maksimal 1- og 3-døgnsnedbør i månedene desember, januar og februar ved varierende gjentakintervaller er lastet ned fra Meteorologisk institutt (eklima.no), og en Gumbelfordeling er benyttet. Gumbelfordeling er en statistisk fordeling som benyttes til å modellere ekstremverdier av prøver med varierende fordeling (UiO, 2019). Verdiene er mest interessante for løснеområdene, og vil derfor bli tilpasset løснеområdenes høyde over havet.

Stasjonen Oppstryn (208 moh.) og Bråtå – Slettom (se Figur 3.3) ble benyttet. Ekstremverdier var kun tilgjengelig basert på perioden 1895-1991 fra værstasjonen i Oppstryn og perioden 1998-2020 fra værstasjonen Bråtå - Slettom. Beregnet 1- og 3-døgns nedbør ved ulike gjentaksintervall for begge lokasjonene er vist i Figur 3.7 og Figur 3.8. Figurene viser vesentlig høyere 1- og 3-døgnsnedbør for stasjonen i Oppstryn sammenlignet med stasjonen Bråtå – Slettom. Dette forklares av vannskillet imellom de to stasjonene.

Beregnet 1- og 3-døgnsnedbør for vintermånedene desember-februar for Oppstryn anses som mest representative, og er vist i Tabell 3.2. Også her må man legge til 5mm nedbør pr. 100 høydemeter forskjell mellom målestasjon og interesseområdet. Nedbøren i løsnområdet er av interesse, og flere av disse ligger ved 1200 moh. Tall i parentes viser derfor beregnet nedbør ved 1200 moh. Ekstremverdier fra Grotli ble også vurdert, men den korte måleserien (2008-2020) ble ansett til å være for kort. Ifølge NVE (2020b) burde lengden av ekstrapoleringen ikke være lengre enn tre ganger lengden av måleserien.



Figur 3.7: Beregnet 3-døgnsnedbør for månedene desember-februar med gjentaksintervall for målestasjonene Oppstryn (201 moh.) og Bråtå – Slettom (664 moh.). Stiplet linje viser trendlinje med tilhørende likning. Kilde: Modifisert etter Meteorologisk institutt (u.å).



Figur 3.8: Beregnet 1-døgnsnedbør for månedene desember-februar med gjentakintervall for målestasjonene Oppstryn (201 moh.) og Bråtå – Slettom (664 moh.). Stiplet linje viser trendlinje med tilhørende likning. Kilde: Modifisert etter Meteorologisk institutt (u.å).

Tabell 3.2: Beregnet 1- og 3-døgnsnedbør i mm ved varierende returperiode for værstationen 58700 Oppstryn (201 moh.). Tall i parentes viser beregnet nedbør ved 1200 moh. Kilde: Meteorologisk institutt (u.å).

Returperiode (år)	1-døgnsnedbør i mm	3-døgnsnedbør i mm
10	76 (126)	113 (163)
50	105 (155)	155 (205)
100	118 (168)	174 (224)
1000	159 (209)	232 (282)

3.5.4 Snødybde

Normalt årsmaksimum av snødybde for normalperioden 1991-2020 ved 1200 moh. var på 200 cm (Aalbu, 2021). Den maksimale snødybden i samme periode var på 290 cm (Aalbu, 2021). I følge Bakkehoi (1987) varierer årsmaksimum av snødybde mellom 1,3 og 4,7 m.

3.6 Fremtidig klima

Værforholdene i et område har betydning for hyppigheten av skred (Hanssen-Bauer et al., 2015). Det må derfor tas hensyn til forventede klimaendringer i farevurderingen av skred. For tiltak med en levetid under 20 år kan man benytte dimensjonerende verdier (ekstremverdier) uten klimapåslag. Dersom tiltaket har en lengre levetid anbefales det å

legge til et klimapåslag (Klimaservicesenteret, 2021). Ved økt antall ekstremværhendelser vil trolig også antallet skredhendelser øke. Endringer i temperatur og vind, samt et våtere klima vil kunne føre til en økt frekvens for snøskred (Taurisano, 2018).

Klimaservicesenteret (2021) sin Klimaprofil for Sogn og Fjordane omtaler forventede klimaendringer fra normalperioden 1971-2000, til slutten av århundret (2071-2100) ved høye klimagassutslipp. Middelttemperaturen for året er beregnet å stige med 4 °C. Samme temperaturøkning antas å gjelde for vintermånedene. For sommeren er snittemperaturen antatt å stige med 3,5 °C (Klimaservicesenteret, 2021).

Årsnedbøren er beregnet å øke med ca. 15 %. Nedbøren vinter og vår antas å øke med 10 %. Høstnedbøren med 15 %. Områdene nær kysten er antatt å oppleve den største økningen i nedbør. Episoder med kraftig nedbør vil mest sannsynlig øke både i frekvens og intensitet, og nedbørsmengden for døgn med kraftig nedbør er ventet å øke med 15 % (Klimaservicesenteret, 2021).

Det er ikke ventet noen endring i vindforhold i løpet av dette århundret. Snømengden i høyereliggende fjellområder vil derimot øke mot midten av århundret, før den økte temperaturen vil føre til mindre snømengder mot slutten av århundret (Klimaservicesenteret, 2021).

Klimaendringene omtalt ovenfor vil kunne føre til en vesentlig økning i snøskredaktivitet, og da spesielt i fjellområdene dersom den økte nedbøren kommer som snø. På sikt vil også klimaet i fjellområdene kunne bli varmere og våtere. Hyppigheten av store tørre snøskred med lange utløpslengder vil da reduseres siden regn oftere faller på snøunderlaget. Frekvensen av våte snøskred vil derimot kunne øke (Klimaservicesenteret, 2021).

4 Teori

4.1 Kartlegging av skredfare i bratt terreng

Kartlegging av skredfare er et viktig verktøy i arealplanlegging og ved risikovurderinger. Normalt angis skredfare ved årlig sannsynlighet, og for snøskred benyttes ofte begrepene gjentaksintervall og returperiode om det samme (Direktoratet for byggkvalitet, 2021). I forbindelse med veg og infrastruktur er det vanlig å vurdere sannsynligheten for skred på veg per km vegstrekning (SVV, 2021). Dersom en km av vegen ligger i et område med en årlig sannsynlighet for skred ≥ 50 per km vil det i gjennomsnitt gå minst ett skred i vegen i løpet av en periode på 50 år.

Kravet til sikkerhet mot skred er bestemt i byggt teknisk forskrift, Tek 17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2021), og gjelder for byggverk med tilhørende utearealer. Tabell 4.1 viser sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg etter SVV (2021). Tabellen er en tilpassing av sikkerhetskravene i TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2021), og gjelder for planlegging av ny veg hvor trafikken er i flyt (SVV, 2021).

Tabell 4.1: Sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg. Kilde: SVV (2021).

Dimensjonerende trafikkmengde	Samlet skredsannsynlighet per km og år
< 500	1/20
500 – 3999	1/50
4000 – 5999	1/100
6000-11999	1/300
≥ 12000	1/1000

I Norge er det utarbeidet såkalte aktsomhetskart og faresonekart som relaterer til skredfare i et område. Kartene omhandler skredtypene snøskred, sørpeskred, flomskred, jordskred, steinsprang og steinskred. Forskjellen mellom de to er forklart i Tabell 4.2.

Tabell 4.2. Likheter og ulikheter mellom aktsomhetskart og faresonekart etter NVE (2021e).

Aktsomhetskart	Faresonekart
<ul style="list-style-type: none">• Viser mulige skredutsatte områder• Landsdekkende, automatisk generert ved hjelp av GIS-analyser• Hjelpemiddel for å identifisere området med behov for grundigere skredfarevurderinger.• Benyttes i overordnet arealplanlegging. Settes krav til videre skredfarevurdering ved utbygging innenfor aktsomhetsområdet.	<ul style="list-style-type: none">• Avdekker reell skredfare i området• Deler området inn etter årlig sannsynlighet for skred.• Løsnerområder, og utløpsområder er identifisert, og faresonene er basert på blant annet feltundersøkelser, skredsimuleringer, historiske skredhendelser, samt en vurdering av geologien, terrenget og de klimatiske forholdene på stedet.

Fortsettelse Tabell 3.2

- Sier ingenting om sannsynligheten for skred i området
- Grov målestokk
- Grov oppløsning på terrengmodellen (25 × 25 m) fører til at løsneområder med en høydeforskjell på under 20 m ikke blir identifisert (NVE, 2021a).
- Ikke gjennomført feltarbeid i forbindelse med kartleggingen (NVE, 2021a)

4.2 Snøskred

Snøskred defineres som en gravitasjonsdrevet og plutselig prosess, hvor våte eller tørre snømasser forflytter seg raskt nedover en fjellside eller en skråning som avbildet i Figur 4.1. Dette er et resultat av at de drivende skjærkreftene langs et plan i snøprofilen overstiger de stabiliserende kreftene, altså friksjonskreftene langs planet (Hardeng & Linge, 2019; Schaerer, 1977). Dette kan forekomme enten ved at belastningen av snødekket øker, eller ved at bindingene i snødekket svekkes (McClung & Schaerer, 2006).



Figur 4.1: Skred i bevegelse. I tillegg kan man se spor etter en rekke skred både til høyre og venstre for det aktive skredet, samt skredsikringstiltak øverst mot horisonten Kilde: (GEOprevent, u.å).

4.2.1 Snødekkets egenskaper

For å kunne forstå og forutse snøskred er det viktig å ha en grunnleggende forståelse for snø, og hvordan snøen påvirkes både før den når bakken, og ved endringer i vind og temperatur etter at den har lagt seg på bakken. Når tørr nysnø når overflaten vil den vanligvis ha en anslått tetthet på 100kg/m^3 , og dermed vil 1 cm snø ha en vannekvivalent på

1 mm (NVE, 2016). Videre vil endringer i vær og vind under snøfall gi snøen forskjellige egenskaper. Generelt kan man si at økende vindstyrke og temperatur vil gi snøen økende tetthet, normalt om lag 200-300 kg/m³ (NVE, 2016). Siden været varierer vil man få lagdelinger og variasjoner gjennom snødekket, og disse har stor betydning for skredfaren (McClung & Schaerer, 2006).

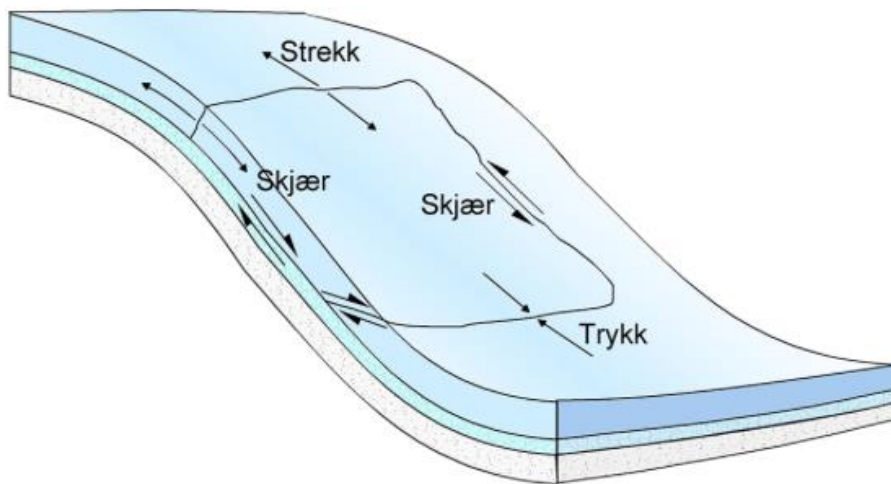
4.2.1.1 Svake lag

Svake lag er et uttrykk som brukes om de lagene som er relativt svakere enn de omliggende lagene i snødekket (Avalanche.org, 2021b). Når det oppstår et brudd i snødekket, starter det gjerne med et brudd eller en kollaps i det svake laget, med en påfølgende utglidning. (McClung & Schaerer, 2006; NVE, 2016). Det svake laget kan eksempelvis bestå av et nedføyket svakt lag med nysnø, eller en dårlig binding mellom nysnø og den gamle snøoverflaten (NVE, u.å-c).

Svakt lag som bevarer i snøpakken over lang tid kalles for et vedvarende svakt lag. Disse kan bestå av snøkrystaller som kantkorn, begerkrystaller eller nedsnødde rim-krystaller. Krystallene er kjent for å tåle lave skjærbelastninger, og er dannet i eller ovenpå snødekket (McClung & Schaerer, 2006; NVE, 2016). Dermed er de bedre tilpasset forholdene i snøpakken (nærmere en termodynamisk stabil tilstand) sammenlignet med en krystall dannet i atmosfæren. Dette, samtidig som de tåler en relativt høy vertikal last uten å bli utsatt for setninger fører til at krystallene kan overleve lenge i snøpakken, derav et vedvarende svakt lag (McClung & Schaerer, 2006).

4.2.1.2 Spenninger i snødekket

Det er forskjellige spenninger som virker på et snødekke. Dette skyldes at gravitasjonskreftene hele tiden vil forsøke å flytte snømassene mot det laveste mulige punktet. I en jevn skråning hvor tykkelsen av snødekket er lik hele veien vil også spenningsene i snødekket være like nedover skråningen. Ved forskjeller i snøtykkelse og helningsgradient, samt ryggformasjoner, store steiner og lignende i terrenget vil det derimot oppstå lokale spenningsforskjeller i snømassene. Figur 4.2 viser de forskjellige kreftene som holder snøflaket på plass. Langs den øvre delen av figuren oppstår det strekkspenninger som følge av at snøen her siger fortere enn den ovenforliggende snøen hvor helningsgradienten er lavere. Det er i dette området den såkalte bruddkanten til skredet normalt vil dannes. I den bratte og jevnt hellende delen av skråningen er det skjærkreftene som dominerer. I områdene hvor helningsgradienten avtar eller ved hindringer og forankringer av snømassene som steiner og trær, oppstår trykkrefter. Dette skyldes at de bremsende kreftene dominerer, og de ovenforliggende snømassene siger med en høyere hastighet (Norem, 2014).



Figur 4.2: Spenningene tilknyttet et snøflak. Kilde: Norem (2014).

De drivende kreftene, eller skjærspenningene, stammer fra vektkomponenten langs bakken av den ovenforliggende snømassen. De stabiliserende kreftene, eller skjærfastheten er summen av snøpakkens indre kohesjon og friksjon, samt friksjonen mellom snømassene og underlaget (Hardeng & Linge, 2019). Et snøskred vil utløses dersom skjærspenningene overstiger skjærfastheten til det svakeste laget i snødekket.

4.2.2 Klassifisering av snøskred


Snøskred deles normalt inn i to undergrupper, løssnøskred og flaskred. Disse kan videre klassifiseres som enten tørre eller våte (McClung & Schaerer, 2006). ICSI (International Commission on Snow and Ice) sitt klassifiseringssystem for vanninnhold i snø definerer de forskjellige etter Tabell 4.3.

Tabell 4.3: ICSI sitt klassifiseringssystem for vanninnhold i snø. Kilde: Modifisert etter (McClung & Schaerer, 2006).


Begrep	Kjennetegn	Vanninnhold (% av volum)
Tørr	Temperaturen [T] er normalt under 0°C. Ikke mulig å lage snøball.	0 %
Fuktig	T = 0°C. Mulig å lage snøball. Ikke synlig vann i porene ved 10X forstørrelse	<3 %
Våt	T = 0°C. Vann er synlig ved 10X forstørrelse	3-8 %
Svært våt	T = 0°C. Vann kan presses ut av snøball ved håndmakt. Luft i porene.	8-15 %
Sørpe	T = 0°C. Snøen er vannmettet. Lite luft i porene.	>15 %

I tillegg til løssnø- og flaskred er skavlbrudd en skredtype relatert til snø (NVE, 2016). De tre skredtypene er forklart i Tabell 4.4.

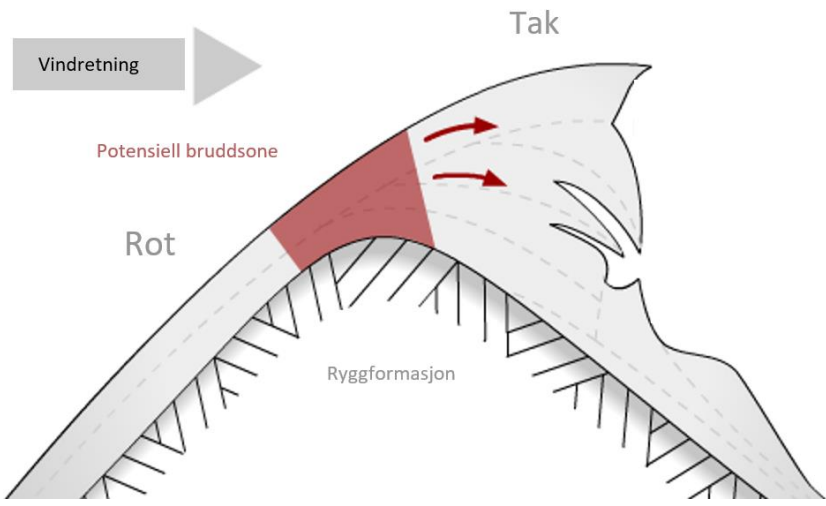
Tabell 4.4: Klassifisering av snøskred.

Løssnøskred	
Kjennetegn	<ul style="list-style-type: none"> • Lokal utglidning i et punkt (McClung & Schaerer, 2006). • Karakteristisk trekantform (se Figur 4.3) (NVE, 2020a) • Løser i ubunden våt eller tørr snø (Jaedicke, 2019)  <p style="text-align: right;"><i>Figur 4.3: Løssnøskredets karakteristiske trekantform vises tydelig. Fallende snø fra ovenforliggende sva har trigget utløsningen av skredet. Kilde: Norem (2014).</i></p>
Generelt	<ul style="list-style-type: none"> • Brattheten i løsneområdet varierer normalt fra 35-65° (NVE, 2020a). • Kan skape kraftige skredvinder da skredhastigheten kan komme opp imot 120 km/t (NVE, 2020a). • Kan forekomme hyppig ved gunstige forhold (Norem, 2014).
Utløsende årsaker	<ul style="list-style-type: none"> • Tap av kohesjon som følge av varme og dermed nedbrytning av snøkrystaller. Vanlig under og etter perioder sterk solinnstråling eller regn (Jaedicke, 2019). • Økt belastning som følge av kraftig snøfall eller ved vindtransport av snø. Utløsning skjer normalt under, eller kort tid etter tilleggsbelastningen, før snødekket har fått stabilisert seg (Jaedicke, 2019; NVE, 2016). • Ofte utløst under klippepartier hvor ovenforhengende snø smelter i solen og faller ned på det snødekket (Norem, 2014).
Størrelse	<ul style="list-style-type: none"> • Skredmassene stopper normalt fort opp i området hvor brattheten avtar. Vanligvis små skred (Norem, 2014).
Flakskred	
Kjennetegn	<ul style="list-style-type: none"> • Oppstår i bunden snø (McClung & Schaerer, 2006). • Snømassene sklir ut langs et glideplan som store flak (McClung & Schaerer, 2006). • Karakteristisk bruddkant vinkelrett på skråningen i bakkant (NVE, 2016).
Generelt	<ul style="list-style-type: none"> • Historisk sett tatt flest menneskeliv, og gjort mest skade på bebyggelse og infrastruktur. Lengre utløpslengder enn tørre snøskred, derfor dimensjonerende skredtype ved beregninger for utløpslengde for snøskred (Lied, 2014). • Skredhastighetene i et tørt flakskred kan bli opptil 130 km/t (NVE, 2016). Kan medføre kraftige skredvinder med hastigheter opp mot 300 km/t (NVE, 2016), og utløp flere hundre meter lengre enn de faste skredmassene (NVE, 2020b).

Fortsettelse Tabell 3.4

	<ul style="list-style-type: none"> • Snøflak på flere hundre meters bredde kan løsne som følge av at skjærbruddet forplanter seg i snøpakken med en hastighet på opp mot 20 m/s (Johnson et al., 2004; Norem, 2014). • Dybden til det svake laget i snødekket påvirker hvor lett snødekket går i brudd. Over en ryggformasjon med et tynt snødekke vil en tilleggsbelastning i større grad påvirke det svake laget sammenlignet med et område hvor snødekket er tykkere, og det svake laget ligger dypere (McClung & Schaerer, 2006).
<p>Utløsende årsaker</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lokalt og plutselig skjærbrudd i glidesjiktet som følge av en hurtig pålasting av snødekket, som følge av blant annet nedbør og vindtransportert snø (Norem, 2014). Typisk består glidesjiktet av et vedvarende svakt lag. Under dette svake laget befinner det seg normalt et hardere og mer kompakt lag som vil fungere som et glideplan (se Figur 4.4). Glideplanet kan også opptre i det svake laget. • Faren for flakskred er størst under og etter perioder med vind i fjellet, hvor snø som nedbør, eller tørr snø på bakken har blitt transportert med vinden og avsatt i le-områder (Norem, 2014).
<p>Størrelse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bruddkanten varierer normalt fra 20 cm til tre m. Ved store skred opp mot 10 m (NVE, 2016). • Lengden av bruddkanten kan være opp mot en km lang (NVE, 2016). • Skredvolumet varierer normalt fra 100 - 100 000 m³ (Norem, 2014).
<p>Figur</p>	 <p><i>Figur 4.4: Typisk oppbygning av et snødekke hvor et flakskred kan oppstå. Skjærbruddet oppstår i glidesjiktet som i dette tilfellet består av rimkrystaller. Flaket av nysnø glir ovenpå glideplanet. Glideplanet består av fast snø med god styrke. Kilde: Modifisert etter NVE (2016).</i></p>
<p>Skavlbrudd</p>	
<p>Snøskavl</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dannes på lesiden av bratte ryggformasjoner, eller i områder med skarpe overganger i helningsvinkel (se Figur 4.5). Skavler dannes ved at turbulens avsetter snø i det vinden sprer seg etter å ha passert ryggformasjonen (McClung & Schaerer, 2006).

Fortsettelse Tabell 3.4

	<ul style="list-style-type: none"> • Nedknuste og små kornstørrelser fører til kompakte skavler med en tetthet på rundt 500 km/m³ (McClung & Schaerer, 2006). • Vokser ved vindhastigheter fra 5-25 m/s når snø transporteres med vinden (McClung & Schaerer, 2006).
Generelt	<ul style="list-style-type: none"> • Skavler i terrenget kan indikere fremtredende vindretning i området (McClung & Schaerer, 2006). • Det dannes ofte ustabile snøforhold på nedsiden av skavlen (McClung & Schaerer, 2006).
Utløsende årsaker	<ul style="list-style-type: none"> • Økt vekt som følge av nedbør (NVE, 2016). • Svekket styrke som følge av temperaturøkninger (NVE, 2016).
Størrelse	<ul style="list-style-type: none"> • Lavt volum av selve skavlen fører til korte utløpslengder. En hurtig tilleggsbelastning på den nedenforliggende snøpakken som følge av den fallende skavlen kan derimot løse ut store flakskred med lange utløpslengder (McClung & Schaerer, 2006).
Figur	 <p>Figur 4.5: Snøskavl dannet over en ryggformasjon. Vindretning fra venstre mot høyre. Kilde: Modifisert etter Avalanche.org (2021a).</p>

4.2.3 Snøskredstørrelser

Størrelsen av snøskred klassifiseres i Europa fra skredstørrelse en til fem, hvor størrelse 1 er små skred, og størrelse 5 er svært stort skred (NVE, u.å-d). Tabell 4.5 viser inndelingen av de fem skredstørrelsene. Utløpslengden av skredet er avhengig av snøforhold og terrengformasjoner. Utløpsklassifiseringen alene må derfor ikke benyttes til å fastsette skredstørrelsen, men sees i sammenheng med resten av tabellen. (NVE, u.å-d)

Tabell 4.5: Snøskredstørrelser klassifisert fra 1 til 5. Kilde: Modifisert etter NVE (u.å-d).

Skredstørrelse	Beskrivelse	Volum (m ³)	Utløpklassifisering
1 – Små	Liten fare for å bli begravd (fare for utglidning).	< 100	Skredet stopper i henget.
2 – Middels store	Kan begrave, skade eller drepe en person.	< 1000	Skredet stopper i bunn av henget.
3 – Store	Kan begrave og ødelegge biler, skade lastebiler, mindre bygninger og skog.	< 10 000	Skredet kan gå ut av henget og opp til 50 m inn i slakt terreng (betydelig slakere enn 30 grader).
4 – Svært store	Kan begrave og ødelegge tog og store lastebiler, flere bygninger og skogsområder.	< 100 000	Skredet kan gå over slakere terreng (betydelig under 30 grader) over avstander over 50 m og nå frem helt til dalbunnen.
5 – Ekstremt store	Kan ødelegge landskapet. Katastrofal skade mulig.	> 100 000	Når frem til dalbunnen. Største kjente snøskred.

4.2.4 Snøskredterrenget

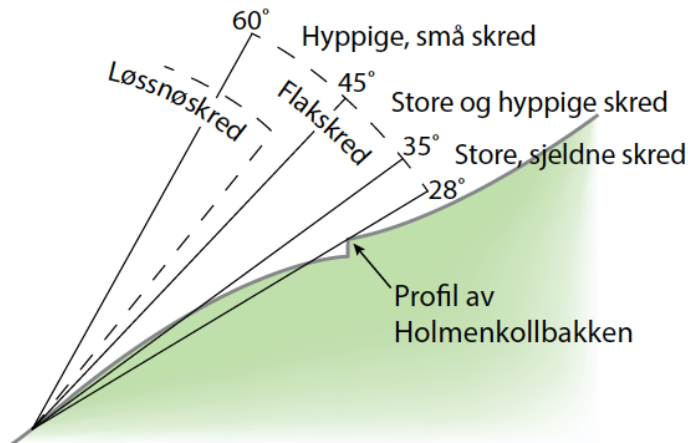
Som nevnt tidligere, utløses et snøskred når skjærspenningene ved en gitt dybde i snødekket overstiger skjærstyrken i samme punkt (Schaerer, 1977). Videre må terrenget ha en helning som er tilstrekkelig for at snømassene skal kunne akselerere og fortsette bevegelsen nedover siden. Etter hvert vil helningen bli for lav, og snøskredet vil begynne å bremse. Skredbanen kan da deles inn i tre deler, løsneområde, skredløp og utløpsområde (Jaedicke, 2019). De tre delene er vist i Figur 4.6 og forklart i Tabell 4.6.



Figur 4.6: Løsneområdet markert i rødt, skredløpet markert i oransje og utløpsområde markert i gult. Kilde: Opedal og Østbye (2011).

Tabell 4.6: Inndelingen av snøskredterrenget.

Løsneområdet	
Kjennetegn	<ul style="list-style-type: none"> • Området hvor skredet starter ved en bruddannelse, og ned til nedre kant av flaket som sklir ut (Norem, 2014). • Bratte og snøfylte skråninger uten tett skog (Maggioni & Gruber, 2003). • Normalt en helningsvinkel på 30-60° (Maggioni & Gruber, 2003), og ved ustabile forhold ned til 28° (Hardeng & Linge, 2019). I terreng brattere enn 60° sklir massene ut som mindre snøskred etter hvert som snøen avsettes (Maggioni & Gruber, 2003).
Terrengformer	<p>Løsneområder for snøskred befinner seg ofte i le av nedbørsførende og fremtredende vindretning (McClung & Schaerer, 2006). Terrengformer som har lett for å samle snø er spesielt usatte. Derav følgende (NGI, u.å.):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Større botner • Åpne skåler og forsenkinger • Elvegjel og skar • Svaberg • Konvekse partier hvor strekk-spenninger oppstår i snødekket
Avgrensning	<ul style="list-style-type: none"> • Ved bratthet under 28°, eller over 60°. • Avgrenses ofte av terrengformasjoner. Eksempelvis konvekse ryggformasjoner og steiner hvor strekk-spenninger oppstår, eller i underkant av snøskavler (se Figur 4.7). • En studie fra Sveits viser at av 470 rapporterte skredhendelser er 52% utløst i nærheten av ryggformasjoner i terrenget. Av disse var 53 % i tilknytning til nedenforliggende skålformasjoner og skar (McClung og Schaerer, 2016) <div data-bbox="963 927 1385 1447" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: right;"><i>Figur 4.7: Mulig avgrensninger av skredet i overkant. Kilde: McClung og Schaerer (2006).</i></p>
Generelt	<ul style="list-style-type: none"> • Hovedandelen av skredvolumet stammer fra løsneområdet (Maggioni & Gruber, 2003). • Skred i slakt terreng (28-35°) forekommer sjeldnere enn i brattere terreng da skjærspenningene her er mindre. Derimot er skred fra slake områder ofte store (se Figur 4.8) (Norem, 2014).



Figur 4.8: Sammenhengen mellom brattheten i løснеområdet og type skred. Profilen av Holmenkollbakken kan benyttes til sammenligning. Kilde: Norem (2014).

Ruhet

- Ruheten i løснеområdet kan forankre snøen og hindre utløsningen av snøskred (McClung & Schaerer, 2006).
- Store steiner, stive busker og trappeformede overflater kan forankre snøen (McClung & Schaerer, 2006). Tabell 4.7 viser snødybden underlaget kan forankre ved varierende ruhet.

Tabell 4.7: Ruheten av terrengoverflaten i løснеområdets evne til å forankre snødekket. Kilde: Modifisert etter McClung og Schaerer (2006).

Omtrentlig snødybde forankret av underlagets ruhet	
0,3 m	Relativt glatt underlag: Ur-materiale med liten blokkstørrelse, sva/fjell og gress.
0,6 m	Gjennomsnittlig terreng: blokk, mindre trær, busker og ujevne overflater.
1,0 m	Ujevnt terreng: Store blokker og stubber

Skredløpet

Kjennetegn

- Området mellom løснеområdet og utløpsområdet (Jaedicke, 2019).
- Helningsvinkel mellom 30 og 15-25 grader (Jaedicke, 2019).
- Skredhastigheten er her normalt økende eller konstant (Jaedicke, 2019).

Avgrensning

Det skiller mellom kanalisierende og åpne skredløp (Norem, 2014).

Kanalisierende skredløp: Skredmassene snevres inn på veg mot/nedover skredløpet. Normalt som følge av at skredmassene blir fanget av terrengformer og forsenkninger i overflaten. Små skred har lettere for å bli kanalisert da det kreves mindre terrengformasjoner for å påvirke skredmassene (Norem, 2014).

Fortsettelse Tabell 3.6

	Åpne skredløp: Skredmassene blir ikke kanalisert av terrengformasjoner. Skredbredden opprettholdes, eller øker på ved nedover skredbanen (Norem, 2014).
Utløpsområdet	
Kjennetegn	<ul style="list-style-type: none"> • Området hvor skredmassene avsettes (Lied, 2014). • Helningen i området varierer etter skredstørrelse og snøforhold. Våte snøskred avsettes normalt ved en helning på 15-25°. Tørre snøskred ved 10-15°, som følge av lavere friksjon (Lied, 2014).
Avgrensning	<ul style="list-style-type: none"> • Store snøskred kan ha lange utløpslengder, og bevege seg flere hundre meter bortover flatt terreng, og ved ekstreme tilfeller klatre 50-100 m opp i motsatt dalside (Jaedicke, 2019). • Bredden av skredavsetningene øker etter hvert som snø avsettes. Snøen bak blir fraktet ut mot sidene ettersom de fremre skredmassene har stoppet opp (Norem, 2014).

4.2.5 Skredbevegelsen

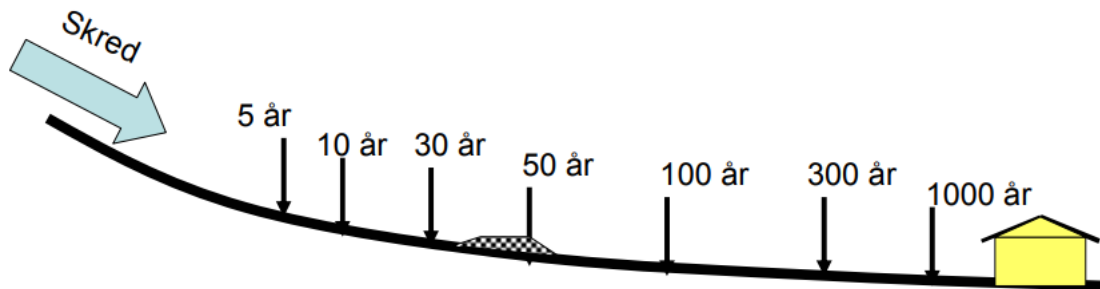
For å vurdere faren i terrenget er det viktig å ha en forståelse av skredets bevegelser. Snøskred kan som nevnt starte som et løssnøskred eller et flakskred. På veg nedover skredløpet ruller, glir og hopper snøflakene samtidig som de knuses ned til blokker og partikler (McClung & Schaerer, 2006). Ved tørre snømasser vil partiklene forholde en finkornet struktur, mens ved våte snøskred kan det dannes en avsetning bestående av snøballer med en diameter fra 5-50 cm (Norem, 2014). Små snøskred vil ha en glidende bevegelse, mens større skred vil ha en mer kaotisk bevegelsesform bestående av glidende, rullende og hoppende bevegelser (Lied, 2014).

Man kan normalt dele snøskred inn i tre deler. Ved hastigheter over 10 m/s består skredmassene av et flytelag, et saltasjonslag og en snøsky (McClung & Schaerer, 2006). Flytelaget består av en kompakt masse av snø og luft hvor skredmassene ruller og glir langs bakken. Laget har en mektighet på opp til 3-5 m. Saltasjonslaget befinner seg fremfor, og over flytelaget. Laget består av en lavere tetthet med snøpartikler som hopper, spretter og delvis svever opp til et par meter over flytelaget. Ved tørre skredmasser vil det også dannes en snøsky over skredet. Det er ofte denne man observerer når man ser store snøskred. Tettheten av dette laget er rundt 1/10 av tettheten til flytelaget, og fører dermed normalt til mindre skader (Lied, 2014; McClung & Schaerer, 2006).

I bratt terreng vil de tre delene av snøskredet følge hverandre, men etter hvert som terrenget flater ut vil flytelaget oppleve en høyere grad av friksjon, og bremses ned hurtigere enn saltasjonslaget og snøskya. Snøskya kan fortsette mange hundre meter videre, og krysse dalbunner og fjorder, da friksjonen mot underlaget er liten (Lied, 2014).

4.2.6 Utløpsdistanser

Skredets utløpslengde er definert av grensen til den ytterste delen av flytelaget. Grensen er av interesse ved planlegging og sikring av veger og bebyggelse (Norem, 2014). I følge Norem (2014) er det en klar sammenheng mellom skredstørrelsen, hastigheten, utløpslengden og det tilhørende skredtrykket. Det er også en sammenheng mellom utløpslengder og gjentaksintervall for en bestemt skredbane. Figur 4.9 skisserer dette.



Figur 4.9: Returperioden øker ved økende utløpslengde. Kilde: Norem (2014).

4.2.7 Skredtrykk

Skredtrykket fra et snøskred mot en konstruksjon kan være betydelig, og er en viktig parameter ved dimensjonering av skredsikringstiltak i skredutløpet. Skredtrykket oppgis i Pascal (Pa), altså kraft per kvadratmeter [N/m^2] (Lied, 2014). Skredtrykket er avhengig av snømassens tetthet, hastighet og tykkelse, og er derfor størst i flytelaget som følger bakken (Norem, 2014).

Skredets hastighet har størst innvirkning på skredtrykket, men saktegående og våte snøskred med høy tetthet kan også medføre vesentlige belastninger. Ifølge Lied (2014) har skred i Norge ofte et skredtrykk på 200-800 kPa. Til sammenligning tåler et hus mellom 10-30 kPa, som tilsvarer en skredhastighet på 7-12 m/s.

4.2.8 Værforhold og snøskred

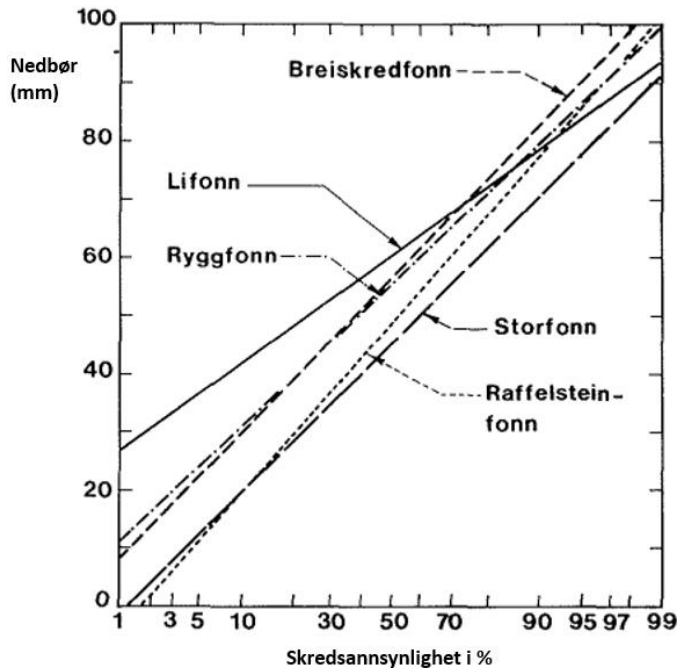
Klimaet i området er en viktig faktor når det kommer til utløsning av snøskred og frekvensen av disse (McClung & Schaerer, 2006). Været og værvarselet kan brukes som en parameter for å anslå snøskredfare fram i tid (Schweizer et al., 2003). Med hensyn til været er det hovedsakelig tre faktorer som har betydning for utløsningen av skred. Disse er nedbør, vindstyrke og intensitet, samt temperatur og solinnstråling (Norem, 2014).

4.2.8.1 Nedbør

Forventet nysnømengde og vind er faktorer som vil gi mye informasjon om hvilke skredforhold man kan forvente frem i tid, og akkumulert 3-døgns nedbør brukes i dag til å anslå bruddkanthøyde ved skredfarekartlegging (NVE, 2020b).

Over flere år loggførte Bakkehoi (1987) skredaktiviteten ved tre skredløp i Grasdalen. Ved å plote 3-døgns- og 5-døgns-nedbøren i forkant av et snøskred i et kumulativt normalfordelingsdiagram kunne han si noe om sannsynligheten for utløsning av skred langs

et skredløp ved en gitt nedbørintensitet. Ved alle skredhendelsene var vinden kraftig nok til å transportere snø. Best sammenheng ble funnet for 3-døgnsnedbøren. Resultatet er vist i Figur 4.10, og viser en økt sannsynlighet for snøskred ved en økende 3-døgns nedbør. Figuren antyder at det ved en 3-døgnsnedbør på 50 mm vil være 50 % sjanse for skred i hver av de 5 skredløpene i Grasdalen, og 99 % sjanse for utløsning av skred ved 90 mm nedbør over tre døgn.



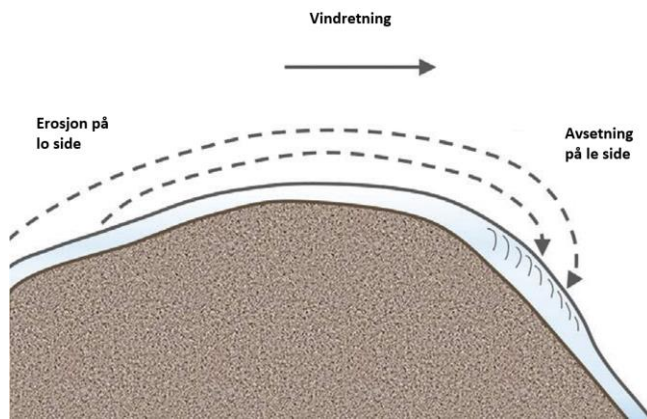
Figur 4.10: Sannsynligheten for skred ved gitte 3-døgns nedbørmengder for fem skredløp. Kilde: Modifisert etter Bakkehoi (1987).

Det har vist seg at også nedbørintensiteten per time kan ha innvirkning på utløsningen av skred. I følge Lied (2014) må nedbørintensitet være større enn 2-2,5 mm/t for at situasjonen skal bli kritisk. Dette skyldes at bindingene mellom snøkornene og stabiliteten øker relativt raskt i nysnø. Dersom intensiteten blir for stor vil lasten øke raskere enn snøens styrke.

4.2.8.2 Vindstyrke og retning

Etter at snøen har lagt seg på bakken vil vinden kunne føre til en redistribusjon av snøen. Vind kan transportere store snømengder, og det vil nesten alltid være vind i forbindelse med snøskredfare i fjellet. Ved løssnø vil vinden begynne å transportere snø ved en vindhastighet på 5 m/s (målt 10 m over bakken). Ved ekstremt harde og kompakte lag kan vindstyrker over 25 m/s være nødvendig for å få erodert og transportert snø (McClung & Schaerer, 2006).

Gjennom erosjon på lo-sider og avsetning på le-siden som vist i Figur 4.11 kan snøtransporten i et område gi store forskjeller i både snødybde, snøegenskaper og skredfaren over korte distanser (Schweizer et al., 2003).



Figur 4.11: Vinden styrer redistribusjonen av snø, med erosjon på lo-siden og avsetning på le-siden. Kilde: Modifisert etter Floyer (u.å).

Vindens evne til å transportere snø øker med en 3. potens av vindhastigheten. Ved en dobling i vindstyrke vil mengden vindtransportert snø åtte-dobles dersom det er snø tilgjengelig for vinderosjon. Le-områder kan akkumulere 3-4 ganger mer snø enn vindutsatte partier ved 8-14 m/s. Ved storm styrke (20-25 m/s) kan det avsettes 2-3 m snø i løsnemrådet på få timer (Lied, 2014). Vinden kan ved å erodere på lo-siden og avsette i forsenkninger på le-siden, slette ut ujevnheter i landskapet i løpet av vinteren (McClung & Schaerer, 2006).

4.2.8.3 Temperatur

Temperaturen vil ha en sammensatt virkning på snødekket og stabiliteten. I tørr luft øker temperaturen med en grad per 100 høydemeter. Ved fuktige luftmasser kan forholdet halveres (McClung & Schaerer, 2006). Kalde temperaturer vil føre til et stivere og sterkere snødekke, men over lengre tid vil kalde temperaturer kunne føre til reduserte bindinger mellom snøkrystallene. Dette skyldes en såkalt oppbyggende omvandling av snøkrystallene (McClung & Schaerer, 2006). En økende temperatur vil derimot redusere stivheten, og tøyningshastigheten øker. Dette fører til redusert stabilitet. Med tiden vil temperaturøkningen igjen føre til en økt binding mellom partiklene, og stabiliteten gjenvinnes (Lied, 2014).

Dersom temperaturen i snødekket er nærme 0 grader (isotermt snødekke), og lufttemperaturen blir positiv, vil bindingene mellom snøpartiklene svekkes. Ved høye temperaturer kan fritt vann oppstå i snødekket, og faren for våtsnøskred øker (McClung & Schaerer, 2006). Slike situasjoner kan typisk oppstå ved kombinasjoner av varme temperaturer og vind (Lied, 2014).

4.2.8.4 Regn

Nedbør som regn vil føre til nedsatte bindinger mellom snøkornene, samt en økning i poretrykk og belastning. Spesielt tørre snømasser er utsatt for skred ved nedbør som regn. Det er vanskelig å bestemme noen eksakte nedbørgrenser som fører til snøskred, da snøforholdene er avgjørende. Likevel anslår Lied (2014) at nedbørintensiteter over 10 mm pr døgn vil kunne føre til utløsning av skred.

4.3 Skredsikringstiltak

Forskjellige typer skredsikringstiltak kan benyttes dersom skredfaren i et område er større enn den akseptable risikoen. Hovedmålet med skredsikringen er normalt enten å redusere sannsynligheten for et skred, eller å begrense selve konsekvensen av skredet. Dessverre er skredsikringstiltak som fører til lav risiko ofte svært kostbare, og sikringstiltakene må planlegges og dimensjoneres deretter (McClung & Schaerer, 2006).

Vi kan dele skredsikringstiltakene inn i aktive og passive tiltak, og videre inn etter sikringens varighet. Figur 4.12 viser noen av de vanligste skredsikringstiltakene. Fellesnevneren for spesielt de permanente, aktive sikringstiltakene er at de er svært kostbare, og ved mange tilfeller er det billigere å flytte selve objektet som skal sikres fremfor å konstruere og vedlikeholde skredsikringen (Lied, 2014). Av de passive tiltakene vil både skredfarevarslingen og faresonekartleggingen være kostbar da det trengs ekspertise. Samtidig vil sesongbasert nedstenging av for eksempel vegoverganger ha stor innvirkning på økonomien i et lokalsamfunn da transport av varer inn og ut vanskeliggjøres.

		Skredsikringstiltak	
		Aktive	Passive
Varighet	Midlertidig	<ul style="list-style-type: none">• Kunstig utløsning av skred• Stenging av veger• Evakuering	<ul style="list-style-type: none">• Skredfarevarsling• Sesongbasert vegstengning• Fareskilt
	Permanent	<ul style="list-style-type: none">• Støtteforbygninger• Samleskjermer• Sikringsvoller og murer• Skredoverbygg	<ul style="list-style-type: none">• Faresonekartlegging

Figur 4.12: Skredsikringstiltak inndelt etter passive, aktive og virkningens varighet. Kilde: Modifisert etter McClung og Schaerer (2006).

4.3.1 Aktiv skredsikring

Aktiv skredsikring er tredelt, og handler ofte om å redusere sannsynligheten for at et skred skal løsne, utløse skredet under kontrollerte former, eller å redusere konsekvensen av skredet. Dette kan gjøres ved å bremse, lede og fange skredmassene. Eventuelt kan man evakuere og stenge av områder. I noen tilfeller er en kombinasjon av disse nødvendig.

4.3.1.1 Kunstig utløsning av snøskred

Kunstig utløsning av skred (skredkontroll) blir mye brukt i områder hvor det ikke befinner seg objekter i utløpsområdet som kan komme til skade dersom skredet blir større enn antatt. Formålet er å løse ut små skred regelmessig etter store snøfall, og på den måten unngå de store skredhendelsene med ødeleggende konsekvenser. Svake lag og et ustabil snødekke er

en forutsetning for at skred skal utløses kunstig. Dersom skred ikke utløses ved skredkontroll vil metoden kunne underbygge en eventuell beslutning om at snødekket er stabilt (Norem, 1981). Siden metoden kun er midlertidig, kan snødekket raskt gå over til en ustabil situasjon. På vårparten, når snøen har mistet noe av stivheten sin, har det vist seg å være vanskelig å få utløst skred (Norem, 1981). Det er mange metoder for å utløse snøskred kunstig. To av de mest vanlige metodene er manuell sprenging eller snøskredtårn.

Manuell sprenging

Ved manuell sprenging er det flere metoder som benyttes for å utløse skredet. De vanligste er bruken av sprengstoff og forskjellige gassblandinger. Ved manuell sprengning graves sprengstoff ned i skavlen ovenfor løснеområdet, eller fraktes ned i selve løśnieområdet. Eventuelt kan sprengstoffet plasseres ut før snøen kommer. Dette er utfordrende i praksis da sprengstoffet må oppbevares på en forsvarlig måte, samtidig som det kreves mellom 50 og 100 kg sprengstoff for ønsket effekt (Norem, 2014). Ved avfyring vil trykkbølgen fra sprengstoffet, eller tyngden av den fallende snøskavlen kunne utløse et skred ved ustabile forhold (Lied, 2014; McClung & Schaerer, 2006). Det er ulemper tilknyttet manuell sprenging. Antall forhåndsutlagte ladninger og terskelen for å fly opp til løśnieområdet for å utføre skredkontroll kan føre til at skredkontrollen ikke blir utført hyppig nok til å forhindre de store skredhendelsene.

Snøskredtårn

Den mest effektive plasseringen av sprengstoffet eller gassblandingen i løśnieområdet er i området hvor skjærspenningene er størst, eller hvor det oppstår strekkspenninger i snødekket. I praksis vil dette være der snømekktigheten er størst, eller hvor bruddkanten forventes å oppstå (Norem, 2014). Et skredtårn kan plasseres ovenfor eller i selve løøgneområdet. Tårnet kan fjernstyres, og muliggjør dermed fjernutløsning av snøskred. Tårnene tillater flere detonasjoner i løpet av en sesong, og på enkelte modeller kan magasinet etterfylles ved hjelp av helikopter dersom det skulle være behov (Wyssen, 2021b). Krefter på masten som følge av snøsig og kollaps av ovenforhengende snøskavler kan påføre snøskredtårnet skade, og begrenser dermed bruken.

Snøskredtårnene kan enten være utstyrt med sprengstoff eller en gassblanding. Ved bruk av sprengstoff benyttes en ladning på fire til fem kg som avfyres i en forhåndsbestemt høyde over løøgneområdet. Erfaringer viser at en detonasjon over snødekket gir best resultater med tanke på restrisiko for nye skred (Wyssen, 2022b). Trykkbølgen etter avfyringen vil påvirke snødekket i en diameter av opptil 260 m i alle himmelretninger (Wyssen, 2021b). For å oppnå en akseptabel restrisiko i etterkant av sprengningen er det viktig at hele løøgneområdet utsettes for tilstrekkelige belastninger fra sprengladningen. Dette for å utsette eventuelle «hotspots» for belastninger. «Hotspots» er svært svake punkter i snødekket hvor en tilleggsbelastning lettere kan føre til brudd i snødekket (Wyssen, 2022b). Systemet er uavhengig av værforholdene, og har et lite avtrykk i terrenget (Wyssen, 2021b).

4.3.2 Sikringsvoller

Det finnes mange typer permanente skredsikringstiltak. I områder med infrastruktur i skredets utløpsområde er sikringsvoller mye brukt. Dette skyldes at sikringsvoller ofte er billigere enn å legge vegen gjennom en tunnel eller et rasoverbygg. Skredvollene er bygget av løsmasser, med eller uten armering, og kan ha et relativt stort avtrykk i terrenget (Norem, 2014).

Hensikten bak en sikringsvoll er å bremse, lede eller stoppe skredmassene i utløpsområdet. Plasseringen av vollen er avhengig av det ovenforliggende terrenget da skredmassene styres av terrengformasjonen langs skredløpet. Det er mest hensiktsmessig å plassere vollen så nærme vegen som mulig da det er her skredets hastighet og volum er minst, noe som er avgjørende for hvor høy vollen må være. Ved å plassere vollen nærmest mulig vegen vil også passerende biler unngå trykkbølgen fra skredet, da det dannes en lomme på lo siden av vollen med roligere luftmasser. Det er derfor viktig at vollen er høyere enn de passerende bilene (Norem, 2014).

Ifølge Norem (2014) er vollens effektivitet hovedsakelig avhengig av følgende:

- Vollens effektive høyde
- Hellingen på skredsiden av vollen
- Utforming av terrenget ovenfor vollen
- Skredets hastighet når det treffer vollen
- Skredets flyte høyde og volum
- Skredtype; Sørpe, vått eller tørt

Med vollens effektive høyde menes vollens høyde målt fra snøoverflaten før skredhendelsen. Skredets flyte høyde er høyden av det kompakte flytelaget. Det finnes flere typer sikringsvoller, blant annet fangvoller.

4.3.2.1 Fangvoll

En fangvoll er konstruert for å stoppe skredet, og består av en voll eller en mur med et tilhørende magasin i framkant. Vollens lengdeakse står normalt vinkelrett på skredretningen. Det er viktig at størrelsen av magasinet er stort nok til å romme skredets volum, samt snøen som er avsatt i magasinet forut skredhendelsen (McClung & Schaerer, 2006). Dersom magasinet er underdimensjonert vil skredmassene passere vollen når magasinet er fullt (Lied, 2014).

Vollens høyde H_{voll} er som nevnt en viktig faktor for dens effekt, og kan bestemmes etter Norem (2014) ved hjelp av Likning 4.1:

Likning 4.1:

$$H_{voll} = k \times \frac{V^2}{2g} + H_{skred} + H_{Snø}$$

hvor

- V = Skredets hastighet (m/s)
- g = Tyngdeakselerasjon
- H_{skred} = Skredets flyte høyde
- $H_{Snø}$ = Snøens høyde i fremkant av vollen før skredhendelsen
- k = Faktor som angir hvor mye av hastighetsenergien som en bevart under sammenstøtet med vollen. Varierer mellom 0,6 og 1.

Leddet $\frac{V^2}{2g}$ representerer skredets stighøyde oppover vollen, og vollens høyde vil etter dette bli proporsjonal med kvadratet av skredhastigheten (Lied, 2014). Dette tilsier at vollen bør plasseres lengst mulig ut i utløpsområdet hvor hastigheten er lavest. Konstanten k gjenspeiler skredets energitap som følge av blant annet friksjonen mot vollen, og retningsendringen massene utsettes for på veg oppover vollen (Norem, 2014). For voller brattere enn 60° er det anbefalt å sette k lik 0,6 for våte snøskred, og 0,8 for tørre snøskred (Norem, 2014).

Bratte støtsider av voller er fordelaktig da dette fører til et større energitap i skredmassene ved sammenstøt (McClung & Schaerer, 2006). Derfor benyttes ofte armert jord eller naturstein på støtsiden av vollen da dette tillater en brattere helningsvinkel (Lied, 2014; Norem, 2014).

4.3.3 Bremseskjegler

Bremseskjegler er hindringer i skredbanen som har til hensikt å redusere skredets utløpslengde ved å spre skredmassene over ett større område, samt redusere hastigheten og skredvolumet. Spredningen av massene fører til en mindre flyte høyde, og ettersom de spres utover et større område vil et større areal av skredmassene utsettes for friksjon mot underlaget (McClung & Schaerer, 2006). Ettersom skredmassene presses gjennom kjeglene som står i ett sjakkbrett-mønster vil energi også gå tapt gjennom avbøying mot kjeglene, og ved at skredmassene kolliderer med skredmassene fra motstående kjegler. Samtidig vil bevegelsesenergi gå tapt gjennom retningsendring og stighøyde når snøen presses oppover kjeglen (Lied, 2014).

Effekten av kjeglene er avhengig av skredets bevegelse og snøtype. De har vist seg å være mindre effektive på tørre og hurtiggående snøskred. Effekten er derimot noe bedre på våte og kompakte snøskred hvor skredhastigheten er lavere. Kjeglene bygges derfor i utløpsområdet hvor hastigheten er lav, og terrenget ikke brattere enn $15-20^\circ$ (McClung & Schaerer, 2006). I mange tilfeller benyttes kjeglene i kombinasjon med fang- og ledevoller, og plasseres ovenfor vollen. Deres funksjon er da å redusere skredets hastighet og volum

(Lied, 2014). For å få en størst mulig spredning av skredmassene foreslår Hákonardóttir et al. (2003) at så mange kjebler som mulig plasseres så tett som mulig. To rader med bremsekjebler er et minimum (Lied, 2014).

4.3.4 Skredoverbygg

Skredoverbygg brukes hovedsakelig for å sikre veg- og togstrekninger. I Norge bygges disse normalt i armert betong, og er kjent for å være kostbare konstruksjoner. I flere tilfeller også dyrere enn tunnel. Konstruksjonen består av vegger og tak, og tillater trafikken å gå under skredbanen (McClung & Schaerer, 2006). De kostbare konstruksjonene har ført til at skredoverbyggene i mange tilfeller bygges litt for korte, slik at deler av skredet treffer vegbanen.

4.3.5 Infralyd

Ett utløst snøskred indikerer ustabile snøforhold, og dersom det har blitt utløst ett eller flere snøskred i et område, er dette en god indikasjon på den pågående skredfaren i området. For de som driver med skredvarsling er informasjon om tid og lokasjon for snøskredaktivitet verdifullt. Eksempelvis gir dette et bedre beslutningsgrunnlag for å åpne eller stenge en vegstrekning (Mayer et al., 2020). Uvær og dårlig sikt i fjellet i forkant av og under skredsykluser gjør det ofte vanskelig å verifisere skredaktiviteten i et område visuelt. I slike situasjoner kan infralyd-teknologi være et godt hjelpemiddel til å detektere skred og verifisere skredsykluser i sanntid (Humstad et al., 2021).

Ett snøskred på veg nedover en fjellside sender ut infralyd ved at de turbulente skredmassene danner trykksvingninger i luften. Ved hjelp av infralydteknologi kan lavfrekvente trykkbølger (<20 hertz) med lydens hastighet detekteres. En av fordelene med infralydanlegg er at disse registrerer skred i alle himmelretninger, og er uavhengige av været i området. Dersom små skred effektivt skal detekteres burde disse være innenfor 3 km rekkevidde, mens store tørrsnøskred kan detekteres på opptil 14 km avstand (Humstad et al., 2021; Mayer et al., 2020). Løssnøskred holder en relativt høy hastighet som resulterer i mye lyd, i motsetning til våte og mer saktegående skred. Disse våte og saktegående skredene, samt de mindre løssnøskredene kan være vanskelig å detektere gjennom infralyd, da lydkilden er for svak (Mayer et al., 2020).

Det finnes forskjellige systemer for måling av infralyd. Videre vil infralydteknologien kalt «IDA» (Wyssen, 2021a) bli omtalt. Dette er infralyddetekteringssystemet levert av Wyssen Avalanche Control AG, og står for «Infrasound Detection of Avalanches». Normalt benyttes et sensornettverk bestående av fire til fem trykksensorer i formasjon, med en avstand på ca. 100 m (Wyssen, 2021a). Disse detekterer skredet fra start til slutt, og kan innen to minutter automatisk varsle om skredaktivitet (Humstad et al., 2021). Ved hjelp av flere trykksensorer med kjent geometri, og lydbølgenes ankomsttid ved hver sensor er det mulig å bestemme retningen til skredet i forhold til målestasjonen. Dermed kan man si noe om hvilken skredbane det har gått skred i (Humstad et al., 2021; Mayer et al., 2020).

Siden det er flere lydkilder som avgir infralyd, eksempelvis fly og trafikk, er det nødvendig med filtre som gjør at ikke alle lyder blir detektert som et snøskred (Humstad et al., 2021). Et snøskred beveger seg alltid nedover fjellsiden. Dette fører til at trykkbølger fra lydkilden i løsnedområdet vil ankomme sensorene som står på et horisontalt plan i bunnen av dalen skrått. Skredbanens utløpsområde er lavere i terrenget, og trykkbølgene fra lydkilden vil bevege seg mot sensornettverket med en lavere vinkel, og dermed med en lavere tilsynelatende hastighet. På den måten kan IDA-anlegget filtrere bort alle lydkilder som ikke har en nedoverrettet bevegelse (Humstad et al., 2021).

4.4 Skredmodellering

Forskjellige beregningsverktøy kan benyttes til å utføre skredmodelleringer. Resultatet av disse kan brukes til å etterprøve og underbygge vurderinger av skredbanen, samt skredets maksimale utløpslengde, flyte høyde, skredhastighet og trykk (Taurisano, 2018). Det er viktig å være klar over at resultatet av modelleringene er sterkt preget av valgte inngangsparametere. Avgrensningen av løsnedområdet, valg av skredets volum og materialegenskaper kan ha stor innvirkning på resultatet, og det er derfor viktig å definere disse på best mulig grunnlag (Taurisano, 2018). Kalibrering av modeller krever godt dokumenterte tidligere skredhendelser, i et sammenlignbart område. Dette foreligger sjeldent, og vanskeliggjør metoden (Taurisano, 2018).

Det finnes to hovedtyper av modeller for å beregne utløpslengden til skred. Topografiske og dynamiske. Topografiske modeller karakteriseres ved at det kun inngår topografiske faktorer i beregningen. De dynamiske modellene tar utgangspunkt i numeriske hastighetsmodeller og fastsatte verdier for parametere som inngår i modellen (Norem, 2014).

4.4.1 Alfa-beta metoden for snøskred

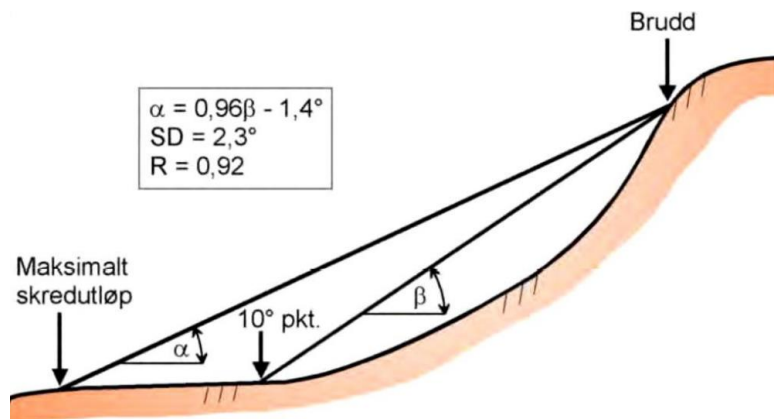
Av de topografiske modellene er den statistisk-empiriske alfa-beta-modellen etter Lied og Bakkehøi (1980) mye brukt, se Figur 4.13. Modellen er basert på analyser av 206 relativt store og godt dokumenterte snøskredhendelser, og beskriver en skredbanes maksimale utløpslengde ved utløpsvinkelen α (Håland et al., 2015). Modellen er basert på skred med typiske gjentaksintervaller mellom 100-300 år. Modellen er derfor ikke uten videre egnet for å finne maksimal utløpslengde for et 50-års skred (Sletten et al., 2015). Alfa-beta-modellen krever en terrengprofil som gradvis avtar i bratthet i nedre del, og er ikke egnet ved «terrasserte» terrengprofiler (Taurisano, 2018).

Metoden utviklet for snøskred brukes ved at man først finner punktet langs skredbanen hvor helningsvinkelen er 10° bratt. Dette er det såkalte β -punktet. β -vinkelen er siktelinjen fra dette punktet og opp til løsnedområdet. Ved hjelp av β -vinkelen og Likning 4.2 kan man finne den minimale utløpsvinkelen, α , fra løsnedområdet til skredets ytterste avsetning (Lied, 2014).

Likning 4.2

$$\alpha = 0,96 \beta - 1,4^\circ \quad (\text{SD} = 2,3^\circ)$$

hvor $\text{SD} =$ Ett standardavvik



Figur 4.13: Skisse av α - β -modellen og tilhørende parametere. Kilde: Sletten et al. (2015).

Likning 4.2 viser at utløpslengden er avhengig av skredløpets gjennomsnittlige helningsvinkel. Relativt slake fjellsider med en jevn overgang mot flatere terreng har større utløpslengder enn bratte fjellsider med en brå overgang mot dalbunnen. Dette er det flere årsaker til. Kurvaturen i en slak skråning vil over en lengre strekning være akkurat bratt nok til at skredet ikke mister hastighet, og friksjonen som følger av brå retningsendringer vil være liten. For snøskred vil også luftmotstanden og friksjonen på grunn av turbulens være minimal i slike tilfeller. I slake fjellsider samler det seg i tillegg mer snø i løsnemrådet og langs skredløpet. Tilgjengeligheten av snø langs skredløpet kan føre til at skredvolumet vokser flere ganger på veg nedover mot utløpsområdet. Skredene blir dermed ofte store i volum, og oppnår høye hastigheter. Dette gir normalt lave utløpsvinkler (Håland et al., 2015).

4.4.2 Bratthet- og utløpsområdekart

NVE (2021c) sitt bratthet- og utløpsområdekart er automatisk generert, og viser beregnede utløpslengder for snøskred med utgangspunkt i alfavinkelen. Til å definere mulige løsnemråder benyttes en terrengmodell med 1 m oppløsning til å bestemme brattheten og «wind shelter», en parameter for kurvaturen i området (NVE, u.å-b). Sistnevnte for å skille ut terrengformer som kan samle mye snø, eksempelvis skålfformasjoner, gjel og forsenkninger. Områder med en bratthet under 30° eller over 60° blir utelukket som mulige løsnemråder.

Videre benyttes en hydrologisk terrenganalyse-programvare kalt TauDEM (Tarboton, 2015) til å beregne sannsynlig skredløp fra løsnemrådene (Larsen et al., 2018). Basert på Lied og

Bakkehøi (1980) sine observasjoner av utløpsvinkler til 423 snøskred er utløpsvinkelen til median-, 75 prosentil- og 95 prosentil- skredet kjent. Utløpsområdet deles inn i tre klasser og fargetoner (se Figur 5.2) etter terskelverdier for alfavinklene (NVE, u.å-b). Inndelingen er vist i Tabell 4.8.

Tabell 4.8: Utløpsområdets inndeling i korte- middels- og lange utløp etter terskelverdier for alfavinkelen (NVE, u.å-b).

Utløpslengde	Prosentil	α -vinkel
Korte utløp	50	32°
Middels utløp	75	27°
Lange utløp	95	23°

De automatisk genererte kartene er ment for friluftsbruk, og skal gjøre det enklere å identifisere de mest skredutsatte områdene. Halvparten av skredene vil gå forbi grensen for korte utløp, 1 av 4 skred vil gå forbi grensen for middels utløp, mens 1 av 20 skred vil krysse grensen for lange utløp (NVE, u.å-b). En ulempe med kartene er at de enn så lenge ikke tar hensyn til om det er skog i området. Dermed vil større områder enn hva som er realistisk vurderes som skredutsatt (Larsen et al., 2018).

4.4.3 Energilinjemodellen

Energilinjemodellen er en grafisk modell, og såkalte energilinjer kan benyttes til å betrakte energien i et skred på veg nedover langs skredbanen (Norem, 2014). Körner (1980) var den første til å gjøre energibetraktninger av snøskred ved hjelp av energilinjer. Senere kom Norem (2014) med en metode for å bruke energilinjer til å estimere hastigheten og utløpslengden til snøskred. Tanken var å ta med noe av kunnskapen bak dynamisk modellering, men at de topografiske forholdene fremdeles skulle ha størst innvirkning på resultatet (Håland et al., 2015).

Snøskred kan betraktes som en flytende veske i en åpen kanal (Håland et al., 2015). I starten vil skredmassene ha en høy potensiell energi. På veg nedover skredløpet vil denne gå over til kinetisk energi etter hvert som hastigheten øker. Når skredet har stoppet opp, har alt av potensiell- og kinetisk energi gått over til varme. Denne varmen representerer energitapet langs skredløpet. Størrelsen av energitapet mellom to punkter langs skredbanen er gitt av forskjellen i energihøyden mellom de to punktene (se Figur 4.14).

Bernoullis likning sier at summen av potensiell energi, kinetisk energi og energitap er likt fra ett sted til et annet (Norem, 2014). Ved å benytte en form av denne kan man skrive de forskjellige energitypene i snøskred som energihøyder, og på den måten beskrive snøskredbevegelsen (Håland et al., 2015). Etter Norem (2014) kan energihøyden uttrykkes ved Likning 4.3.

Likning 4.3

$$H_e = H_z + H_k$$

hvor	$H_e =$	Energihøyden
	$H_z =$	Potensiell energi. Gitt av skredbanens stedshøyde i alle punkter
	$H_k =$	Hastighetshøyden

Hastighetshøyden H_k er gitt av Likning 4.4.

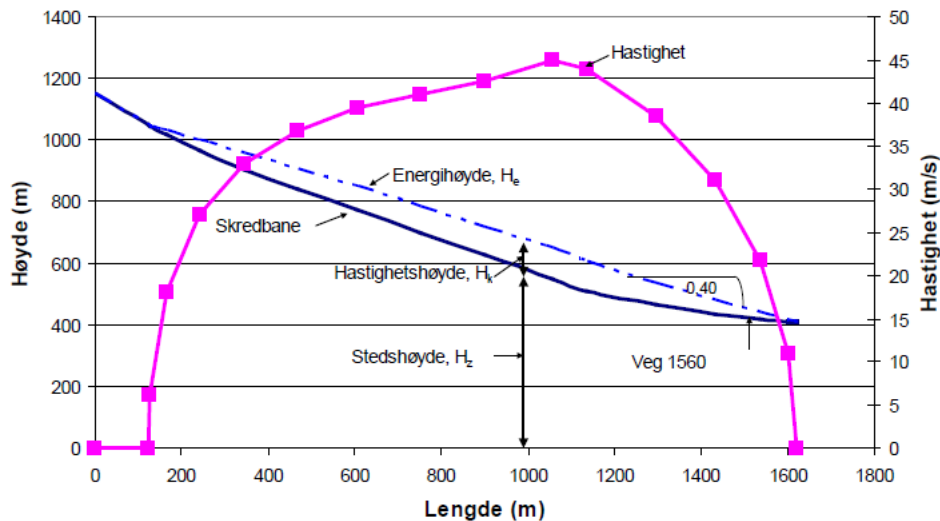
Likning 4.4

$$H_k = \frac{v^2}{2g}$$

hvor	$v =$	Hastigheten i hvert enkelt punkt langs skredbanen
	$g =$	Tyngdeakselerasjon (9,81 m/s ²)

Figur 4.14 viser beregnet skredhastighet og energihøyde for skredløpet Nakkefonn ved fv. 69 i Møre og Romsdal fylke. Hastighetene er beregnet med NIS-modellen. Hastighetshøyden og stedshøyden kommer tydelig fram i figuren. Energihøyden langs skredbanen danner energilinjen vist i lys blå farge.

Som nevnt er energitapet mellom to punkter langs skredbanen gitt av forskjellen i energihøyde mellom de to punktene. Hellingen av energilinjen vil dermed kunne si noe om energitapet langs skredbanen. En bratt energilinje tilsier at energitapet pr. lengdeenhet er stort, og motsatt ved en slakere energilinje. Dersom linjen er parallell med skredløpet vil hastighetshøyden H_k holdes konstant langs skredløpet. Dette indikerer at skredet har nådd sin terminalhastighet, altså maksimal hastighet. Ut fra Figur 4.14 kan man se at energitapet er noe lavere i den øvre delen av skredbanen hvor hastigheten øker, sammenlignet med de brattere delene av skredbanen hvor skredet har nådd sin terminalhastighet. Hellingen til energilinjen i utløpsområdet er på 0,4:1 (21,8°).



Figur 4.14: Høydeprofil av skredløpet Nakkefonn ved Rv70 i Møre og Romsdal med beregnet skredhastigheter og energilinje. Kilde: Norem (2014).

Etter sammenligning av hellingen til energilinjer for mange forskjellige skred hvor hastigheten er registrert, er det blitt beregnet en gjennomsnittlig helling av energilinjen på 0,4:1 i utløpsområdet. For spesielt store og sjeldne skred kan denne reduseres til 0,3:1. De undersøkte skredene er typiske 300-års skred (Norem, 2014). Sammenlignet med numeriske modeller som RAMMS:: Avalanche gir metoden relativt grove anslag. Metoden er derimot enklere i bruk, og setter mindre krav til brukerens skredfaglige kompetanse (Norem, 2014).

4.4.4 RAMMS:: Avalanche – Dynamisk modellering av snøskred

Håland et al. (2015) har gjennomført en studie hvor de undersøker hvilke dynamiske og empiriske modeller som er best egnet for norske snøskred. Resultatet av studien var at RAMMS:: Avalanche (Rapid Mass Movements Simulation) (WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 2017) kom best ut av samtlige modeller dersom denne ble tilpasset norske klimaforhold. Programmet skal også være brukervennlig, med enkle løsninger for å visualisere resultatene i GIS-programvarer (Bartelt et al., 2017). Med bakgrunn i dette er det valgt å benytte RAMMS:: Avalanche, heretter kalt RAMMS, i de dynamiske modelleringene for snøskred.

RAMMS er et todimensjonalt numerisk skredmodelleringsverktøy for snøskred utviklet av WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF (2017) i Sveits. Programmet beregner 2-dimensjonale hastighetsvektorer og massebevegelsen langs skredbanen over en tredimensjonal terrengmodell. Det blir gjort beregninger av utløpslengde, flyte høyde, skredhastighet og skredtrykk langs hele skredbanen (Bartelt et al., 2017).

Sammenlignet med en 1D modell tar modellen hensyn til spredningen av skredmassene. Den vil også i ta hensyn til skredsikringstiltak som fangdammer og ledevollers innvirkning på skredmassen (Bartelt et al., 2017).

Moderne skredsimuleringsprogrammer som RAMMS er basert på generell hydraulisk teori, og sammenligner snømassene som raser nedover en fjellside med en ikke-newtons væske

(Håland et al., 2016). En ikke newtons væske en væske der viskositeten er avhengig av skjærhastigheten (Helseth, 2020). Det er en forenkling av virkeligheten å betrakte snøskred som et hydraulisk materiale, da de i virkeligheten beveger seg som en blanding av et fast stoff, væske og en gass samtidig (Norem, 2014)

RAMMS er basert på Voellmy-Salm-væske-friksjonsmodellen. Friksjonsmotstanden deles inn i to deler. Disse bestemmer flyteegenskapene til skredet. Første del er en Coulomb tørr friksjon, μ (μ), som beskriver friksjonen som oppstår som følge av den harde delen av skredet, og øker med normalkraften. Coulomb-friksjonen dominerer når hastigheten er lav, altså i starten av skredbevegelsen, og rett før skredet stopper (Bartelt et al., 2017; Håland et al., 2015). I følge Bartelt et al. (2017) kan μ uttrykkes som tangenten til snøens interne friksjonsvinkel. Denne er avhengig av snøens vanninnhold, noe også coulomb-friksjonen μ er (Bartelt et al., 2017).

Den andre delen beskriver den hastighetsavhengige friksjonen som følger av viskøse og turbulente krefter. Den turbulente friksjonskoeffisienten uttrykt ved ξ (ξ) er avhengig av hastigheten i kvadrat. Den er dominerende lengre ned i skredbanen hvor hastigheten er stor. Terrengruheten inngår også i den turbulente friksjonskoeffisienten, og den vil ha betydning for hvordan skredet påvirkes av terrenget langs skredbanen (Bartelt et al., 2017; Håland et al., 2015). Den turbulente friksjonskoeffisienten blir derfor omtalt som en skjærmotstand mot underlaget. En ru overflate vil gi en høyere skjærmotstand sammenlignet med en glatt overflate (Bartelt et al., 1999).

Den totale friksjonen S (Pa) kan da uttrykkes ved Likning 4.5 (Bartelt et al., 2017):

Likning 4.5

$$S = \mu N + \frac{p g v^2}{\xi} \quad \text{Hvor } N = p h g \cos \alpha$$

Hvor	N = Normalkraft
	p = Tettheten av skredet
	h = Skredets flyte høyde
	g = Tyngdeakselerasjon
	α = Helningen til skredbanen
	v = Skredets hastighet

RAMMS tar også høyde for kohesjon mellom snøpartiklene (Bühler et al., 2014). En økt kohesjon vil føre til et større energitap langs skredbanen, og kohesjonen øker ved høyere temperaturer. Den vil derfor ha mest å si for våte snøskred (McClung & Schaerer, 2006). Det er kohesjonen i snømassen som fører til at skredmassene klumper seg, og avsettes i hauger i utløpsområdet. Øket verdi vil dermed føre til en smalere skredtunge og en kortere skredavsetning (Bühler et al., 2014). Dersom kohesjonen ikke tas høyde for vil skredmassene

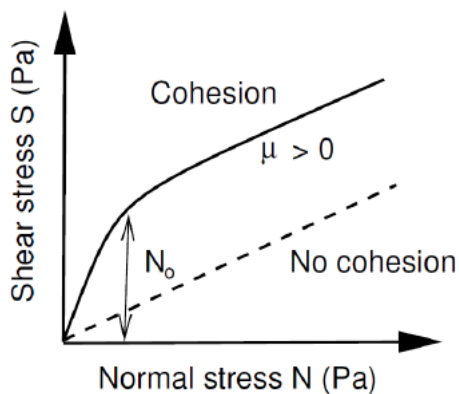
ha en tendens til å spre seg utover, spesielt ved lave hastigheter, og bredden og utløpslengden av de simulerte avsetningene overdrives (Bühler et al., 2014; Håland et al., 2015). Enheten oppgis i Pascal, og Bühler et al. (2014) foreslår en kohesjon på 0-100 Pa for tørre snøskred, og 100-300 Pa for våte snøskred. I Likning 4.6 er kohesjonen N_0 inkludert i Voellmy-Salm-modellen. Den totale friksjonen S blir da (Bartelt et al., 2017):

Likning 4.6

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

hvor $N =$ Normalkraft
 $N_0 =$ Kohesjon

Figur 4.15 viser det lineære forholdet mellom normalspenningen og skjærspenningen i et snødekke uten kohesjon, ved den stiplede linjen. Svart heltrukket linje viser det ikke-lineære forholdet med en økt skjærspenning dersom man tar hensyn til kohesjonen. Ved lave normalspenninger (et tynt flytelag) vil skjærspenningen raskt gå fra $S = 0$ til $S = N_0$, for deretter å stige med friksjonskonstanten μ (Bartelt et al., 2017). Dette fører til kortere utløpslengder dersom man tar hensyn til kohesjonen.



Figur 4.15: Forholdet mellom Normalspenningen og skjærspenningen i et snødekke med og uten kohesjon. Kilde: Bartelt et al. (2017).

Sentrifugalkraften som oppstår som følge av kurvaturen i terrenget er også regnet inn i normalkraften, og er avhengig av skredets hastighet og terrengets kurvatur i alle retninger. I kupert terreng, og på veg ned mot dalbunnen, vil dette normalt føre til økt friksjon. Ved konvekse terrengformasjoner vil friksjonen reduseres, og i noen tilfeller spres skredmassene utover (Bartelt et al., 2017).

Hastighetsmålinger av snøskred viser at Voellmy-Salm modellen gjør relativt nøyaktige beregninger av flytehyde og hastighet i fronten av skredet, men at modellen sliter med å

beregne endringen i hastighet bakover i skredet (Christen et al., 2010). Hastighetsgradienten styrer fordelingen av masser innad i skredet. Denne påvirker skredets evne til å akkumulere snø på veg nedover skredbane, og fører til at Voellmy-Salm modellen alene ikke klarer å ta hensyn til medrivning av snømasser på en god måte (Christen et al., 2010).

RAMMS benytter derfor også en modell kalt «the random kinetic energy» (RKE). RKE kommer av at partiklene i et snøskred beveger seg i alle retninger, og ikke kun i skredets bevegelsesretning. RKE-modellen kobler kinetisk energi opp mot parameterne i Voellmy-Salm-modellen. Dermed tar Voellmy-Salm-modellen hensyn til at hastigheten og energien er høyere i fronten av skredet sammenlignet med lengre bak (Christen et al., 2010).

Kombinasjonene av de to modellene bidrar til et forbedret resultat ved beregningene av hastighet, volumøkning og avsetning av skredmassene (Håland et al., 2015).

Videre kan man i RAMMS definere områder langs skredbanen hvor erosjon og medrivning av snømasser skal forekomme. Dette tillates ved at RAMMS benytter en historieavhengig tilnærming hvor de antar at snødekket på bakken knuses og fragmenteres i kontakt med skredet. Videre blir massene plukket opp av skredet og satt i bevegelse (Christen et al., 2010). Hastigheten av fragmenteringen er avhengig av skredhastigheten og blir da den effektive medrivning-raten (Håland et al., 2015). Dermed kan RAMMS regulere masseopptaket og tiden det tar å akselerere de eroderte massene til skredhastigheten.

4.4.4.1 Valg av friksjonsparameterne μ og ξ

I RAMMS kan man velge om man vil benytte konstante eller variable friksjonsparametere. Verdien for μ ligger mellom 0,14 – 0,47 og ξ varierer mellom 900-4000 (Håland et al., 2015). Dersom man velger konstante friksjonsparametere og definerer verdier for μ og ξ som benyttes langs hele skredbanen, vil modellen ikke ta hensyn til terrengformasjoner som gjel, undulasjoner og skog (Bartelt et al., 2017). Bartelt et al. (2017) foreslår derfor at man benytter variable friksjonsparametere.

RAMMS har da 16 forskjellige standardverdier for μ og ξ som varierer etter fire faste intervaller for returperiode og skredstørrelse. Disse bestemmes av brukeren (Buhler et al., 2018). Tabell 4.9 etter Buhler et al. (2018) viser en oversikt over de 16 forskjellige standardverdiene og hvilke skredstørrelser og returperioder de tilhører.

Tabell 4.9: Sammendrag av standardverdiene for friksjonsverdiene μ og ξ som en funksjon av skredstørrelser og returperiode. Kilde: Buhler et al. (2018).

	300-year	100-year	30-year	10-year
Large (>60,000 m ³)	μ : 0.14- 0.30 ξ : 1200- 4000	μ : 0.15- 0.315 ξ : 1200- 4000	μ : 0.155- 0.33 ξ : 1200- 4000	μ : 0.16- 0.345 ξ : 1200- 4000
Medium (25,000- 60,000 m ³)	μ : 0.17- 0.36 ξ : 1100- 3250	μ : 0.18- 0.37 ξ : 1100- 3250	μ : 0.19- 0.38 ξ : 1100- 3250	μ : 0.20- 0.39 ξ : 1100- 3250
Small (5,000- 25,000 m ³)	μ : 0.215- 0.40 ξ : 1000- 2500	μ : 0.225- 0.41 ξ : 1000- 2500	μ : 0.23- 0.42 ξ : 1000- 2500	μ : 0.24- 0.43 ξ : 1000- 2500
Tiny (<5,000 m ³)	μ : 0.26- 0.44 ξ : 900- 1750	μ : 0.265- 0.45 ξ : 900- 1750	μ : 0.27- 0.46 ξ : 900- 1750	μ : 0.275- 0.47 ξ : 900- 1750

Videre beregner RAMMS endelige friksjonsparametere for deler av skredbanen basert på en analyse av terrengmodellen (Buhler et al., 2018). Friksjonsparameterne er basert på (Bartelt et al., 2017):

- Topografien (helningsvinkel, høyde over havet og kurvatur)
- Skredets gjentakintervall (300, 100, 30 eller 10 år)
- Skredvolum (stort, medium, lite, veldig lite)
- Eventuell skog i området

Eksempelvis vil friksjonen øke når skredet presses gjennom et gjel, sammenlignet med en åpen flanke.

Snøen vil endre seg med høyden, og snøen i et høyereliggende terreng er normalt tørrere med en lavere intern friksjon. En høydejustering (moh.) inngår derfor i bestemmelsen av friksjonsparameterne, og fastsetter i hvilke forskjellige deler av skredløpet de forskjellige friksjonsparameterne skal gjelde. Denne kan justeres etter klimatiske forhold (Håland et al., 2015). I RAMMS er dette høydeintervallet forhåndsinnstilt. Høydejustering 1: 1500 m, og høydejustering 2: 1000 m, da disse innstillingene representerer klimaet i Sveits bra (Bartelt et al., 2017). Ifølge Håland et al. (2015) er klimaet i Norge kaldere, og vi kan forvente tørrere snø i lavere land. Ved tørrere snø vil den interne friksjonen reduseres. Med bakgrunn i dette og flere simuleringer av kjente skredhendelser i Norge, foreslår de en justering av høydeintervallet etter skoggrensen i området. Videre foreslår de et intervall på 500 m mellom de to høydenivåene. Skoggrensen er valgt siden denne er tilpasset klimaet, og er et objektivt kriterium.

Dersom man bruker varierende friksjonsparametere, er det viktig å være klar over at RAMMS kun justerer friksjonsparameteren μ dersom man endrer returperiode for skredet. Dersom man endrer skredets størrelse (volum), vil både μ og ξ endres. Tabell 4.10 etter

Buhler et al. (2018) viser variasjonen i utløpslengde langs skredløpet Mannix i Canada ved varierende inngangsparametere for skredets returperiode og størrelse. Ved å sammenligne de horisontale kolonnene kan man se forskjellen i utløpslengde ved variasjon av returperiode. De vertikale kolonnene viser variasjon i utløpslengde ved variasjon i skredets størrelse. Tabellen viser at en endring i skredets størrelse har størst betydning for utløpslengden. Ifølge Buhler et al. (2018) vil utløpslengden øke med 12 m i gjennomsnitt ved ett intervall økning i skredets returperiode (eksempelvis fra et 10-års skred til et 30-års skred). Tilsvarende vil utløpslengden i snitt øke med 49 m ved ett intervall økning i skredstørrelse. Verdiene er basert på modelleringer i 15 forskjellige skredløp i Canada.

Tabell 4.10: Tabellen viser utløpslengden for et bestemt skredløp som en funksjon av returperioden og skredvolumet. Kilde: Buhler et al. (2018).

Runout distance (m)	300-year	100-year	30-year	10-year
Large	2230	2209	2200	2189
Medium	2165	2158	2150	2144
Small	2123	2121	2118	2112
Tiny	2108	2100	2094	2088

4.5 Klimadata fra SeNorge.no

Figur 3.3 og Figur 3.6 i kapittel 3.5, Historisk klima, er hentet fra tjenestene AV-Klima.herokuapp.no (Aalbu, 2021) og SeNorge.no (2021). AV-Klima benytter seg av griddede data fra SeNorge.no. SeNorge leverer oppdatert og interpolert vær og klimadata fra Norge med en oppløsning på 1 km. Måleserien går fra 1957 og 9 dager frem i tid (Boje et al., 2018). Stasjonsnettverket består av automatiske og manuelle offentlige værstasjoner. Punktobservasjoner av observert nedbør og temperatur beregnes ved romlig interpolasjon. Hver tirsdag og torsdag oppdateres kartene for de siste 18 dagene hvor ettersendte observasjoner blir tatt med i beregningen (Boje et al., 2018).

Kartet for middeltemperatur i SeNorge er utarbeidet fra observerte lufttemperaturer fra ca. 230 målestasjoner rundt om i Norge. Verdiene interpoleres til å dekke alle gridceller i kartet, og er basert på Bayesisk metode hvor prior-informasjonen (dvs. bakgrunnsfeltet) beskriver storskala-situasjonen i atmosfæren (Boje et al., 2018). De griddede dataene tar også høyde for temperaturen i høyden (Boje et al., 2018).

De gridbaserte nedbørsdataene stammer fra observasjoner fra ca. 400 målesteder. Nedbørsverdiene interpoleres uten korreksjon for oppfangingsvikt for observasjoner, og interpolasjonsmetoden som benyttes er basert på Bayesisk statistikk, en statistisk metode for å behandle data preget av usikkerhet og variasjon (Bjørnstad, 2017; Boje et al., 2018).

Snøkartene i SeNorge er fremstilt ved hjelp av den svenske HBV-modellen fra 1970-tallet. Modellen tar utgangspunkt i temperatur- og nedbørskart. Dersom det kommer nedbør ved temperaturer kaldere en 0,5 °C vil modellen registrere nedbøren som snø. Ved varmere temperaturer registreres nedbøren som regn. Dersom den døgnlige snittemperaturen er

høyere enn 0 °C i etterkant av et snøfall, vil modellen tolke dette som at snøen smelter. Fuktigheten i snøpakken øker, og ved en gitt terskelverdi vil vannet i snøpakken begynne å dreneres ut (Engeset, 2018).

Vinddata stammer fra værmodellen Meps med 2,5 km oppløsning. Dataserien er fra 2018, og dataserien er derfor relativt kort. Det kan derfor være usikkerhet knyttet til vinddataene fra SeNorge.

5 Tidligere arbeid i området

I forbindelse med planleggingen av Rv15 (1970-1980) ble det lagt ned mye arbeid i å få en oversikt over skredforholdene i Grasdalen og det nærliggende området. Grasdalen ble patruljert ukentlig til fots eller med helikopter over en to-års periode. Værforholdene, klimaet og skredløpene i dalen var av interesse da det var usikkert om vegtraseen kunne ligge i dagen oppover Grasdalen. Snømengdene var store, og det ble målt opp til 5 m snødybde i enkelte områder. I periodene med kraftig nedbør og vind gikk det hyppige skred i dalføret. Det ble planlagt en varslingstjeneste som til enhver tid skulle melde om skredforholdene i området. Mulige skredsikringstiltak som skredoverbygg og bremsekjegler ble også vurdert (Carlsby, u.å).

I 1973 ble det utført to forsøk på kunstig utløsning av skred ved hjelp av bombekaster og forhåndsutlagt sprengstoff (Larsen, 1973a, 1973b). Hensikten var å undersøke om det var mulig å utløse snøskred kunstig under trygge omstendigheter, og på den måten redusere snøskredfaren langs den planlagte helårsvegen gjennom Grasdalen.

I forkant av vinteren 1972-73 var det plassert to separate ladninger med sprengstoff i toppen av skredløpet Ryggfonn. Formålet var å utløse skred langs skredløpet ved å skyte ned den ovenforhengende snøskavlen som dannes i løpet av vinteren. Den 5-6 m tykke snøskavlen ble skutt ned og utløste et større flakskred. Skredet krysset dalbunnen, og snøskya gikk langt opp i dalsiden på motsatt side. Samme forsøk ble utført i juni måned. Den 4 m tykke skavlen utløste et mindre våtsnøskred. Metoden ble ansett som effektiv på tørr vintersnø, men en fjernstyrt utløsermekanisme viste seg å være nødvendig (Larsen, 1973b).

Samme år ble det utført forsøk med bombekaster som var en mye benyttet metode for utløsning av snøskred i utlandet. Det ble benyttet granater med nærhetsbrannrør som skulle sørge for at granaten sprengte rett ovenfor snøoverflaten. Det ble konkludert med at metoden fungerte greit ved avstander opp til 2000 m. Ved større avstander hadde de problemer med detoneringen av granatene, og antallet blindgjengere ble et problem. Granatene var også kostbare (Larsen, 1973a).

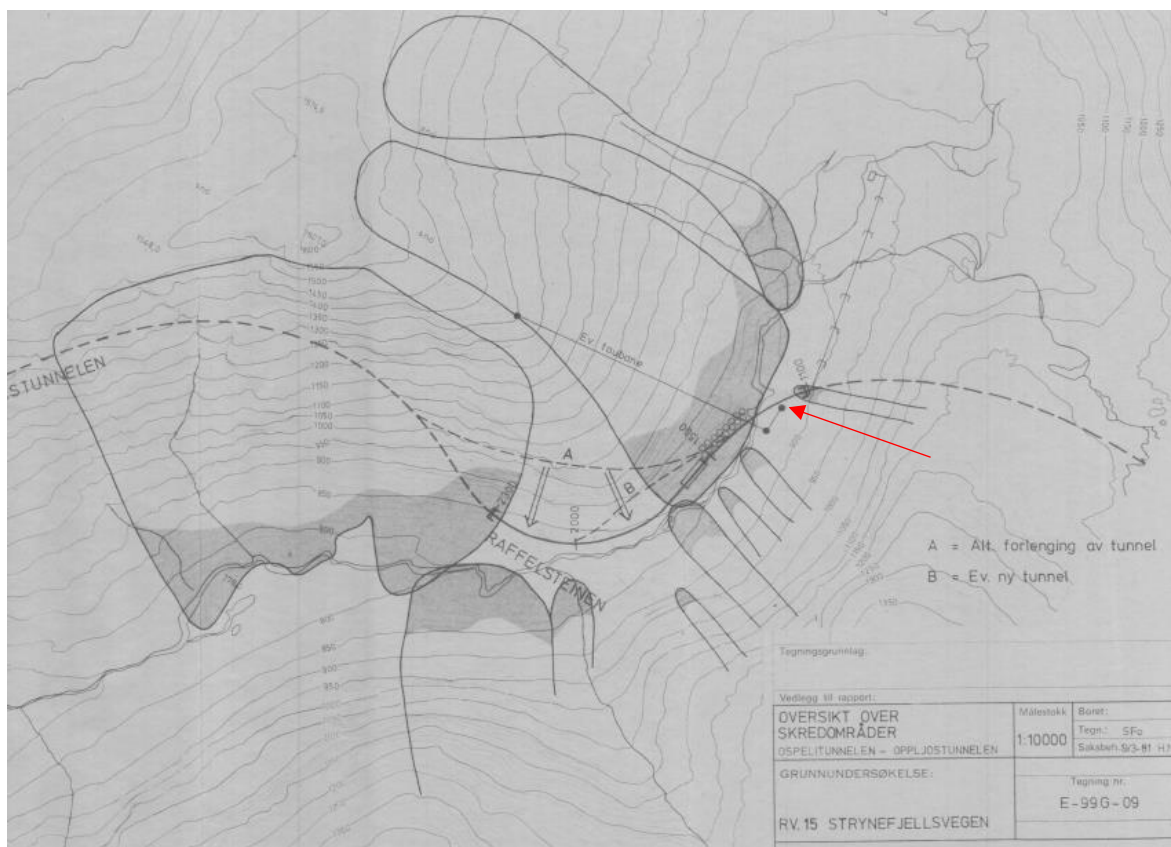
Norges geotekniske institutt (NGI) bygget i 1973 skredforskningsstasjonen Fonnbu i Grasdalen. På denne tiden var det ikke veiforbindelse hit, og de måtte derfor kjøre snøscooter fra Grotli for å nå stasjonen de første årene. Krister Kristensen ved NGI fikk ansvaret for å drifte stasjonen. Med seg hadde han en gruppe skredforskere. Sammen skulle de danne snøskredfaget i Norge. Undersøkelser av snø og værforhold som fører til skred, kartlegging av skredterreng i Stryn, snøens mekaniske egenskaper, krefter i snøsig og kunstig utløsning av skred med eksplosiver var temaer av interesse (Lied, 2018). Frem til i dag har NGI produsert daglige snøskredvarsel vinteren igjennom for Grasdalen og Rv15 (NGI, u.å-a).

I 1980 etablerte de fullskalaforsøksfeltet Ryggfonn som fremdeles per i dag er i drift. Forsøksfeltet befinner seg på sørsiden lengst vest i Grasdalen. Skredløpet er utstyrt med høye master og en betongkloss med påmonterte lastceller, geofoner og LED-sensorer som logger fortløpende nedover langs skredbanen. I skredutløpet er det bygget en 15 m høy og 100 m lang fangvoll. Også denne er utstyrt med sensorer. Løsneområdet er utstyrt med et Wyssen-tårn og vindavvisere som muliggjør fjernutløsning av skred ved ustabile snøforhold. Ved slike tilfeller overvåkes skredet ved hjelp av en doppler-radar og lasermålinger fra fjelltoppen på andre siden av dalen (NGI, u.å-b). Dataene herfra skal gi en bedre forståelse av bevegelsene, fysikken og dynamikken i skred, samt hastigheter og trykkvirkningene av disse. Dette kan igjen brukes til å forbedre dynamiske snøskredmodeller og skredsikringstiltaks innvirkning på skredmassene (Lied, 2018).

Fire år etter at Strynefjellsvegen åpnet for bilister, i 1981, publiserte Norem (1981) en rapport fra vegdirektoratet. Rapporten omhandlet skredproblemene langs vegstrekningen fra Jøl bru til Grotli, og forslag til sikring av denne. Det var registrert 9 partier hvor snøskred hadde gått over eller delvis over vegen. Mest utsatt var området mellom Grasdaltunnelen og Oppljostunnelen. Figur 5.1 viser de kartlagte skredløpene i forbindelse med planleggingen av vegen. Tunnelportalen i øst-enden av Grasdaltunnelen var bygget 15 m kortere en foreslått i detaljplanen. Her gikk det to skred over vegen vinteren 80/81. Dersom tunnelportalen hadde vært bygd etter detaljplanen ville skredproblemet antagelig være løst ifølge Norem (1981). Også skredoverbygget var 160 m kortere en foreslått i detaljplanen. Her gikk det tre store og noen mindre skred over vegen på vestsiden av overbygget i løpet av de fire første årene vegen var åpen. Norem (1981) foreslo derfor å forlenge skredoverbygget med 100 m, eller klargjøre for kunstig utløsning ved hjelp av sprengstoff.

På nordsiden av skredoverbygget, ved bremsekjeglene gikk det tre skred over vegen vinteren 80/81. Norem (1981) anslo at skred her vil krysse vegen mellom hvert tredje og femte år, og foreslo at skredene kunne utløses kunstig ved hjelp av forhåndsplassert sprengstoff eller en taubane som fraktet sprengstoffet opp (Norem, 1981). Taubanen vist i Figur 5.1 ble på et tidspunkt bygd og tatt i bruk. Få år senere ble den tatt av et snøskred fra Sætreskarsfjellet (K. Kristensen, pers. kom. 8. November 2021). En forlengelse av skredoverbygget retningen NØ vil vært svært kostbart, siden vegen ligger på fylling. Omfattende grunnarbeid ville vært nødvendig dersom skredoverbygget skulle tåle de horisontale trykkreftene til skredet (Norem, 1981).

Vinteren 1981 var en snørik vinter. Også tunnelportalen på vestsiden av Oppljostunnelen ble rammet av skred dette året (Norem, 1981). Kun 15 av de planlagte 50 m av tunnelportalen var bygget, og skredet sperret vegen langs en 20-30 m lengde. Norem (1981) foreslo at tunnelportalen burde hatt en total lengde på 30 m. Videre viste han til at dersom denne lengden ble redusert, burde det bygges en mur som kunne lede eventuelle skredmasser bort fra vegbanen.



Figur 5.1: Skredområder i Grasdalen kartlagt i forbindelse med planlegging av vegen (Norem, 1981). Figuren viser også forslag til plassering av taubane med tilhørende vinsjhus (rød pil).

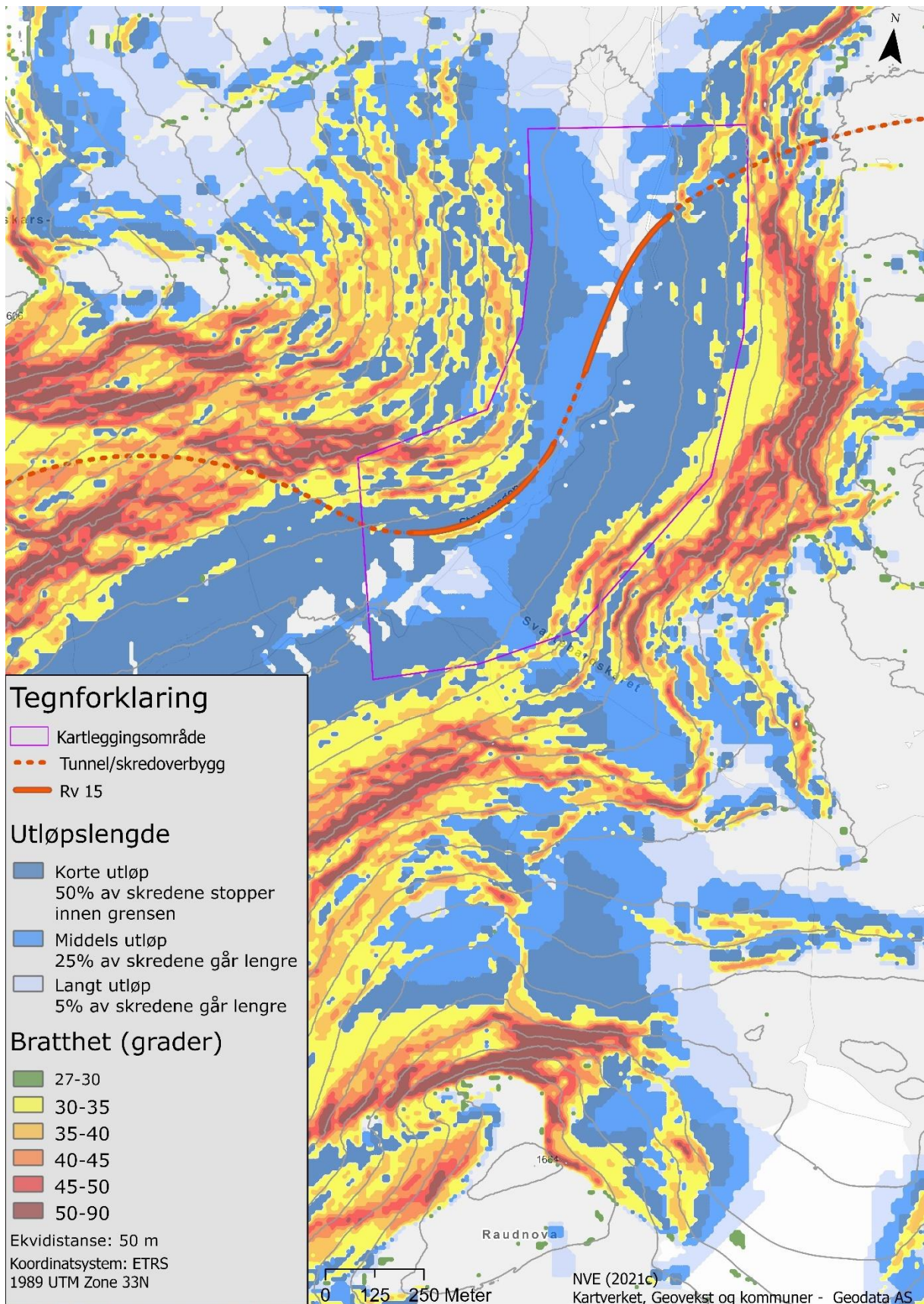
Det er ingen tidligere skredfarevurderinger innenfor kartleggingsområdet eller av områder i umiddelbar nærhet (Kartverket et al., u.å).

5.1 Aktsomhetskart

I 2009 og 2010 utarbeidet NGU landsdekkende aktsomhetskart for snøskred på bestilling fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Aktsomhetskart for snøskred (NVE, 2021a) viser at hele kartleggingsområdet ligger innenfor aktsomhetsområdet.

5.2 Bratthet- og utløpsområdekart

Figur 5.2 viser bratthet- og utløpsområdekartet (NVE, 2021c) over kartleggingsområdet.



Figur 5.2: Bratthet- og utløpsområdekart for kartleggingsområdet. Kilde: Modifisert etter NVE (2021c).

5.3 Eksisterende skredsikringstiltak

Grasdaltunnelen: I etterkant av Norem (1981) sin rapport har tunnelportalen på østsiden av Grasdaltunnelen blitt utvidet til en samlet lengde på ca. 55 m, som følge av problemer med snøskred i vegbanen. Dette ble trolig gjort på 80- til 90-tallet. I etterkant av forlengelsen er det usikkert om det har gått store skred ned i vegbanen i direkte tilknytning til portalen (G. Skjåk, pers.kom. 20. oktober 2021 & K. Kristensen, 8. november 2021).

Skredoverbygg: Vestsiden av skredoverbygget er forlenget med 100 m, og det går i dag ofte skred over det 200 m lange skredoverbygget. Disse treffer sjeldent vegbanen sør for overbygget. I de tilfellene dette har skjedd, har det vært mindre skred, med rundt en meter tykke avsetninger i vegbanen. Ved den nordlige enden av skredoverbygget krysser skredmassene vegen med jevne mellomrom (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2021).

Bremsekjegler: Ved skredoverbyggets utgang i øst er det plassert 16 bremsekjegler fordelt på to rader på nordsiden av vegen. Kjeglene ble bygd i 1979, har en diameter på mellom 20 og 22 m (Carlsby, u.å). De åtte meter høye bremsekjeglene har liten bremsende effekt på snøskredene, særlig på tørre snøskred. Våte snøskred på vårparten passerer også bremsekjeglene, og det kan ligge 5-7 m snø i området (K. Kristensen, pers. kom. 8. november 2021).

Oppljostunnelen: Tunnelportalen er forlenget med 25 m, og det ble i 1979 støpt en ti m høy fangkant (målt fra vegbanen) ovenpå tunnelen (se Figur 7.4) (Carlsby, u.å). Denne snør delvis ned i løpet av vinteren. Det er usikkert om det har gått skred i vegen etter at tunnelportalen ble forlenget (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2022).

Forebyggende skredkontroll: Ved behov og ved ustabile snøforhold utfører Mesta AS forebyggende skredkontroll fra Sætreskarsfjellet ved hjelp av forhåndsplassert sprengstoff². Bilvegen stenges for trafikanter, og snøskred utløses kontrollert ved hjelp av sprengstoff. I perioden 2014-2020 ble det utløst 33 snøskred fra Sætreskarsfjellet og langs skredløpet Ryggfonn på denne måten (Humstad et al., 2021). Metoden fungerer bra med tanke på utløsning av skred ved ustabile forhold, men også som en indikasjon på et stabilt snødekke i de tilfellene skred ikke utløses. Metoden begrenses av det fastlagte antallet forhåndsplasserte sprengladninger i løpet av en sesong, samtidig som den etterlater seg relativt store spor i terrenget over tid.

Det er ikke registrert noen skredsikringstiltak innenfor området i NVE Atlas (NGU et al., u.å).

5.4 Eksisterende måle- og deteksjonsinstrumenter

SVV har i dag ett infralydanlegg, seks webkameraer og en værstasjon i Grasdalen, samt tre webkamera og en værstasjon i Breiddalen. Infralydanlegget detekterer kontinuerlig og rapporterer automatisk inn snøskredaktivitet i området til NVEs regionale varslingstjeneste

² Nøyaktig posisjon av sprengladninger vil ikke offentliggjøres med hensyn til krav fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

via Regobs-plattformen (regobs.no). Infralydanlegget ble i 2014 montert i bunnen av dalen, midt mellom Raudnova og Sætreskarsfjellet. I 2017 ble anlegget flyttet og plassert på sørsiden av vegen mellom rasoverbygget og Oppljostunnelen (Humstad et al., 2021).

På Kvitnova, 1400 moh. er det montert et webkamera som kan fjernstyres. Kameraet driftes av SVV, og tar bilder hver time av Raudnova, Grasdalen og Sætreskarsfjellet. Dette muliggjør observasjoner av tidligere skredhendelser dersom det er dagslys og god sikt. Kameraet er spesielt nyttig ved skreddeteksjoner fra infralydanlegget, da det gjør det mulig å verifisere skredene visuelt, og samtidig kontrollere påliteligheten til infralydanlegget. De fem resterende webkameraene i Grasdalen er plassert langs vegen mellom Grasdaltunnelen og Oppljostunnelen. Kameraene er tilgjengelig gjennom nettsidene til SVV (u.å). Værstasjonen er plassert ved webkameraet på Kvitnova og måler temperatur, vind og nedbør. Værstasjonen i Breiddalen er plassert rett øst for Oppljostunnelen og måler temperatur, vind og nedbør (Meteorologisk institutt2021a).

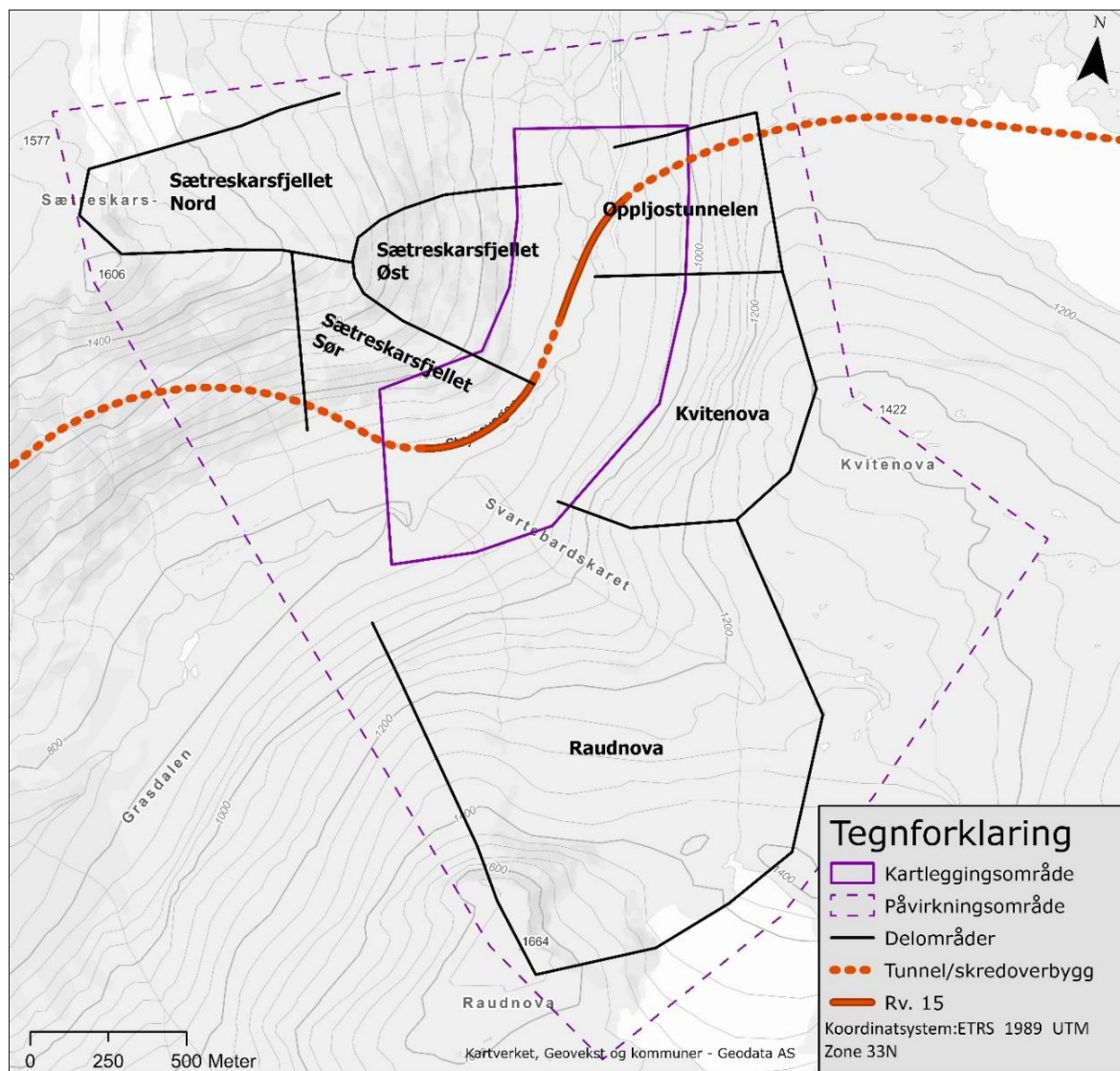
På NGIs forskningsstasjon Fonnbu er det også en værstasjon som blant annet måler temperatur, nedbør, vind, snødybde og snøtetthet.

6 Metode

Metoden for skredfareutredningen følger NVE (2020b) sin veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng. Faresonene for skred i området relateres til SVV (2021) sine krav til sikkerhet mot skred i Håndbok N200. Tabell 4.1 viser sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg (SVV, 2021). Ifølge vegkart.no er den årlige døgntrafikken (ÅDT) i Grasdalen beregnet til 1000 kjøretøy i 2019. Dette gir en akseptabel sannsynlighet for skred langs strekningen lik 1/50 per km per år. I eldre utgaver av Håndbok N200 ble det i tillegg til akseptabel skredsannsynlighet (bør-krav) operert med en tolererbar skredsannsynlighet (skal-krav). Ifølge den eldre utgaven av Håndbok N200 (SVV, 2018) ville tolererbar skredsannsynlighet langs strekningen være lik 1/10 per km per år. På bakgrunn av dette relateres faresonene i oppgaven til en årlig sannsynlighet for skred lik 1/10 og 1/50 per km veg.

6.1 Kartleggingsområdets avgrensing

Kartleggingsområdet er avgrenset av det lilla polygonet i Figur 6.1. Det lilla stiplede polygonet viser påvirkningsområdet. Påvirkningsområdet er videre delt inn i forskjellige delområder avgrenset av svart heltrukket linje.



Figur 6.1: Lilla heltrukken linje: kartleggingsområdet. Lilla stiplet line: Påvirkningsområdet. De seks delområdene er navngitt og avgrenset av svart linje.

6.2 Forarbeid til feltarbeid

I forkant av feltarbeidet ble det gjennomført flere forberedelser, blant annet en gjennomgang og en analyse av tidligere skredhendelser, intervju av lokalkjente, samt forskjellige GIS-analyser. Disse vil bli videre forklart i dette delkapittelet

6.2.1 Historiske skredhendelser

Skred vil ofte gjenta seg i områder hvor det har gått skred tidligere. Historiske skred kan derfor gi en god indikasjon på skredfaren, og i noen tilfeller rekkevidden av skredene (NVE, 2020b; Taurisano, 2018). Følgende datagrunnlag tilknyttet historiske skred i Grasdalen er gjennomgått og analysert:

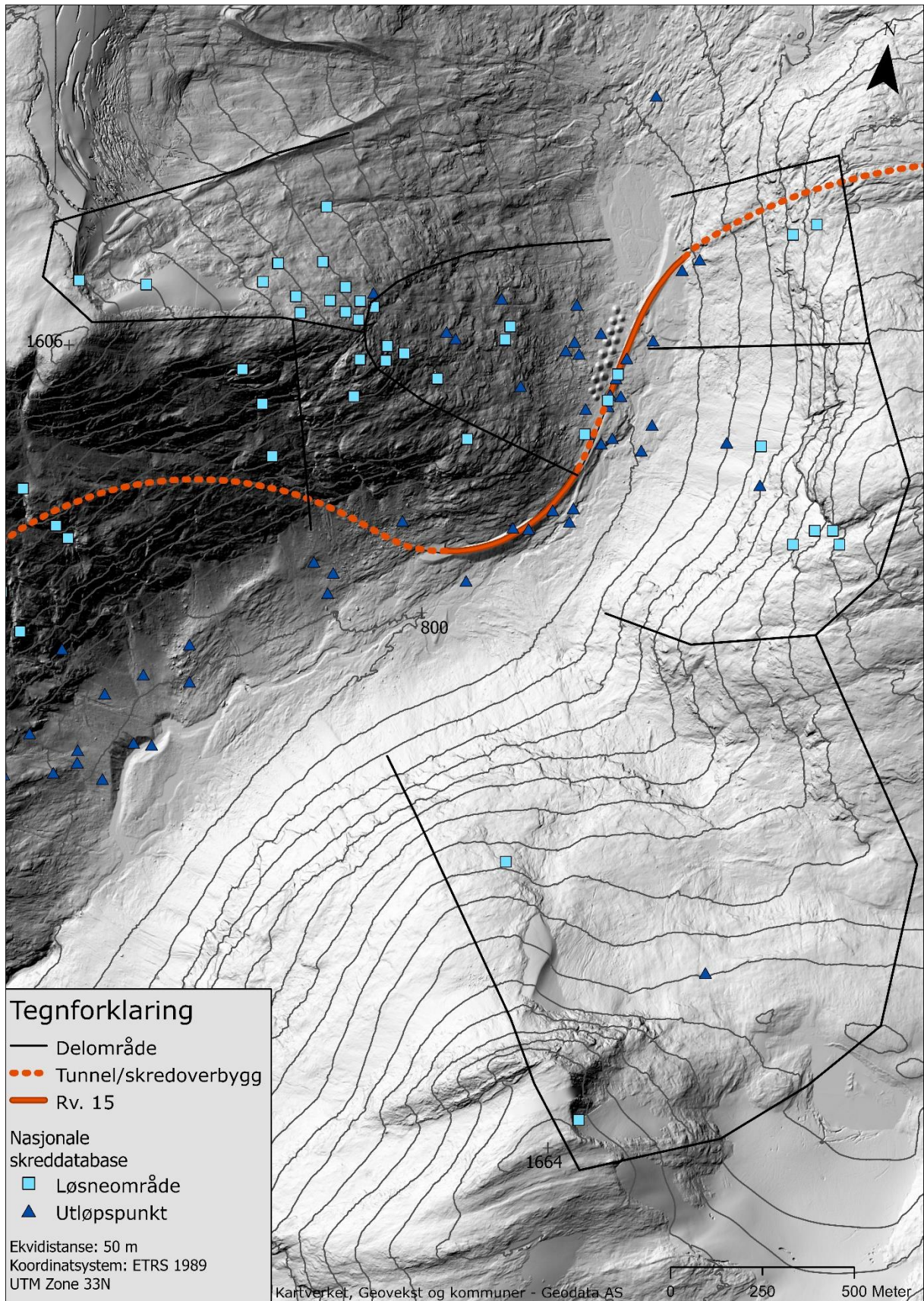
- Den nasjonale skredhendelsesdatabasen (NVE, 2021d)
- Bilder gjort tilgjengelig via Varsom Regobs (NVE, 2022a)
- Hendelser omtalt av Norem (1981) og Bakkehoi (1987)

I den nasjonale skreddatabasen er også snøskred detektert av SVVs infralydanlegg i Grasdalen registrert. Hendelsene innenfor påvirkningsområdet er systematisert ved å knytte dem til de forskjellige delområdene.

Det er imidlertid flere mangler ved registreringene. Noen av registreringene mangler løsnemråde/utløpsområde, er registrert flere ganger, har feil posisjon, eller mangler nyttige opplysninger (NVE, 2020b). Videre ligger interesseområdet langt fra bebyggelse og allmenheten. Det antas derfor at skred i området fra tiden før 1973 ikke har blitt dokumentert. Skredhendelser fra eldre kilder som bygdebøker og kirkebøker er derfor ikke gjennomgått.

Figur 6.2 viser plasseringen av løsnepunkter og utløpspunkter tilhørende skredhendelsene registrert i den Nasjonale skredhendelsesdatabasen (NVE, 2021d). Utløpspunktet er gitt av ytterste delen av flytelaget. Innenfor påvirkningsområdet er det registrert 433 individuelle snøskredhendelser. Enkelte av disse er registrert i samme punkt. Dette er grunnen til at det er færre enn 433 observasjoner markert i Figur 6.2. Mange av skredhendelsene er registrert flere ganger, og det er tydelig at noen av dem tilhører et annet område. Det er derfor foretatt en filtrering av dataene. Kun skredhendelser hvor beskrivelsen tilsier at registreringen er riktig, er vurdert.

Historiske flyfoto tilbake til 1958 fra Norge i bilder (2021) er også blitt studert for endringer i terrenget og avsetninger som kan tyde på tidligere skredaktivitet. Flyfoto fra 2012 og 2015 viser steinblokker avsatt ovenpå skredoverbygget i perioden. Under feltarbeidet er det observert mye snøskredavsetninger i området. Blokkene er markert i Figur 7.3, og tolkes til å være avsatt av snøskred.



Figur 6.2: Historiske snøskred fra den Nasjonale skredatabase. Det er tre feilregistrerte løsneområder markert på Rv15 ved skredoverbygget. Ifølge skredregistreringen løsnet disse 50-200 høydemeter over vegen, mest sannsynlig fra Sætreskarsfjellet Øst. Kilde: NVE (2021d).

Videre presenteres det tre historiske skredhendelser som har ført til snøskred på veg.

Den 10.01.1983 gikk det et stort skred fra Sætreskarsfjellet under SV vindretning (NVE, 2021d). Skredet skal ha hatt en utløpslengde på 750 m, og knust vinsjhuset (se Figur 5.1) som ble benyttet til å frakte sprengstoff opp til løsneområdene ved Sætreskarsfjellet Øst.

Den 09.03.1983, to måneder senere, er det registrert en ny stor skredhendelse i Grasdalen (NVE, 2021d). I dette tilfellet ble høyspentlinjen til Fonnbu tatt av skredet. Det er ikke bilder tilknyttet noen av registreringene, men i rapporten fra SVV (2012) finnes et bilde som kan stemme godt overens med beskrivelsen av skredhendelsen, vist i Figur 6.3.

Den 23.02.2020 ble det utløst et tørt flakskred med forhåndsplassert sprengstoff fra delområdet Sætreskarsfjellet Øst (NVE, 2022b). Ifølge registreringen på Regobs.no startet skredet på 1232 moh. og ble registrert med en skredstørrelse tre. Bruddkanten hadde en lengde på 150 m, og en mektighet på 100 cm. Skredet krysset Rv15 med en bredde på ca. 400 m. Den sørlige delen av skredet gikk over skredoverbygget, og krysset elven i bunnen av dalen. Figur 6.4 viser ett av to bilder tilhørende registreringen.



Figur 6.3: Stort skred fra Sætreskarsfjellet. Årstall er ukjent, men mulig i 1983. Legg merke til høyspentlinjen til Fonnbu. Kilde: SVV (2012).



Figur 6.4: Bilde av skredet som gikk fra Sætreskarsfjellet den 23.02.2020. Kilde: NVE (2022b).

6.2.2 Intervju av lokalkjente

Som en del av metoden ble Geir Skjåk intervjuet den 20.10.2021, og Krister Kristensen den 08.11.2021. Begge har god kjennskap til vinterforholdene og skredsituasjonen i Grasdalen. Under intervjuene ble det fokusert på løsneområder for snøskred, tidligere skredaktivitet i området, samt tidligere skredfaglig arbeid i tilknytning til området.

Geir Skjåk har kjørt brøytebilen langs Rv15 over Strynefjellet siden vegen åpnet i 1977, og har ved mange anledninger måtte åpne vegstrekningen etter at snøskred har hatt utløp på vegen.

Krister Kristensen startet sitt arbeid i Grasdalen i 1975. De første tre til fire årene bodde han på forskningsstasjonen Fonnbu, og var en av de seks ansatte i NGIs snøskredgruppe. Som nevnt tidligere var deres overordnede mål å danne snøskredfaget i Norge. Krister hadde blant annet i oppgave å drifte Fonnbu, kartlegge snøskred i distriktet, og logge værdata fra forskningsstasjonen (Lied, 2018). Han hadde lenge ansvaret for snøskredvarslingen for Rv15, og i dag er en han en av landets fremste eksperter innen snøskredfaget.

6.2.3 GIS-analyser

Programvaren ArcGIS Pro (Esri, 2021a) er benyttet for å utføre terrenganalyser og fremstilling av kartlayouts. Koordinatsystemet for kartene er satt til ETRS 1989, UTM-sone 33.

6.2.3.1 Digital terrengmodell

For videre bruk i GIS-analysene og skredsimuleringene i denne oppgaven er det lastet ned en digital terrengmodell (DTM) med en meters oppløsning fra Hoydedata.no (Kartverket, u.å). Denne er referert til som DTM_{NDH} .

Fra SVV er terrengmodeller fra den 31.01.2022 og 30.03.2022 tilgjengelig. Modellene inkluderer snøoverflaten på tidspunktene og har en oppløsning på en meter.

Terrengmodellen fra 31.01.2022 er blitt kombinert med DTM_{NDH} . Dette er gjort siden den snødekte terrengmodellen (DTM fra 31.01.2022) hadde for liten utstrekning til den videre bruken. Den kombinerte terrengmodellen vil videre bli referert til som $DTM_{Snø}$, og har en oppløsning på 1 m. Figur 6.5 viser et skyggerelieffkart av $DTM_{Snø}$ hvor utstrekningen av den snødekte delen kommer tydelig frem.

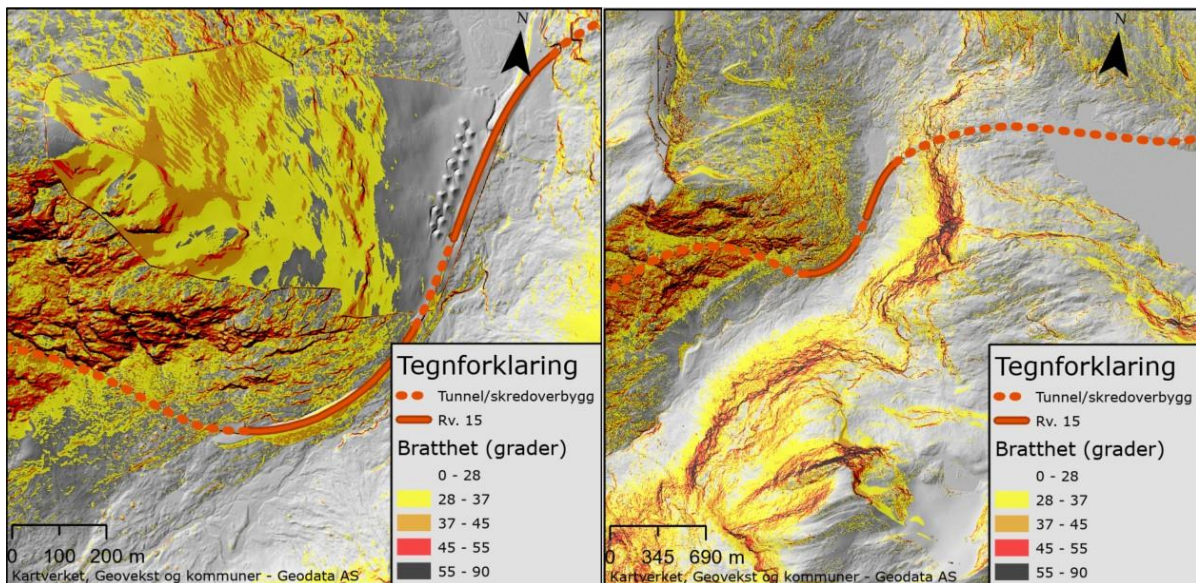


Figur 6.5: Skyggerelieffkart av $DTM_{Snø}$ med 1 m oppløsning. Den snødekte delen av terrengmodellen kommer tydelig frem, da overflaten her er jevnere. Kilde: Kartverket (u.å).

6.2.3.2 Terrenganalyse

For å kunne identifisere mulige løснеområder for snøskred i forkant av feltarbeidet er det gjort en terrenganalyse etter Maggioni og Gruber (2003) hvor terrengets bratthet, plankurvatur og fallretning er av interesse.

Det er laget to helningskart med en og fem meters oppløsning basert på DTM_{NDH} (se vedlegg 2 og Figur 6.6). Det er også laget helningskart med en meters oppløsning basert på $DTM_{Snø}$, vist i Figur 6.6.

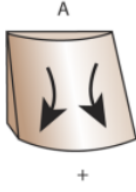
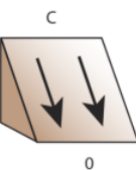
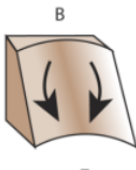


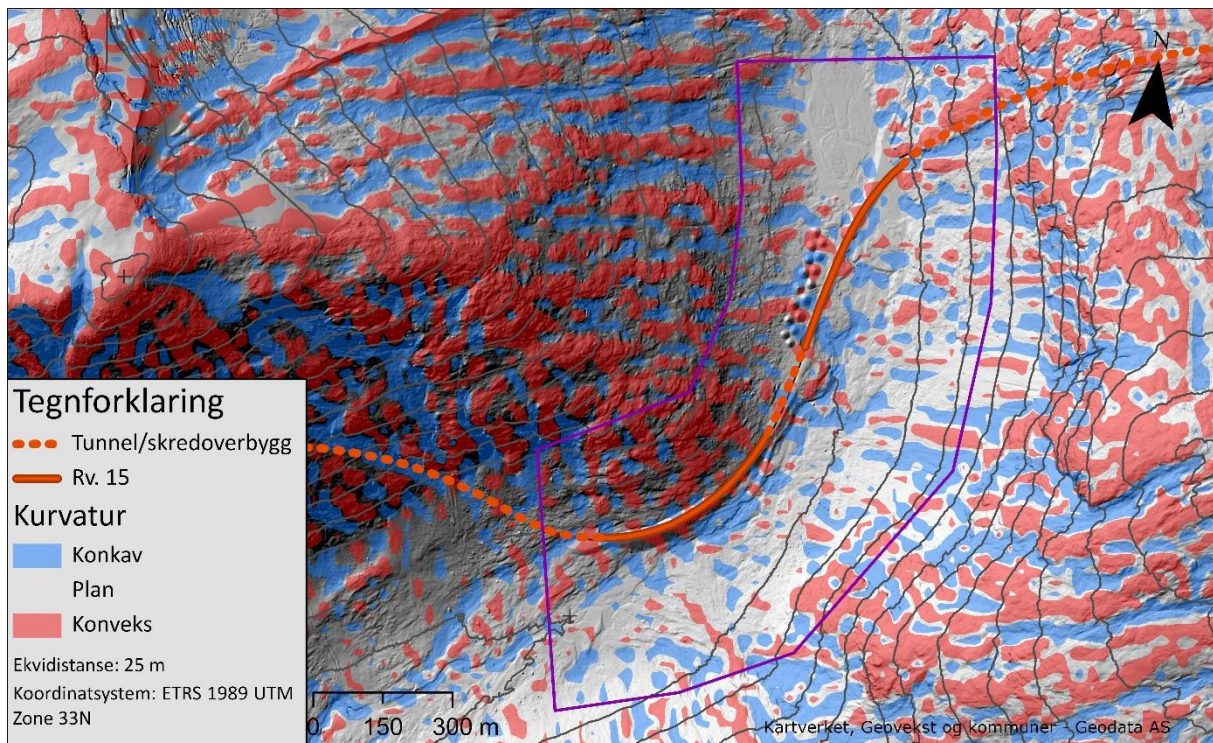
Figur 6.6: Brattheten i området Sætreskarsfjellet Øst. Venstre del av bildet viser brattheten i området ved en snødekket overflate basert på $DTM_{Snø}$. Høyre del av bildet viser brattheten sommerstid basert på DTM_{NDH} . Begge med 1 m oppløsning.

DTM_{NDH} med 25 m oppløsning er benyttet for å finne plankurvaturen i terrengoverflaten og for å kunne skille ut større terrengformasjoner i det bratte terrenget. Plankurvaturen er kurvaturen vinkelrett på fallretningen, og måles som endring i fallretning (Bühler et al., 2018). Endringen bestemmes ved å beregne den andrederiverte av terrengoverflaten (Esri, u.å). Plankurvaturen i påvirkningsområdet er benyttet til å identifisere konvekse og normalt snøfattige ryggformasjoner hvor videre bruddforplantning hindres (Bühler et al., 2018). De konkave områdene kan potensielt være egnede løснеområder for snøskred da de kan akkumulere mye snø.

Konkave områder er skilt fra konvekse områder etter Tabell 6.1 av (Maggioni & Gruber, 2003). Terrengoverflatens plankurvatur i påvirkningsområdet er vist i Vedlegg B. Figur 6.10 viser plankurvaturen i overflaten ved Sætreskarsfjellet og Kvitenova.

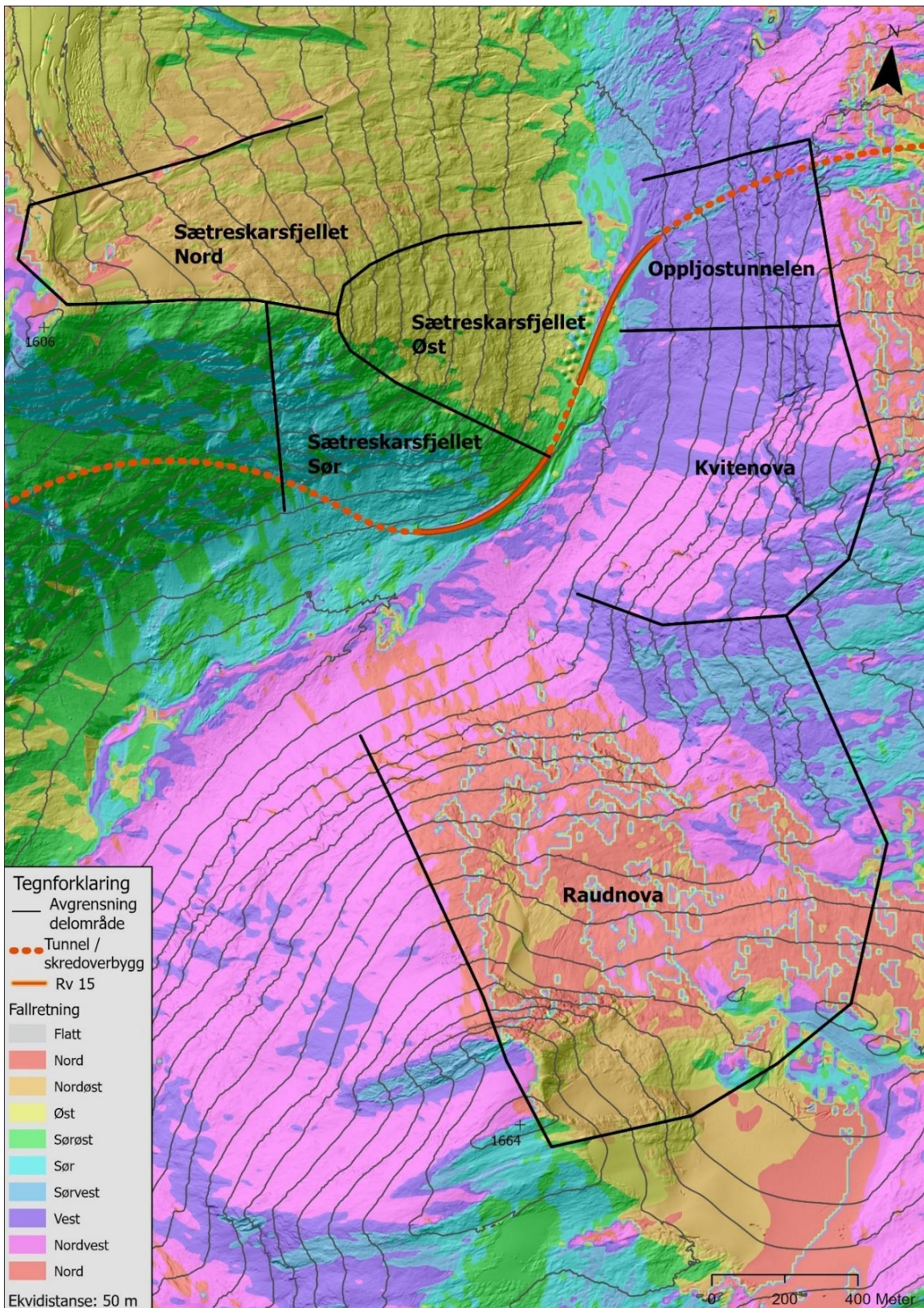
Tabell 6.1: Terrenget er inndelt i konveks-, plan- og konkav plankurvatur (se Figur 6.7, Figur 6.8 og Figur 6.9) etter følgende parametere (Maggioni & Gruber, 2003).

Overflatetype	Plankurvatur	Figur
Konveks overflate	$> 0,2$	 <p>Figur 6.7: Positiv kurvatur. Overflaten er sidevegs konveks. Kilde: Buckley (2010)</p>
Plan overflate	$> -0,2$ og $< 0,2$	 <p>Figur 6.8: Kurvatur lik null. Overflaten er plan. Kilde: Buckley (2010)</p>
Konkav overflate	$< -0,2$	 <p>Figur 6.9: Negativ kurvatur. Overflaten er sidevegs konkav. Kilde: Buckley (2010)</p>



Figur 6.10: Kurvaturen i terrengoverflaten vinkelrett på fallretningen (plan kurvatur).

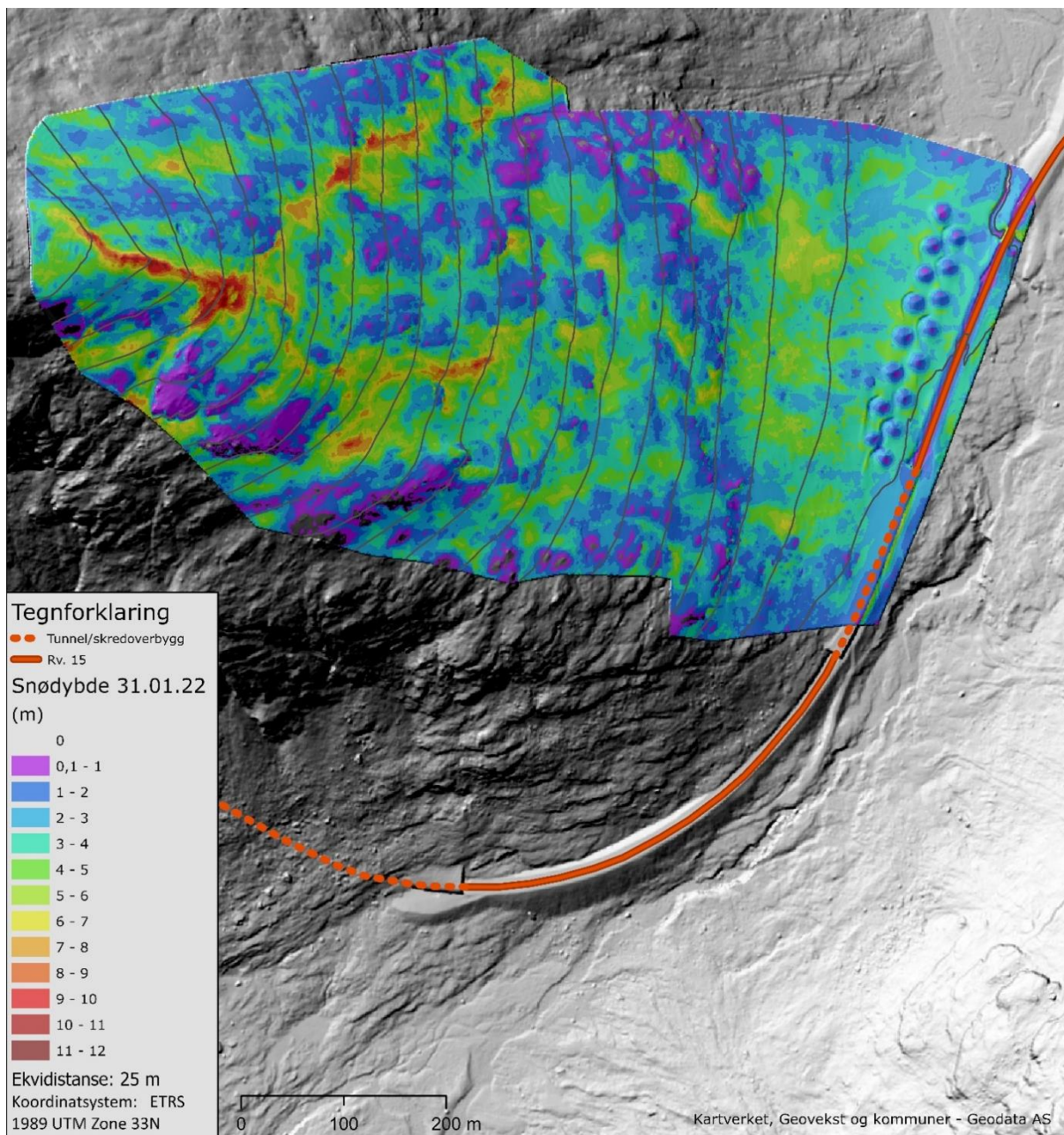
Fjellsidenes fallretning er identifisert på bakgrunn av DTM_{NDH} med 10 m oppløsning. Området er delt inn i åtte grupper på 45° (nord, nordøst osv.), pluss en gruppe for horisontale flater. Resultatet er vist i Figur 6.11.



Figur 6.11: Fjellsidens fallretning i forhold til himmelretning.

6.2.3.3 Snødybde

Terrengmodellen $DTM_{Snø}$ er sammenlignet med DTM_{NDH} hvor det i hovedsak ikke er snø i terrenget. Rasteret DTM_{NDH} er subtrahert fra rasteret $DTM_{Snø}$. Resultatet ble et raster som viser snødybden i terrenget, og er vist i Figur 6.12. Et raster er et rutenett med piksler hvor hver piksel har en verdi/informasjon (Esri, 2021b). Snødybden er brukt til å verifisere mulige løснеområder hvor det samler seg mye snø vinterstid, samt områder hvor det dannes snøskavler. Snødybdemålingene er også viktige for å verifisere metoden for å avdekke kurvaturen i fjellsiden, som beskrevet ovenfor. Samme metode er benyttet for å lage et kart av snødybden basert på terrengmodellen fra 30.03.2022. Kartet ligger vedlagt i Vedlegg 2.



Figur 6.12: Snødybde ved Sætreskarsfjellet den 31.01.2022.

6.3 Feltarbeid

Tabell 6.2 viser tidspunkter for feltarbeidet, samt vær- og snøforhold i samme periode.

Tabell 6.2: Tidspunkt, vær- og snøforhold ved utført feltarbeid.

Tidspunkt	Værforhold	Snøforhold
15. – 16. april 2021	Klarvær. -3 – 0 °C. Vindstille.	Snø.
15. – 16. september 2021	Delvis skyet. 7 °C. Svak vind.	Barmark
20. oktober 2021	Kraftig nedbør. 0 - 2 °C. Laber bris.	Delvis snø.
4. november 2021	Klarvær. 2 °C. Vindstille.	Barmark.
19. februar 2022	Lett snøvær. -5 °C. Lett bris.	Snø.

Under feltarbeidet ved barmark er det lagt særlig vekt på undersøkelser av mulige løснеområder, skredløp, og utløpsområder. Følgende punkter er vurdert:

- Areal og utstrekning av løsnerområdet
- Ruheten i terrengoverflaten og terrengform langs skredbanen
- Helningsforhold
- Løснеområdenes orientering
- Vegetasjonsforhold
- Tilfangstarealer for snødrift
- Avsetninger i utløpsområdet
- Spor i terrenget etter tidligere snøskredaktivitet.

Med tanke på de store snømengdene som er normale i området er ruheten i de undersøkte løśnieområdene vurdert til å være for liten til å ha innvirkning på utløsningen av snøskred. Ortofoto og skyggerelieffkart av området er i forkant av feltarbeidet benyttet for å lettere kunne identifisere mulige utløpsområder hvor det er nødvendig med videre undersøkelser i felt. Drone er også benyttet for å skaffe detaljerte bilder av området på sommerstid.

På vinterstid dreide feltarbeidet seg i hovedsak om å samle inn lidar-data av snøoverflaten (Light Detection and Ranging) og foto av snøoverflaten.

Skog

I delområdet Sætreskarsfjellet Sør finnes det et mindre område med lav bjørkeskog/kjerr. Det er her vurdert om skogen kan ha en forebyggende effekt mot snøskred. Kronedekning, høyde, og trestammens diameter i brysthøyde er bedømt. Det er også undersøkt om skogen viser tegn til snøsig eller tidligere snøskred.

6.4 Skredmodellering

6.4.1 Alfa-beta metoden

For løснеområder med en jevn overgang mot dalbunnen er utløpslengden beregnet ved hjelp av alfa-beta metoden (Lied & Bakkehøi, 1980). NVE (u.å-a) sitt verktøy Alfa-Beta Utløpslengde beregning er benyttet. Skredbanen er bestemt ved hjelp av dynamiske simuleringer i RAMMS, og beta-punktet ved hjelp av verktøyets kartlag «Beta helning». Beregningene av utløpslengder ved hjelp av alfa-beta metoden er vist i kapittel 7, under simuleringer tilknyttet de forskjellige områdene.

6.4.2 RAMMS:: Avalanche

Det er gjennomført simuleringer av tørre flakskred i RAMMS (WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, 2017). Som nevnt tidligere er tørre flakskred historisk sett størst, og tørre flakskred er derfor benyttet som dimensjonerende skredtype

Som input velger man en terrengmodell, løснеområde, bruddkanthøyde, friksjonsparametere, kohesjon, tetthet, samt indre friksjon og friksjon mot underlaget. Som output får man en raster med romlig fordeling av skredets flyte høyde, hastighet og skredtrykk langs skredbanen. Simuleringene er vist i kapittel 7, under delkapittelet simuleringer tilknyttet de forskjellige områdene.

6.4.2.1 Terrengmodell

DTM_{NDH} med en oppløsning på 5×5 m som anbefalt av Håland et al. (2015) er benyttet i simuleringene uten fangvoll. Bakgrunnen for dette er at snø i terrenget visker ut mindre terrengformasjoner (NVE, 2020b). 5×5 m oppløsning er også benyttet på kalkulasjonsgridet. Valgt oppløsning på kalkulasjonsgridet i en simulering bestemmer tettheten og dermed antallet celler som simuleres. En finere oppløsning (tettere kalkulasjonsgrid, eksempelvis 2×2 m) vil gi en økt nøyaktighet av simuleringen. Derimot vil utregningene også ta lengre tid sammenlignet med en grovere oppløsning. Bartelt et al. (2017) anbefaler en oppløsning på 5×5 m som et minimum for kalkulasjonsgridet.

6.4.2.2 Løснеområder

Løснеområdene er vurdert ut fra terrengets helling, form og orientering. Bratthetskart med fem meters oppløsning, samt bratthetskartet over den snødekte overflaten med 1 m oppløsning er i hovedsak benyttet for å analysere brattheten i løснеområdene. Områder med en bratthet mellom 28° og 45° som ligger i forsenkninger, skålformasjoner eller bak ryggformasjoner i terrenget er vurdert etter deres evne til å samle snø. Områdene er indentifisert gjennom feltarbeid, kvotehøyder i kart, samt kart over snødybde og plankurvatur vist i Vedlegg B.

Videre er løснеområdene avgrenset langs snøskavler og ryggformasjoner, eller ved store steiner/fjellknauser hvor det oppstår trykk- og strekkrefter (McClung & Schaerer, 2006).

Størrelsen av løснеområdene er like store for ti- og 50-årsskred. Det er lagt stor vekt på historiske skred og lokalkunnskap ved utforming og identifisering av løснеområder.

Ved enkelte simulerte scenarier er det tatt høyde for at skred fra et område kan føre til bruddforplantning og utløsning av skred i laveliggende områder. Dette er innarbeidet i simuleringene i RAMMS ved en forsinket utløsning av enkelte løснеområder.

Som anbefalt i brukermanualen etter Bartelt et al. (2017) er størrelsen av løснеområdene utvidet noe for å ta hensyn til medrivning. En videre beskrivelse av løснеområdene vil bli presentert i kapittel 0.

6.4.2.3 Bruddkanthøyde

Med bruddkanthøyde menes den gjennomsnittlige tykkelsen av flaket som mobiliseres (NVE, 2018). Denne er beregnet ut fra klima- og terrenganalyser, samt vurdering av terrengets evne til å akkumulere snø. Mektigheten varierer mellom 115 - 228 cm. Anbefalt metodikk for fastsetting av bruddkanthøyde etter NVE (2020b) er fulgt.

Ved beregning av bruddkanthøyden er det tatt utgangspunkt i Figur 6.13 som viser beregnet akkumulert 1- og 3-døgnsnedbør i vinterhalvåret som en funksjon av returperioder. Figuren er basert på data fra værstasjonen 58700 Oppstryn som ligger 201 moh. (Seklima, 2021a). Beregnet nedbør med 10 og 50 års gjentaksintervall er bestemt ved å finne y-verdien for trendlinjen når X = 10 år og 50 år.

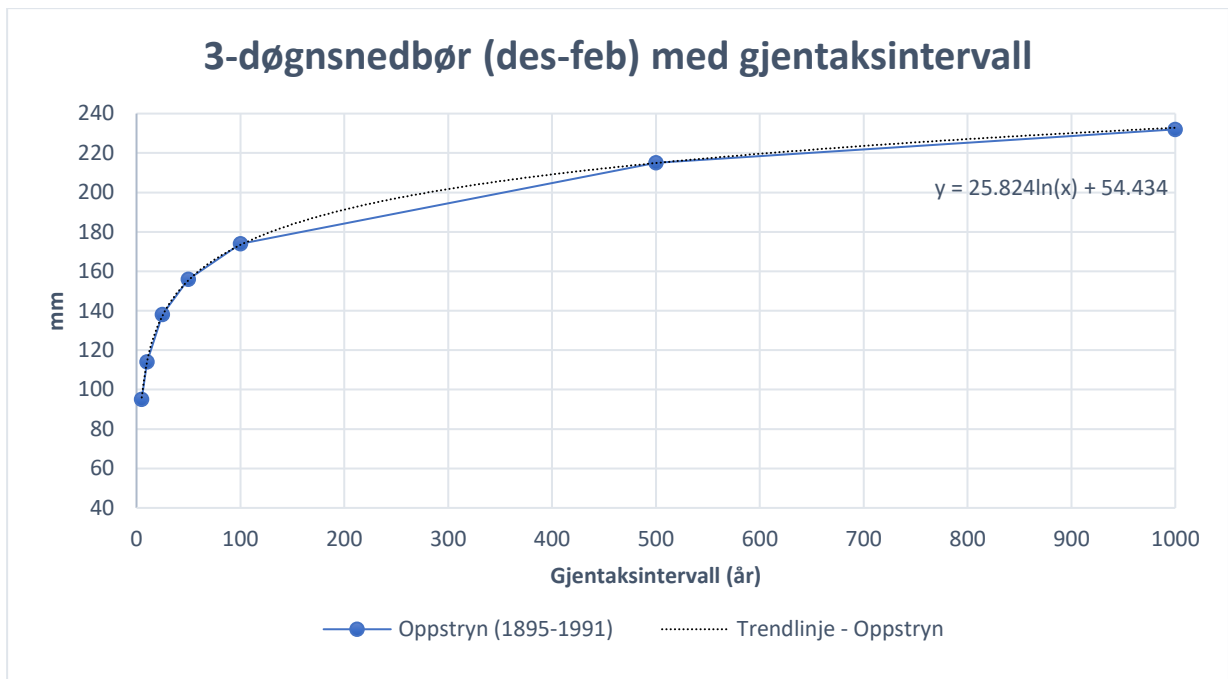
Tabell 6.3 viser beregnet 3-døgnsnedbør i mm ved ti- og 50-års returperioder. Som nevnt tidligere kan man korrigere for høydeforskjellen ved å legge til 5 mm nedbør per 100 høydemeter i forskjell mellom målestasjonen og interesseområdet (NVE, 2018). Dette er gjort for hvert enkelt løснеområde.

Det er også tatt høyde for helningsvinkelen i løснеområdet. Bruddkanten dannes normalt tilnærmet vinkelrett på glideplanet/fjellskråningen, mens beregnet nedbør måles vertikalt på terrenget. Det er korrigert for dette ved å multiplisere den beregnede bruddkanthøyden (inkludert høydekorreksjon) med cosinus til hellingsvinkelen i løснеområdet, i tråd med Likning 6.1.

Likning 6.1

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{Endelig bruddkanthøyde (m)}}{\text{Bruddkanthøyde m. høydekorreksjon (m)}}$$

Til slutt er løснеområdenes evne til å samle snø vurdert. For områder som ligger i le for nedbørsførende vindretninger (NV-SV er det lagt til 20 cm ved 10-års gjentaksintervall, og 50 cm ved 50-års gjentaksintervall i snødrift. For områder som kan akkumulere snø ved vindtransport fra andre vindretninger er det ikke blitt lagt til noe for snødrift. Dersom det ikke er mulighet for vindpålagring av snø fra noen vindretninger trekkes det ifra 20 % på 3-døgnsnedbøren. Alle områder er vurdert til å kunne akkumulere vindtransportert snø. Dette er derfor ikke nødvendig.



Figur 6.13: Beregnet 3-døgnsnedbør for månedene desember-februar som en funksjon av returperioder for områdene Oppstryn og Bråtå. Stiplet linje viser trendlinje med tilhørende likning. Kurvene er basert på en Gumbel fordeling av dataene. Kilde: Modifisert etter Meteorologisk institutt (u.å).

Tabell 6.3: Beregnet 1- og 3-døgnsnedbør i mm ved 10 og 50 års returperiode for værstasjonen 58700 Oppstryn (201 moh.). Kilde: Meteorologisk institutt (u.å).

Returperiode (år)	1-døgnsnedbør (mm)	3-døgnsnedbør (mm)
10	76	113
50	105	155

6.4.2.4 Kohesjon og tetthet

Kohesjonen er satt lik null i simuleringene. Bakgrunnen for dette er at snøpartiklene sjeldent er i kontakt med hverandre i tørre og velutviklede snøskred, og det finnes lite erfaringer med bruk av denne parameteren på tørre snøskred (Håland et al., 2015). Tettheten er satt til 300 kg/m³ som anbefalt i brukermanualen etter Bartelt et al. (2017).

6.4.2.5 Friksjonsparametere.

Bartelt et al. (2017) anbefaler å benytte variabelmodus og de oppgitte standardparameterne for friksjon ved simulering av snøskred. Dette gjøres for å få frem mest mulig av terrengformasjonene langs skredbanen. Det er derfor laget forskjellige friksjonsfiler (MuXi-filer) tilpasset volumkategorien og returperioden for hvert enkelt skredscenario.

Videre kan man i RAMMS justere høydeintervallene (høydegrense 1, høydegrense 2) for hvor friksjonsparameterne varierer. Det er anbefalt av Håland et al. (2015) å sette høydeintervallet etter skoggrensen, med et intervall på 500 m. I deres simuleringer ble høydegrense 1 og 2 satt til 500 og 0 moh. for alle skredløp som befant seg ovenfor skoggrensen. Alle skredløp i denne kartleggingen befinner seg ovenfor skoggrensen (750 moh.). Det er derfor valgt å sette høydegrense 1 og 2 lik 500 og 0 moh. Siden hele

skredbanen ligger over 500 moh. benyttes kun de øvre friksjonsverdiene i simuleringene. Et lavere høydeintervall gir en lengre utløpslengde. Neste underkapittel begrunner de valgte friksjonsparametere.

6.4.2.6 Kalibrering av modell

Ved å justere høydeintervallene og returperioden er snøskredsimuleringene kalibrert opp mot tidligere kjente skredhendelser i området. Til tross for svært mange registrerte skredhendelser i den nasjonale skreddatabasen, er det ingen av disse som dokumenterer både løsneområdet og utløpsområdet av de større skredhendelsene nøyaktig. Det er forsøkt å kontakte NGI i håp om at de har bedre skredregistreringer i sine interne dokumenter tilknyttet snøskredvarslingen for Rv15 på Strynefjellet. Dette uten hell.

Høydeintervall

Modellen er kalibrert opp mot skredet som gikk den 23.02.2020 (presentert i kapittel 6.2.1) ved å justere høydeintervallet. Bildene tilhørende registreringen tyder på at skredet har gått fra løsneområdet Sætreskarsfjellet Øst 1, med en forplantning til Sætreskarsfjellet Øst 3. Løsneområdene er beskrevet i kapittel 7.3.1. Den samlede lengden av bruddkantene var på ca. 150 m, med en bruddkanthøyde på 1 m (NVE, 2022b).

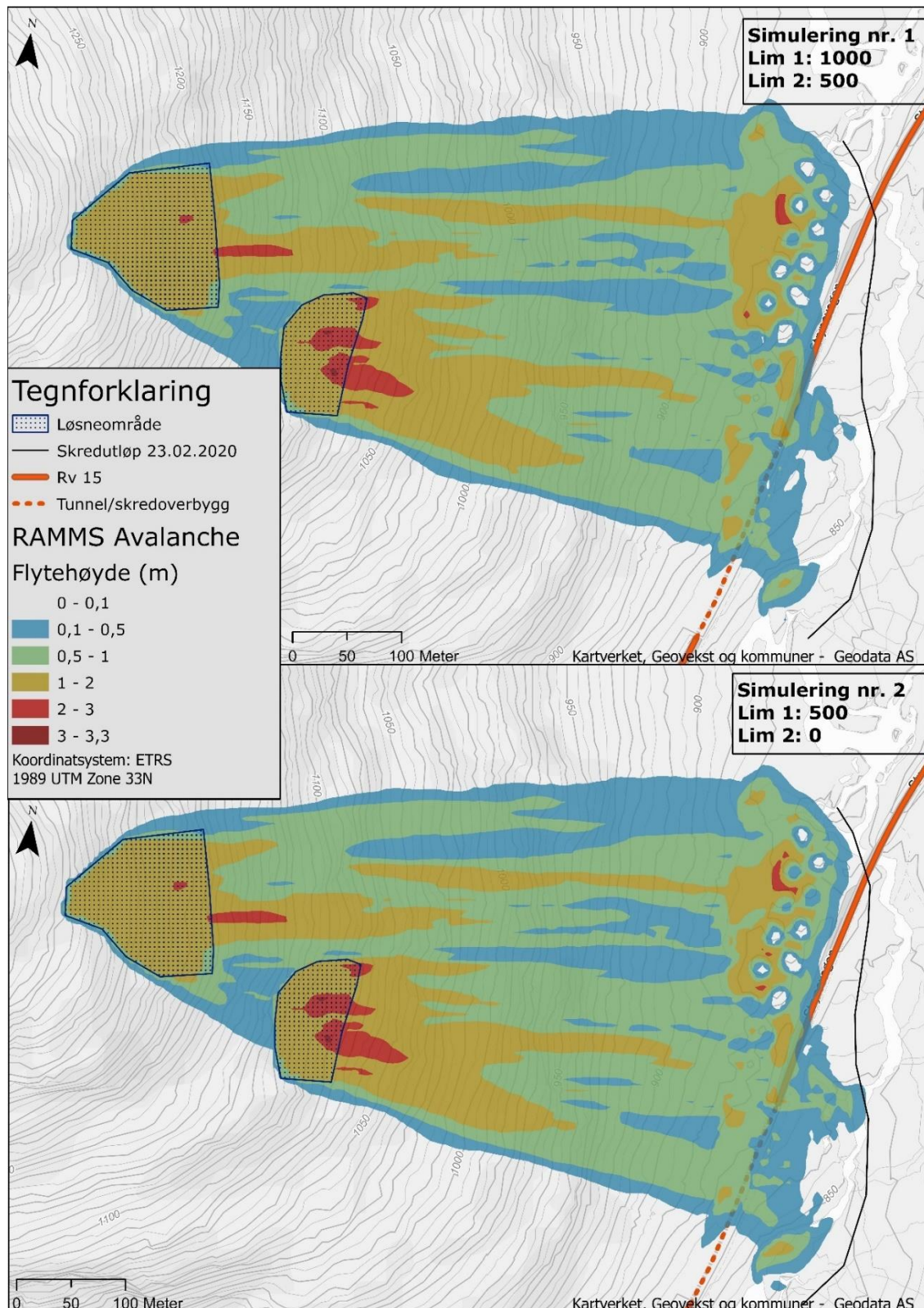
Svart strek i Figur 6.14 viser den antatte utløpslengden til skredet. Da det mangler bilder av skredets utløp er denne basert på informasjon fra den registrerte skredhendelsen, samt en generell forståelse av utløpslengden til det aktuelle skredløpet.

Det er gjort to simuleringer av hendelsen med varierende høydeintervaller. Simulering nr. 1 i Tabell 6.4 har høydeintervaller lik 1000,500, og er satt etter tregrensen i området som ligger 750 moh. Simulering nr. 2 har høydeintervaller lik 500,0, siden hele skredløpet ligger over tregrensen. Begge alternativene er foreslått av Håland et al. (2015). Alle andre inngangsparametere er ellers like, og er vist i Tabell 6.4. DTM_{NDH} med 5 m oppløsning benyttes som input terrengmodell. Tallet i kolonnen «Sim. nr.» refererte til loggfilen fra RAMMS simuleringen. Filene er vist i Vedlegg 4. Dette gjelder for alle simuleringer i oppgaven.

Tabell 6.4: Oversikt over parametere benyttet ved simuleringen av snøskredet som gikk den 23.02.2020 i Grasdalen (NVE, 2022b).

Sim. nr.	Løsne-område	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Forsinkelse (sek)	Volum-kategori	Høydeintervall (moh.)
1	Sætreskarsfjellet Øst 1	1	10	25 700	0	Medium	1000,500
	Sætreskarsfjellet Øst 3	1			10		
2	Sætreskarsfjellet Øst 1	1	10	25 700	0	Medium	500,0
	Sætreskarsfjellet Øst 3	1			10		

Resultatet av de to simuleringene er vist i Figur 6.14. Simulering nr. 1 har en noe kortere utløpslengde, og er sammenlignet med simulering nr. 2 mindre likt skredutløpet den 23.02.2020. På bakgrunn av dette er høydeintervallet i de videre simuleringene satt til 500,0.



Figur 6.14: Kalibrering av høydeintervaller i RAMMS. To simulering av samme skredhendelse fra Sætreskarsfjellet (23.02.2020) med ulike høydeintervaller. Nederste simulering har lengst utløp.

Returperiode

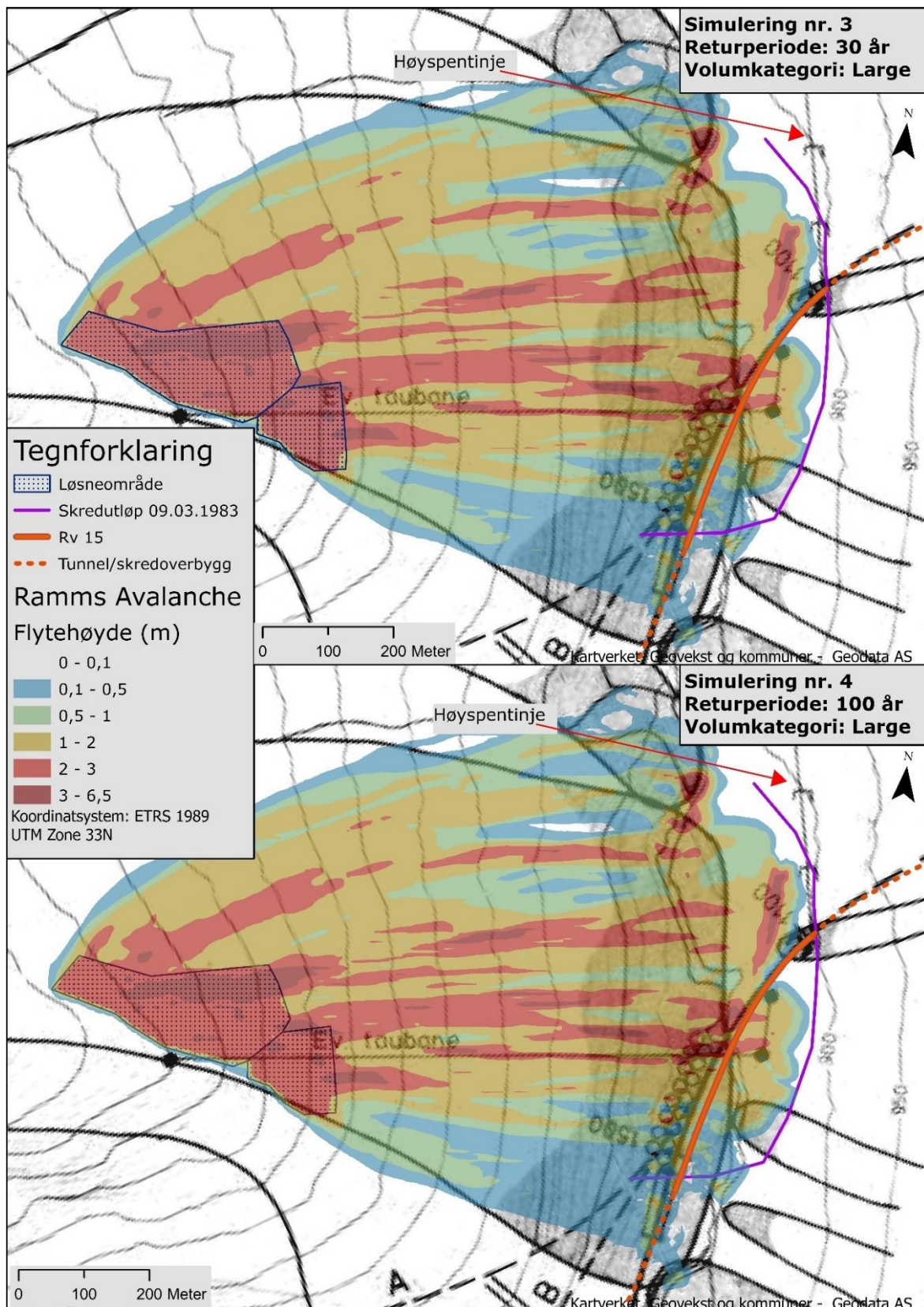
Ved simulering av snøskred med en returperiode på 50 år i RAMMS Avalanche må man velge mellom en returperiode på 30 eller 100 år i MuXi-filen. Valgt returperiode har innvirkning på friksjonsparameterne. For å teste variasjonen i utløpslengde mellom de to, er det store skredet som tok høyspentlinjen til Fonnbu den 09.03.1983 (NVE, 2021d) (se kapittel 6.2.1) simulert. På bakgrunn av avsetningene i utløpsområdet (se Figur 6.3) har skredet trolig gått fra løsneområdene Sætreskarsfjellet Øst 1 og Sætreskarsfjellet Nord 2. Disse er beskrevet i kapittel 7.3.1 og 7.3.2.

Skredhendelsen er mulig den største kjente fra området i løpet av de siste 50 årene. Bruddkanthøyden som er benyttet i simuleringen av hendelsen er bestemt etter beregnet akkumulert 3-døgnsnedbør med 50-års returperiode. Videre er det lagt til 50 cm i snøtilvekst som følge av vindtransport. Det understrekes at det aktuelle skredet i virkeligheten kan ha en returperiode større enn 50 år. Tabell 6.5 viser benyttede inngangsparametere. Det er kun returperioden som varierer mellom de to (oransje felt).

Tabell 6.5: Oversikt over parametere benyttet ved simuleringen av snøskredene som gikk den 09.03.1983 i Grasdalen.

Sim. nr.	Løsne-område	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Forsinkelse (sek)	Volum-kategori	Høyde-intervall
3	Sætreskarsfjellet Øst 1	217	30	130 000	0	Large	500,0
	Sætreskarsfjellet Nord 2	228			0		
4	Sætreskarsfjellet Øst 1	217	100	13 000	0	Large	500,0
	Sætreskarsfjellet Nord 2	228			0		

Figur 6.15 viser simuleringresultatene lagt over et georeferert kart etter Norem (1981). Dette for å kunne se skredets utløpslengde i forhold til de kartlagte skredløpene etter Norem (1981) og høyspentlinjen til Fonnbu som ifølge skredregistreringen skal ha blitt tatt av skredet (NVE, 2021d). Forskjellen i utløpslengde er liten. Som nevnt tidligere er det kun friksjonsparameteren μ som justeres ved endret returperiode. Ved en valgt returperiode på 100 år er utløpslengden ca. 5 m lengre enn ved 30-års returperioder, og ligger dermed noe nærmere den antatte utløpslengden til skredet. Det ble derfor valgt å benytte en returperiode på 100 år i MuXi-filen ved videre simuleringer av 50-års skred i området.



Figur 6.15: Kalibrering av returperiode i RAMMS. To simulering av skredhendelsen fra Sætreskarsfjellet den 09.03.1983 (NVE, 2021d) med ulike returperioder. Sammenligning av de to simuleringene viser at utløpslengden er 5 m lengre i den nederste simuleringen (100-års returperiode), men denne forskjellen er ikke synlig i figuren. Rød pil viser høyspentlinjen til Fonnbu inntegnet i kartet.

6.5 Fastsetting av skredfaresoner

Skredfaresonene fastsettes som nevnt etter en årlig sannsynlighet lik 1/10 og 1/50 per km veg på denne vegstrekningen. Faresonene er fastsatt på bakgrunn av en helhetlig vurdering av blant annet observasjoner i felt, simuleringer og tidligere skredhendelser i området.

6.6 Vurdering av aktuelle skredsikringstiltak

Faresonekartet (Figur 8.1) viser at mesteparten av vegstrekningen i dagen ligger innenfor området med en årlig sannsynlighet for snøskred $\geq 1/10$ per km veg. Hele vegstrekningen ligger innenfor området med en årlig skredsannsynlighet $\geq 1/50$ per km veg. Sannsynligheten for skred lange strekningen er dermed vesentlig større enn hva som er akseptert ifølge SVVs krav til sikkerhet mot skred i Håndbok N200. I dette kapittelet vil det derfor vurderes tre forskjellige skredsikringstiltak.

6.6.1 Fangvoll

Tidligere skredhendelser indikerer at vegstrekningen som oftest er utsatt for snøskred er fra skredoverbygget og ca. 300 m langs vegen retning NØ (se Figur 7.2). Det anbefales å bygge voller med en bratthet på 3:1 (71°), eller så bratt som mulig (Norem, 2014). Bakgrunnen for dette er at man da kan få plassert vollen så langt ut i utløpsområdet som mulig, siden skredhastigheten avtar frem mot vegen. I tillegg vil skredmassene ha vanskeligere for å klatre oppover vollen dersom den er bratt (Norem, 2014).

6.6.1.1 Validering av terrengmodell

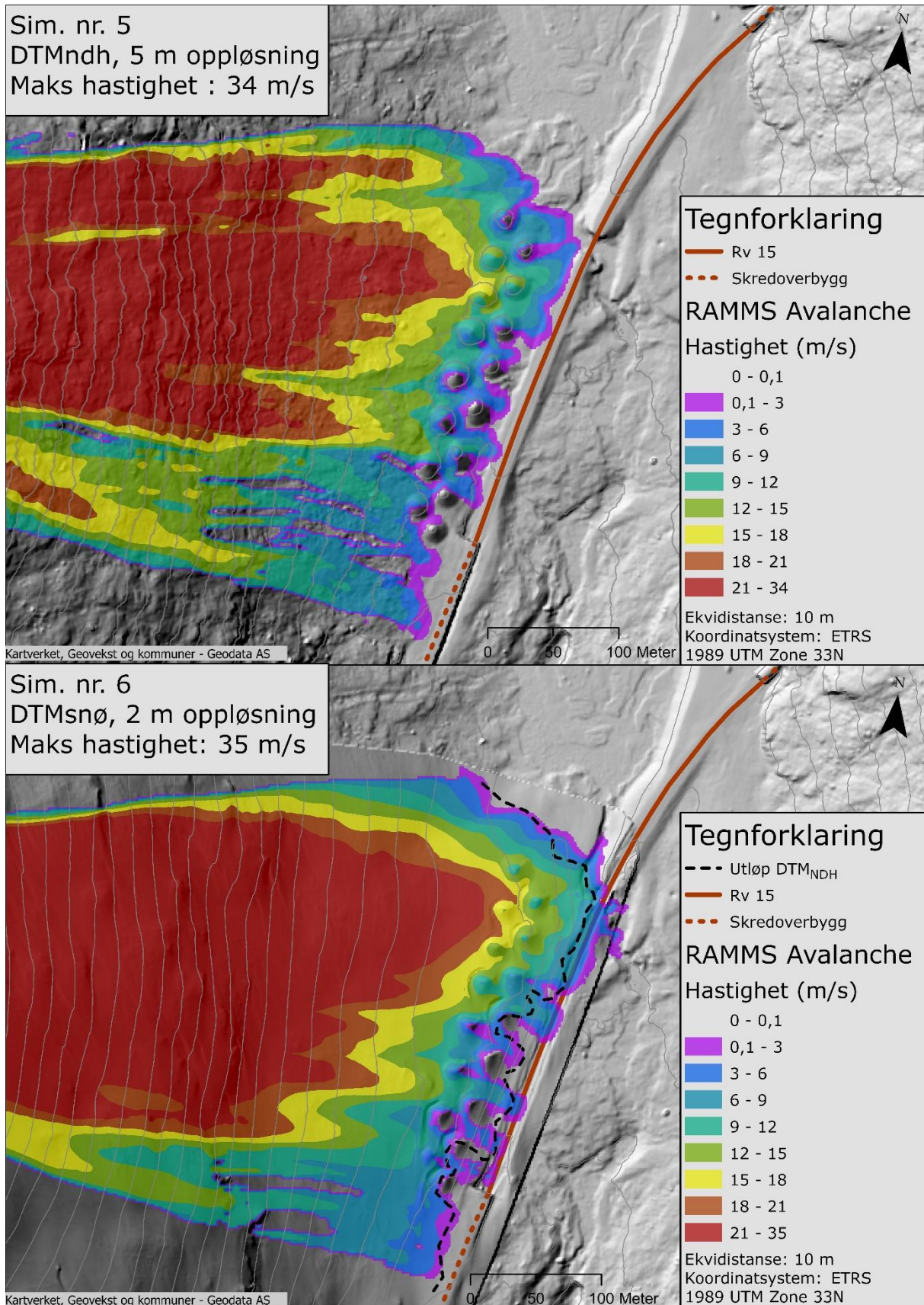
En høy voll i terrenget vil ikke snø ned og viskes ut i like stor grad som terrenget ellers. Det er derfor ønskelig å benytte en terrengmodell med fin oppløsning uten at dette påvirker resultatet av simuleringen. Utvikleren av RAMMS Avalanche har selv liten erfaring med simuleringer over terrengmodeller av snødekte landskap, men sier at en finere oppløsning enn 2 m ikke er anbefalt (SLF, pers.kom. 23. februar, 2022). $DTM_{Snø}$ med 2 m oppløsning er derfor benyttet som input terrengmodell ved simuleringer tilknyttet dimensjoneringen av fangvollen. I simuleringer tilknyttet fangvollen er en oppløsning på 2 m benyttet på kalkulasjonsgridet. Dette for å få en økt nøyaktighet av simuleringene.

For å kunne sammenligne $DTM_{Snø}$ med DTM_{NDH} er det kjørt to simuleringer fra Sætreskarsfjellet Øst 1. Med unntak av terrengmodellen og oppløsningen av denne (oransje farge i Tabell 6.6) er alle inngangsparametere like, og vist i Tabell 6.6. Siden RAMMS beregner skredvolumet over input terrengmodell er bruddkanthøyden økt med 1 cm i simulering nr. 5 for at skredvolumene skal bli mest mulig like. Resultatet av sammenligningen er vist i Figur 6.16.

Tabell 6.6: Oversikt over parametere benyttet i simuleringene.

Sim. nr.	Løsne-område	DTM (Oppløsning)	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Volum-kategori	Høyde-intervall
5	Sætreskarsfjellet Øst 1	DTM _{NDH} (5m)	1,51	10	25 100	Medium	500, 0
6	Sætreskarsfjellet Øst 1	DTM _{S_nø} (2m)	1,5	10	25 182	Medium	500,0

Sammenligningen av de to viser at simuleringen med DTM_{S_nø} (sim. nr. 6) i den nedre delen av figuren gir en lengre utløpslengde, en høyere maksimal skredhastighet og en jevnere hastighetsfordeling på tvers av skredbaneretningen, sammenlignet med DTM_{NDH} (sim. nr. 5). Svart stiplet linje i nedre del av figuren indikerer grensen hvor hastigheten fra sim.nr. 5 var under 0,1 m/s. Utløpslengden er opp til 20 m lengre i simulering nr. 6.

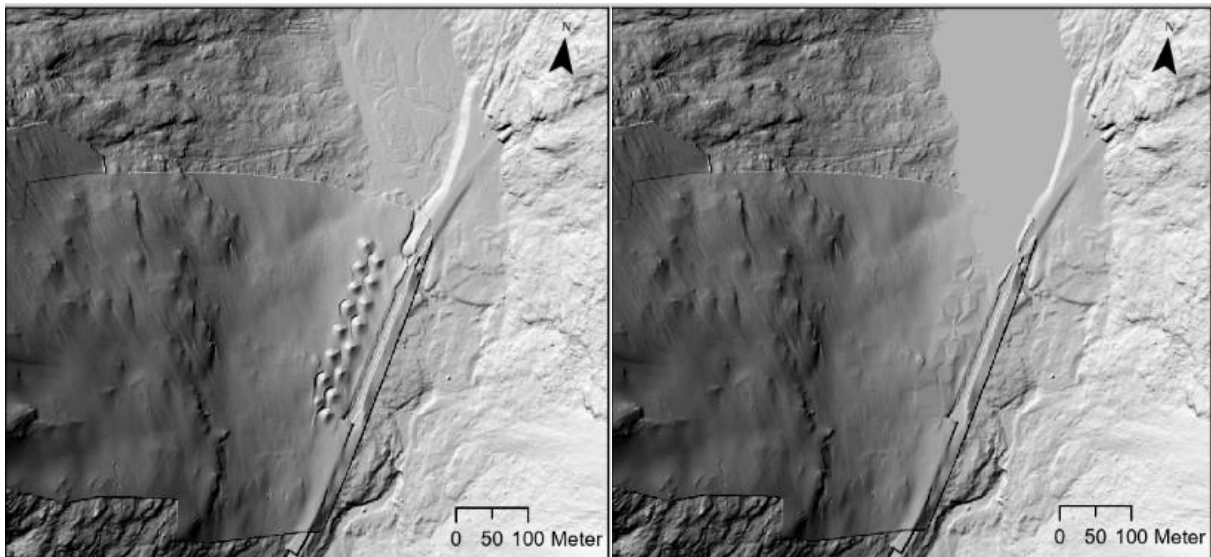


Figur 6.16: Sammenligning av simuleringer over en terrengmodell med og uten snø, samt varierende oppløsning. DTM_{NDH} har 5 m oppløsning av terrengmodellen, mens DTM_{Snø} har 2 m oppløsning.

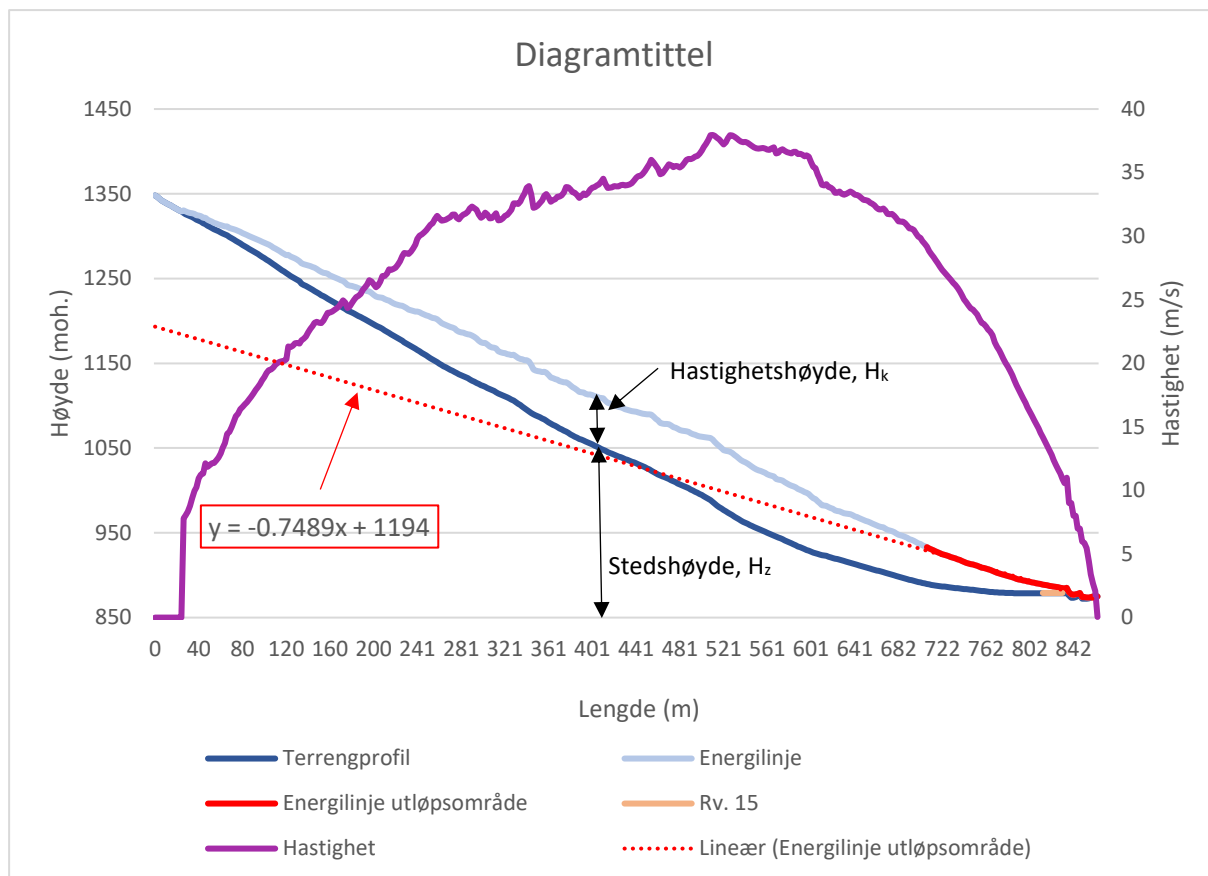
Skredhastigheten i utløpsområdet er viktig når man skal dimensjonere en fangvoll. For å kunne vurdere energitapet og hastighetsendringen langs skredløpet er energihøyden i utløpsområdet beregnet etter Norem (2014). Det er tatt utgangspunkt i simulering nr. 8 i Tabell 6.7. I simuleringen er terrengmodellen $DTM_{U\text{-bremsekjeglere}}$ benyttet. I denne terrengmodellen er bremsekjeglene fjernet fra terrengmodellen $DTM_{Snø}$. Dette er gjort for å vurdere energitapet i utløpsområdet uten at bremsekjeglene i området påvirker resultatet. Figur 6.17 viser et skyggerelieffkart av de to terrengmodellene.

Et hastighetsprofil langs hovedstrømmen av skredmassene fra simulering nr. 8 er benyttet til å finne hastighetshøyden H_k langs skredløpet ved hjelp av Likning 4.4. Stedshøyden H_z langs skredløpet er lagt til hastighetshøyden. Sammen danner de energilinjen (lys blå strek) i Figur 6.18.

Energilinjen fra 20° -punktet og ut til de ytterste skredavsetningene er vist med rød strek. Stigningstallet til den tilhørende trendlinjen er på $-0,75$. Dette tyder på at energitapet pr. lengdeenhet i modellen ligger høyere enn Norem (2014) sin gjennomsnittsverdi på $0,4:1$ i utløpsområdet.



Figur 6.17: Venstre: Skyggerelieffkart av $DTM_{Snø}$. Bremsekjeglene er delvis nedsnødd. Høyre: Skyggerelieffkart av $DTM_{U\text{-bremsekjeglere}}$. Bremsekjeglene er fjernet fra terrengmodellen.



Figur 6.18: Skredhastighet og energihøyde langs skredløpet Sætreskarsfjellet Øst 1 med DTM_U -bremsekjegler som input terrengmodell. Stigningstallet til trendlinjen representerer energitapet i utløpsområdet etter Norem (2014).

6.6.1.2 Dimensjonering av voll

Dimensjonerende hastighet

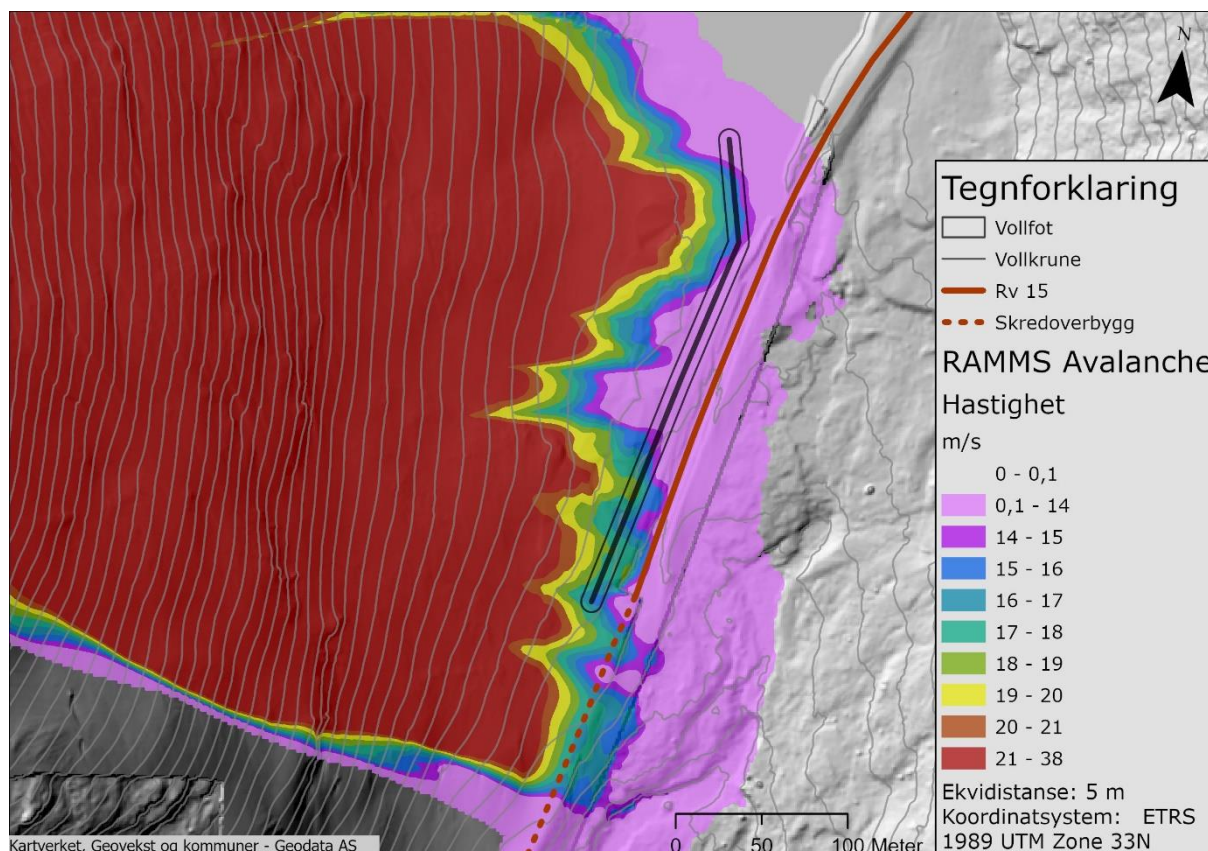
Skredhastigheten ved vollfoten er en av de viktigste parameterne ved dimensjonering av fangvoller (Norem, 2014). Dimensjonerende hastighet for vollen er basert på skredhastigheter fra simuleringer i RAMMS med DTM_U -bremsekjegler som input terrengmodell. Dette siden bremsekjeglene bør fjernes før en eventuell fangvoll kan bygges. Det er derfor ønskelig å finne hastigheten ved vollfoten uten påvirkning fra bremsekjeglene.

Skred fra områdene Sætreskarsfjellet Øst og Nord har ved mange anledninger ført til skred på veg nord for skredoverbygget (se Figur 7.2). To ulike skredscenarier med en antatt returperiode på ca. 10 år fra områdene er simulert. Disse er nummerert som nr. 7 og 8 i Tabell 6.7. Tabellen viser inngangsparametere benyttet i simuleringene i RAMMS. Bakgrunnen for de ulike skred scenariene og bruddkanthøydene er beskrevet i kapittel 7.3.1.1

Tabell 6.7: Benyttede skredscenarier og inngangsparametere ved fastsetting av dimensjonerende skredhastighet for fangvollen. Resultatet av simuleringen er vist i Figur 6.19.

Sim. nr.	Løsne-område	DTM (Oppløsning)	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Forsinkelse (sek)	Volum-kategori	Høyde-intervall
7	Sætreskarsfjellet Øst 1	DTM _U - bremsekjegler (2m)	1,5	10	37 000	0	Mediu m	500, 0
	Sætreskarsfjellet Øst 3		1,51			8		
8	Sætreskarsfjellet Øst 1	DTM _U - bremsekjegler (2m)	1,5	10	54 400	5	Mediu m	500, 0
	Sætreskarsfjellet Nord 1		1,59			0		

Resultatet av skredhastigheten fra de to simuleringene er kombinert, og cellene i rasteret med høyest verdi er bevart i områdene hvor de overlappet. Figur 6.19 viser skredhastigheten i utløpsområdet ved de to skredscenarioene, samt plasseringen av fangvollen. Den maksimale hastigheten ved vollfoten ligger på mellom 17-19 m/s langs med vollen. 18 m/s er valgt som dimensjonerende skredhastighet videre.



Figur 6.19: Skredhastighet i utløpsområdet ved simuleringer av 10-års scenarier for snøskred fra Sætreskarsfjellet Øst. DTM_U-bremsekjegler er benyttet som input terrengmodell.

6.6.1.2.1 Dimensjonerende vollhøyde

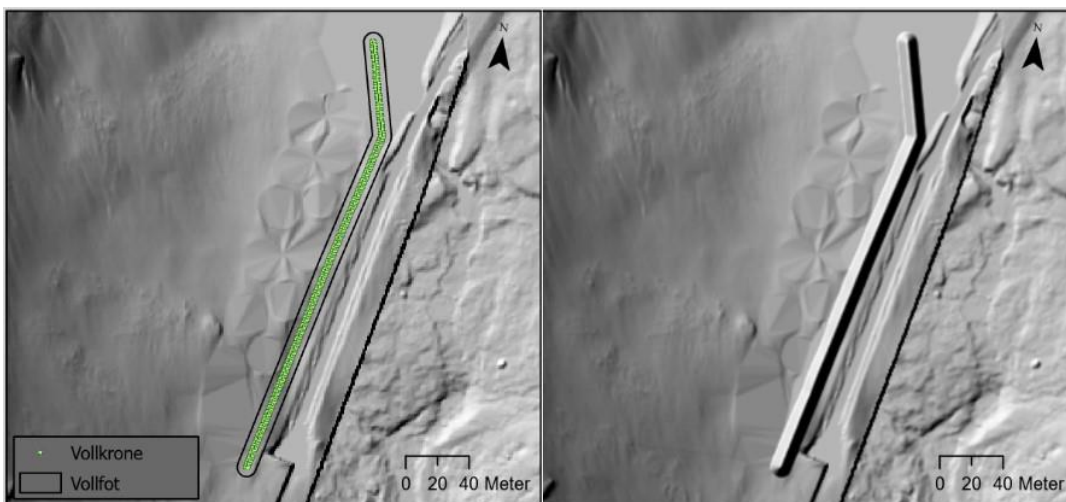
Vollens nødvendige høyde er bestemt etter Likning 6.2 (Norem, 2014). Faktoren k er satt lik 0,8 som anbefalt av Norem (2014). Skredets flyte høyde ved vollfoten er bestemt basert på simulering nr. 7 og 8 i Tabell 6.7, og er satt lik 1 m. Leddet $H_{Snø}$ er satt lik 0 siden simuleringene skjer over en snødekt terrengmodell. Vollens høyde over snødekket blir da 14,2 m. Snødybden i $DTM_{Snø}$ ved vollfoten er mellom 3-4 m. Det betyr at vollens høyde over bar mark er på ca. 18 m.

Likning 6.2

$$H_{voll} = k \times \frac{V^2}{2g} + H_{skred} + H_{Snø}$$
$$H_{voll} = 0,8 \times \frac{18^2}{2 \times 9,81} + 1 + 0 = 14,2 \text{ m}$$

6.6.1.3 Konstruering av fangvoll

Som foreslått av Bartelt et al. (2017) er en 14,2 m høy fangvoll, med en bratthet på 3:1 konstruert i ArcGIS, og inkludert i terrengmodellen $DTM_{U-bremsekjegler}$. Terrengmodellen uten bremsekjegler er valgt siden bremsekjeglene trolig bør fjernes før det eventuelt bygges en fangvoll i området. Bremsekjeglene bør fjernes for å øke vollmagasinets volum, samtidig som at bremsekjegler bør plasseres høyere opp i utløpsområdet dersom disse skal kombineres med en fangvoll (Norem, 2014). Konstrueringen av fangvollen resulterer i en terrengmodell med en meters oppløsning av det snødekte området, hvor fangvollen med en høyde på 14,2 m er inkludert. Denne terrengmodellen vil videre refereres til som DTM_{Voll} . Figur 6.20 viser vollfoten, og vollkronen langs fangvollen, samt et skyggerelieffkart av DTM_{Voll} hvor fangvollen kommer godt til syne.



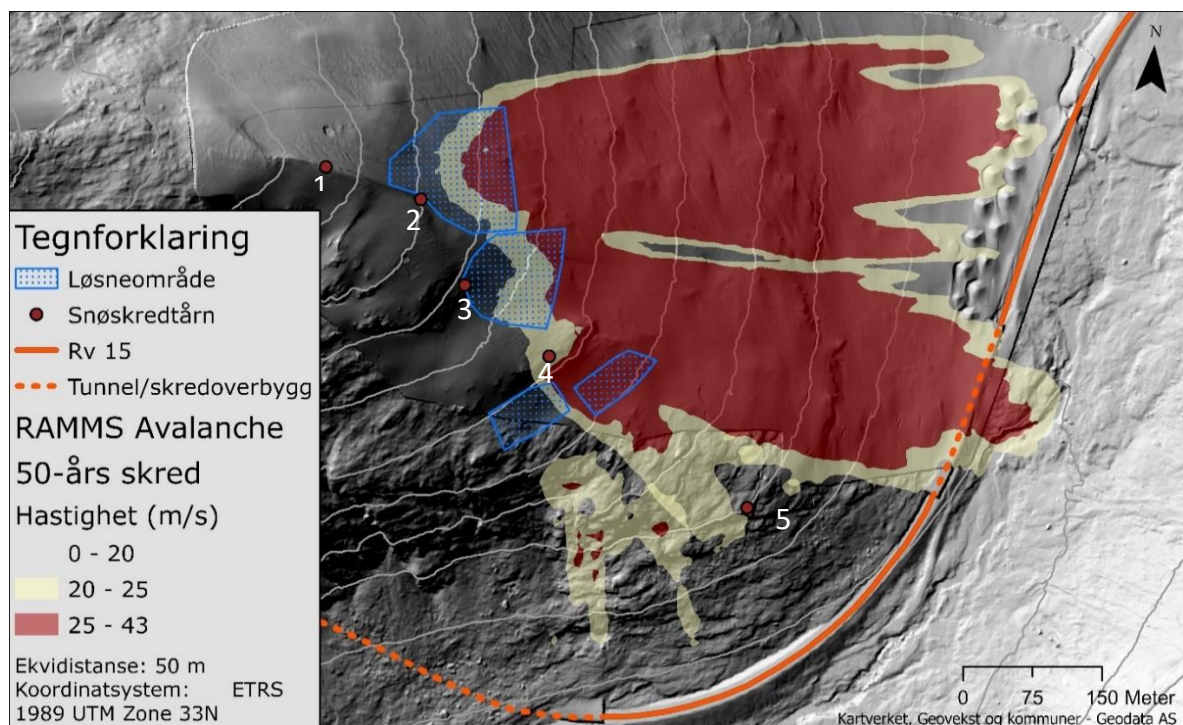
Figur 6.20: Venstre bilde: Polygon og punkter som danner vollfot og vollkrona. Høyre: Skyggerelieffkart av terrengmodellen DTM_{Voll} .

6.6.2 Snøskredtårn

Kunstig utløsning av snøskred (skredkontroll) kan være en effektiv metode for å redusere volumet av snøskred, ved at det løses ut flere skred enn dersom skredene kun gikk naturlig. Spesielt plasseringen i terrenget er viktig for å oppnå ønsket resultat. I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i Wyssen Snøskredtårn LS12-5. Tårnet er 12 m høyt, heller 15° utover, og skal kunne tåle kreftene til et snøskred med en hastighet på opp mot 25 m/s (Wyssen, 2019, 2021b). Det antas at disse betingelsene gjelder for løssnøskred. Muligheten for bruk av snøskredtårn er vurdert for løssneområder ved Sætreskarsfjellet og ved delområdet Oppljostunnelen Vest da disse områdene gir flest skred mot veg.

En svakhet ved snøskredtårnene er at de er utsatt for snøskred fra ovenforliggende områder og snøsig. Med bakgrunn i dette, er tårnenes plassering vurdert i områder hvor det ikke er sannsynlig at det løsner skred fra ovenforliggende områder med betydning for installasjonene. Ved Sætreskarsfjellet er skredtårn nummer 4 og 5 i Figur 6.21 plassert i områder hvor det er sannsynlig at det kan gå mindre snøskred. For å vurdere om skreden kan skade skredtårnene er snøskred med returperioder på 50 år simulert i RAMMS. Løssneområdene Sætreskarsfjellet Øst 1 og 2, samt Sætreskarsfjellet Sør 1 og 2 benyttet. Løssneområdene er presentert i kapittel 7.3.1 og 7.3.3. Oversikt over parametere benyttet i simuleringen er vist i Tabell 7.4 og Tabell 7.8 under sim. nr. 19 og 26. Bakgrunnen for valgte skredscenarier er forklart i kap. 7.3.1.1 og 7.3.3.1.

Resultatet av simuleringen er vist i Figur 6.21. Skredhastigheter over 25 m/s kan som nevnt skade masten, og er symbolisert ved rød farge i figuren.

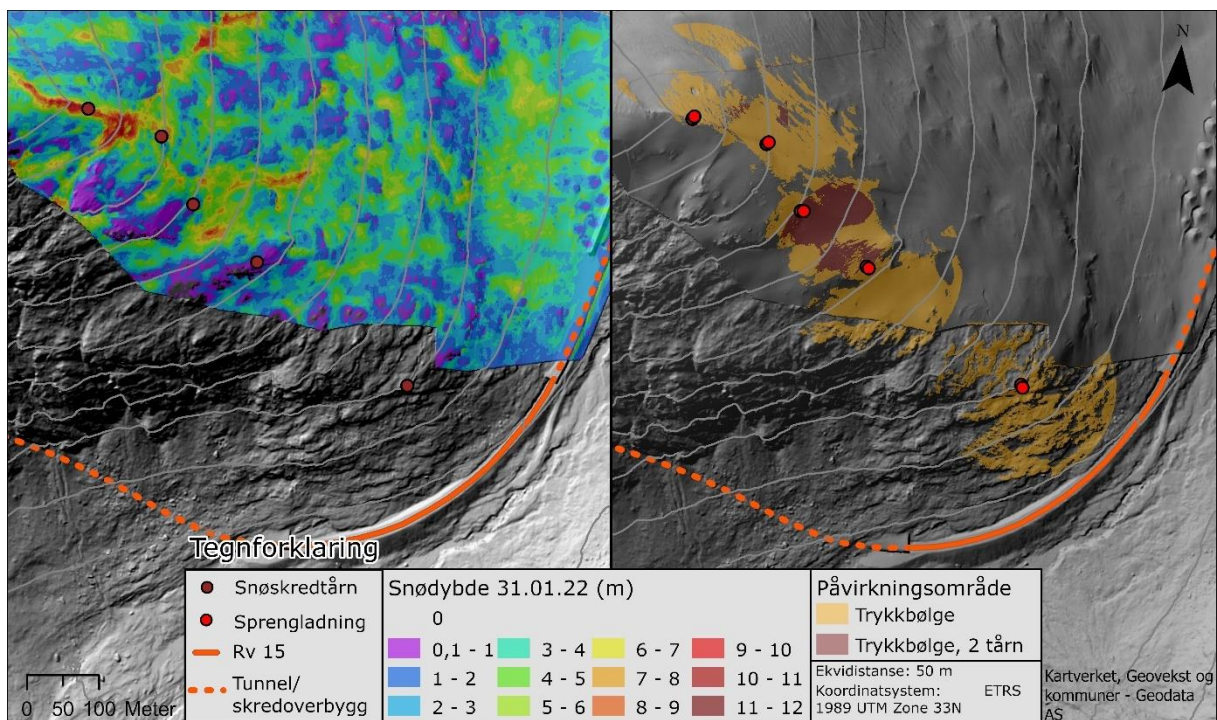


Figur 6.21: Simuleringer av snøskred ved Sætreskarsfjellet Øst og Sør med returperioder på 50 år. Røde felt indikerer områder hvor skredhastigheten overstiger 25 m/s. Snøskredtårnene er nummerert fra en til fem. Tårnenes plassering er vurdert i forhold til skredhastighetene fra RAMMS-simuleringen.

Videre har plasseringen i forhold til snødybden, og spesielt dannelsen av snøskavler i terrenget blitt vurdert. Snøskavlen langs delområdet Sætreskarsfjellet Øst og Nord kan bygge seg opp til en mektighet på over 15 m. Et skavlbrudd kan skade masten dersom den blir truffet av massene.

For å vurdere dannelsen av skavler og fordelingen av snø i terrenget, er fremtredende vindretning, skyggerelieffkart av $DTM_{Snø}$, rasteret av snødybden i terrenget (Vedlegg 2), samt bilder fra webkameraet på Kvitenoa og feltarbeid benyttet.

Hvert enkelt skredtårns påvirkningsområde er vurdert ved å benytte ArcGIS for å bestemme hvilke celler i et raster som er synlig fra en tenkt sprengladning plassert 3,5 m over snøoverflaten. Sprengladningen har størst rekkevidde 3,5 m ovenfor snøoverflaten (Wyssen, 2021b). Kun celler innenfor en rekkevidde på 130 m fra observasjonspunktet er vurdert, da dette er sprengladningens maksimale påvirkningsdistanse (Wyssen, 2021b). Ved Sætreskarsfjellet ble $DTM_{Snø}$ benyttet som input raster, mens DTM_{NDH} ble benyttet ved Oppljostunnelen. Figur 6.22 viser deler av metoden for hvordan snødybden ved tårnmasten og påvirkningsområdene til sprengladningene ved Sætreskarsfjellet er vurdert. Oransje områder i figuren til høyre viser områdene som blir påvirket av den direkte trykkbølgen fra sprengladningen.



Figur 6.22: Venstre: Snødybden (31.01.2022) i området hvor snøskredtårnene ved Sætreskarsfjellet er foreslått plassert. Høyre: Oransje farge symboliserer påvirkningsområdene til tre av sprengladningene. Et skyggerelieffkart av $DTM_{Snø}$ er benyttet som bakgrunnskart.

6.6.3 Langdistanse skredradar (i.e. automatisk skreddeteksjon)

Et alternativ til skredsikring av vegstrekningen kan være langdistanse skredradar og lyssignal. Metoden har vist seg å være både en driftssikker og effektiv metode for å stenge vegen ved

skredhendelser, selv i værharde nordlige områder (Persson et al., 2018). Metoden forutsetter at radaren rekker å oppfatte, prosessere og stenge vegen, samtidig som kjøretøyene som akkurat har passert lyssignalet rekker å kjøre gjennom skredets utløpsområde før skredet når vegen.

Den tiden et skred fra de forskjellige skredbanene bruker til vegen er vist i Tabell 6.8, og er bestemt basert på simuleringer i RAMMS av antatte 10-års skred eller mindre. Ved større returperioder vil ikke bilistene rekke å passere før skredet har nådd vegen.

Dimensjonerende hastighet for kjøretøyene er satt til 40 km/t. Hastigheten er satt med bakgrunn i brøytebiler og den dårlige sikten/føret som ofte fører til redusert hastighet ved skredvær i området. Kolonnen «Kjørt strekning» viser strekningen et kjøretøy i 40 km/rekker å forflytte seg fra skredet blir detektert og varslet, til det når vegen. Deteksjonstiden er satt til tre sekunder som foreslått i Persson et al. (2018). Kolonnen lengst til høyre viser den minste avstanden mellom lyssignalene for at trafikken skal stanse utenfor utløpsområdet til et antatt 10-års skred fra skredløpene. Tabellen viser at metoden ikke vil være effektiv sør for skredoverbygget, da trafikken ikke rekker å passere skredutløpet før skredet har nådd vegen. Metoden vil derfor kun vurderes for skredløpene ved Sætreskarsfjellet Øst og Oppljostunnelen.

Tabell 6.8: Tiden skredet bruker til veg ved forskjellige skredscenarioer, og kjørt strekning i løpet av samme tidsperiode.

Scenario	Sim. nr.	Løsneområde	Tid til skredet når veg (sek)	Kjørt strekning ved 40 km/t (m)	Avstand lyssignal
1/10	9	Sætreskarsfjellet Øst 1 og Øst 2	28	275	260
	10	Sætreskarsfjellet Øst 1 og Øst 3	30	297	260
	44	Sætreskarsfjellet Øst 3	26	253	260
	16	Sætreskarsfjellet Sør 1	24	231	451
	23	Oppljostunnelen 2	20	187	120
	24	Oppljostunnelen 3	40	407	120

Radarens plassering er vurdert etter hvor den har best mulig innsyn til løsneområdene, og størst mulig del av skredløpet. Det er tatt hensyn til ødeleggende snøskred, tilgjengelighet for vedlikehold og strøm, samt beskyttelse mot uvær. Faresonekartet vist i Figur 8.1 er benyttet som grunnlag for å kunne plassere radaren i et relativt skredtrykt område.

Det er gjennomført en siktanalyse for radarens innsyn til skredløpene. I siktanalysen er det tatt utgangspunkt i at radaren står plassert 4 m over bakken og at den har en horisontal åpningsvinkel på 90°. Resultatet av analysen og foreslått plassering av radarer er vist i kapittel 7.4.3.

7 Resultat

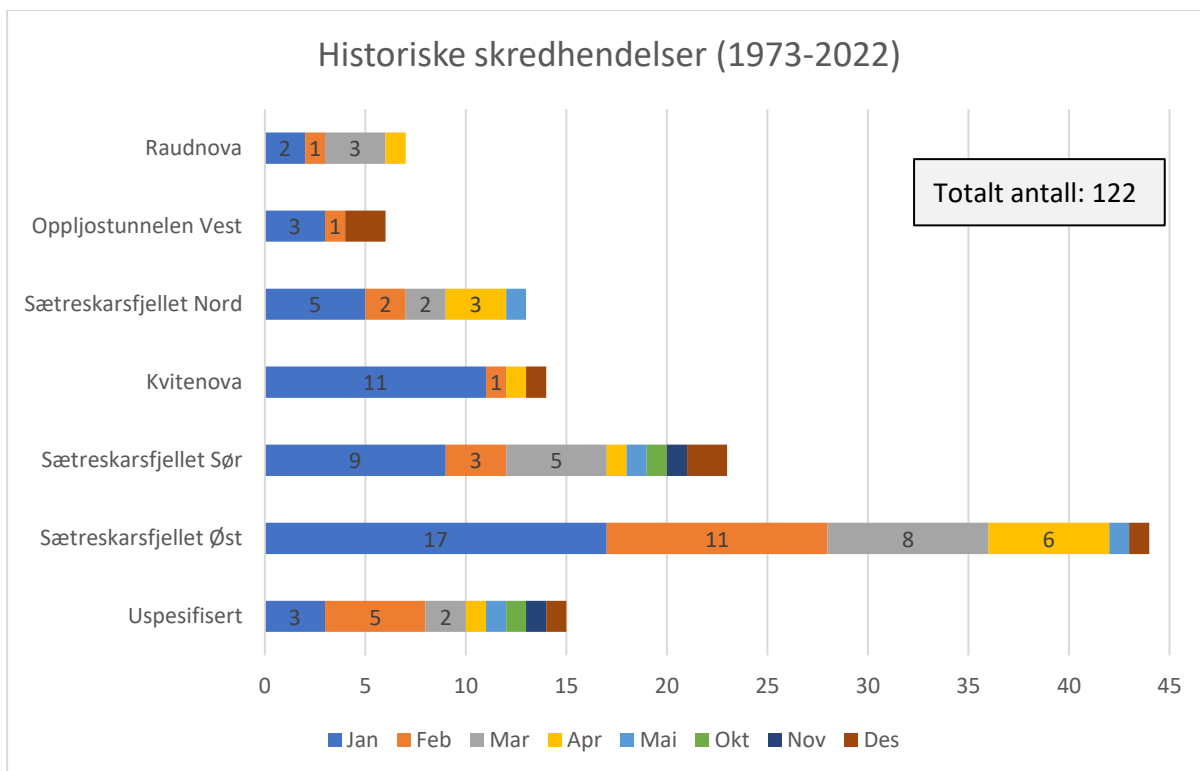
I denne delen presenteres resultater fra analysen av historiske skredhendelser, feltarbeidet, skredsimuleringer og de vurderte skredsikringstiltakene. De seks forskjellige delområdene er også presentert.

7.1 Historiske skredhendelser

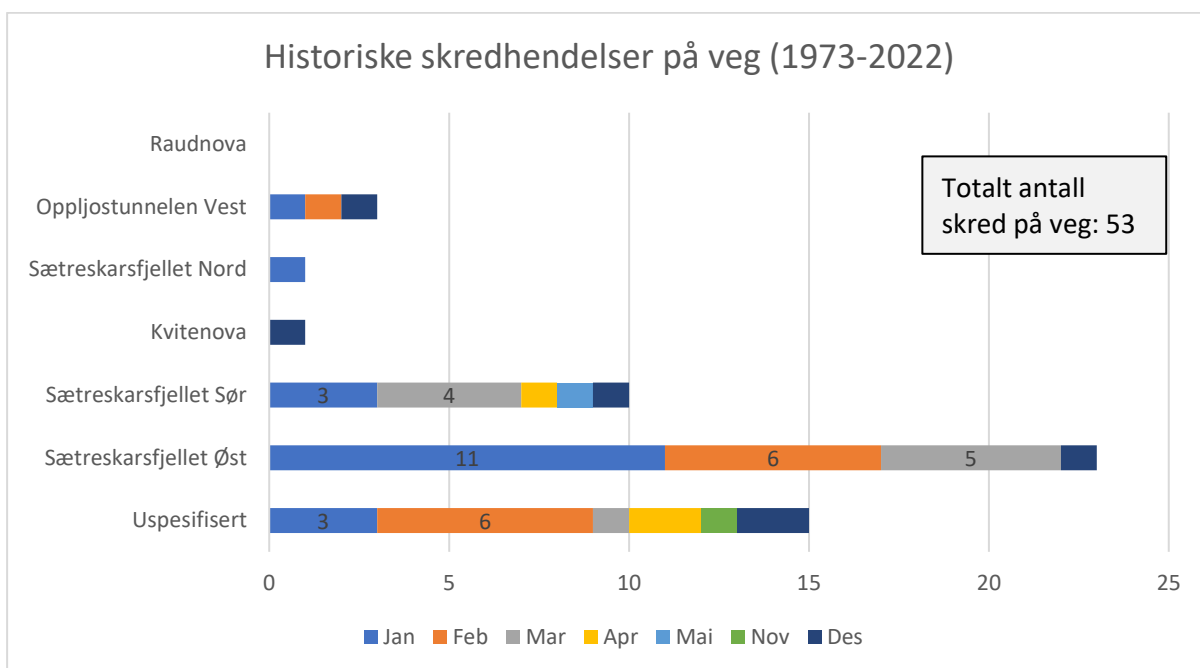
Registreringene i Grasdalen strekker seg tilbake til 1973, tiden da de startet planleggingen av Rv15 gjennom Grasdalen. Det er mørketall tilknyttet data fra skreddatabasen og andre skredregistreringer. Videre mangler noen av registreringene løsneområde/utløpsområde, er registrert flere ganger, har feil posisjon, eller mangler nyttige opplysninger (NVE, 2020b).

Etter filtrering av feilregistrering og dobbeltregistrering sitter vi igjen med 122 skredhendelser innenfor påvirkningsområdet som tas med i analysen. Dette er hendelser fra hele datagrunnlaget (Skredhendelsesdatabasen (NVE, 2021d), bilder (NVE, 2022a) og litteratur (Bakkehoi, 1987; Norem, 1981)). Hendelsene er knyttet til de forskjellige delområdene. Dersom dette ikke har vært mulig har hendelsene blitt registrert under «uspesifisert». Resultatet av analysen er vist i Figur 7.1. Figur 7.2 viser hvor mange av disse som har gått på og over Rv15.

Analysen av de historiske skredhendelsene gir en god indikasjon på i hvilke delområder skredaktiviteten er størst, samt hvilke deler av vegstrekningen som er mest utsatt. Skredaktiviteten i området er størst i januar måned. Som nevnt er det usikkerhet knyttet til datagrunnlaget, og det gir ikke en fullstendig oversikt over alle skred i perioden.



Figur 7.1: Historisk snøskredaktivitet i delområdene i Grasdalen. Perioden 1973-2022. Kilde: Bakkehoi (1987), Norem (1981), NVE (2021d) og NVE (2022a).










Figur 7.2: Historiske skredhendelser på veg i delområdene i Grasdalen. Perioden 1973-2022. Kilde: Bakkehoi (1987), Norem (1981), NVE (2021d) og NVE (2022a).

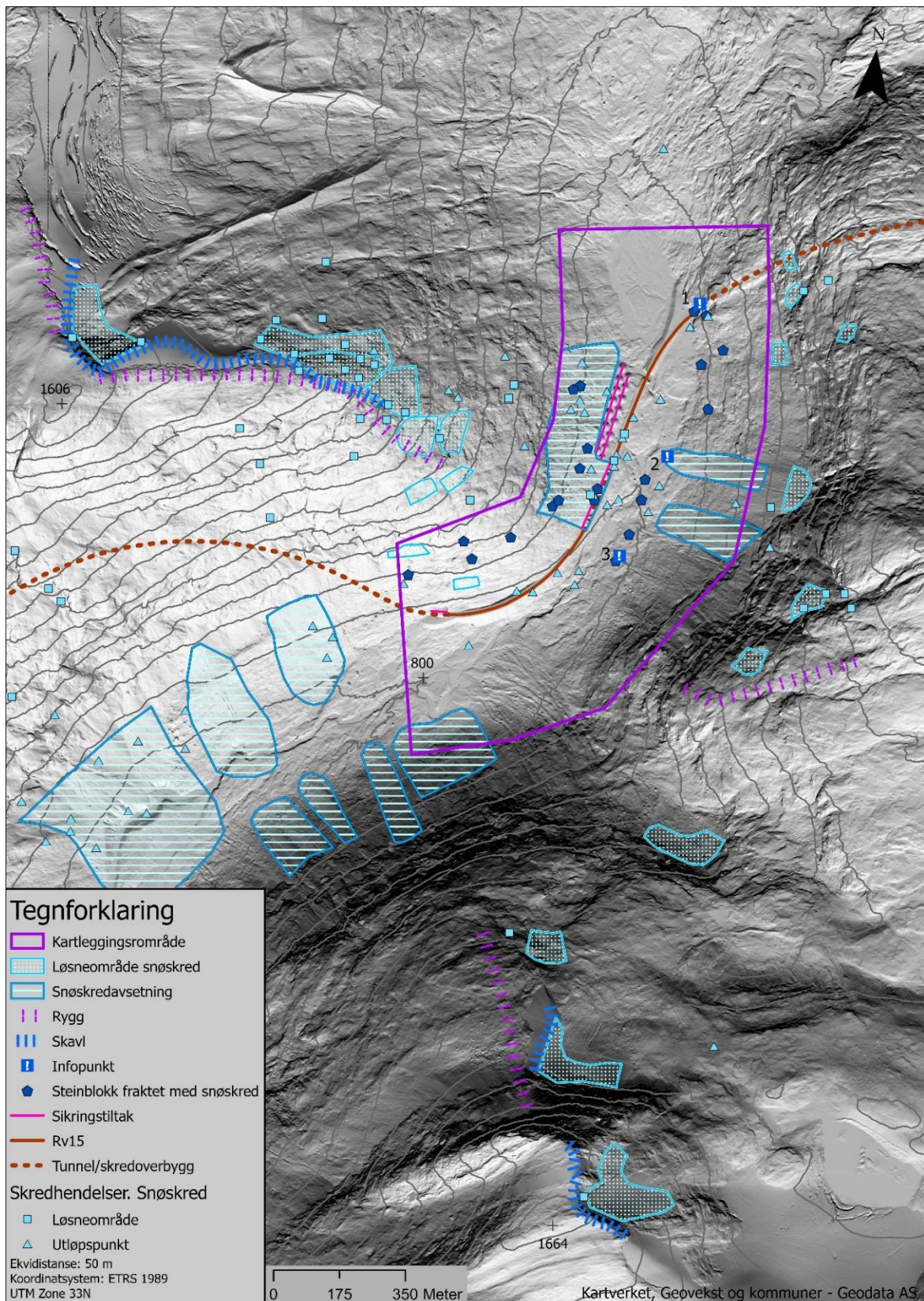
7.2 Registreringskart

Registreringskartet omfatter identifiserte løснеområder, skredbaner og skredavsetninger. Disse er identifisert gjennom terrengeanalyser i ArcGIS, studier av helningskart, skyggerelieffkart, fly/dronefoto, samt feltobservasjoner. Under feltarbeidet ble det lagt vekt på å kartlegge terrengformasjoner som antas å ha innvirkning på skredfarevurderingen, samt avsetninger og sår i terrenget fra skredaktivitet i området.

NVE (2020b) sin kartmal og symbologi er benyttet som utgangspunkt for registreringskartet. Tabell 7.1 forklarer noen av symbolene. Figur 7.3 viser registreringskartet, mens Tabell 7.2 beskriver de nummererte informasjonspunktene i kartet, med tilhørende bilder (Figur 7.4, Figur 7.5 og Figur 7.6). Sporloggen fra drone- og bakkebefaringen ligger vedlagt som Vedlegg 3.



Tabell 7.1: Forklaring av symboler benyttet i Registreringskartet (Figur 7.3)

Forklaring av symboler benyttet i Registreringskartet (Figur 7.3)		
	Faresoneområde	Området hvor faresoner for snøskred skal bestemmes.
	Snøskredavsetning	Avsetninger hovedsakelig avsatt av tidligere snøskred.
	Rygg	Ryggformasjon av betydning for skredforholdene i området.
	Skavl	Områder hvor snøskavl normalt bygger seg opp i løpet av vinteren.
	Infopunkt	Informasjon tilknyttet punktet er vist i Tabell 7.2.
	Løsneområde	Løsneområder for tidligere snøskred registrert i den nasjonale skredhendelsesdatabasen (NVE, 2021d).
	Utløpspunkt	Utløpspunkt for tidligere snøskred registrert i den nasjonale skredhendelsesdatabasen (NVE, 2021d).



Figur 7.3: Registreringskart hvor de viktigste resultatene fra feltarbeidet og terrengeanalysene er vist. Kartet viser også løsneområder og utløpspunkter for tidligere skred i området, registrert i den nasjonale skredhendelsesdatabasen. Det er tre feilregistrerte løsneområder markert på Rv15 ved skredoverbygget. Ifølge skredregistreringen løsnet disse 50-200 høydemeter over vegen, mest sannsynlig fra Sætreskarsfjellet Øst (NVE, 2021d).

Tabell 7.2: Beskrivelse og bilder av informasjonspunktene fra registreringskartet.

Nr.	Beskrivelse av informasjonspunktene i Figur 7.3
<p>1</p>	<p>Spør etter snøskred</p> <p>Figur 7.4 viser grus og småstein over tunnelportalen. Trolig fra tidligere snøskredaktivitet. Eventuelt fra snørydding med snøfres. Legg merke til fangkanten i betong i fremkant av tunnelportalen.</p>  <p>Figur 7.4: Grus og småstein over tunnelportalen. Fotoretning: Vest.</p>
<p>2</p>	<p>Snøskredavsetning.</p> <p>Punktene nedenfor beskriver avsetningene på stedet. Disse tolkes til å være snøskred- på steinsprangavsetninger, og er avbildet i Figur 7.5.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Innhold av sand, grus og organisk materiale. • Mose og gress i avsetningen. • Ingen gradering i kornstørrelse langs viften. • Mangler orientering i forhold til hverandre. • Ligger løst «balanserende» på hverandre . • Tydelig glattere overflate i skyggerelieffkartet. <p>Ifølge Sandøy og Rubensdotter (2020) er avsetningens karakteristikk typiske for snøskredavsetninger. Rød stiplet linje: Avgrensning av avsetningene. Rød sirkel: Løst «balanserende» stein.</p>  <p>Figur 7.5: Snøskredavsetninger. Rød sirkel viser stein avsatt løst balanserende. Legg merke til den manglende graden av sortering langs viften. Fotoretning: Øst.</p>

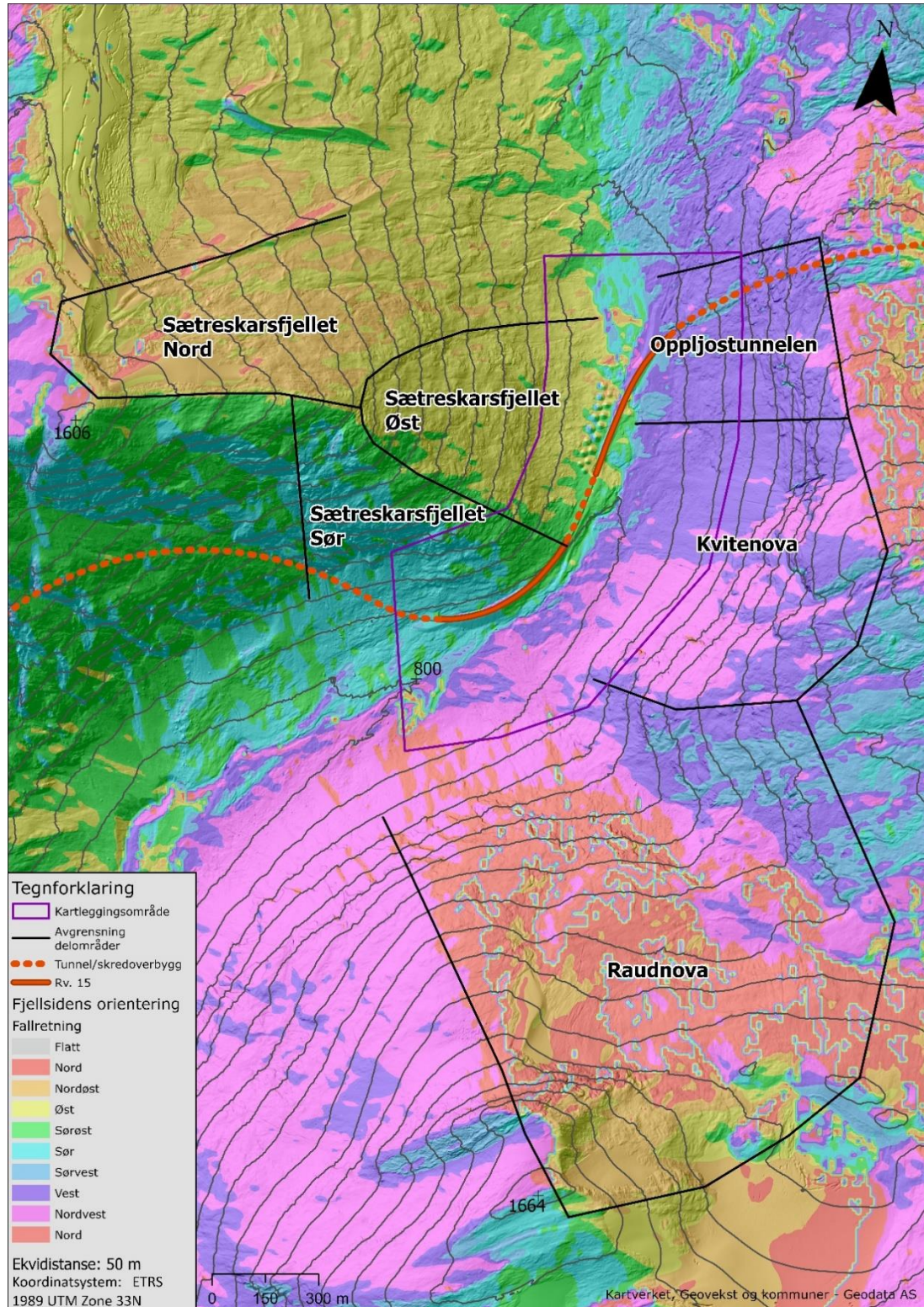
3 **Spor etter snøskred**
Figur 7.6 viser eksempel på avsetning som ligger løst «balanserende» på hverandre, og har blitt registrert under «spor etter snøskred» i registreringskartet.



Figur 7.6: Avsetning løst balanserende på hverandre. Fotoretning: Nordvest.

7.3 Delområder

Figur 7.7 viser inndelingen av de seks forskjellige delområdene som kan påvirke skredfaren i kartleggingsområdet. Kartets fargeinndeling viser fjellsidens orientering i forhold til himmelretningene.



Figur 7.7: Navngivning av de forskjellige delområdene. Svart heltrukket linje viser avgrensningen av områdene. Fargeinndelingen representerer fjellsidenes orientering i forhold til himmelretningene.

7.3.1 Område 1 - Sætreskarsfjellet Øst

Området ligger øst for toppen av Sætreskarsfjellet, og strekker seg opp til 1250 moh. Helningen er hovedsakelig mellom 45° og 28° bratt. I stor skala har delområdet en planær til konveks form, men i mindre skala har området flere konkave skålformasjoner, forsenkninger og mindre gjel. Vegetasjonen består i hovedsak av mose, gress, bregner og mindre vierkratt. Figur 7.8 viser et oversiktsbilde av delområdet, avgrenset av svart heltrukket linje.



Figur 7.8: Oversiktsbilde over delområdet Sætreskarsfjellet Øst. Svart heltrukket linje viser delområdets avgrensning. Bilderetning: NV. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Det er identifisert tre løснеområder som befinner seg innenfor området. Disse vil refereres til som Sætreskarsfjellet Øst 1, 2 og 3, og fremkommer i Figur 7.9. Tabell 7.3 inneholder en beskrivelse av løснеområdene og skredbanen, samt annen informasjon med betydning for skredfarevurderingen. Figur 7.10 og Figur 7.11 viser løснеområdene med tilhørende skredløp i svart stiplede linje. Figur 7.12 viser løснеområdenes plassering i vinterlandskapet.

Denne måten å presentere delområdene på, vil benyttes videre i delkapittelet. Skyggerelieffkart, bratthetskart, samt snødybden (den 31.01.2022 og 30.03.2022) ved Sætreskarsfjellet Øst ligger vedlagt som Vedlegg B.



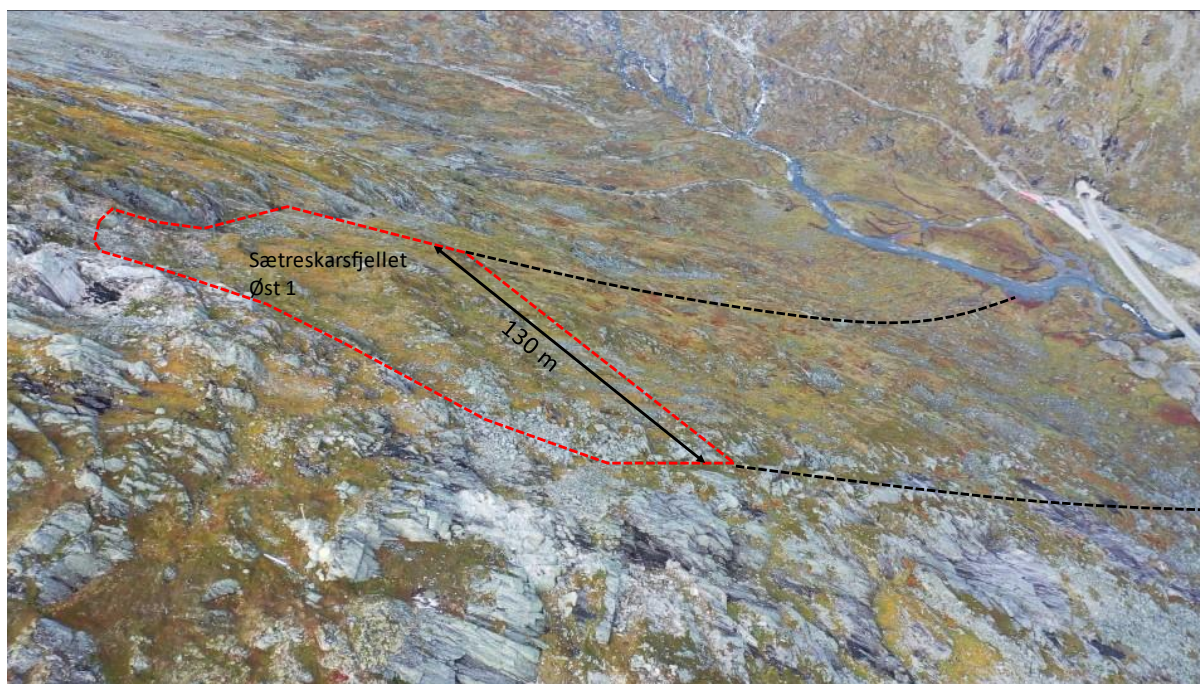
Figur 7.9: Øvre del av området, med de navngitte løснеområdene markert av røde stiplede linjer. Bilderetning: SV. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Tabell 7.3: Sætreskarsfjellet Øst. Beskrivelse av delområdet.

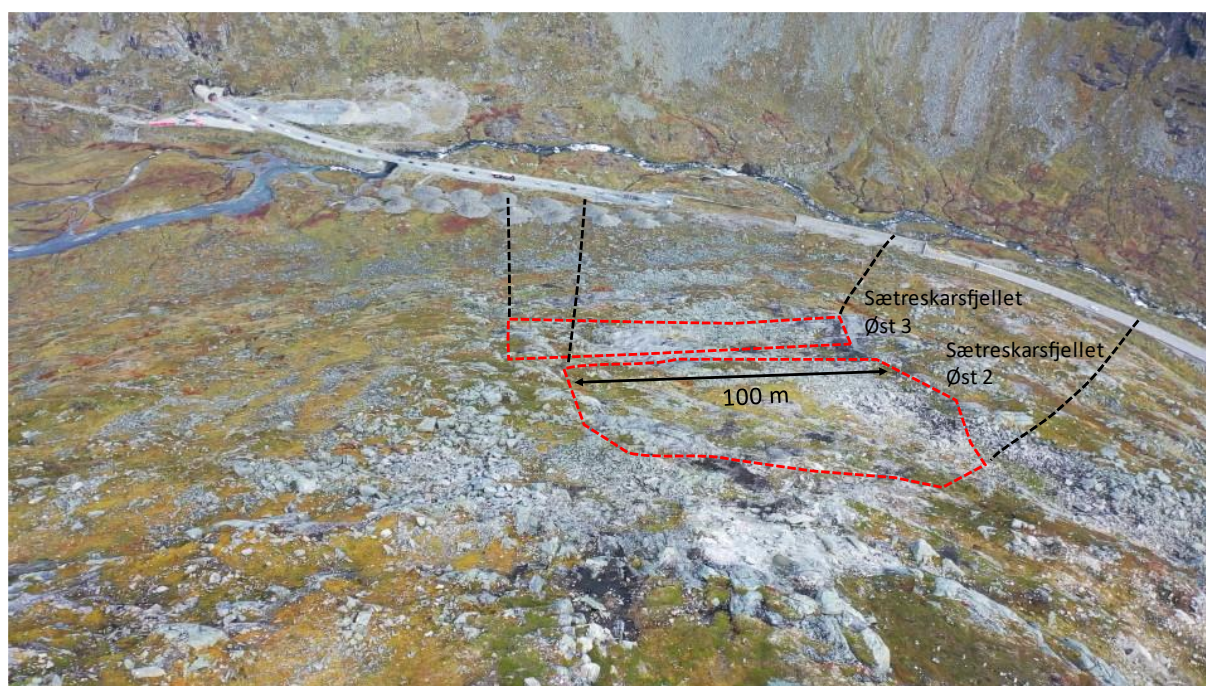
Løснеområder	
Utstrekning, helningsforhold og terrengform	<p>Sætreskarsfjellet Øst 1 (Øst 1): Areal: 16200 m² Høyde: 1200 moh. Høydeforskjell (vertikal høydeforskjell i skredbanen): 380 m Bratthet: 36° Løснеområdet avgrenses i nord av opptil 6 m høye og vertikale vegger som danner er tydelig forsenkning i overflaten (se Figur 7.10) Mot sør avgrenses området av en mindre ryggformasjon.</p>
	<p>Sætreskarsfjellet Øst 2 (Øst 2): Areal: 8442 m² Høyde: 1150 moh. Høydeforskjell: 330 m Bratthet: 35° Området ligger i en forsenkning i terrenget, og avgrenses i overkant av et 50° bratt og snøfattig parti. Mot sør avgrenses området av en vindutsatt ryggformasjon.</p>
	<p>Sætreskarsfjellet Øst 3 (Øst 3): Areal: 7800 m² Høyde: 1090 moh. Høydeforskjell: 250 m Bratthet: 32°</p>

Fortsettelse Tabell 6.3

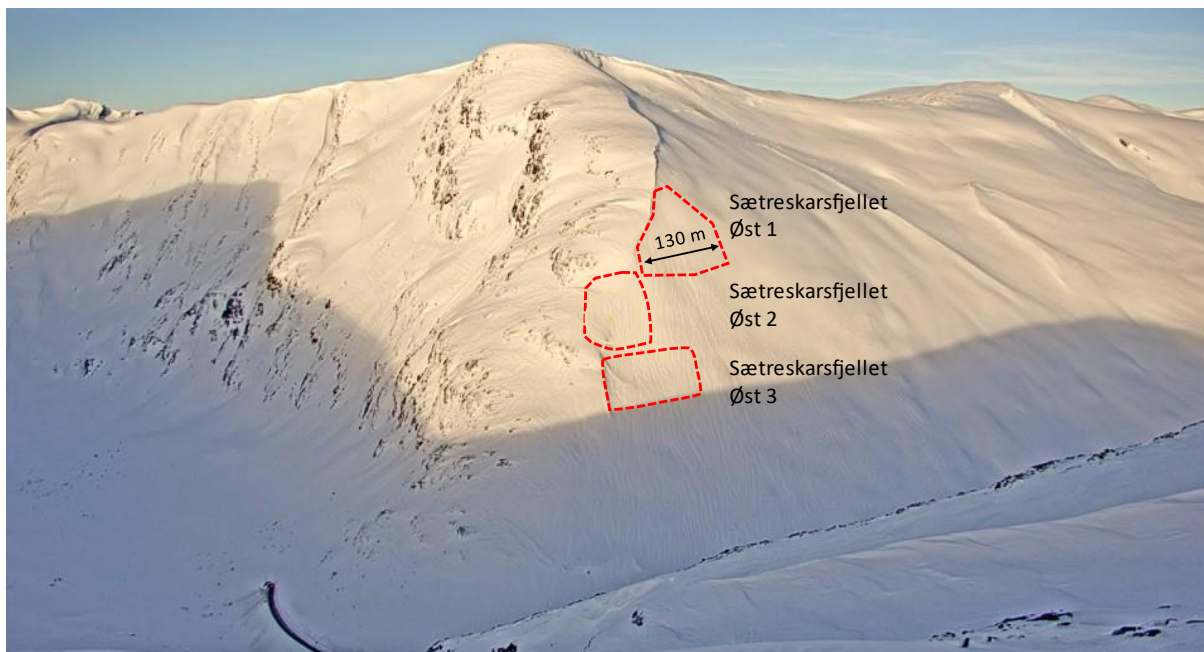
	Løsneområdet ligger i en forsenkning i terrenget, og avgrenses mot sidene av mindre ryggformasjoner.
Himmelretning	Alle områdene er orientert mot Ø-SØ.
Vind og snødrift	<p>Fremtredende vindretning fra SØ i området danner en stor skavl som henger ut over den øvre delen av Øst 1. Denne strekker seg videre retning NV langs ryggen.</p> <p>Alle områdene ligger i forsenkninger og le for fremtredende og nedbørsførende vindretning (NØ-SØ). De kan dermed akkumulere store mengder snø ved snøtransport og/eller nedbør i fjellet. Deler av Øst 2 ligger noe mer vindutsatt til langs den SØ-vendte ryggen. Ved vind fra NV vil den store bollen ved Sætreskarsfjellet Nord fungere som tilfangsareal for snødrift. Ved vindretninger fra SV-V vil delområdet Sætreskarsfjellet Sør fungere som tilfangsareal.</p>
Skredløp	
Beskrivelse av terrenget	Terrenget danner et åpent skredløp med en relativt brå overgang mot dalbunnen, særlig sør for bremsekjeglene. Formen av skredløpet antas ikke å kunne kanalisere hverken våte eller tørre snøskred i særlig grad. Skredløpene er også svakt steppeformet. Snøoverflaten vinterstid bærer ikke preg av dette.
Medrivning langs med skredbanen	De åpne skredløpene i området antas å kunne besitte store mengder snø som kan bidra til medrivning under en skredhendelse. Den kalde middeltemperaturen i vinterhalvåret vil bevare tørrsnøen i området. For å ta hensyn til medrivning i simuleringene, er størrelsen av løsneområdene økt med ca. 25 %.
Ruhet	Ruheten langs skredløpene er lav.
Annet	
Historiske skredhendelser	Analysen av de historiske skredhendelsene tyder på at skredaktiviteten innenfor påvirkningsområdet er hyppigst fra Sætreskarsfjellet Øst. Statistisk sett går det skred ned på eller over RV15 ca. annethvert år. Vegen er mest utsatt for skred i måneden januar, etterfulgt av februar og mars.
Felt-observasjoner	Under feltarbeidet ble det observert mange ustabile blokker og grusavsetninger ovenpå mose og lyng, noe som vitner om snøskredaktivitet i området. Anleggsarbeid og snørydding i tilknytning til tunnelene og Rv15 vanskeliggjør arbeidet med å identifisere spor etter snøskred nær vegen.
Lokalkunnskap	<p>Det går for det meste skred fra området ved vind og nedbør fra S-SV (K.Kristensen, pers. kom. 8. november 2021).</p> <p>Nedbør kommer også ofte ved vind fra N-NV. Skredaktiviteten er da normalt lavere. I vårsesongen går det våte løssnøskred forbi bremsekjeglene og over vegbanen (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2021).</p>



Figur 7.10: Løsneområdet Sætreskarsfjellet Øst 1 med tilhørende skredløp (rød stiplet linje). Forsenkningen langs spesielt nordsiden av løsneområdet kommer tydelig frem. Svarte stiplede linjer indikerer skredløp. Bilderetning: NØ. Foto: Halgeir Dahle, SVV.



Figur 7.11: Løsneområdene Sætreskarsfjellet Øst 2 og 3. Områdene ligger i en tydelig forsenkning i terrenget, og avgrenses mot sør av en vindutsatt ryggformasjon. Bilderetning: SØ. Foto: Halgeir Dahle, SVV.



Figur 7.12: Løsneområdenes plassering i det snødekte landskapet. Legg merke til skavlen i overkant av Sætreskarsfjellet Øst 1. Fotoretning: V. Foto: SVV.

7.3.1.1 Vurdering av forskjellige løsnescenarioer og løsnesannsynlighet

Det er særlig tørre flakskred som er hyppige i området. Våte snøskred forekommer på våren under perioder med sterk solinnstråling.

Sætreskarsfjellet Øst 1:

Skred fra området med en størrelsesorden fra 3-4 forekommer hvert 2.-5. år ifølge skredstatistikken. Ved sjeldnere scenarier, rundt ti år, ansees det som sannsynlig at løsneområdet vil ha bruddforplantning i retning nordvest etter perioder med nedbør og vindtransport fra SV. Bruddkanthøyder på 1,5 m er sannsynlig ved et slikt scenario. Løsneområdet kan også ha forplantning i retning sør, og gå sammen med delområdene Øst 2 og 3.

Ved sjeldnere scenarier, rundt 50 år, er det sannsynlig med skred i størrelsesorden 5 fra området. Store nysnømengder og vindtransport kan tenkes å føre til bruddkanthøyder på opp mot 2,3 m. Store deler av Sætreskarsfjellet Nord kan løsne sammen med Sætreskarsfjellet Øst. Dette scenarioet antas å ha skjedd minst en gang siden vegen åpnet.

Sætreskarsfjellet Øst 2:

Skred fra dette løsneområdet antas å være noe sjeldnere enn skred fra de to andre løsneområdene innenfor delområdet. Bakgrunnen for dette er at løsneområdet er delvis vindutsatt ved vindretninger fra SV. Samtidig indikerer simuleringene at skred fra løsneområdet delvis treffer vegen sør for skredoverbygget. Denne delen av vegen er sjeldent utsatt for skred.

Sætreskarsfjellet Øst 3:

Ved et typisk 10-års scenario anses det som sannsynlig at skred fra løsneområdet går i

forbindelse med skred fra Øst 1. Områdets orientering og evne til å samle snø legger til rette for skred med jevne mellomrom. Plasseringen av skredoverbygget i bunnen av skredbanen indikerer også at skredaktiviteten i området er relativt stor.

7.3.1.2 Simuleringer

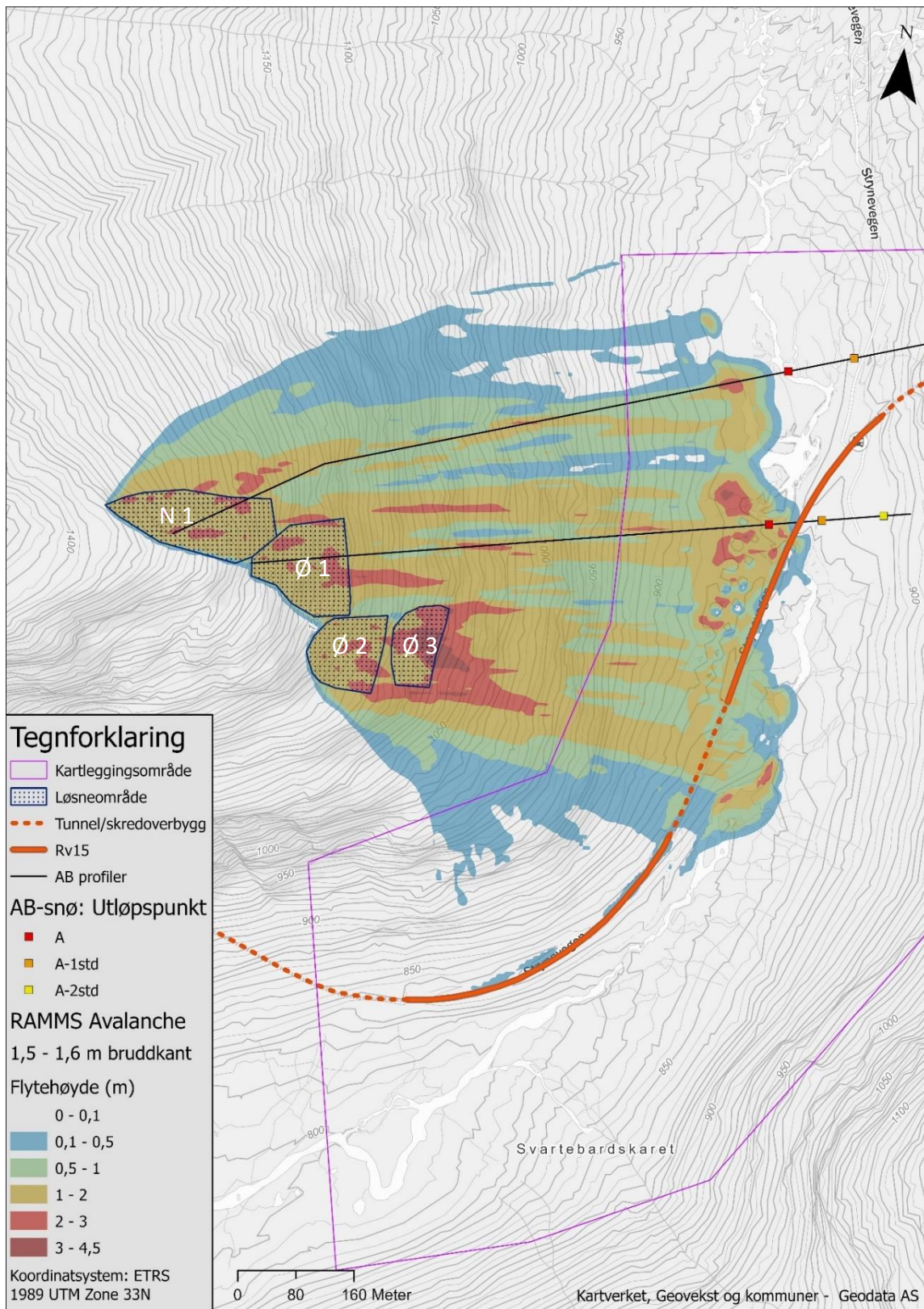
10- og 50-års scenarioene omtalt ovenfor er simulert i RAMMS. Tabell 7.4 viser parameterne som benyttes i simuleringene. Alle skredene er modellert med en tetthet på 300 kg/m³. De forskjellige scenarioene vist i tabellen er simulert individuelt, før resultatet av disse er sammensatt og vist i Figur 7.13 (ti-års scenario) og Figur 7.14 (50-års scenario).

Nummereringen av løsneområdene (Sætreskarsfjellet Øst 1, 2 osv.) er vist i figurene av simuleringene. Det er valgt å vise skredets flyte høyde fremfor skredhastighet og trykk. Bakgrunnen for dette, er at det i tillegg til skade på personell og kjøretøy som følger av kreftene fra skredmassene, er en fare for at bilister kjører inn i skredmassene i vegbanen. Resultatet av simuleringene er benyttet til å definere de forskjellige skredløpene, samt å gi en indikasjon på skredenes utløpslengde ved de forskjellige scenariene.

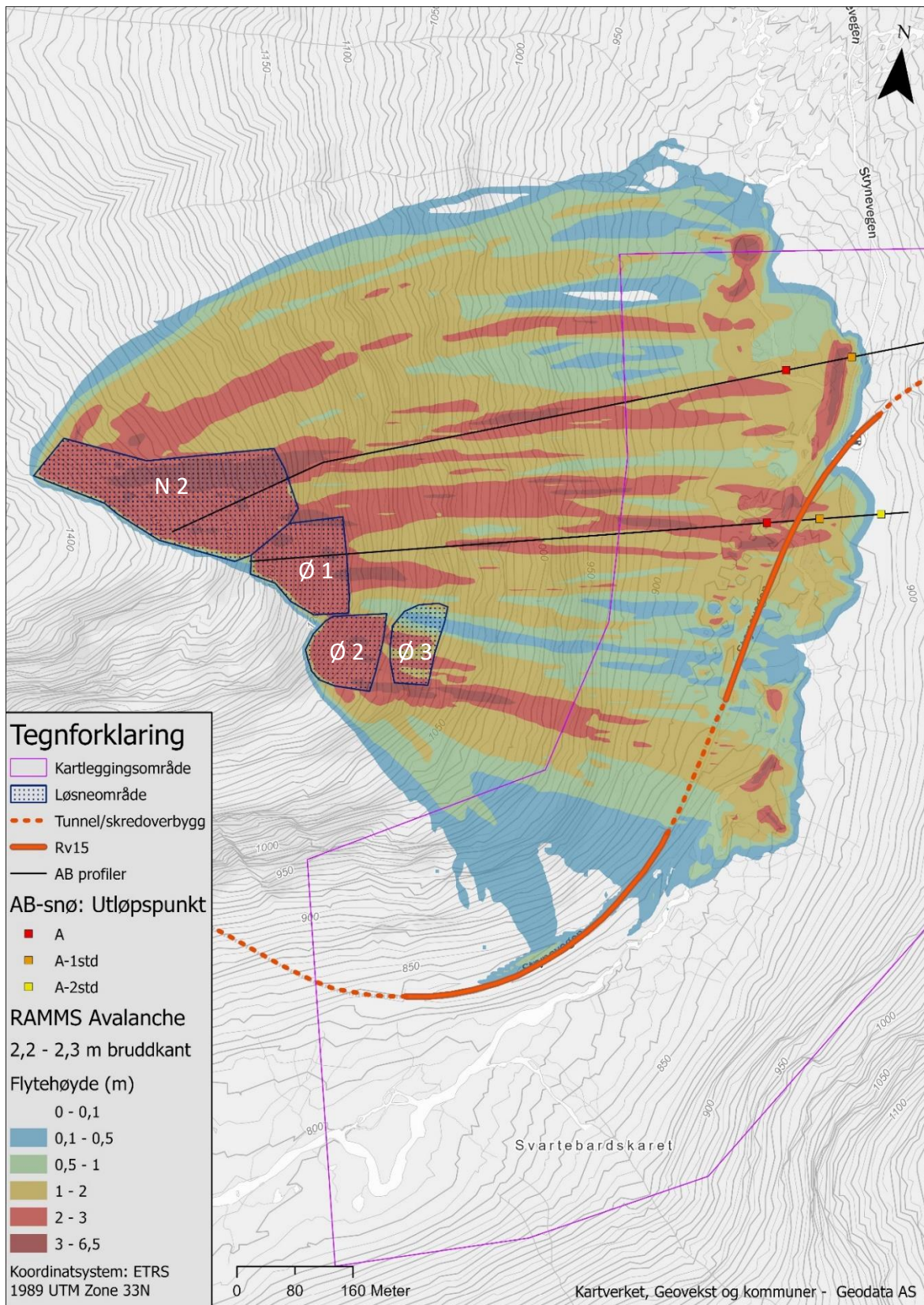
Bruddkanthøyden ved 10- og 50-års scenario som benyttes i modelleringene er bestemt etter beregnet akkumulert 3-døgnsnedbør. I områder hvor snøtilvekst som følger av vindtransport er aktuelt, er bruddkanthøyden økt med 20 cm ved et 10-års scenario og 50 cm ved et 50-års scenario. Dette gjelder alle de videre simuleringene. Sim. nr. i første kolonne refererte til loggfilen fra RAMMS simuleringen. Filene er vist i Vedlegg 6. Dette gjelder alle simuleringer i oppgaven.

Tabell 7.4: Oversikt over parametere benyttet i simuleringer av snøskred i RAMMS Avalanche fra delområdet Sætreskarsfjellet Øst.

Scenario Sim. nr.	Løsneområde	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Forsinkelse (sek)	Volum-kategori	Høyde-intervall (moh.)
1/10 9	Sætreskarsfjellet Øst 1	1,51	10	42 222	0	Medium	500,0
	Sætreskarsfjellet Øst 2	1,51			0		
1/10 10	Sætreskarsfjellet Øst 1	1,51	10	37 153	0	Medium	500,0
	Sætreskarsfjellet Øst 3	1,54			8		
1/10 11	Sætreskarsfjellet Øst 1	1,51	10	54 317	5	Medium	500,0
	Sætreskarsfjellet Nord 1	1,59			0		
1/50 12	Sætreskarsfjellet Øst 1	2,17	100	130 308	0	Large	500,0
	Sætreskarsfjellet Nord 2	2,28			0		
1/50 13	Sætreskarsfjellet Øst 1	2,17	100	61 215	0	Large	500,0
	Sætreskarsfjellet Øst 2	2,15			0		



Figur 7.13: Sætreskarsfjellet Øst og Nord. Simuleringer av ulike 10-års scenarier for snøskred i RAMMS:: Avalanche med bruddkanthøyder varierende fra 1,5-1,6 m. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015). Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier. Nummereringen Ø 1, 2 og 3 refererer til løsneområdene Sætreskarsfjellet Øst 1, 2 og 3. N 1 refererer til Sætreskarsfjellet Nord 1 som ved et 10-års scenario kan løsne sammen med Sætreskarsfjellet Øst 1.



Figur 7.14: Sætreskarsfjellet Øst og Nord. Simuleringer av ulike 50-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med bruddkanthøyder varierende fra 2,1-2,3 m. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015). Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier. N 2 refererer til Sætreskarsfjellet Nord 2 som ved et 50-års scenario kan løsne sammen med Sætreskarsfjellet Øst 1.

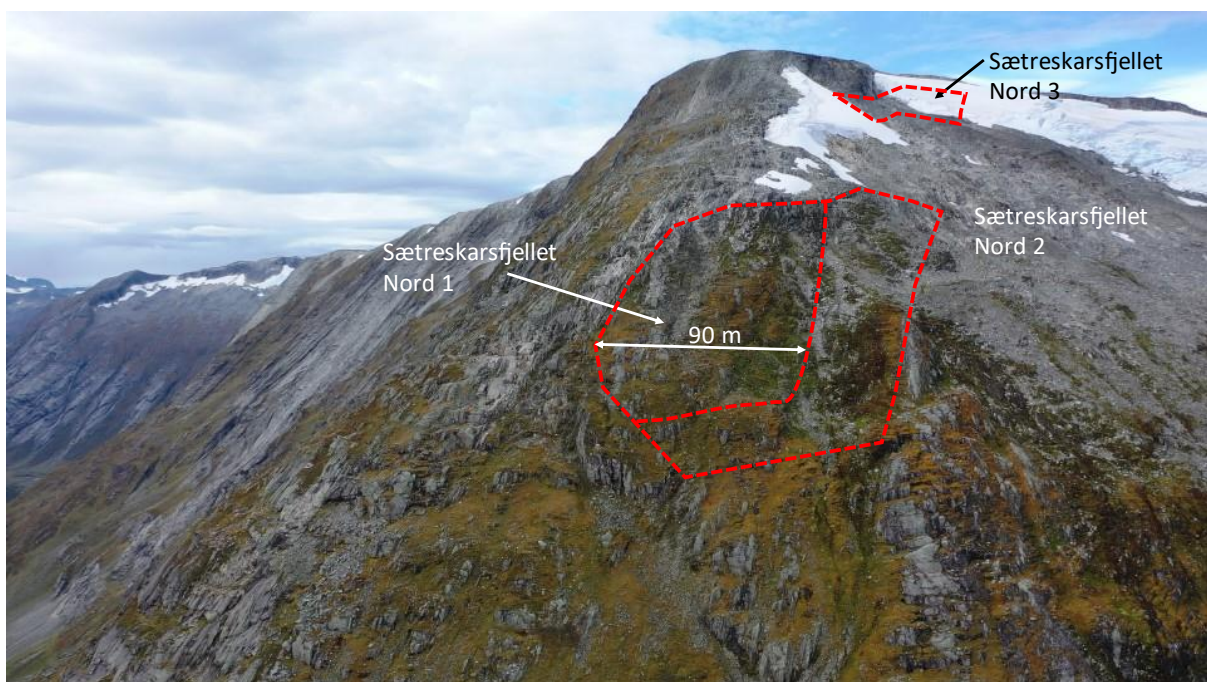
7.3.2 Område 2 – Sætreskarsfjellet Nord

Figur 7.15 viser et oversiktsbilde av området avgrenset av svart linje.



Figur 7.15: Oversiktsbilde over delområdet Sætreskarsfjellet Nord. Svart linje viser delområdets avgrensning. Foto: SVV.

Det er identifisert tre løснеområder som befinner seg innenfor området. Figur 7.16 og Figur 7.17 viser avgrensningen av løснеområdene og skredløpene. Tabell 7.5 inneholder en beskrivelse av løснеområdene og skredbanen, samt annen informasjon med betydning for skredfarevurderingen.



Figur 7.16: Avgrensning av løснеområder ved Sætreskarsfjellet Nord. Foto: Halgeir Dahle, SVV.



Figur 7.17: Løsneområdene ved Sætreskarsfjellet Nord med tilhørende skredløp. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Tabell 7.5: Sætreskarsfjellet Nord. Beskrivelse av delområdet.

Løsneområder	
Utstrekning, helningsforhold og terrengform	Sætreskarsfjellet Nord 1 (Nord 1): Areal: 18300 m ² Høyde: 1300 moh. Høydeforskjell: 480 m Bratthet: 34° Løsneområdet grenser i øst til Sætreskarsfjellet Øst 1, og strekker seg herfra retning NV. Den øvre delen av løsneområdet avgrenses av en stor snøskavl som bygger seg opp langs ryggen mot toppen av Sætreskarsfjellet. I skredbaneretning avgrenses området langs en forsenkning i terrenget hvor brattheten avtar.
	Sætreskarsfjellet Nord 2 (Nord 2): Areal: 41700 m ² Høyde: 1300 moh. Høydeforskjell: 500 m Bratthet: 32° Løsneområdet er en utvidelse av Nord 1, og avgrenses mot vest langs en ryggformasjon hvor områdets bratthet avtar til under 28°. I skredbaneretning begrenses løsneområdet av en mindre ryggformasjon i terrenget hvor snødekket er tynt (se Vedlegg 2, snødybdekart).
	Sætreskarsfjellet Nord 3 (Nord 3): Areal: 22800 m ² Høyde: 1500 moh.

Fortsettelse Tabell 6.5

	<p>Høydeforskjell: 680 m Bratthet: 33° Løснеområdet ligger i en skålformasjon NØ for toppen av Sætreskarsfjellet, og avgrenses i overkant av et klippeparti. I SØ, og i skredbaneretning, avgrenses området av slakere partier som er mindre enn 28° bratt. Området kan ha videre forplantning i retning nord.</p>
Himmelretning	Alle løснеområdene er orientert i retning NØ.
Vind og snødrift	Alle løснеområdene ligger i le av nedbørsførende og fremtredende vindretning. Den store skavlen ovenfor løśnieområdene indikerer også at det er snøtransport i området. Alle løśnieområdene vurderes å kunne akkumulere store mengder snø ved vindtransport. Nord 1 og 2 samler snø ved vindretninger fra S til SV, Nord 3 fra S-V. Nord 3 har et noe større tilfangsområde vest for toppen av Sætreskarsfjellet for snøtransport.
Skredløp	
Beskrivelse av terrenget	I øst danner terrenget et åpent skredløp, med en relativt jevn overgang mot dalbunnen. Underlaget består av en slett bunnmorene som delvis dekkes av mose og gress under 1300 moh. I vest følger skredløpet en forsenkning i terrenget, og en karakteristisk morenerygg leder skredmassene nedover mot dalbunnen. En slett bunnmorene bestående av steinblokker opp til 0,5 m ³ danner underlaget.
Medrivning langs med skredbanen	De åpne skredløpene i området antas å kunne besitte store mengder snø som kan bidra til medrivning under en skredhendelse. Bakgrunnen for dette er at områdene ligger i le for nedbørsførende vindretninger, og at det generelt er store snømengder i området. Den kalde middeltemperaturen i vinterhalvåret vil bevare tørrsnøen i området. For å ta hensyn til medrivning i simuleringene er størrelsen av løśnieområdene økt med ca. 25 %.
Ruhet	Ruheten langs skredløpet er lav.
Annet	
Historiske skredhendelser	Historiske skredhendelser fra området viser at det jevnlig går snøskred i området, og at noen av disse har vært svært store. Analysen av de tidligere skredhendelsene tilsier imidlertid at skred fra området ikke når vegen. Dette er delvis riktig, men ved forplantning til Sætreskarsfjellet Øst anses det som sannsynlig at skredet kan nå Rv15.
Lokalkunnskap	Nord 1 er det mest aktive av de tre løøgneområdene, og normalt etter vindretninger fra S-SV. Ved større skredhendelser kan skredet forplante seg i retning øst og gå sammen med Sætreskarsfjellet Øst 1. Ved de største kjente skredhendelsene har Nord 2 trolig løgnet med forplantning til Sætreskarsfjellet Øst 1. Dette er muligens scenarioet som tok høyspentlinjen til Fonnbu i 1983. Fra Nord 3 går det normalt skred under eller i etterkant av perioder med vestavind (K. Kristensen, pers. kom. 8. november 2021).

7.3.2.1 Vurdering av forskjellige løsnescenarioer og løsnessannsynlighet

Det ser ut til at det hovedsakelig er tørre flakskred som er hyppige i området. Våte snøskred kan forekomme, antagelig under perioder med regn. Bruddkanthøydene ved 10- og 50-års scenarioer er bestemt etter beregnet akkumulert 3-døgnsnedbør med vindtransport. Det er lagt til 20 cm for et 10-års scenario og 50 cm for et 50-års scenario i vindtransport.

Sætreskarsfjellet Nord 1:

Skred fra området med en størrelsesorden på 3-4 ser ut til å forekomme mellom hvert 5. til 10. år. Ved et 10-års scenario anses det som sannsynlig at løsneområdet vil ha en bruddforplantning i retning øst etter perioder med nedbør og vindtransport fra SV. Bruddkanthøyder på rundt 1,5 m tenkes å være sannsynlig ved et slikt scenario.

7.3.2.1.1 Sætreskarsfjellet Nord 2:

Ved sjeldne scenarioer, rundt 50 år, er det kjent at det kan gå svært store skred av størrelsesorden 5 fra området. Store mengder nysnø og vindtransport kan tenkes å føre til bruddkanthøyder på opp mot 2,3 m. Dette kan føre til at store deler av Sætreskarsfjellet Nord løsner, med forplantning til Sætreskarsfjellet Øst 1. Dette scenarioet antas å ha skjedd minst en gang siden veggen åpnet, og trolig i 1983 (se Figur 6.3).

Sætreskarsfjellet Nord 3:

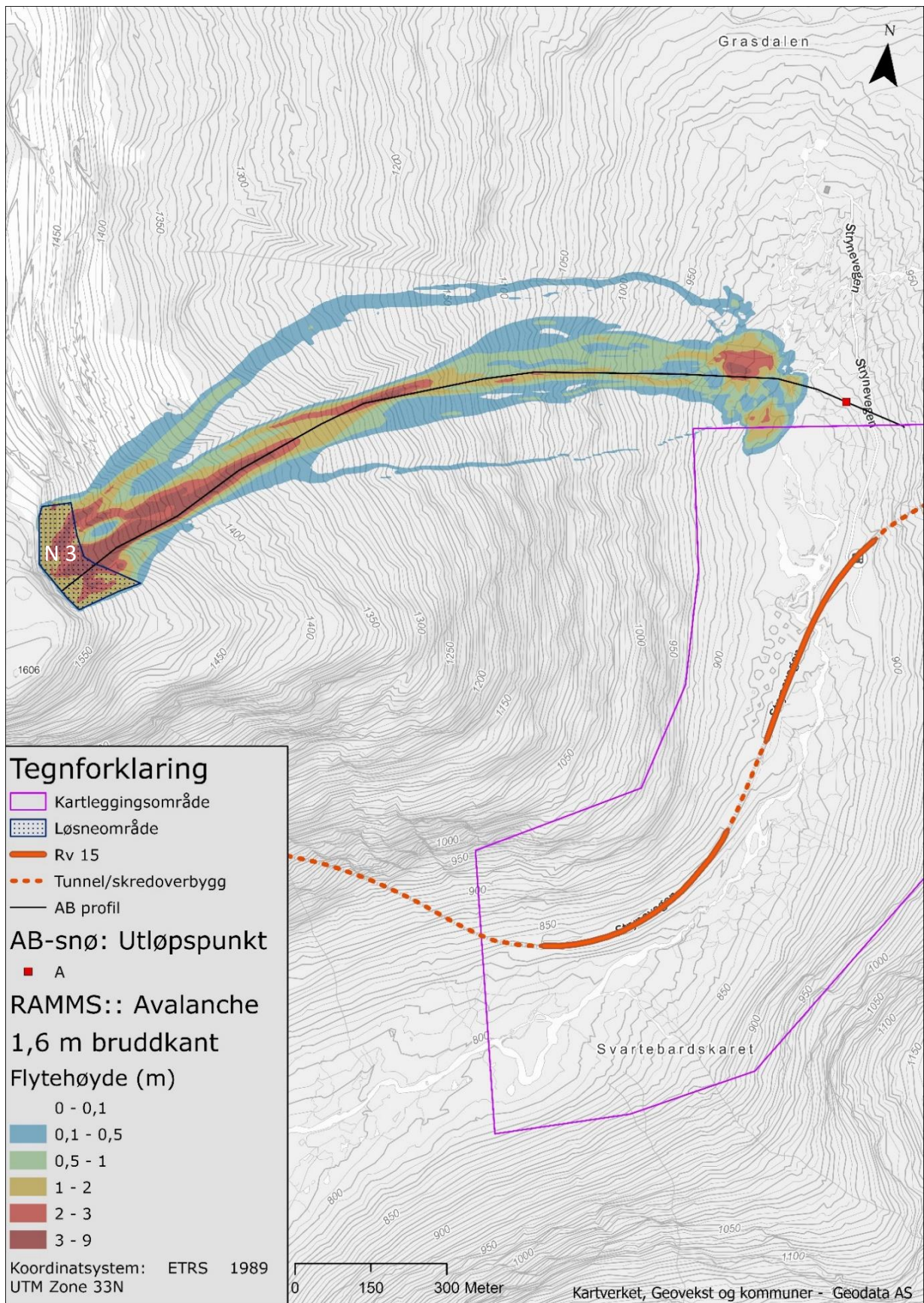
Skred fra området er sannsynlig. Det er derimot ikke kjent at skred fra området har hatt utløp til Rv15. Bruddkanthøyder på 2,3 m tenkes å være realistisk ved et 50-års scenario.

7.3.2.2 Simuleringer

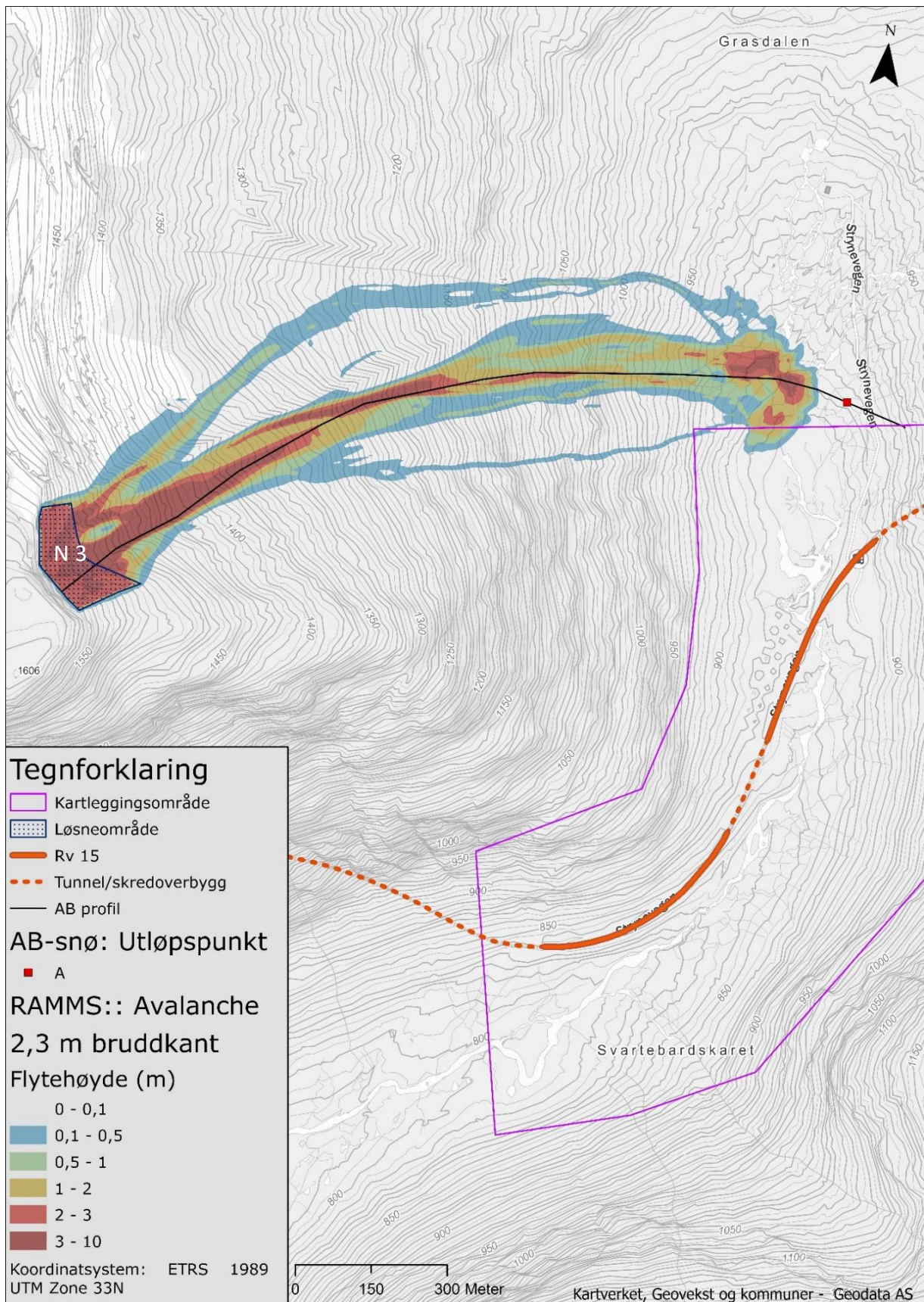
Scenarioene omtalt ovenfor er modellert i programvaren RAMMS. Modelleringene av Nord 1 og 2 er vist tidligere i Figur 7.13 og Figur 7.14. Tabell 7.6 viser parameterne som benyttes i simuleringene av løsneområdet Nord 3. Figur 7.18 og Figur 7.19 viser resultatet av modelleringene av Nord 3.

Tabell 7.6: Oversikt over parametere benyttet i modelleringer av snøskred i RAMMS for området Sætreskarsfjellet Nord 3.

Scenario Sim. nr.	Løsneområde	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Volumkategori	Høydeintervall (moh.)
1/10 14	Sætreskarsfjellet Nord 3	1,65	10	37 649	Medium	500,0
1/50 15	Sætreskarsfjellet Nord 3	2,3	10	52 480	Medium	500,0



Figur 7.18: Sætreskarsfjellet Nord 3. Simuleringer av 10-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med bruddkanthøyde på 1,65 m. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015).



Figur 7.19: Sætreskarsfjellet Nord 3. Simuleringer av 50-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med bruddkanthøyde på 2,3 m. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015).

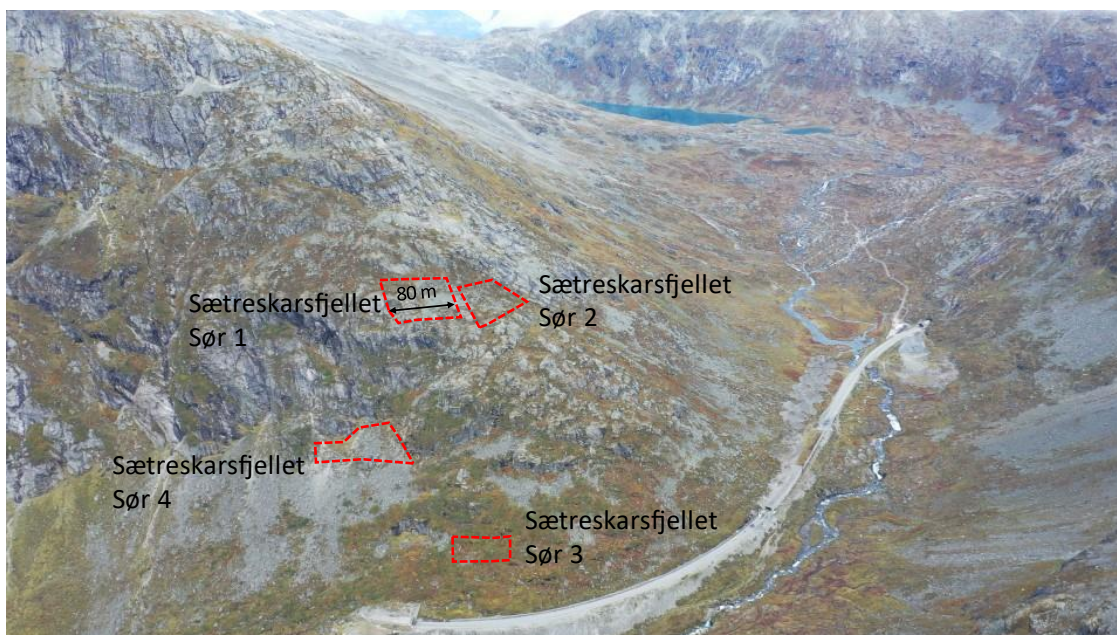
7.3.3 Område 3 – Sætreskarsfjellet Sør

Figur 7.20 viser et oversiktsbilde av området avgrenset av svart heltrukken linje. Det er generelt en stor grad av brattheten innfor delområdet, med flere klippepartier som avgrenser størrelsen til eventuelle løснеområder.



Figur 7.20: Oversiktsbilde og avgrensing av delområdet Sætreskarsfjellet Sør. Bilderetning NV. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Det er identifisert fire løснеområder som befinner seg innenfor området. Disse vil bli referert til som Sætreskarsfjellet Sør 1, 2, 3 og 4. Figur 7.21 og Figur 7.22 viser avgrensingen av de fire løснеområdene. Tabell 7.7 beskriver løснеområdene og skredbanen, samt annen informasjon med betydning for skredfarevurderingen.



Figur 7.21: Oversiktsbilde og navngivning av løснеområdene ved Sætreskarsfjellet Sør. Bilderetning: NV. Foto: Halgeir Dahle, SVV.



Figur 7.22: Oversiktsbilde av løснеområdene ved Sætreskarsfjellet Sør. Bilderetning: NØ. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

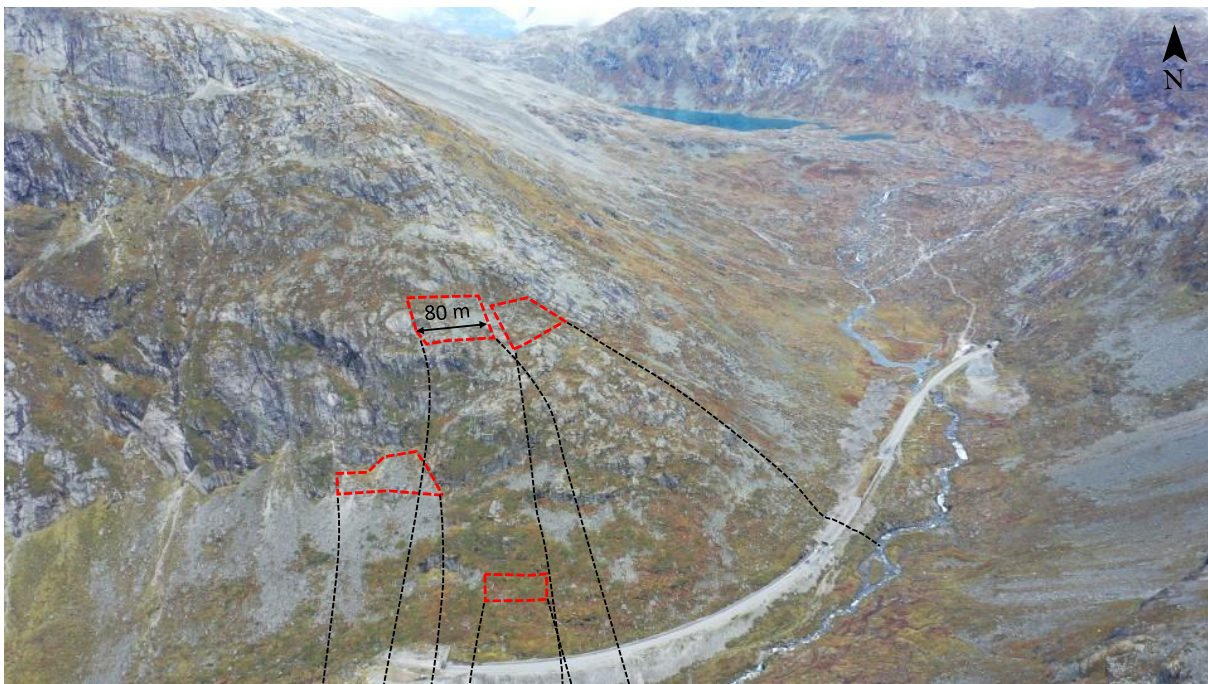
Tabell 7.7: Sætreskarsfjellet Sør. Beskrivelse av delområdet.

Løснеområder	
Utstrekning, helningsforhold og terrengform	<p>Store deler av området lengst øst er utelukket som løснеområde, da det enten er for bratt eller for slakt. Alle løснеområdene ligger i forsenkninger i terrenget.</p> <p>Sætreskarsfjellet Sør 1 (Sør 1): Areal: 4180 m² Høyde: 1080 moh. Høydeforskjell: 280 m Bratthet: 35° Løснеområdene ligger i en forsenkning i terrenget, og avgrenses av avblåste ryggformasjoner og brattere partier. Mulig forplantning til Sør 2.</p> <p>Sætreskarsfjellet Sør 2 (Sør 2): Areal: 3600 m² Høyde: 1060 moh. Høydeforskjell: 260 m Bratthet: 34° Løснеområdene ligger i en forsenkning i terrenget, og avgrenses av avblåste ryggformasjoner og brattere partier. Mulig forplantning til Sør 1.</p> <p>Sætreskarsfjellet Sør 3 (Sør 3): Areal: 2150 m² Høyde: 870 moh.</p>
Fortsettelse Tabell 6.7	

	<p>Høydeforskjell: 130 m Bratthet: 35° Området avgrenses av slakere terreng under 28° med unntak av et klippeparti i overkant.</p> <p>Sætreskarsfjellet Sør 4 (Sør 4): Areal: 3300 m² Høyde: 940 moh. Høydeforskjell: 150 m. Bratthet: 38° Løsneområdet ligger i toppen av en skredvifte, tett under ett klippeparti 950 moh. Klippene danner en bolleformasjon rundt løsneområdet.</p>
Himmelretning	Sør 1 og 2 er orientert mot SØ. Sør 3 og 4 har en sørlig orientering.
Vind og snødrift	Alle løsneområdene ligger i lo av nedbørsførende vindretning. Spesielt områdene Sør 1 og 2 ligger tett opp til den vinderoderte SØ-vendte ryggformasjonen. Ved nedbør og vind fra nordlig sektor vil fjellsiden derimot kunne akkumulere snø, og områdene Sætreskarsfjellet Øst og Nord kan fungere som tilfangsområder for snødrift. Ifølge Norem (1981) går de fleste skred fra området etter perioder med vind og nedbør fra nord.
Skredløp	
Beskrivelse av terrenget	<p>De forskjellige skredløpene er markert med svart stiplet linje i Figur 7.23. Samtlige av dem danner åpne skredløp, med liten til ingen grad av kanalisering. Overgangen mot dalbunnen er brå.</p> <p>Sør 1 og 2: Skredløpene er preget av det trappeformede terrenget, med flere klippepartier med flatere områder imellom. Klippenes høyde øker mot vest. Underlaget består av lyng og gress, samt mindre partier med ur-materiale.</p> <p>Sør 3 og 4: Underlaget består av ur-materiale, lyng og gress.</p>
Medrivning langs med skredbanen	<p>Det er generelt bratt og lite snø tilgjengelig for medrivning i området.</p> <p>Medrivning av masser langs skredløpet antas derfor å være mindre aktuelt i området.</p>
Ruhet	<p>Sør 1 og 2: Stor ruhet ned det trappeformede skredløpet.</p> <p>Sør 3 og 4: Lav ruhet.</p>
Annet	
Skog	Området ved Sør 3 har en ung bjørkeskog/kjerr. Skogen viser tydelige tegn til snøsig/skredhendelser ved at trær på enkelte plasser vokste horisontalt ut av bakken. Skogens høyde er på opptil 2 m, med en diameter i brysthøyde på opptil 7 cm. På vinterstid er mesteparten av skogen snødd ned. Grunnet størrelsen av skogen har det ikke blitt tatt hensyn til denne i skredfarevurderingen.
Historiske skredhendelser	Historiske skredhendelser fra området viser at det jevnlig går snøskred i området. Analysen av skredhendelser tilsier at det går skred på veien i området hvert femte år.

Fortsettelse Tabell 6.7

Lokalkunnskap	<p>I etterkant av forlengelsen av tunnelportalen er det usikkert om det har gått store skred ned i vegbanen i direkte tilknytning til portalen (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2021 & K. Kristensen, 8. november 2021).</p> <p>Det går generelt små skred ned i vegbanen i delområdet. De fleste treffer vegen langs strekningen fra tunnelåpningen og 200 m retning NØ. Det har ved flere anledninger løsnest skred helt nede ved vegen. Skred treffer sjeldent vegen like sør for skredoverbygget. I de tilfellene dette har skjedd, har det vært mindre skred med rundt en meter tykke avsetning i vegbanen (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2021)</p>
----------------------	--



Figur 7.23: Oversiktsbilde av løsneområdene med tilhørende skredløp. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

7.3.3.1 Vurdering av forskjellige løsnescenarioer og løsnensannsynlighet

Under perioder med mye snø og regn kan det forventes både tørre og våte løssnøskred i området, eller ved sterk solinnstråling på våren. Tørre flaskred vil også kunne forekomme under perioder med nedbør og vind fra nordlig sektor. Skyggerelieffkartet viser at skredviften i området Sør 4 har en relativt stor ruhet sammenlignet med området 100 m vest. Dette kan tyde på at snøskredaktiviteten øker i retning vest og ut av kartleggingsområdet.

Ved et typisk 10-års scenario tyder terrengobservasjoner og klimadata på at det kan være sannsynlig med bruddkanthøyder på opptil 1,3 m fra løsneområdene. Ved et 50-års scenario vil trolig Sør 1 og 2 kunne løsne samtidig med bruddkanthøyder på rundt 1,6 m. Det er ikke

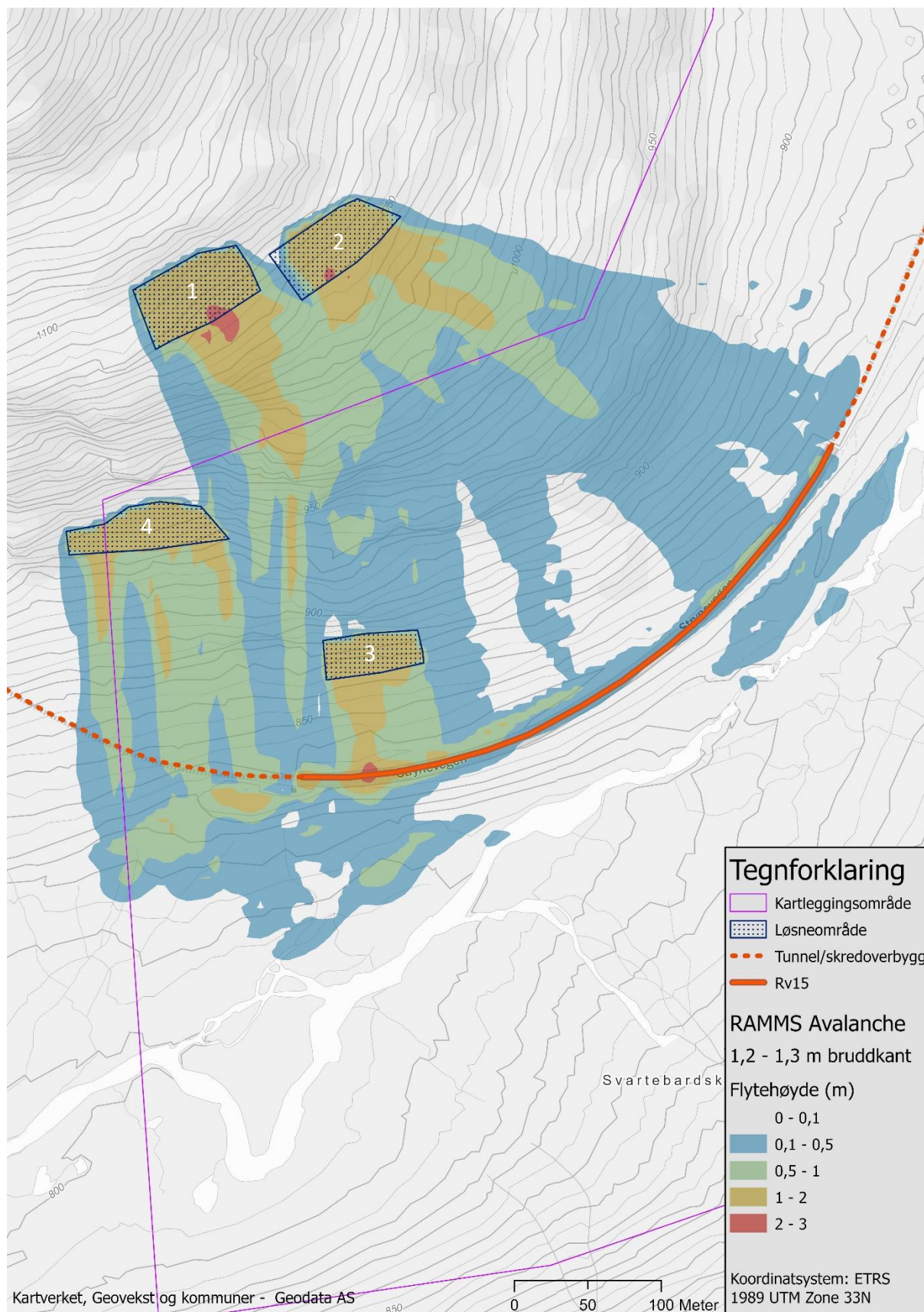
vurdert som nødvendig å ta høyde for snøtilvekst som følge av vindtransport ved simuleringer av scenarier fra området.

7.3.3.2 Simuleringer

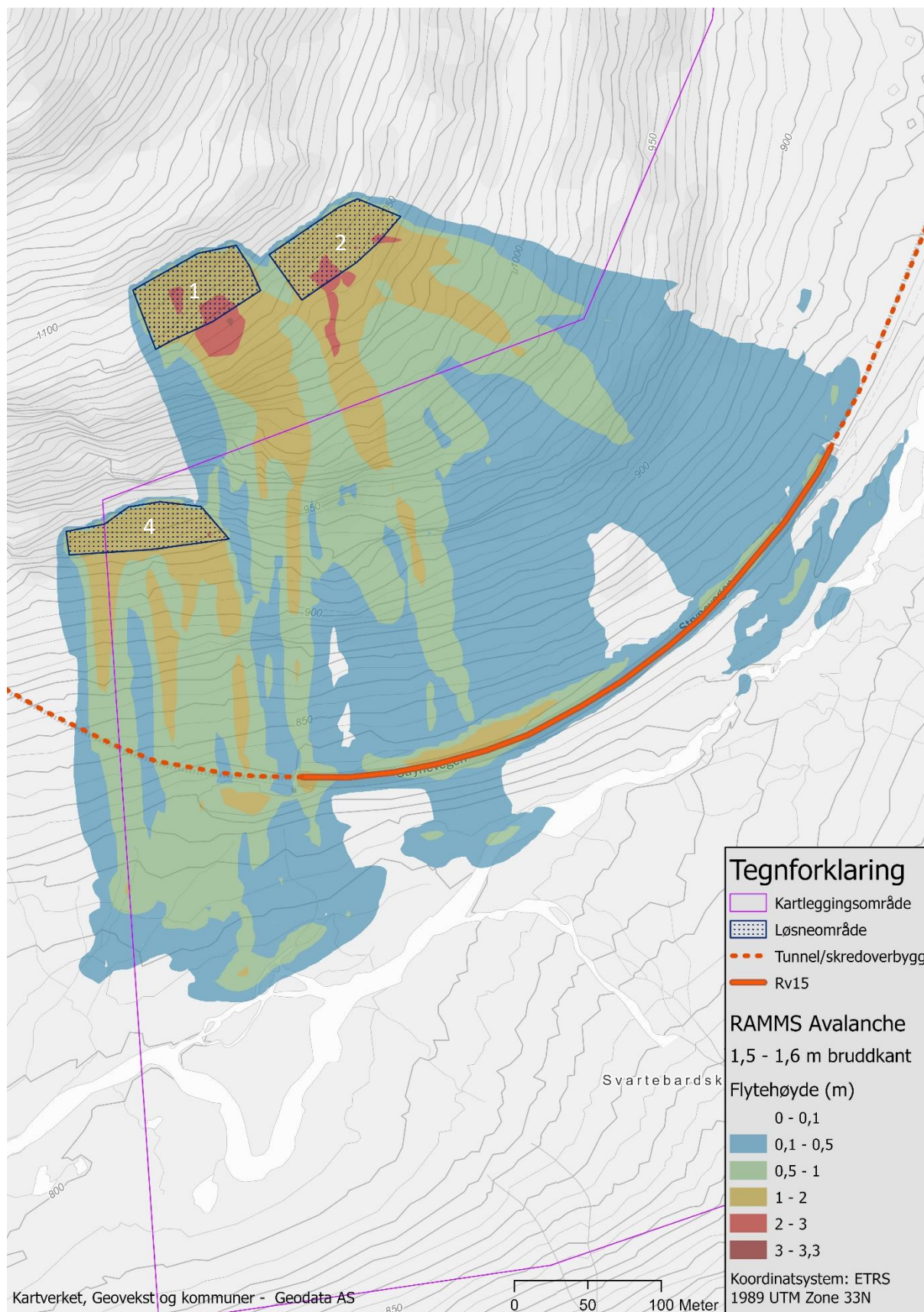
Tabell 7.8 viser parameterne som benyttes i simuleringene av scenariene ovenfor. Figur 7.24 og Figur 7.25 viser resultatet av disse.

Tabell 7.8: Oversikt over parametere benyttet i Simuleringer av snøskred i RAMMS for området Sætreskarsfjellet Sør.

Scenario Sim. nr.	Løsneområde	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Volumkategori	Høydeintervall (moh.)
1/10 16	Sætreskarsfjellet Sør 1	1,29	10	5 406	Small	500, 0
1/10 17	Sætreskarsfjellet Sør 2	1,31	10	4 406	Tiny	500,0
1/10 18	Sætreskarsfjellet Sør 3	1,21	10	2 612	Tiny	500,0
1/10 19	Sætreskarsfjellet Sør 4	1,2	10	3 900	Tiny	500,0
1/50 20	Sætreskarsfjellet Sør 1	1,6	100	12 469	Small	500, 0
	Sætreskarsfjellet Sør 2	1,6				
1/50 21	Sætreskarsfjellet Sør 4	1,6	100	5 306	Small	500, 0



Figur 7.24: Sætreskarsfjellet Sør. Simuleringer av ulike 10-års scenarioer for snøskred i RAMMS Avalanche med bruddkanthøyder varierende fra 1,2-1,3 m.



Figur 7.25: Sætreskarsfjellet Sør. Simuleringer av ulike 50-års scenarioer for snøskred i RAMMS Avalanche med bruddkanthøyder varierende fra 1,5-1,6 m.

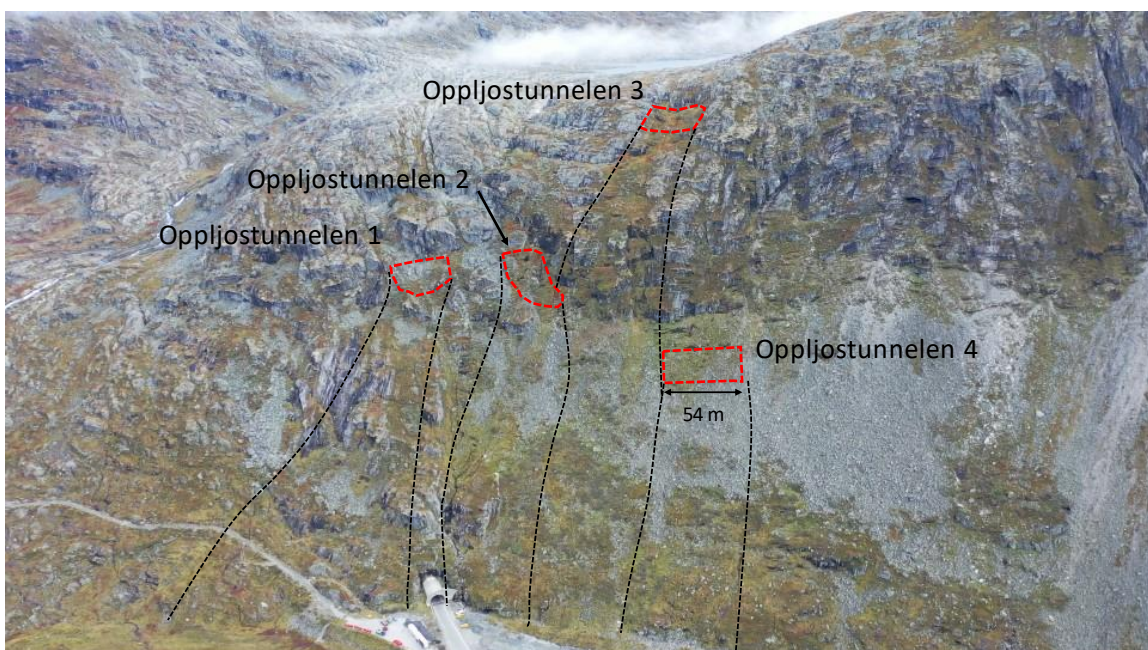
7.3.4 Område 4 – Oppljostunnelen

Figur 7.26 viser et oversiktsbilde av området avgrenset av svart heltrukken linje. Brattheten innfor delområdet er generelt stor, med et opptil 200 m høyt klippeparti i den øvre delen. Under klippepartiet domineres terrenget av en skredur med en bratthet på 40-28°.



Figur 7.26: Avgrensning av delområdet vist ved svart heltrukken linje. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Fire løснеområder innenfor området er identifisert og vurdert. Disse refereres til som Oppljostunnelen 1, 2, 3 og 4. Figur 7.27 viser avgrensingen av de fire løснеområdene og skredløpene. Tabell 7.9 inneholder en beskrivelse av løснеområdene og skredbanen, samt annen informasjon med betydning for skredfarevurderingen.



Figur 7.27: Oversiktsbilde over løснеområdene avgrenset av rød stiplet linje. Skredløp er vist ved stiplet svart linje. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Tabell 7.9: Oppljostunnelen. Beskrivelse av delområdet.

Løsneområder	
Utstrekning, helningsforhold og terrengform	<p>Oppljostunnelen 1: Areal: 1400 m² Høyde: 1030 moh. Høydeforskjell: 170 m Bratthet: 31° Området avgrenses av bratte klipper i overkant, og et relativt bratt område i underkant. Forplantning i retning sør er mulig. Brattheten antas å øke utover vinteren når snø blåser inn i området. Løsneområdet ligger i en skålformasjon mellom bratte fjellknauser og klipper.</p> <p>Oppljostunnelen 2: Areal: 2100 m² Høyde: 1040 moh. Høydeforskjell: 167 m. Bratthet: 41°. Området avgrenses av bratte klipper i overkant. Muligheter for videre forplantning i retning nord og i skredbaneretning. Brattheten antas å øke utover vinteren når snø blåser inn i området. Løsneområdet ligger i en skålformasjon mellom bratte fjellknauser og klipper.</p> <p>Oppljostunnelen 3: Areal: 1900 m² Høyde: 1160 moh. Høydeforskjell: 277 m Bratthet: 36° Området avgrenses av et mindre klippeparti i overkant, og noen mindre ryggformasjoner mot sidene. Muligheter for videre forplantning i retning nord på tvers av ryggformasjonen og i skredbaneretning. Løsneområdet ligger i en forsenkning i terrenget.</p> <p>Oppljostunnelen 4: Areal: 2430 m² Høyde: 990 moh. Høydeforskjell: 127 m Bratthet: 35° Området avgrenses av et klippeparti i overkant. Muligheter for forplantning videre mot sidene og i skredbaneretning.</p>
Himmelretning	Alle løsneområdene er orientert i retning vest, og ligger i lo av nedbørsførende vindretning.
Vind og snødrift	Alle løsneområdene vil kunne akkumulere snø ved vindretninger fra NØ-SØ. Baksiden av Kvitenoa og Oppljosvatnet SØ for delområdet vil kunne ha mye løssnø som kan transporteres med vind, spesielt i etterkant av nedbørsperioder. Klimaanalysen viser at vind fra østlig sektor er vanlig i

Fortsettelse Tabell 6.9

	området, men langt sjeldnere en vind fra SV-V. Mellom 5-20 % av nedbøren i området kommer under østlige vindretninger.
Skredløp	
Beskrivelse av terrenget	<p>Oppljostunnelen 1: Åpent skredløp. Følger delvis toppen av en ryggformasjon. Mesteparten av skredmassene har utløp på nordsiden av tunnelportalen. Hellingen langs skredløpet er relativt jevn før den brått avtar mot dalbunnen. Underlaget består delvis av svaberg og lyng, med mindre fjellhammere mot bunnen.</p> <p>Oppljostunnelen 2: Skredløpet kanaliseres delvis på veg nedover og ledes i retning av tunnelportalen. Overgangen mot dalbunnen er brå. Underlaget består av en slett steinur, delvis dekket av lyng og gress.</p> <p>Oppljostunnelen 3 og 4: Åpent skredløp. Underlaget består av ur-materiale, lyng og gress. Brå overgang mot dalbunnen.</p>
Medrivning langs med skredbanen	Det er generelt bratt og lite snø tilgjengelig for medrivning i den øvre delen av området. Medrivning av masser langs nedre del av skredløpet antas å være mulig. For å ta hensyn til dette i simuleringene er størrelsen på løsneområdene økt med ca. 10 %.
Ruhet	<p>Oppljostunnelen 1: Kupert terreng langs skredløpet. Middels ruhet.</p> <p>Oppljostunnelen 2 og 4: Lav ruhet.</p> <p>Oppljostunnelen 3: Til dels høy ruhet på veg ned klippepartiet.</p>
Annet	
Historiske skredhendelser	Det er seks registrerte skred fra området. Tre av disse har nådd Rv15. Alle i løpet av 80- og 90-tallet. Det er usikkert om dette var før tunnelportalen ble forlenget.
Felt-observasjoner	Observasjoner av relativt ferske snøskredavsetninger langs nedre del av skreduren.
Lokalkunnskap	Det går ofte skred fra skreduren i området. Det kan også løsne skred ovenfor klippene. Skredstørrelsen øker fra tunnelen og retning sør. Skred fra området går normalt under perioder med nedbør og vindtransport fra østlig sektor, men også etter finværsperioder med østavind og snødrift (K. Kristensen, pers. kom. 8. november 2021). Det er usikkert om det har gått skred i vegen etter at tunnelportalen ble forlenget (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2021).

7.3.4.1 Vurdering av forskjellige løsnescenarioer og løsnesannsynlighet

Det kan forventes både tørre og våte løssnøskred under perioder med mye nysnø og regn, eller ved sterk solinnstråling på våren. Tørre flaskred vil også kunne forekomme under perioder med nedbør og vind fra østlig sektor, selv uten nedbør. Det er ikke vurdert som nødvendig å ta høyde for snøtilvekst som følger av vindtransport ved simuleringer av scenarioer fra området.

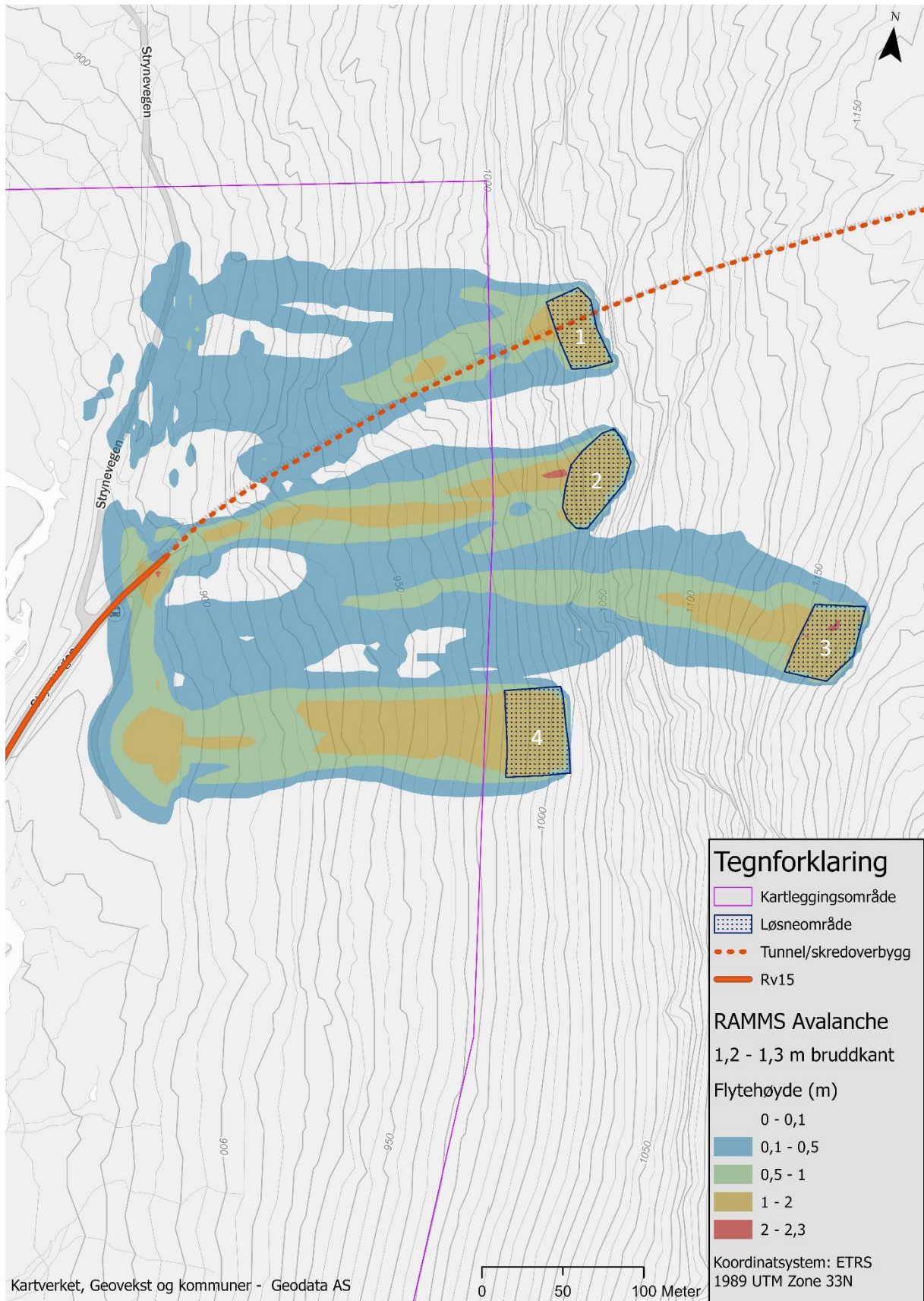
Ved et typisk 10-års scenario tyder terrengobservasjoner og klimadata på at det kan være sannsynlig med bruddkanthøyder på opptil 1,3 m fra løснеområdene. Ved et 50-års scenario ser det ut til at bruddkanthøyder på opptil 1,6 m kan være realistiske for området.

7.3.4.2 Simuleringer

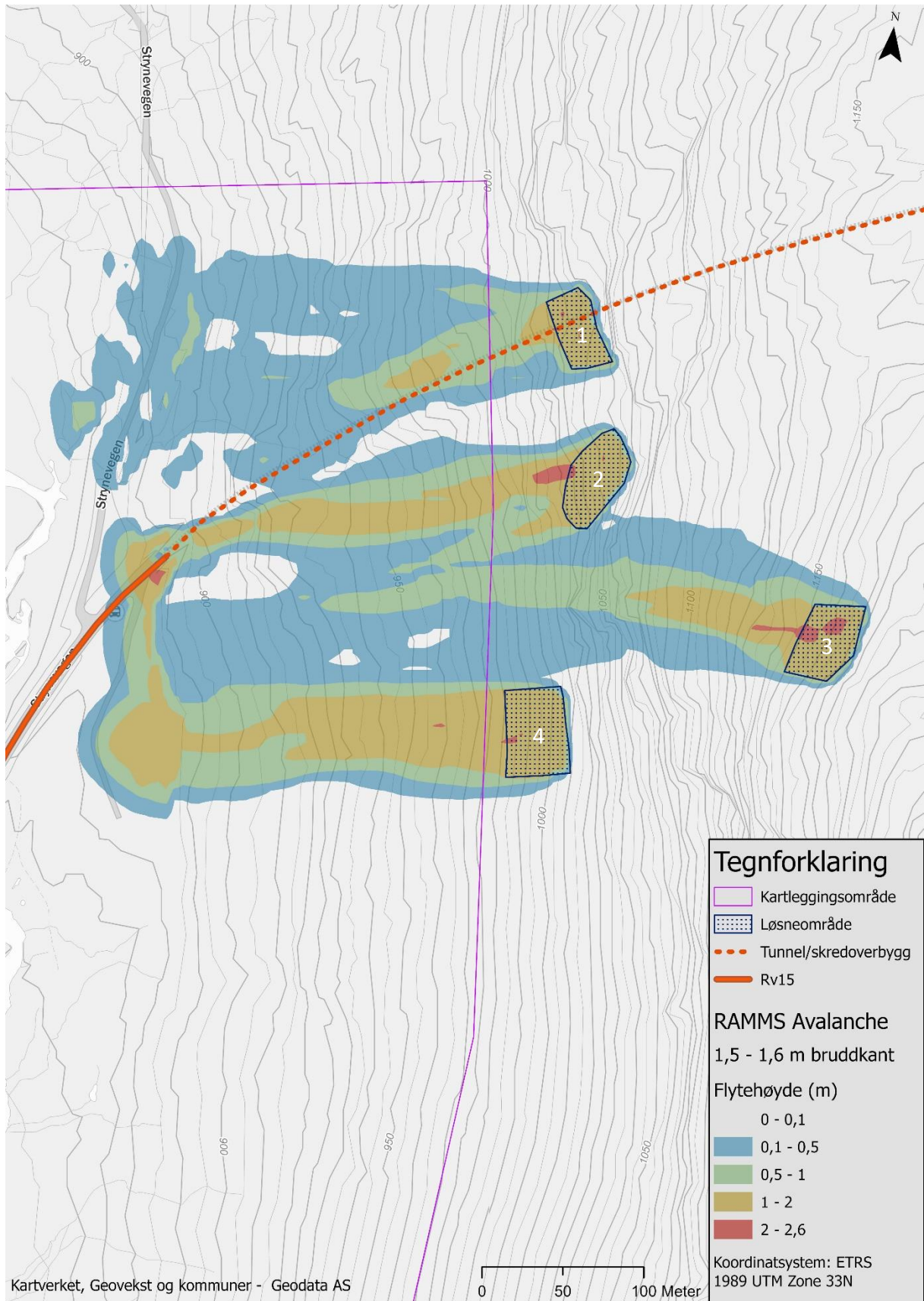
Tabell 7.10 viser parameterne som benyttes i simuleringene av scenariene ovenfor. Figur 7.28 Figur 7.29 viser resultatet av disse. Det er ikke gjennomført beregninger av utløpslengde ved Alfa Beta-metoden pga. skredbaneprofilens brå overgang mot dalbunnen.

Tabell 7.10: Oversikt over parametere benyttet i modelleringer av snøskred i RAMMS for området Oppljostunnelen.

Scenario Sim. nr.	Løsneområde	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Volumkategori	Høydeintervall (moh.)
1/10 22	Oppljostunnelen 1	1,3	10	1 839	Tiny	500,0
1/10 23	Oppljostunnelen 2	1,2	10	2 500	Tiny	500,0
1/10 24	Oppljostunnelen 3	1,3	10	2 495	Tiny	500,0
1/10 25	Oppljostunnelen 4	1,3	10	3 100	Tiny	500,0
1/50 26	Oppljostunnelen 1	1,6	100	2 263	Tiny	500,0
1/50 27	Oppljostunnelen 2	1,5	100	3 178	Tiny	500,0
1/50 28	Oppljostunnelen 3	1,6	100	3 066	Tiny	500,0
1/50 29	Oppljostunnelen 4	1,6	100	3 892	Tiny	500,0



Figur 7.28: Oppløstunnelen. Simuleringer av ulike 10-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med bruddkanthøyder varierende fra 1,2-1,3 m. Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier.

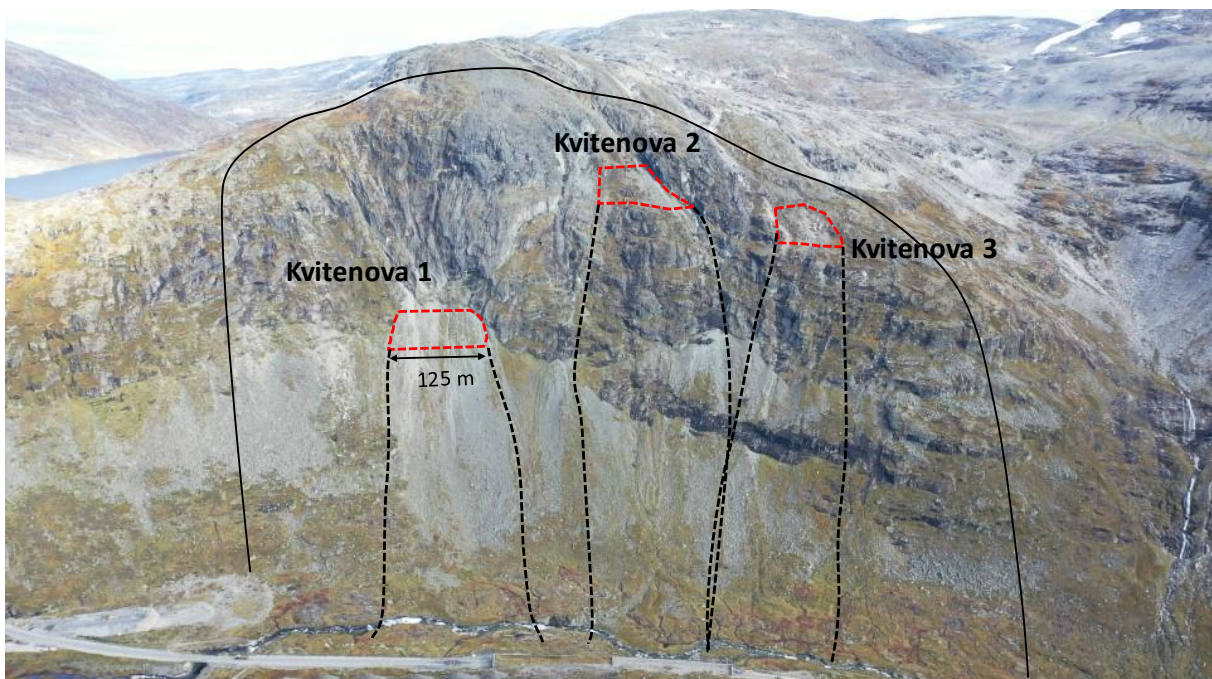


Figur 7.29: Oppløstunnelen. Simuleringer av ulike 50-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med bruddkanthøyder varierende fra 1,5-1,6 m. Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier.

7.3.5 Område 5 - Kvitnova

Figur 7.30 viser et oversiktsbilde av området avgrenset av svart heltrukken linje. Det er generelt stor bratthet innenfor delområdet, med et opptil 250 m høyt klippeparti i den øvre delen. Under klippepartiet langs hele delområdet, strekker det seg en skredur med en bratthet på 40-20°.

Tre løснеområder innenfor området er identifisert og vurdert. Figur 7.30 viser avgrensingen av de tre løснеområdene og skredløpene. Tabell 7.11 inneholder en beskrivelse av løснеområdene og skredbanen, samt annen informasjon med betydning for skredfarevurderingen.



Figur 7.30: Svart heltrukken linje viser avgrensningen av delområdet Kvitnova. Rød stiplet linje viser avgrensningen av løснеområdene innenfor området. Svart stiplet linje indikerer skredløpene. Fotoretning: SØ. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Tabell 7.11: Kvitnova. Beskrivelse av delområdet.

Løснеområder	
Utstrekning, helningsforhold og terrengform	<p>Kvitnova 1: Areal: 6700 m² Høyde: 1050 moh. Høydeforskjell: 210 m Bratthet: 35° Området ligger i toppen av en skredur, og avgrenses av en 250 m høy vertikal fjellside. Den steile fjellveggen danner en bolleformasjon rundt løснеområdet. Forplantning i retning nord, sør og i skredbaneretning er mulig.</p> <p>Kvitnova 2: Areal: 6100 m² Høyde: 1200 moh.</p>

Fortsettelse Tabell 6.11

	<p>Høydeforskjell: 400 m Bratthet: 39° Området ligger i en V-formet forsenkning i fjellet, ovenfor et 150 m høyt klippeparti. Bruddforplantning i retning nord tenkes å være mulig. Underlaget består av delvis svaberg, mose og stein til blokk materiale</p> <p>Kvitenova 3: Areal: 2670 m² Høyde: 1160 moh. Høydeforskjell: 335 m Bratthet: 36° Løsneområdet ligger i en forsenkning i terrenget. Sidevegs avgrenses området av noen mindre ryggformasjoner, mens det i underkant avgrenses av den bratte og tilnærmet vertikale fjellsiden. Underlaget består av lyng og steinavsetninger.</p>
Himmelretning	Alle løsneområdene er orientert i retning V-NV.
Vind og snødrift	Alle løsneområdene ligger i forsenkninger og i le av vindretninger fra Ø-S-SV. Fjellområdet ved Kvitenova vil kunne ha mye løssnø som kan transporteres med vind fra S-SØ i etterkant av nedbørsperioder. Det er sannsynlig at områdene kan akkumulere snø gjennom vindtransport.
Skredløp	
Beskrivelse av terrenget	<p>Kvitenova 1: Åpent skredløp. Følger skreduren med en jevn overgang mot dalbunnen.</p> <p>Kvitenova 2 og 3: Åpent skredløp. Skredløpet går utenfor et 150 m høyt klippeparti før det følger skreduren videre nedover med en jevn overgang mot dalbunnen.</p>
Medrivning langs med skredbanen	Det er generelt bratt og lite snø tilgjengelig for medrivning i de bratte klippeområdene. Skreduren tenkes å kunne ha store mengder snø som kan bidra til medrivning under en skredhendelse. For å ta hensyn til medrivning i simuleringene er størrelsen på løsneområdene økt med ca. 20 %.
Ruhet	<p>Kvitenova 1: Lav ruhet.</p> <p>Kvitenova 2 og 3: Høy ruhet ned til skreduren. Ellers lav ruhet.</p>
Annet	
Historiske skredhendelser	Skred fra Kvitenova 1 har hatt utløp i vegbanen nord for skredoverbygget en gang rundt år 2000. Eksakt årstall er usikkert (K.Kristensen, pers.kom. 8. november 2021). Det går mest skred fra området i januar måned ifølge analysen av historiske skred.
Feltobservasjoner	Under feltarbeidet ble det observert avsetninger etter antatt snøskredaktivitet helt ned mot elven i bunnen av dalen (se kapittel 7.2 Registreringskart).
Lokalkunnskap	Det går ofte skred fra skreduren og den V-formede forsenkningen i fjellet ved Kvitenova 2 (K.Kristensen, pers. kom. 8. november 2021).

7.3.5.1 Vurdering av forskjellige løsnescenarioer og løsnessannsynlighet

Det kan forventes både tørre og våte løssnøskred under perioder med mye nysnø og regn. Løssnøskred som følge av solinnstråling vurderes som mindre aktuelt da området ligger orientert mot V-NV. Tørre flaskred vil kunne forekomme under perioder med nedbør og vind fra S-Ø sektor, også uten nedbør.

Ved et typisk 10-års scenario tyder terrengobservasjoner og klimadata på at det kan være sannsynlig med bruddkanthøyder på opptil 1,3 m fra løsneområdene. Det er ikke vurdert som nødvendig å ta høyde for snøtilvekst som følger av vindtransport ved simuleringer av 10-års scenarioer.

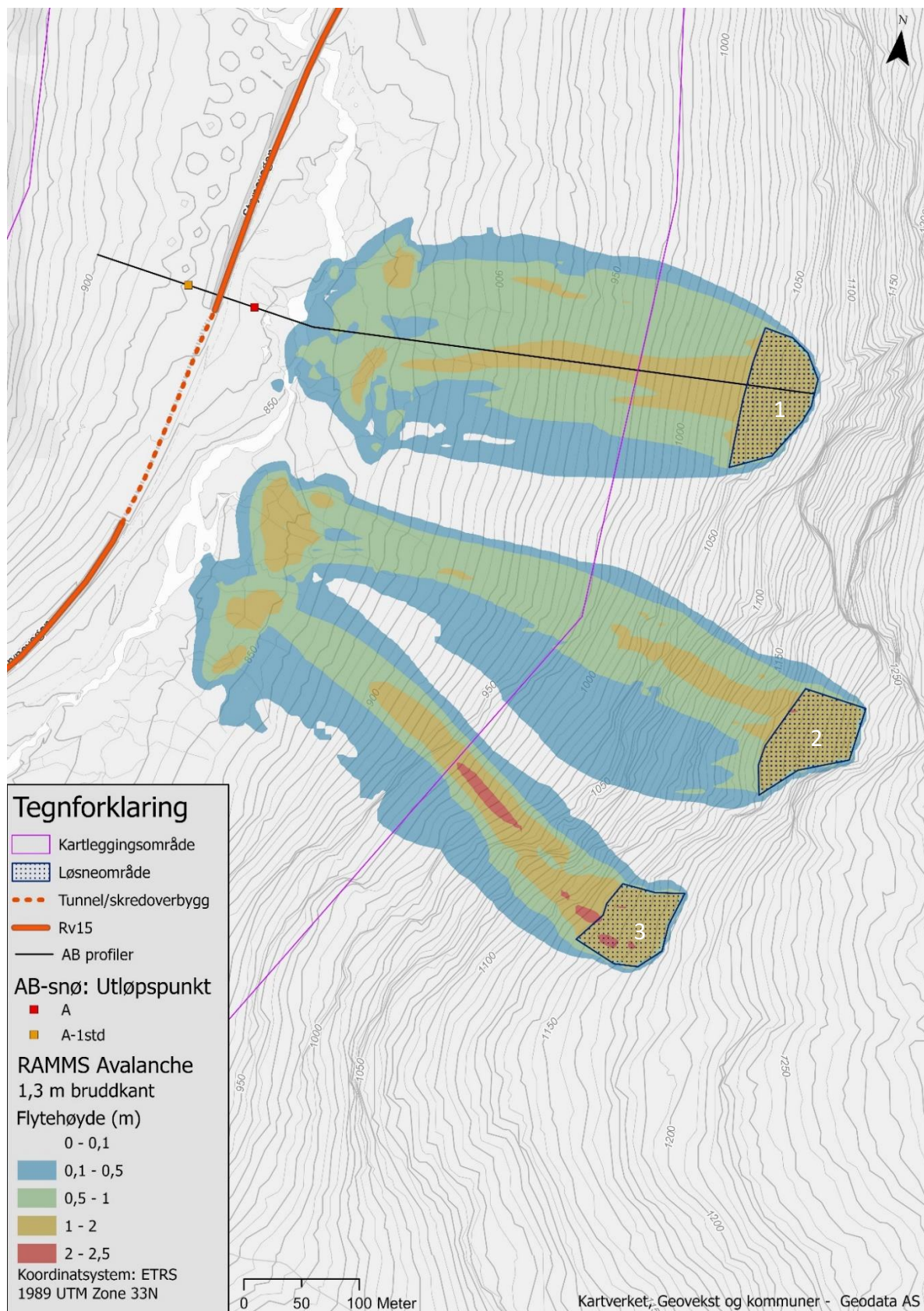
Ved et 50-års scenario vurderes området å kunne akkumulere 30 cm gjennom vindtransport. Bruddkanthøyder på opptil 1,9 m antas derfor å være realistiske i løsneområdene.

7.3.5.2 Simuleringer

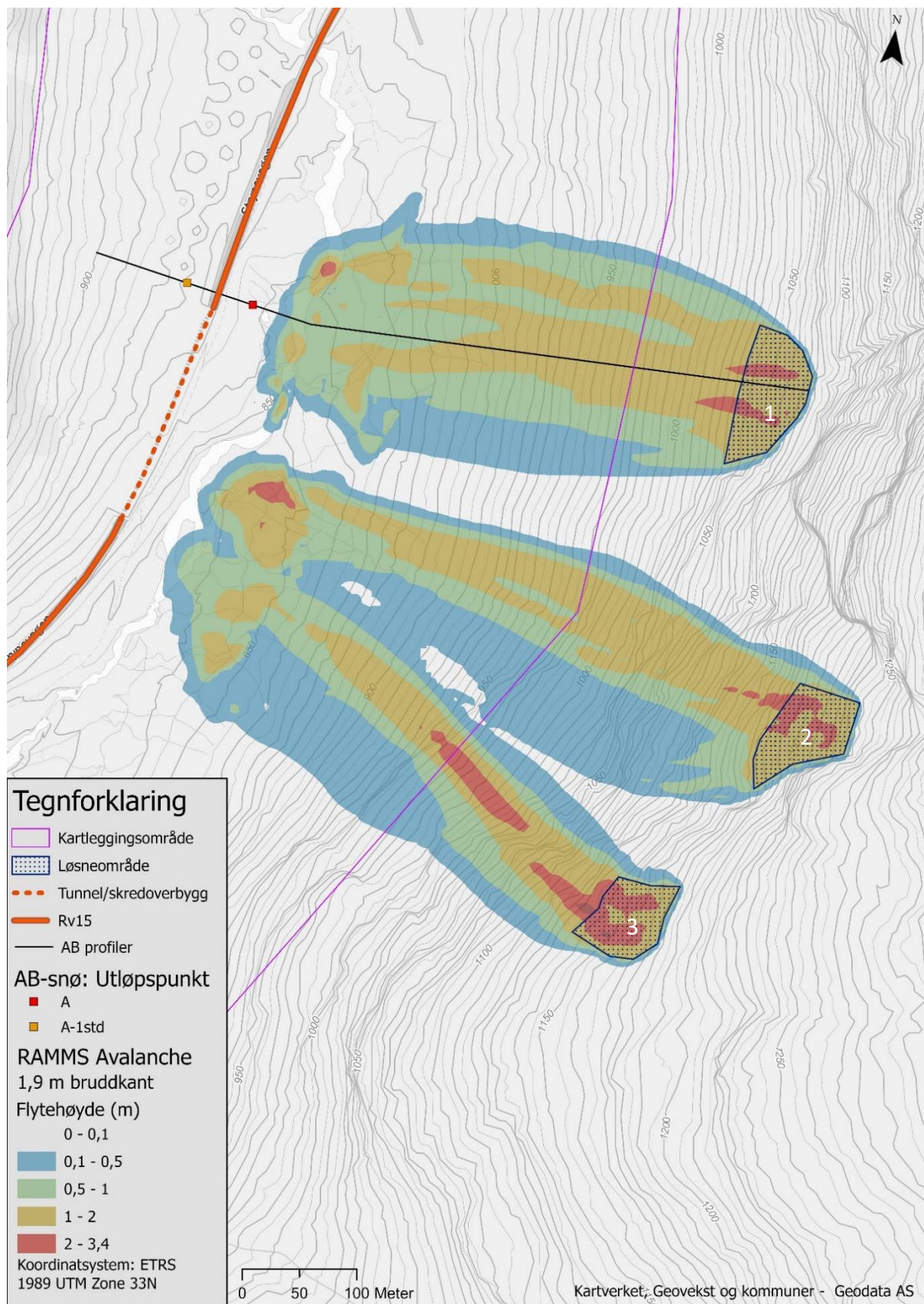
Tabell 7.12 viser parameterne som benyttes i simuleringene av scenariene ovenfor. Figur 7.31 og Figur 7.32 viser resultatet av disse. Det er gjennomført beregninger av utløpslengde ved Alfa Beta-metoden langs skredløpet Kvitenova 1.

Tabell 7.12: Oversikt over parametere benyttet i simuleringene av snøskred i RAMMS for området Kvitenova.

Scenario Sim. nr.	Løsneområde	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Volumkategori	Høydeintervall (moh.)
1/10 30	Kvitenova 1	1,3	10	8753	Small	500,0
1/10 31	Kvitenova 2	1,3	10	7 934	Small	500,0
1/10 32	Kvitenova 3	1,3	10	6 344	Small	500,0
1/50 33	Kvitenova 1	1,9	100	12794	Small	500,0
1/50 34	Kvitenova 2	1,9	100	11596	Small	500,0
1/50 35	Kvitenova 3	1,9	100	9272	Small	500,0



Figur 7.31: Kvitenoa. Simuleringer av ulike 10-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med en bruddkanthøyde på 1,3 m. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015). Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier.



Figur 7.32: Kvitenova. Simuleringer av ulike 50-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med en bruddkanthøyde på 1,9 m. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015). Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier.

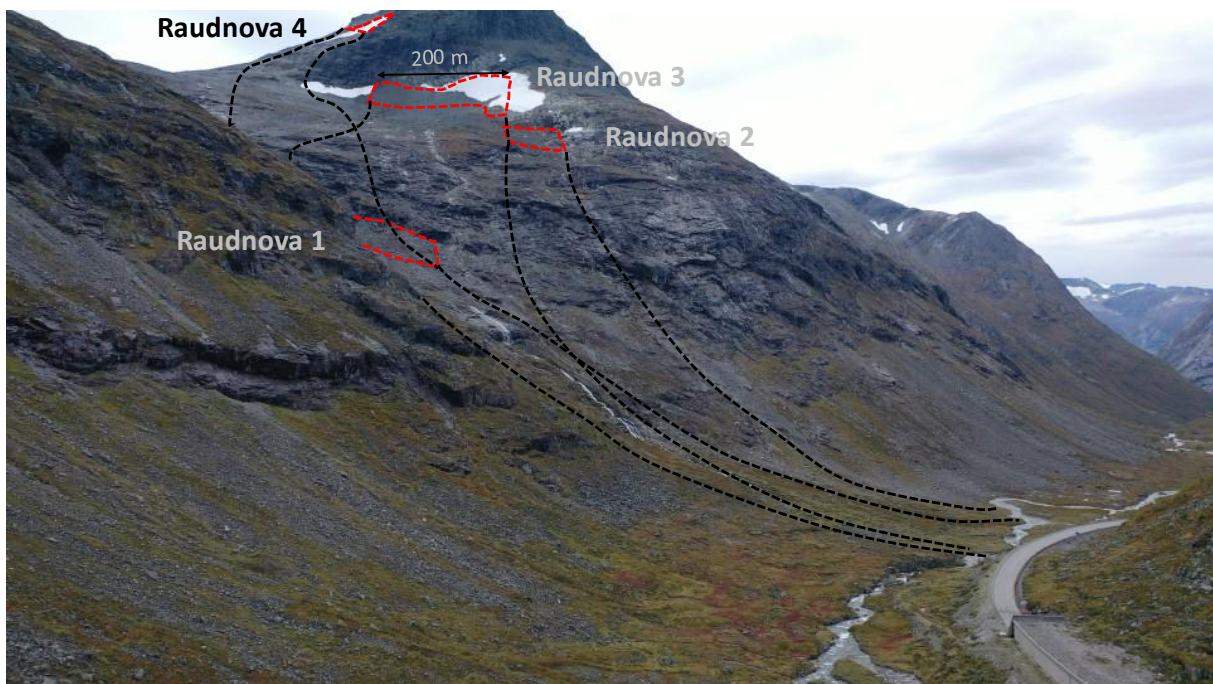
7.3.6 Område 6 – Raudnova

Figur 7.33 viser et oversiktsbilde av området avgrenset av svart heltrukken linje.



Figur 7.33: Heltrukken linje viser avgrensingen av området Raudnova. Bilderetning: SØ. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Fire løснеområder innenfor området er identifisert og vurdert. Figur 7.34 viser avgrensingen av løснеområdene og skredløpene. Tabell 7.14 inneholder en beskrivelse av løснеområdene og skredbanen, samt annen informasjon med betydning for skredfarevurderingen.



Figur 7.34: Oversiktsbilde over løsnakeområdene innenfor delområdet markert med rød stiplet linje. Skredløp er definert ved stiplet svart linje. Bilderetning: SØ. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

Tabell 7.13: Raudnova. Beskrivelse av delområdet.

Løsneområder	
Utstrekning, helningsforhold og terrengform	<p>Raudnova 1: Areal: 14600 m² Høyde: 1090 moh. Høydeforskjell: 310 m Bratthet: 29° Området er definert av en tydelig skålformasjon orientert i retning NV. Videre forplantning i retning NV er mulig.</p> <p>Raudnova 2: Areal: 8350 m² Høyde: 1200 moh. Høydeforskjell: 450 m Bratthet: 29° Området ligger i en forsenkning, ovenfor et 150 m høyt og bratt parti med svaberg. Bruddforplantning i retning øst og i skredbaneretning antas å være mulig. Underlaget består av delvis svaberg, mose og tynne løsmasseavsetninger.</p> <p>Raudnova 3: Areal: 18 000 m² Høyde: 1370 moh. Høydeforskjell: 590 m Bratthet: 33° Løsneområdet avgrenses i overkant av en vertikal fjellside, og mot vest av en markant og vindutsatt ryggformasjon. Mot øst og i skredbaneretning avgrenses området av slakere partier som er under 28° bratt. Løsneområdet ligger i en steinsprangur som normalt er snødekt gjennom hele året. Dette kan være en indikasjon på at det avsettes mye snø i området i løpet av vinteren.</p> <p>Raudnova 4: Areal: 18 000 m² Høyde: 1370 moh. Høydeforskjell: 790 m Bratthet: 33 ° Løsneområdet har store likheten med Raudnova 3, men ligger på østsiden av Raudnova. Området avgrenses av en tydelig skålformasjon med bratte vegger langs toppen av løsneområdet.</p>
Himmelretning	Alle løsneområdene er orientert i retning N-NØ.
Vind og snødrift	Alle løsneområdene ligger i forsenkninger og skålformasjoner i le av nedbørsførende vindretning. Raudnova 1 kan akkumulere snø ved vindretninger fra N-V. Fjellområdet sør for Raudnova vil kunne ha mye løssnø som kan transporteres med vinden.

Fortsettelse Tabell 6.13

Skredløp	
Beskrivelse av terrenget	<p>Raudnova 1: Skredløpet følger elveleiet med en relativt jevn overgang mot dalbunnen.</p> <p>Raudnova 2: Åpent skredløp. Går utenfor et bratt parti med svaberg i øvre del (1100-1000 moh.). Videre følger det skreduren som gir en jevn overgang mot dalbunnen.</p> <p>Raudnova 3 og 4: Starter som åpne skredløp. Følger videre elveleiet nedover mot dalbunnen. Herfra er det en jevn overgang mot dalbunnen fra 1100-800 moh.</p>
Medrivning langs med skredbanen	<p>Det er generelt bratt og lite snø tilgjengelig for medrivning i de bratte klippeområdene. Områdene ovenfor klippene og skreduren tenkes å kunne besitte store mengder snø som kan bidra til medrivning ved en skredhendelse. For å ta hensyn til dette i simuleringene er størrelsen på løснеområdene økt med ca. 10 % for Raudnova 1 og 2, og 25 % for Raudnova 3 og 4.</p>
Ruhet	Ruheten er lav, med unntak av området med klippeparti fra 1050-1200 moh.
Annet	
Historiske skredhendelser	Det er få registrerte historiske snøskred innenfor området.
Lokalkunnskap	Det går store skred fra området. Det største skal ha nådd Rv15. Det er usikkert om dette var den turbulente delen av skredet (K. Kristensen, pers. kom. 8. november 2021).

7.3.6.1 Vurdering av forskjellige løsnescenarioer og løsnesannsynlighet

Det kan forventes både tørre og våte løssnøskred under perioder med mye nysnø og regn. Løssnøskred som følge av solinnstråling vurderes som mindre aktuelt da området ligger orientert mot N-NØ. Tørre flakskred vil kunne forekomme under perioder med nedbør og/eller vind fra S-V.

Ved et typisk 10-års scenario tyder terrengobservasjoner og klimadata på at det kan være sannsynlig med bruddkanthøyder på opptil 1,7 m fra løснеområdene. 20 cm er lagt til for å ta hensyn til vindtransport.

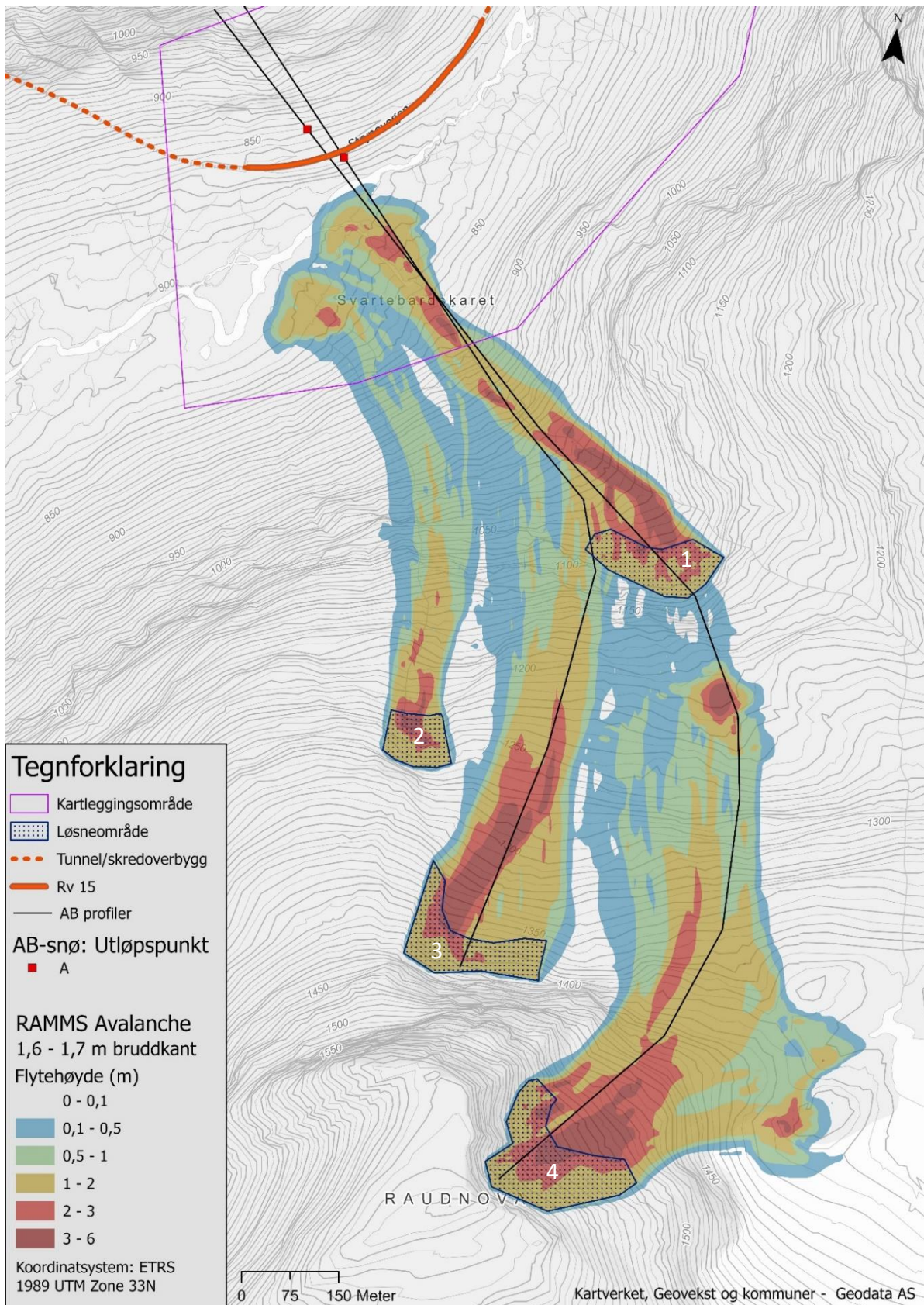
Ved et 50-års scenario vurderes området å kunne akkumulere 50 cm gjennom vindtransport. Bruddkanthøyder på 2,3 m og 2,4 m antas å være realistiske i løснеområdene.

7.3.6.2 Simuleringer

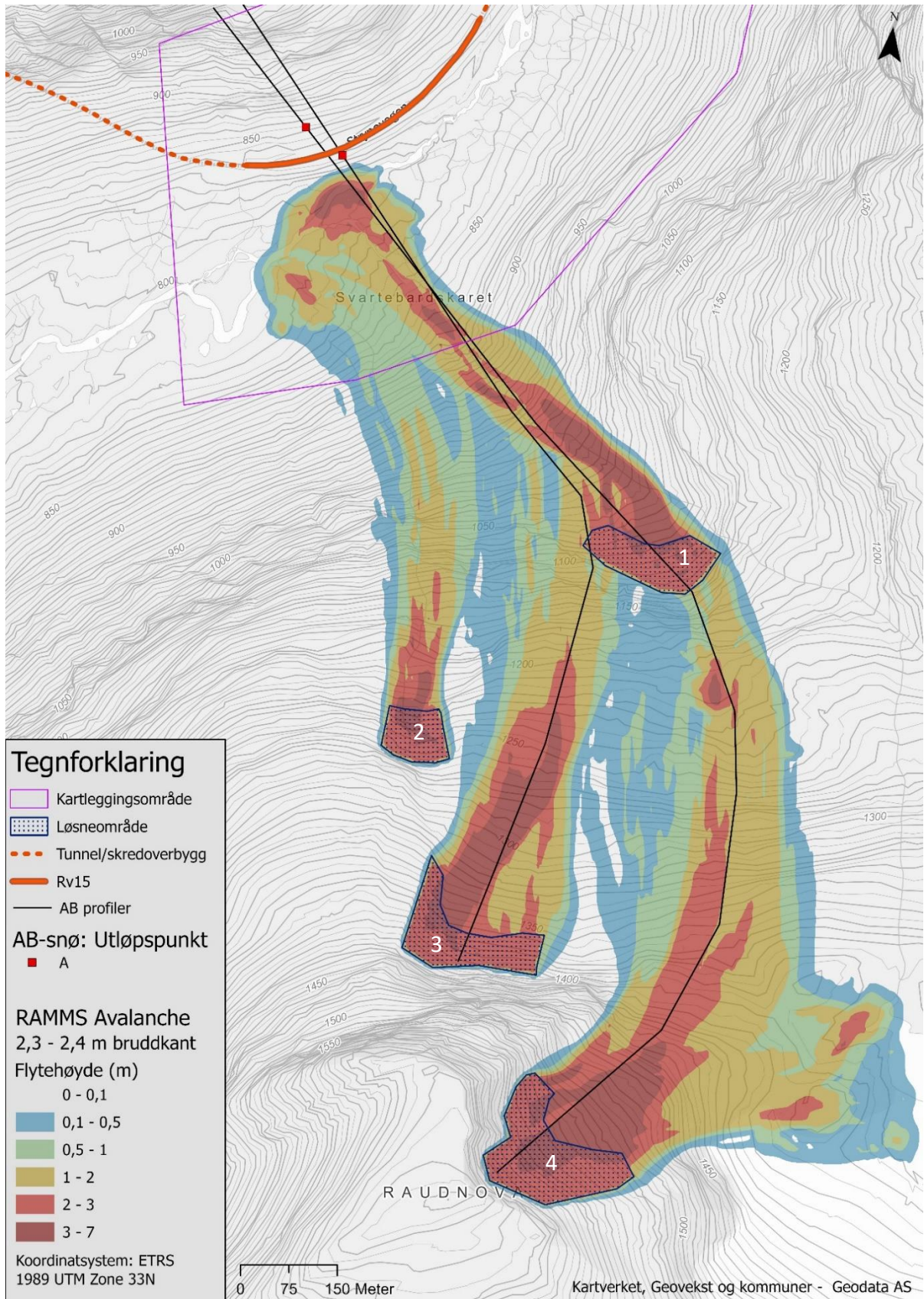
Tabell 7.14 viser parameterne som benyttes i simuleringene av scenariene ovenfor. Figur 7.35 og Figur 7.36 viser resultatet av disse. Det er gjennomført beregninger av utløpslengde med Alfa Beta-metoden langs skredløpet Raudnova 3.

Tabell 7.14: Oversikt over parametere benyttet i simuleringene av snøskred i RAMMS for området Raudnova.

Scenario Sim. nr.	Løsneområde	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m ³)	Volumkategori	Høydeintervall (moh.)
1/10 36	Raudnova1	1,6	10	23483	Small	500,0
1/10 37	Raudnova 2	1,6	10	13 380	Small	500,0
1/10 38	Raudnova 3	1,6	10	28 855	Medium	500,0
1/10 39	Raudnova 4	1,7	10	44 690	Medium	500,0
1/50 40	Raudnova 1	2,2	100	32 289	Medium	500,0
1/50 41	Raudnova 2	2,3	100	19 200	Medium	500,0
1/50 42	Raudnova 3	2,3	100	41 400	Medium	500,0
1/50 43	Raudnova 4	2,4	100	63 000	Large	500,0



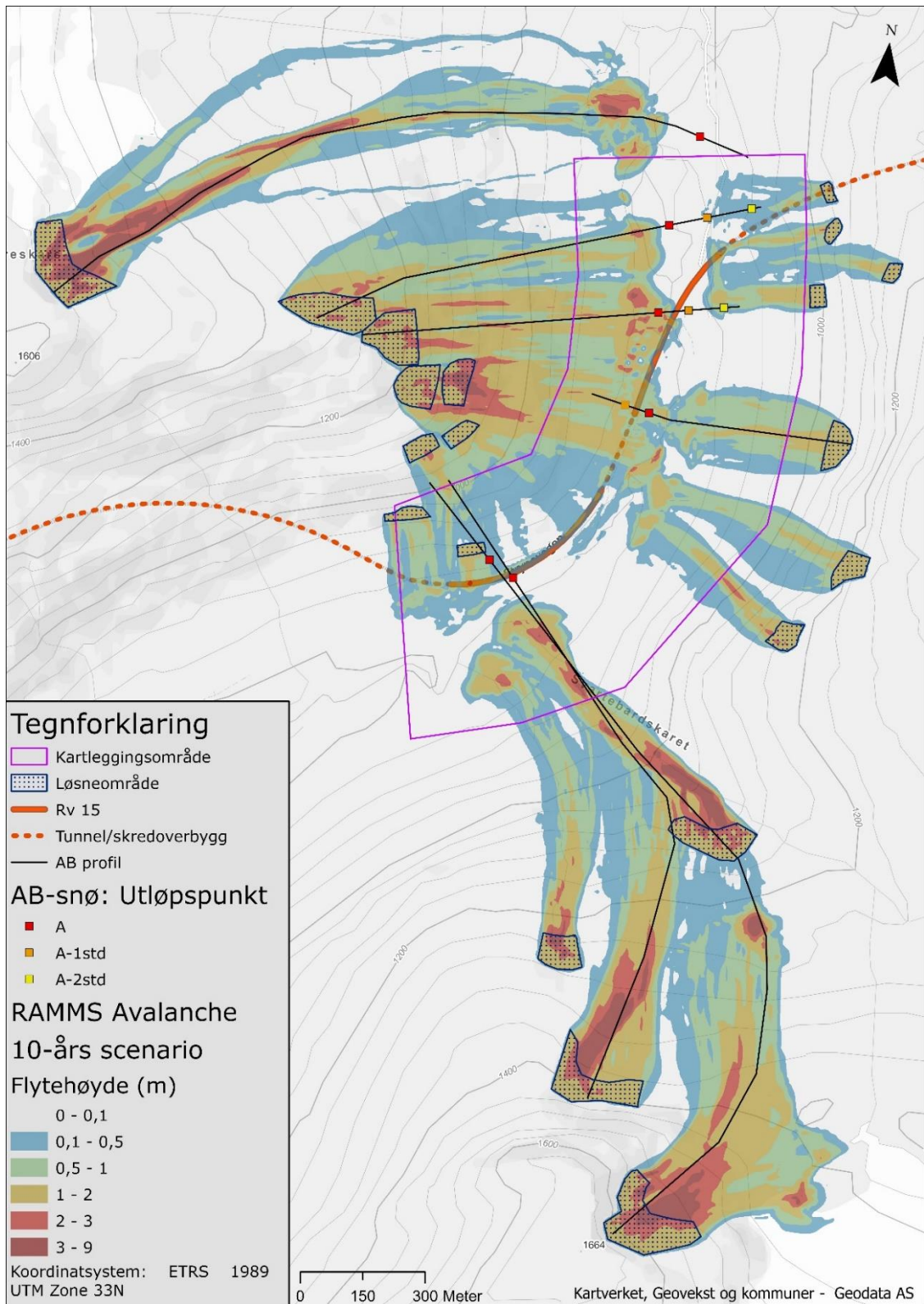
Figur 7.35: Raudnova. Simuleringer av ulike 10-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med en bruddkanthøyde på 1,6 – 1,7 m. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015). Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier.



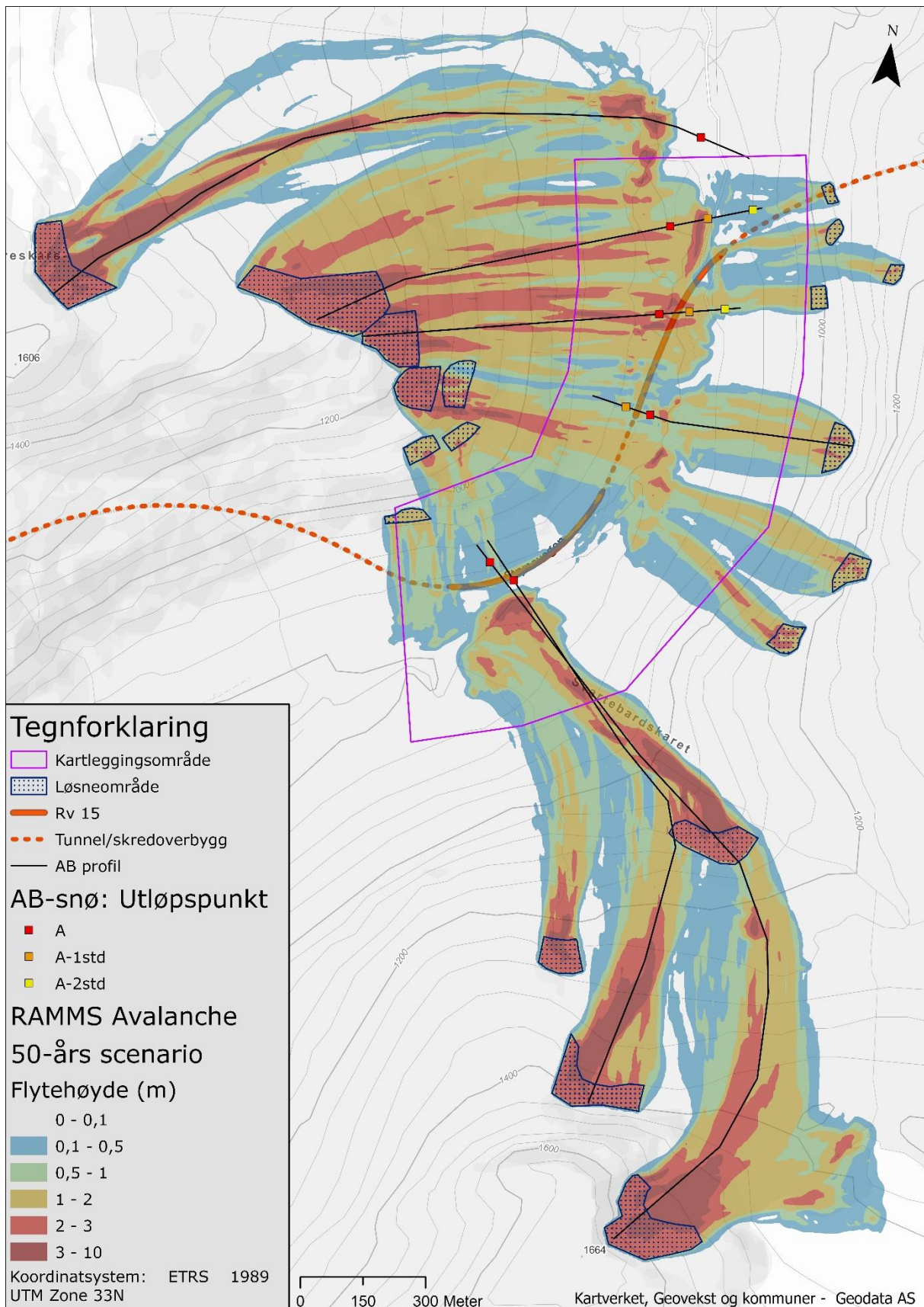
Figur 7.36: Raudnova. Simuleringer av ulike 50-års scenarier for snøskred i RAMMS Avalanche med en bruddkanthøyde på 2,3-2,4 m. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015). Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier.

7.3.7 Oppsummering av simuleringer fra delområdene

Figur 7.37 og Figur 7.38 oppsummerer alle simuleringer av 10- og 50-års skred i Grasdalen.



Figur 7.37: Simuleringer av 10-års scenarioer for snøskred i Grasdalen. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015). Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarioer.



Figur 7.38: Simuleringer av 50-års scenarier for snøskred i Grasdalen. Utløpspunkter beregnet med Alfa-beta metoden indikerer utløpslengder for skred med returperioder på rundt 100-300 år (Håland et al., 2015). Figuren er sammensatt av flere simuleringer av ulike scenarier.

7.4 Skredsikringstiltak

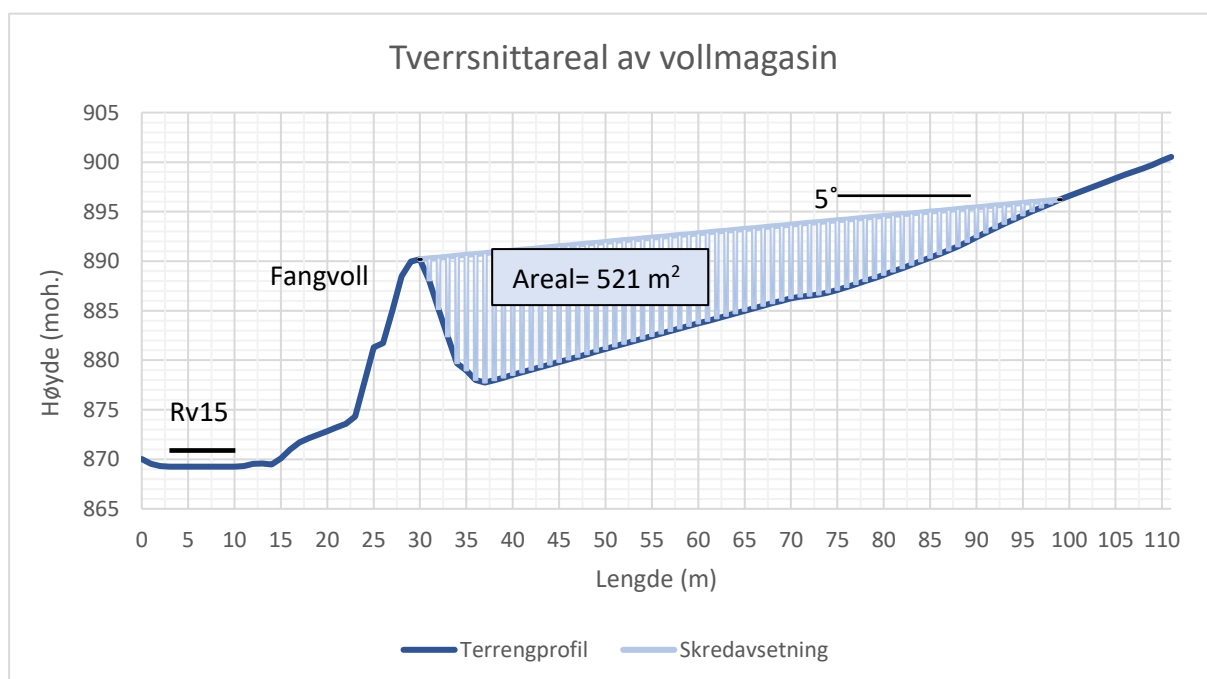
I dette delkapittelet presenteres resultatene knyttet til de tre skredsikringstiltakene som er vurdert.

7.4.1 Fangvoll

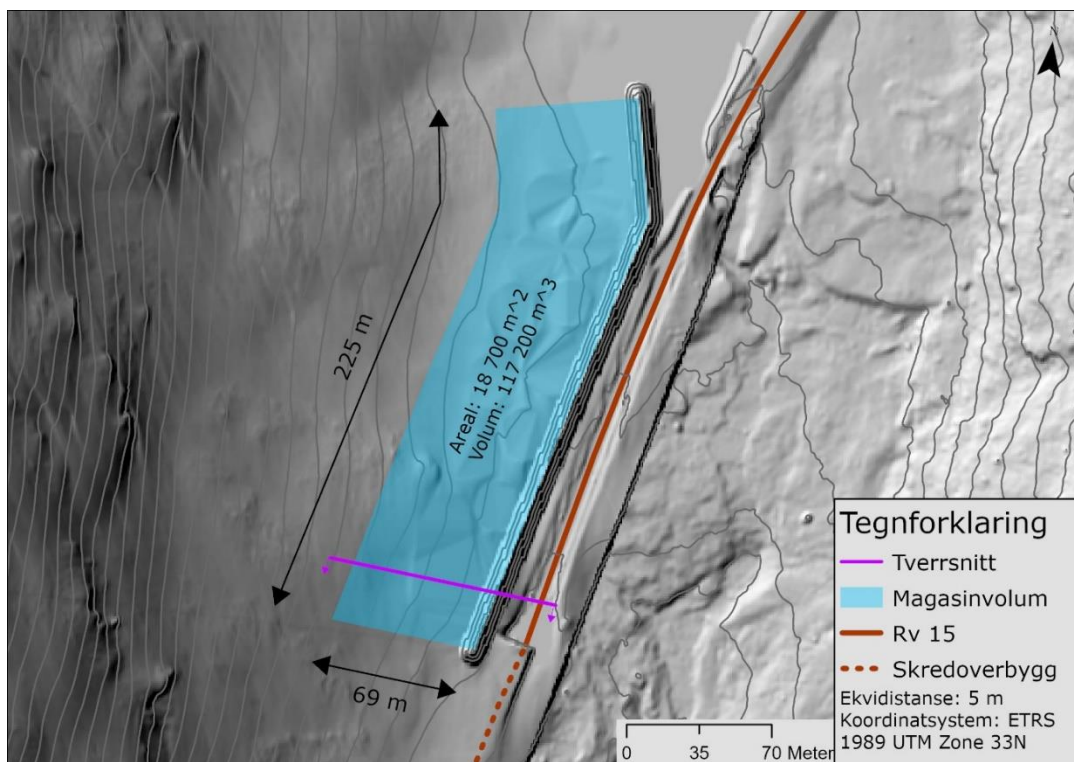
7.4.1.1 Volumberegning

Ved fire m snø i terrenget er det beregnet at vollmagasinet vil ha en kapasitet på 117 200 m³. Det er tatt utgangspunkt i at skredmassene vil avsettes med en helning på 5° ned mot vollkronen (Norem, 2014). Volumet er beregnet basert på tverrsnittarealet av skredsidene ved vollens sørlige ende. Figur 7.39 viser et tverrsnitt av fangvollen og vollmagasinets areal illustrert ved skredavsetningene.

Figur 7.40 viser en skisse av det beregnede vollmagasinet, samt tverrsnittet av Figur 7.39 sin plassering i terrenget. Terrenget på skredsidene av vollen er brattere ved den sørlige enden sammenlignet med den nordlige (se høydekurver i Figur 7.40). Vollmagasinets totale kapasitet vil dermed være større enn beregnet. Begge sidene av vollen er bratt, og stabiliteten til vollen er ikke beregnet. Det er mulig at sidene er brattere enn hva som er realistisk for dette tilfellet.



Figur 7.39: Tverrsnitt av fangvollen. Skredavsetningen avsettes med 5° helning ned mot vollkronen.



Figur 7.40: Skisse av vollmagasinet. Tverrsnittet fra Figur 7.39 er vist ved lilla markør.

7.4.1.2 Resultat av simuleringer i RAMMS:: Avalanche med fangvoll

Det er simulert to scenarier fra Sætreskarsfjellet Øst og Nord med en antatt returperiode på 10 år mot den 14,2 m høye fangvollen (DTM_{Voll}). 2 m oppløsning ble valgt for den snødekte terrenngmodellen. De to scenarioene, samt benyttede parametere i simuleringene, er vist i Tabell 7.15. Scenariene er beskrevet i delkapittel 7.3.1.1.

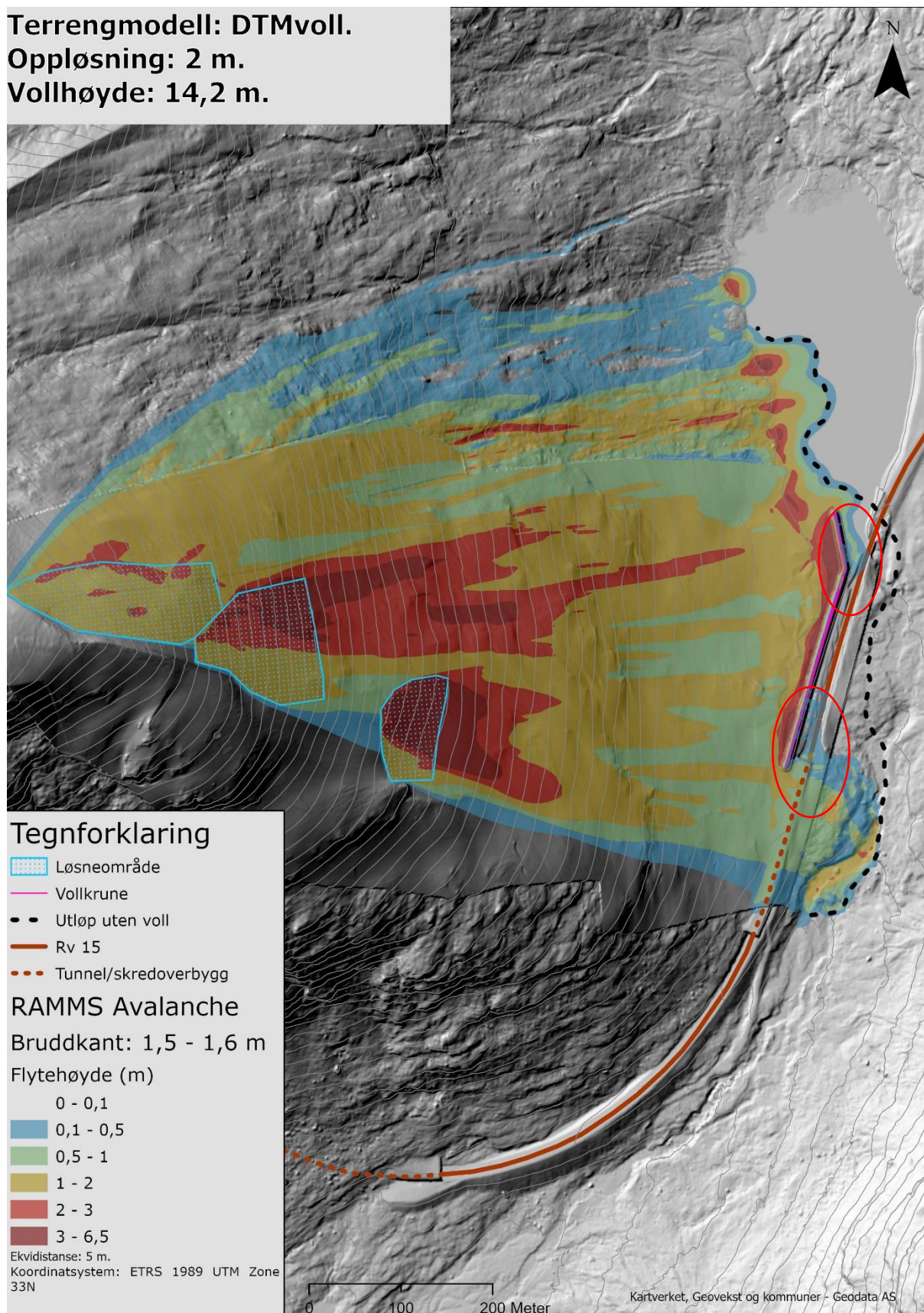
Resultatet av simuleringen vises i Figur 7.41. Svart stiplet linje viser utløpslengden til de samme skredscenariene uten fangvollen i terrenget, simulert med $DTM_{U-bremsekjegler}$ med 2 m oppløsning som input terrenngmodell. De to røde sirklene indikerer områder hvor skredavsetningene går over vollen og ned i vegbanen.

Deler av skredet går utenfor det snødekte området av terrenngmodellen i nord. Dette antas å ikke ha noen innvirkning på resultatet av simuleringene i området tilknyttet fangvollen.

Tabell 7.15: Oversikt over parametere benyttet i simuleringene med fangvoll i RAMMS Avalanche.

Scenario	Løsneområde	Bruddkant-høyde (m)	Returperiode (år)	Skredvolum (m^3)	Forsinkelse (sek)	Volumkategori	Høydeintervall
1/10	Sætreskarsfjellet Øst 1	1,51	10	37 150	0	Medium	500,0
	Sætreskarsfjellet Øst 3	1,5			8		
1/10	Sætreskarsfjellet Øst 1	1,51	10	54 150	5	Medium	500,0
	Sætreskarsfjellet Nord 1	1,59			0		

Terrengmodell: DTMvoll.
Oppløsning: 2 m.
Vollhøyde: 14,2 m.



Figur 7.41: Simulering av 10-års scenario for snøskred mot en 14,2 m høy fangvoll. De to røde sirklene indikerer områder hvor skredavsetningene går over vollen og ned i vegbanen.

7.4.2 Snøskredtårn

Figur 7.42 viser foreslått plassering av snøskredtårn for snøskredkontroll ved Oppljostunnelen og Sætreskarsfjellet. Bakgrunnen for valgt plassering er forklart i kapittel 6.6.2. Oransje farge symboliserer området som blir påvirket av den direkte trykkbølgen fra sprengladningen, altså områdene som ikke ligger bak høyder i terrenget. Radiusen av effektiv trykkbølge er 130 m (Wyssen, 2021b). Sprengladningens høyde over bakken fører til at trykkbølgen også vil ha en effekt i områdene som ligger i skyggen av trykkbølgen (Wyssen, 2021b). Påvirkningsområdet fra sprengladningen vil derfor være noe større enn hva det oransje området indikerer.

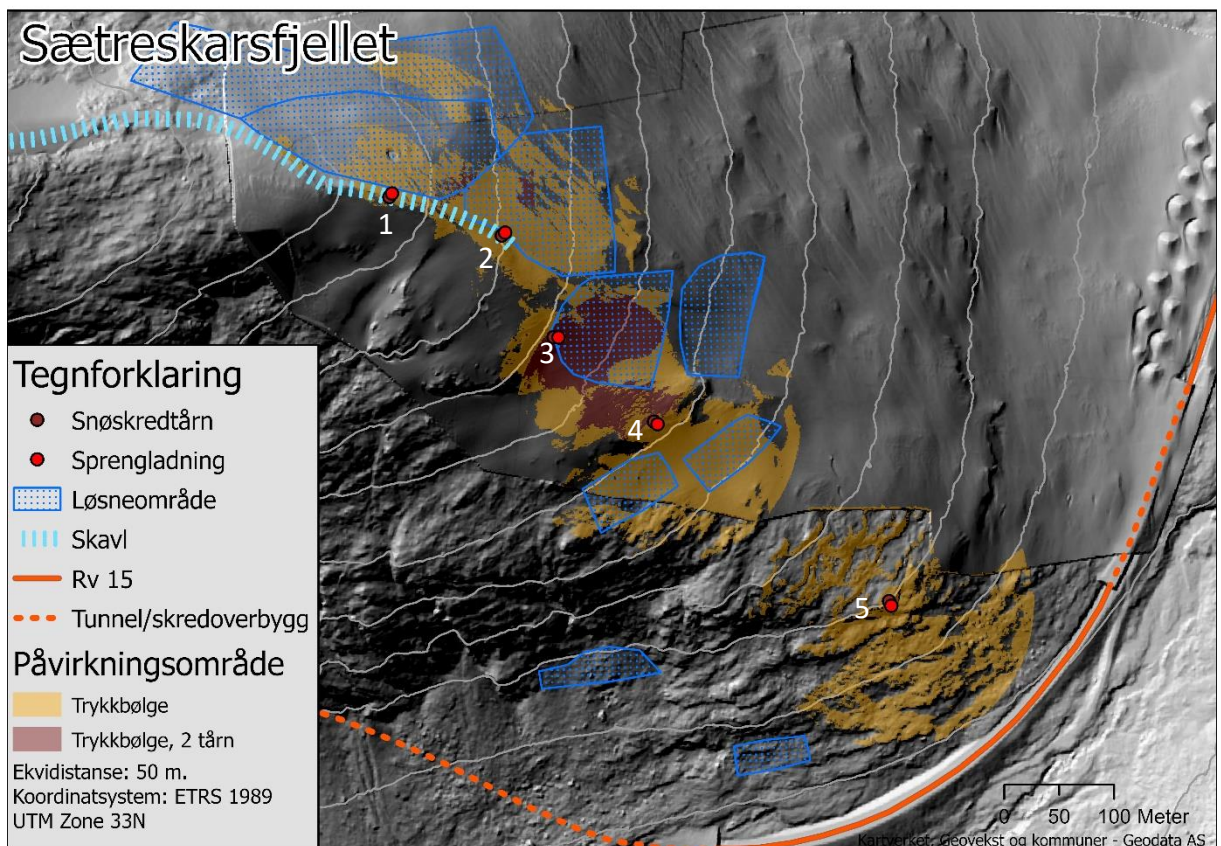
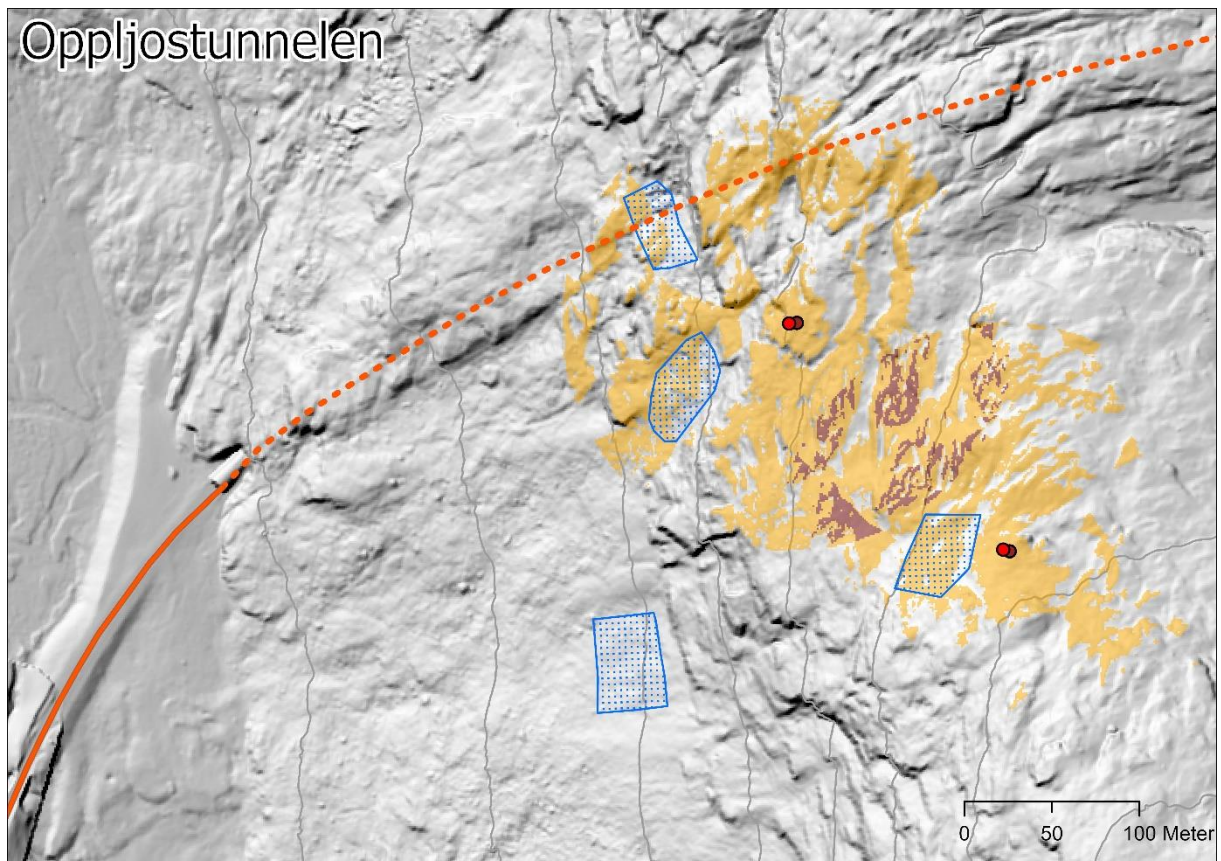
Øverste del av Figur 7.42 viser plasseringen av to snøskredtårn ovenfor tunnelåpningen ved Oppljostunnelen. Undersøkelsen av påvirkningsområdet til sprengladningene (oransje område) tyder på at begge tårnene har god innvirkning i de tiltenkte områdene. Hverken fremtredende vindretning, brattheten i terrenget, eller erfaringer fra lokalkjente (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2021) tilsier at det skal være noen fare for oppbygning av snøskavl i ovenforliggende terreng. Det er ikke gjort beregninger av snødybden i delområdet Oppljostunnelen.

Nedre del av Figur 7.42 viser plasseringen av fem tårn ved Sætreskarsfjellet. Tårnene er nummerert fra 1 til 5. Tårn 1 og 2 (lengst nord) tenkes å ha god innvirkning i løsneområdene lengst nord (Sætreskarsfjellet Øst 1 og Nord 1 og 2). Snøskavlen som bygger seg utover retning NØ fra tårnenes plassering kan føre til problemer. Snødybdekartene viser at snødybden med tårnene var på 3,5-12 m ved måletidspunktene (31. januar og 30. mars 2022. Se Vedlegg 2). Trykkbølgen fra sprengladningen vil nå over store deler av løsneområdene.

Snødybden ved tårn nummer 3 og 4 var på null til to meter ved måletidspunktene (31.01.2022 og 30.03.2022), og sprengladningen vil ha god effekt i løsneområdene Sætreskarsfjellet Øst 2 og Sætreskarsfjellet Sør 1 og 2.

Snødybden ved tårn nummer 5 er ikke målt. Tårnet er plassert på en forhøyning i terrenget hvor snødybden antas å være så lav som mulig. Det er ingen identifiserte løsneområder innenfor tårnet sin rekkevidde, men det er sannsynlig at det kan løsne mindre skred innenfor tårnets påvirkningsområde (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2021).

Alle de syv snøskredtårnene er plassert i terreng hvor det vurderes å være lite sannsynlig med skred fra ovenforliggende terreng av størrelser som kan skade tårnene. Skredtårn nr. 4 og 5 er mest utsatt med hensyn til skred fra ovenforliggende terreng. RAMMS-simuleringer vist i Figur 6.21 indikerer at de to skredtårnene tåler skred med en returperiode på ca. 50 år fra ovenforliggende område.



Figur 7.42: Plasseringen av skredtårn ovenfor Oppljostunnelen og ved Sætreskarsfjellet, samt vurdering av trykkbølgen sitt påvirkningsområde. Tall fra 1 til 5 i nedre del av figuren viser nummereringen av skredtårnene.

7.4.3 Langdistanse skredradar (i.e. automatisk skreddeteksjon)

Figur 7.43 viser resultatet av prosjekteringen av skredradaranlegget, og siktanalysen for radarene. Det vil være nødvendig med to radarer som peker i hver sin retning (SV og Ø). Radaren kan detektere skredet hele vegen ned til vegbanen, og det vil dermed være mulig med automatisk gjenåpning av vegen ved mindre skredhendelser.

Anlegget er dimensjonert for skred med antatte returperioder på 10 år. Den tiden skredene fra hvert område bruker ned til vegen er beregnet i RAMMS. Inngangsparameterne og simuleringene er vist i kapittel 7.3.1.2 og 7.3.4.2 (alle 10-års scenarioer). I Figur 7.43 er tiden til skredene som bruker minst tid ned til vegen vist. Det er her trukket fra tre sekunder i prosesseringstid for radaren. Tabell 7.16 viser tiden kjøretøy bruker mellom de to lyssignalene ved varierende hastigheter.

Lyssignal Nord

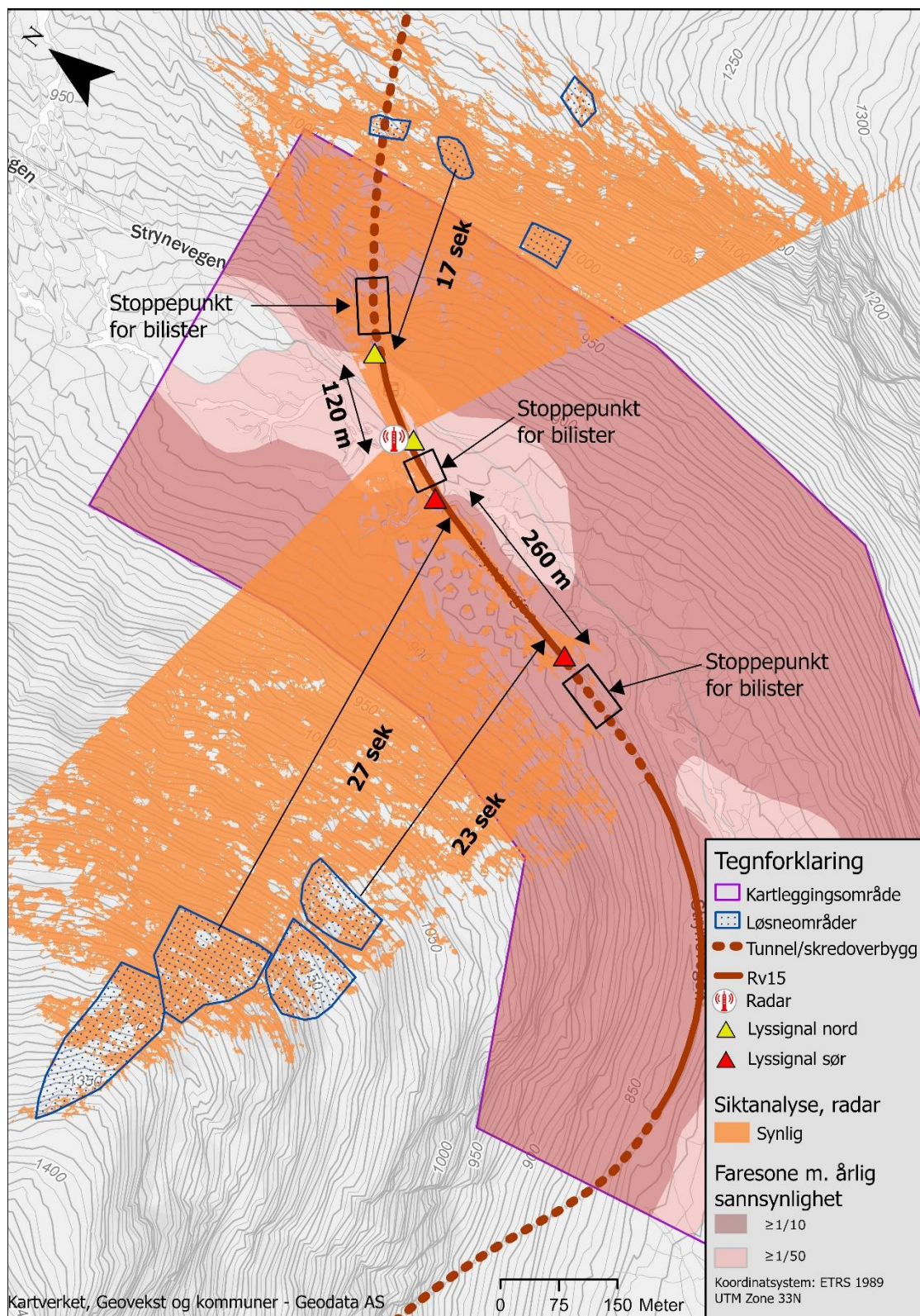
Skred fra løснеområdet Oppljostunnelen 2 bruker 20 sekunder, og dermed kortest tid til vegen. Det nordligste lyssignalet er plassert inne i tunnelen. Med de relativt korte utløpslengdene fra delområdet Oppljostunnelen kan lyssignalene ha en avstand på 120 m. Bilister vil bruke 11 sekunder på å passere utløpsområdet som vist i Tabell 7.16.

Lyssignal sør

Skred fra løснеområdet Sætreskarsfjellet Øst 3 bruker 23 sekunder, og kortest tid ned til vegbanen. Det sørligste lyssignalet er plassert inne i skredoverbygget. Dersom anlegget skal være plassert utenfor faresonen med årlig sannsynlighet for skred mindre enn 1/10, vil avstanden mellom lyssignalene måtte være 260 m. Bilister vil dermed måtte ha en hastighet på over 40 km/t for å rekke å passere utløpsområdet i løpet av 23 sek.

Tabell 7.16: Tiden et kjøretøy bruker mellom lyssignalene ved forskjellige hastigheter.

Hastighet [km/t]	Hastighet [m/s]	Tid (lyssignal nord) t_{120m} [s]	Tid (lyssignal sør) t_{260m} [s]
60	17	7	15
50	14	9	19
40	11	11	24



Figur 7.43: Plassering av radarene og avstanden mellom lyssignalene. Oransje farge symboliserer områder radaren har fri sikt til. Tidsintervallene representerer tiden dimensjonerende skred bruker til veien etter at radaren har varslet og stengt veien (prosesseringstid på tre sek). Figuren viser også forslag til stoppepunkter for bilister i forhold til faresoner for snøskred med årlig sannsynlighet 1/10 og 1/50 per km veg. Bakgrunnen for de inntegnede faresonene er diskutert i Kapittel 8.2.

8 Diskusjon

Det er mange forhold som kan påvirke resultatene av skredfarekartleggingen, blant annet valgte inngangsparametere i skredsimuleringene, og observasjoner gjort under feltarbeidet. Vektleggingen og vurderingen av de forskjellige fremstilte resultater sin innvirkning og betydning for skredfaren kan være avgjørende for resultatet av skredfaresonene. Forhold med betydning for skredfarekartleggingen og faresonene vil diskuteres i dette kapitlet. Diskusjonen tar utgangspunkt i den benyttede metoden, resultater fra feltarbeidet, analysen av historiske skred, GIS-analyser, snøskredsimuleringer, og skredsikringstiltakene som er vurdert i oppgaven.

8.1 Skredsimulering

Skredmodeller er avhengig av hvilke inngangsparametere brukeren velger, og er kun ment som et hjelpemiddel i skredfarekartleggingen (Håland et al., 2015). Skredsimuleringer vil derfor ikke kunne erstatte feltarbeid og skredfaglig kompetanse (Håland et al., 2015).

8.1.1 Alfa-beta-modellen, snøskred

I denne oppgaven benyttes Alfa-beta-modellen for å beregne utløpslengden til snøskred. Fordelen med denne modellen er at det kun er skredbanen og β -punktet som må velges av brukeren. Dette øker objektiviteten, og resultatet påvirkes i mindre grad av brukeren. I denne oppgaven har skredbanene blitt tegnet inn basert på snøskredsimuleringer i RAMMS. Dette vil være mer presist enn å tegne inn skredbanen kun etter høydekurver i kartet siden RAMMS-modellen beregner skredbaner relativt nøyaktig (Håland et al., 2015).

Modellen er basert på kjente skred med en returperiode på 100-300 år (Håland et al., 2015). Dette er større skred enn 10- og 50-års skredene som er av interesse i dette tilfellet, og vil dermed gi en lavere utløpsvinkel. Samtidig befinner kartleggingsområdet seg i høyfjellet hvor andelen skredvær er større (McClung & Schaerer, 2006). Dette taler for at metoden beregner utløpslengder i området med returperioder som er noe lavere enn foreslått av Håland et al. (2015). Norem (2014) foreslår å legge til et kvart til et halvt standardavvik ved dimensjonerende utløpslengder for nye veger med rundt 50 års returperioder.

Alfa-beta modellen krever også en terrengprofil som gradvis avtar i bratthet i nedre del, og er ikke egnet ved «terrasserte» terrengprofiler (Taurisano, 2018). Håland et al. (2015) konkluderer med at RAMMS er vesentlig bedre egnet til å beregne utløpslengder langs skredløp med lav høydeforskjell i høyfjellet, sammenlignet med Alfa-beta-metoden.

8.1.2 Bratthet- og utløpsområdekart

Bratthet- og utløpsområdekartet (NVE, u.å-b) (Figur 5.2) vurderes til å beregne unaturlig lange utløp i delområdene Oppljostunnelen og Kvitenoa. Siden modellen beregner

utløpslengden basert på alfavinkler etter Lied og Bakkehøi (1980), vil den ta utgangspunkt i at like store skred løsner fra alle potensielle løснеområder. Dette vil særlig være urealistisk for området ved munningen til Oppljostunnelen, siden løснеområdene her er relativt små, og har naturlige avgrensinger i utbredelse. Samtidig vil løснеområdenes orientering i forhold til nedbørsførende og fremtredende vindretning tilsi at områdene akkumulerer mindre snø enn områdene som ligger i le av vinden. Dette vil kunne overdrive utløpslengden fra løснеområder som ligger i lo av nedbørsførende vindretning, eller er begrenset i størrelse. Det samme gjelder løснеområder langs avblåste ryggformasjoner hvor sannsynligheten for store skredvolum er lav.

Klippepartiet i områdene Oppljostunnelen og Kvitenoa vil også medføre usikkerhet rundt de beregnede utløpslengdene, siden Alfa-beta metoden forutsetter parabelformede skredløp (Taurisano, 2018). Modellen beregner lange utløpslengder fra løснеområder ovenfor klippene i området. Tidligere presenterte historiske skred og terrenganalyser fra områdene Kvitenoa og Oppljostunnelen tilsier at sannsynligheten for store løснеområder i området over klippene er liten.

I områder hvor det går større skred, og skredløpet er mer parabelformet, eksempelvis fra Sætreskarsfjellet Øst og Nord gir bratthet- og utløpsområdekartet (NVE, u.å-b) mer realistiske utløpslengder. Grensen for middels lange utløp stemmer godt overens med simuleringene for 10-års skred i RAMMS, og inntrykket man sitter igjen med av historiske skred i området sin utløpslengde ved varierende returperioder. På bakgrunn av dette, og at et median-skred mest sannsynlig vil ha en returperiode på mindre enn 1/10 år, virker grensen for «middels utløp» å stemme godt for utløp med ca. 10 års returperiode. Dette gjelder i områder hvor forholdene ligger til rette for store skred. I tillegg er 95 prosentilen til «lange utløp» trolig nærmere et 50-års skred, men denne er vanskelig å forholde seg til innenfor kartleggingsområdet. Dette skyldes at skredavsetningene her ser ut til å bære preg av terrenganalysene (TauDEM) modellen benytter for å definere skredbanen (Larsen et al., 2018).

Videre er bratthet- og utløpsområdekartet et verktøy som er ment for friluftsfærd, og er ikke til planlegging av infrastruktur (NVE, u.å-b).

8.1.3 RAMMS:: Avalanche

Dynamikken innad i et snøskred er komplisert. RAMMS benytter et forenklet matematisk uttrykk med flere ukjente ledd for å beskrive de fysiske prosessene innad i skredbevegelsen. Modellen tar kun hensyn til de faste massene i tørre snøskred, og det tas lite hensyn til at snøens fysiske egenskaper endrer seg på veg nedover skredløpet (Håland et al., 2015).

Etter sammenligningen av modelleringsverktøyene konkluderte Håland et al. (2015) med at RAMMS med en justering av høydeintervallene i forhold til skoggrensen gav den mest nøyaktige utløpslengden for 100 – 300-års skred. Modellen velger automatisk lavere friksjonsparametere i høytliggende områder. Snøen kan her være tørr langs hele skredbanen, noe som fører til mindre friksjon i skredet. Håland et al. (2015) benytter dette

som et argument for at modellen fungerer bra i høyfjellsklima, og med lave høydeforskjeller langs skredløpet. Sistnevnte er aktuelt for flere av de simulerte skredløpene i Grasdalen.

8.1.3.1 Valg av parametere

Løsneområdets plassering og størrelse

I RAMMS må brukeren selv definere løснеområdets plassering og størrelse. Størrelsen vil påvirke utløpslengden, mens selve plasseringen vil ha innvirkning på skredbanens trasé. Dette tilfører en relativt stor potensiell feilkilde ved bruk av numeriske modeller som RAMMS, og stiller krav til kunnskap hos brukeren. Det er vanskelig å bestemme løснеområder basert på objektive kriterier, og særlig for 10- og 50-års skred, siden løснеområdene fort kan bli for store. I studien til Håland et al. (2015) benytter de objektive kriterier ved bestemmelse av løснеområdenes størrelse. Eksempelvis at løснеområdets lengde i skredbaneretningen har en vertikal høyde på 100 høydemeter dersom brattheten innenfor området ikke understiger 30°. De konkluderte med at de objektive kriteriene som ble benyttet kan være fornuftige for norske skred med en antatt returperiode på 100-300 år.

I dette tilfellet er det mange skredregistreringer innenfor påvirkningsområdet i Grasdalen. Flere av de identifiserte løснеområdene har blitt verifisert gjennom tidligere skredhendelsene, og samtaler med K. Kristensen og G. Skjåk (pers. kom. 8. november 2021 og 20. oktober 2021). De valgte løснеområdene og deres størrelse antas derfor som realistiske.

Bruddkanthøyde

Bruddkanthøyden som benyttes i simuleringene er bestemt på bakgrunn av metoden introdusert av Salm et al. (1990). Metoden innebærer følgende vurderinger (NVE, 2020b):

- Akkumulert snø de 3 siste døgnene som en funksjon av returperiode
- Høydekorreksjon av akkumulerte snømengder (+/- 5cm per 100 høydemeter)
- Pålagring av vindtransportert snø
- Korreksjon basert på helningsvinkel i løснеområdet.

Metoden tar hensyn til klimatiske forhold som blant annet påvirker skredstørrelsen og frekvens, men kan begrenses av tilgangen på representative værstasjoner for innhenting av klimadata til modellen (Håland et al., 2015). I dette tilfellet er akkumulert 3-døgnsnedbør med varierende returperioder (Figur 3.7) hentet fra værstasjonen i Oppstryn (stasjonsnummer SN58700, 201 moh.) (Seklima, 2021a). Avstanden mellom målestasjonen og interesseområdet er på 10 km. På bakgrunn av den korte avstanden og Figur 3.3 antas klimaet i de to områdene å være relativt likt med hensyn til årsnedbør. Den 96 år lange måleserien (1895-1991) (Seklima, 2021a) er lengre enn returperioden av interesse, og usikkerhet knyttet til ekstrapolering av data unngås derfor. Den store høydeforskjellen (opptil 1150 m) mellom målestasjonen og interesseområdet medfører derimot en mulig feilkilde. Som nevnt tidligere er det korrigeret for dette ved å legge til 5 mm nedbør per 100 høydemeter. Ved en returperiode på 10 og 50 år, beregnes det som sannsynlig med en

akkumulert 3-døgnsnedbør på 113 og 155 mm ved 200 moh. (Tabell 6.3). For å undersøke om disse beregnede verdiene er realistiske er verdiene sammenlignet med nedbøren under ekstremværet Gyda den 12.-14. januar 2022. Ekstremværet Gyda er valgt fordi nedbøren under ekstremværet ble vurdert til å ha en returperiode på over 25 år i området ved stasjonene Grotli III og Bråtå-Slettom (stasjonene er omtalt i kapittel 3.5) (Skjerdal et al., 2022). Tidspunktet for ekstremværet gjør den også aktuell med hensyn til dagens klima.

Under ekstremværet ble det i løpet av tre døgn målt 140 mm nedbør i Skjæringsdalen (582 moh.) (Seklima, 2021a). I samme periode var det en snittemperatur på -3°C og vestlig vind ved værstasjonen på Kvitenova (1400 moh.) hvor det kom 79 mm nedbør i løpe av to døgn (Seklima, 2021a). Ved målestasjonen Stryn-Kroken ble det i samme periode målt 97 mm nedbør. Nedbørsmengden målt ved Stryn-Kroken har en returperiode på under fem år (Skjerdal et al., 2022). Tabell 8.1 sammenligner nedbørsmålingene under ekstremværet Gyda med den beregnede 3-døgnsnedbøren med korrigering for høydeforskjell etter Salm et al. (1990).

Skjæringsdalen ligger mellom målestasjonene i Grotli og Stryn. Basert på Skjerdal et al. (2022) sine beregnede returperioder er det derfor sannsynlig at nedbøren i Skjæringsdalen under ekstremværet Gyda har en returperiode på mellom 5 og 25 år. Dette kan tyde på at beregningene for 3-døgnsnedbør i vinterhalvåret med 10- og 50-års gjentaksintervall gir realistiske verdier i området. Temperaturmålingene ved Kvitenova viser også at det i perioder med ekstrem nedbør kan være kuldegrader i fjellene rundt Grasdalen. Det vil likevel være usikkerhet knyttet til disse verdiene. Legg merke til at de anslåtte returperiodene etter Skjerdal et al. (2022) gjelder for 2-døgnsnedbør.

Tabell 8.1: Nedbørsdata fra ekstremværet Gyda sammenlignet med beregnet 3-døgnsnedbør basert på nedbørsdata fra værstasjonen i Oppstryn etter Salm et al. (1990). Beregnet 3-døgnsnedbør 582 moh. er relativt lik den målte nedbøren i Skjæringsdalen (582 moh.) under ekstremværet Gyda.

Målestasjon (moh.)	Måleperiode	Nedbør (mm)	Returperiode (år)	Kilde
Bråtå – Slettom (664)	2 døgn (12.-14. jan. 2022)	79	25	Skjerdal et al. (2022)
Grotli III (872)	2 døgn (12.-14. jan. 2022)	79	25	Skjerdal et al. (2022)
Stryn – Kroken (208)	2 døgn (12.-14. jan. 2022)	97	<5	Skjerdal et al. (2022)
Skjæringsdalen (582)	3 døgn (12.-15. jan. 2022)	140		Seklima (2022)
Beregnet 3-døgns nedbør (582)	1895 - 1991	133	10	(Meteorologisk institutt, u.å)
Beregnet 3-døgns nedbør (582)	1895 - 1991	175	50	(Meteorologisk institutt, u.å)

Friksjonsparametere

Valgte friksjonsverdier (μ og ξ) er basert på kalibreringen av RAMMS-modellen med DTM_{NDH} og 5 m oppløsning (kapittel 6.4.2.6). Friksjonsparametere er justert ved å sette høydejustering 1: 500 m og høydejustering 2: 0 m, som foreslått av Håland et al. (2015). Flere forskjellige høydejusteringer er testet og sammenlignet med skredhendelsen fra den 22. februar 2020 (kapittel 6.4.2.6) (NVE, 2022b). Siden snøen i området på vinterstid delvis begraver bremsekjeglene, er det mulig at kjeglene hadde en mindre bremseeffekt på skredhastigheten i virkeligheten enn i RAMMS-modellen hvor bremsekjeglene er åtte meter høye. Dersom dette er tilfellet, skulle det vært benyttet en grovere oppløsning på terrengmodellen i området med bremsekjeglene. Resultatet av denne justeringen ville vært lengre utløpslengde. Det ble valgt å benytte denne skredhendelsen i skredkalibreringen da både løseområdet og utløplengden var dokumentert.

Videre er det valgt å benytte en returperiode på 100 år fremfor 30 år i $\mu\xi$ -beregningene ved simuleringer av skred med antatt returperiode på 50 år. Bakgrunnen for dette er at området befinner seg i høyfjellet hvor det oftere ligger til rette for skredvær og større skredhendelser enn i lavereliggende områder. Det er her kortere perioder mellom store skredhendelser (McClung & Schaerer, 2006). Det kan derfor argumenteres for å benytte friksjonsparametere tiltenkt skred med en lengre returperiode når man befinner seg i høyfjellet, enn hva man i utgangspunktet simulerer.

8.1.3.2 Simuleringer med fangvoll i RAMMS

Skredsimuleringene knyttet til dimensjonering og vurdering av fangvollens innvirkning på skredmassene i utløpsområdet i RAMMS er gjort over en snødekt terrengmodell med 2 m oppløsning. En fangvoll utgjør en brå endring i skredløpets terrengprofil, og vil ikke snø ned og gattes ut på samme måte som terrenget langs skredløpet ellers gjør. Det er derfor ønskelig med så fin oppløsning som mulig i terrengmodellen for at fangvollens geometri skal fanges opp av modellen. Oppløsningen må likevel ikke gå på bekostning av modellens beregning av skredhastigheten frem til vollen.

Siden det ikke er mulig å benytte en terrengmodell hvor fangvollen har en annen oppløsning enn skredløpet i RAMMS (SLF, pers. kom. 25. januar. 2022) er det benyttet en snødekt terrengmodell som ikke krever like grov oppløsning av terrengmodellen langs skredløpet. Det er viktig å understreke at utvikleren av RAMMS selv har liten erfaring med simuleringer over snødekte terrengmodeller (SLF, pers. kom. 23. februar 2022), og at det kan være usikkerhet knyttet til resultatet. Normalt vil man benytte samme terrengmodell ved simuleringer med og uten voll. Siden en terrengmodell med 2 m oppløsning av snøoverflaten langs skredbanen er tilgjengelig, har denne blitt benyttet i dette tilfellet.

Ifølge Håland et al. (2015) beregner RAMMS et noe lavt energitap (slak energilinje) i utløpsområdet. Dette kan medføre for lave hastigheter i utløpsområdet ettersom at skredhastigheten er avhengig av hastighetshøyden hk. Håland et al. (2015) anbefaler derfor ikke å benytte modellen direkte til å beregne skredsikringstiltak som en fangvoll. Utvikleren

selv skriver at man skal være forsiktig med å benytte fangvoller i RAMMS-simuleringer, siden modellen ikke fullstendig klarer å simulere energitapet som følger av en fangvoll (SLF, pers. kom. 23. februar 2022). I motsetning til Håland et al. (2015) foreslår de derimot å benytte RAMMS til å finne dimensjonerende skredhastighet og flyte høyden ved vollfoten (SLF, pers. kom. 23. februar 2022).

I dette tilfellet ble fangvollen som nevnt dimensjonert etter skredhastigheten og flyte høyden i utløpsområdet basert på RAMMS-simuleringer over en snødekt terrengmodell (DTM_{U-bremsekjegl}) med 2 m oppløsning. Figur 6.16 viser en sammenligning av DTM_{SNØ} og DTM_{NDH}. Figuren viser at både skredhastigheten og utløpslengden var størst ved simuleringer med DTM_{SNØ} som input terrengmodell, til tross for den finere oppløsningen.

Hastighetsfordelingene langs skredløpet ser også ut til å være mer påvirket av mindre kanaliseringer av skredmassene ved simulering over DTM_{NDH}. Dette kan tyde på at en snødekt terrengmodell i virkeligheten viser ut terrengformasjonene mer enn hva man oppnår med en oppløsning på 5 m (DTM_{NDH}). Dersom dette er tilfelle bør oppløsningen være grovere enn 5 m ved bruk av en terrengmodell uten snø. Når det er sagt, er bremsekjeglene i utløpsområdet delvis nedsnødd i DTM_{SNØ}. Det er derfor usikkert hvor stor innvirkning bremsekjeglene har på hastigheten i sammenligningen mellom de to terrengmodellene. Man bør derfor være forsiktig med å trekke konklusjoner basert på dette resultatet.

Den beregnede energilinjen i utløpsområdet, basert på hastigheter fra RAMMS-simuleringene med DTM_{U-bremsekjegl} med 2 m oppløsning (Figur 6.18), hadde en helning på 0,75:1. Dette tyder på at modellen beregner et høyere energitap i utløpsområdet sammenlignet med Norem (2014) sin gjennomsnittsverdi på 0,4:1. Energilinjen er tegnet fra utløpspunktet til skredet, hellende oppover mot utløpsområdet. Sammenlignet med en slak energilinje vil en bratt energilinje gi en stor hastighetshøyde hk i utløpsområdet. Modellen (DTM_{U-bremsekjegl}) beregner dermed en kortere utløpslengde, en høyere hastighet lengre ut i utløpsområdet, og en raskere oppbremsing mot slutten sammenlignet med en modell hvor energilinjens helning følger gjennomsnittsverdien på 0,4:1 (Håland et al., 2015; Norem, 2014).

Håland et al. (2015) sine undersøkelser tyder på at metoden er best egnet for parabelformede skredløp, og at energilinjer med en helning på 0,35:1 gir best resultater for returperioder på 100-300 år. Ifølge Norem (2014) må man ved kortere returperioder kalibrere modellen. Ved et 10-års skred, som i dette tilfellet, vil det være naturlig med et høyere energitap i utløpsområdet (større friksjon), men akkurat hvor høyt er usikkert. Dersom energitapet i modellen er for høyt vil fangvollen være overdimensjonert som følge av for høye beregnede dimensjonerende hastigheter i utløpsområdet i forhold til hva som er realistisk.

8.2 Skredfaresoner

8.2.1 Nord for skredoverbygget

8.2.1.1 Årlig sannsynlighet $\geq 1/10$

Historiske skred fra den nasjonale skreddatabasen (NVE, 2021d) tyder på at det hyppigst går skred på veg ved strekningen mellom skredoverbygget og elven Grasdøla 240 m i retning NØ. Her har skred fra løsneområdene innenfor delområdet Sætreskarsfjellet Øst og delvis Nord utløp ned på vegen. Simuleringene i RAMMS tyder på at skred helt ned til skredstørrelse 3 kan ha utløp i vegen rett nord for skredoverbygget. Både RAMMS-simuleringene, og utløpsberegningene for skred med middels utløp (75-prosentilen) i NVEs bratthet- og utløpsområdekart beregner relativt like utløpslengder for skred fra Sætreskarsfjellet.

Simuleringene i RAMMS viser at små skred i størrelse 3 fra løsneområdene Oppljostunnelen 2 og 3 kan ha utløp relativt langt ut i vegbanen. Analysen av skredhendelsene Figur 7.2 viser at det ved minst tre anledninger har gått skred i vegen ved Oppljostunnelen. G. Skjåk og K. Kristensen (pers. kom. 20. oktober 2021 & 8. november 2021) er usikre på om dette har skjedd i etterkant av forlengelsen av portalen. På bakgrunn av dette antas løsneområdene å kunne akkumulere nok snø til å ha utløp i vegbanen ved vindtransport fra Ø-SØ, men trolig ikke så langt som RAMMS-simuleringene indikerer. NVE (2021c) sitt bratthet- og utløpsområdekart vurderes til å gi unaturlig lange utløpslengder i området basert på forholdene diskutert under kapittel 8.1.2.

Sett i sammenheng med det store antallet historiske skred registrert fra særlig Sætreskarsfjellet, gir forholdene som er drøftet ovenfor et relativt godt grunnlag for fastsettelse av faresonen i området. 260 av de totalt 480 m av vegstrekningen nord for skredoverbygget vurderes til å ligge innenfor området med en årlig sannsynlighet for snøskred $\geq 1/10$. Figur 8.1 viser alle de vurderte faresonene innenfor kartleggingsområdet. For faresoner med en årlig sannsynlighet for snøskred lik $1/10$ ses det bort fra utløpslengdene beregnet ved Alfa-beta-modellen, da denne er tilpasset skred med for store returperioder til å være relevant for faresonen.

8.2.1.2 Årlig sannsynlighet $\geq 1/50$

Store skred fra Sætreskarsfjellet Øst og Nord kan krysse dalbunnen og ha utløp til Oppljostunnelen. Dette har skjedd minst en gang i løpet av de siste 50 årene (se Figur 6.3). Simuleringene i RAMMS indikerer at dette er mulig ved skredstørrelse 5. Returperioden av et slikt skred er usikker, men antas å ligge nær $1/50$.

Alfa-beta-metoden fra Sætreskarsfjellet Øst 1 beregner utløpslengder like forbi bremsekjeglene, noe som er overraskende kort. Dette kan skyldes skredløpets terrasserte profil med en brå overgang mot dalbunnen, noe modellen ikke synes å håndtere så godt (Taurisano, 2018). Det kan også tenkes at bremsekjeglene har en forstyrrende effekt på

resultatet. NVE (u.å-b) sitt bratthet- og utløpsområdekart beregner «lange utløp» over store deler av dalbunnen, med unntak av et mindre område lengst nord i kartleggingsområdet. Som nevnt i kapittel 8.1.2 er det store usikkerheter tilknyttet disse utløpslengdene.

Skred fra løснеområdet Kvitenoa 1 har hatt utløp i vegen nord for skredoverbygget en gang på starten av 2000-tallet (K. Kristensen, pers. kom. 8. november 2021). Simuleringene i RAMMS av 50-års skred fra området indikerer at disse stopper opp i bunnen av dalen, 60 m før vegen. Alfa-beta-modellen beregner derimot utløpslengder opp til Rv15. Elven Grasdøla er delvis nedsnødd på vinterstid. Det er derfor mulig at RAMMS-modellen opplever en unaturlig høy ruhet i dette området, og at den benyttede terrengmodellen (DTM_{NDH}) skulle hatt en grovere oppløsning i områdene tilknyttet elven. Spor etter snøskredaktivitet i utløpsområdet (Figur 7.3) tyder på at de hyppigste snøskredene i området har utløp ned til elven i dalbunnen.

Basert på forholdene drøftet over, er det mulig at skred fra løснеområdene ved Kvitenoa med returperioder på rundt 50 år kan nå vegstrekningen, både rett nord og sør for skredoverbygget. Det er likevel skred fra Sætreskarsfjellet og Oppljostunnelen som antas å være dimensjonerende for vegstrekningen nord for skredoverbygget. Hele vegstrekningen vurderes til å ligge innenfor området med en årlig sannsynlighet for snøskred $\geq 1/50$.

8.2.2 Sør for skredoverbygget

8.2.2.1 Årlig sannsynlighet $\geq 1/10$

Skred fra delområdet Sætreskarsfjellet Sør vurderes til å være dimensjonerende for vegstrekningen sør for skredoverbygget. Historiske skredhendelser (NVE, 2021d) og informasjon fra Geir Skjåk (pers. kom. 20. oktober 2021) tyder på at det hovedsakelig går mindre skred fra den SV-delen av området (Sætreskarsfjellet Sør) som stopper i vegbanen. Analysen av de historiske skredhendelsene (Figur 7.2) viser at det har gått minst 10 skred i vegbanen sør for skredoverbygget de siste 50 årene. Snøskredsimuleringer i RAMMS tyder på at skred helt ned i størrelse 2 kan ha utløp i vegbanen fra de lavtliggende løснеområdene.

Vegstrekningen er hovedsakelig utsatt for små snøskred. Både sannsynligheten for, og risikoen tilknyttet skred i vegen sør for skredoverbygget vurderes å være mindre sammenlignet med området nord for skredoverbygget. Dette siden både skredstørrelsen er større, frekvensen hyppigere, og antallet skred på veg flere på nordsiden.

Bratthet- og utløpsområdekartet (NVE, u.å-b) i Figur 5.2 beregner relativt like utløpslengder som RAMMS for «middels utløp» i området ved tunnelportalen (Grasdalstunnelen). 250 m lengre \emptyset er derimot hele dalbunnen definert som utløpsområde ved «middels utløp». Dette fremstår som unaturlig, og skyldes trolig at modellen blant annet beregner lengre utløpslengder enn hva som er realistisk for den vindutsatte ryggformasjonen langs den vestlige avgrensningen av delområdet Kvitenoa.

Hele vegstrekningen sør for skredoverbygget vurderes til å ligge innenfor området med en årlig sannsynlighet for snøskred $\geq 1/10$.

8.2.2.2 Årlig sannsynlighet $\geq 1/50$

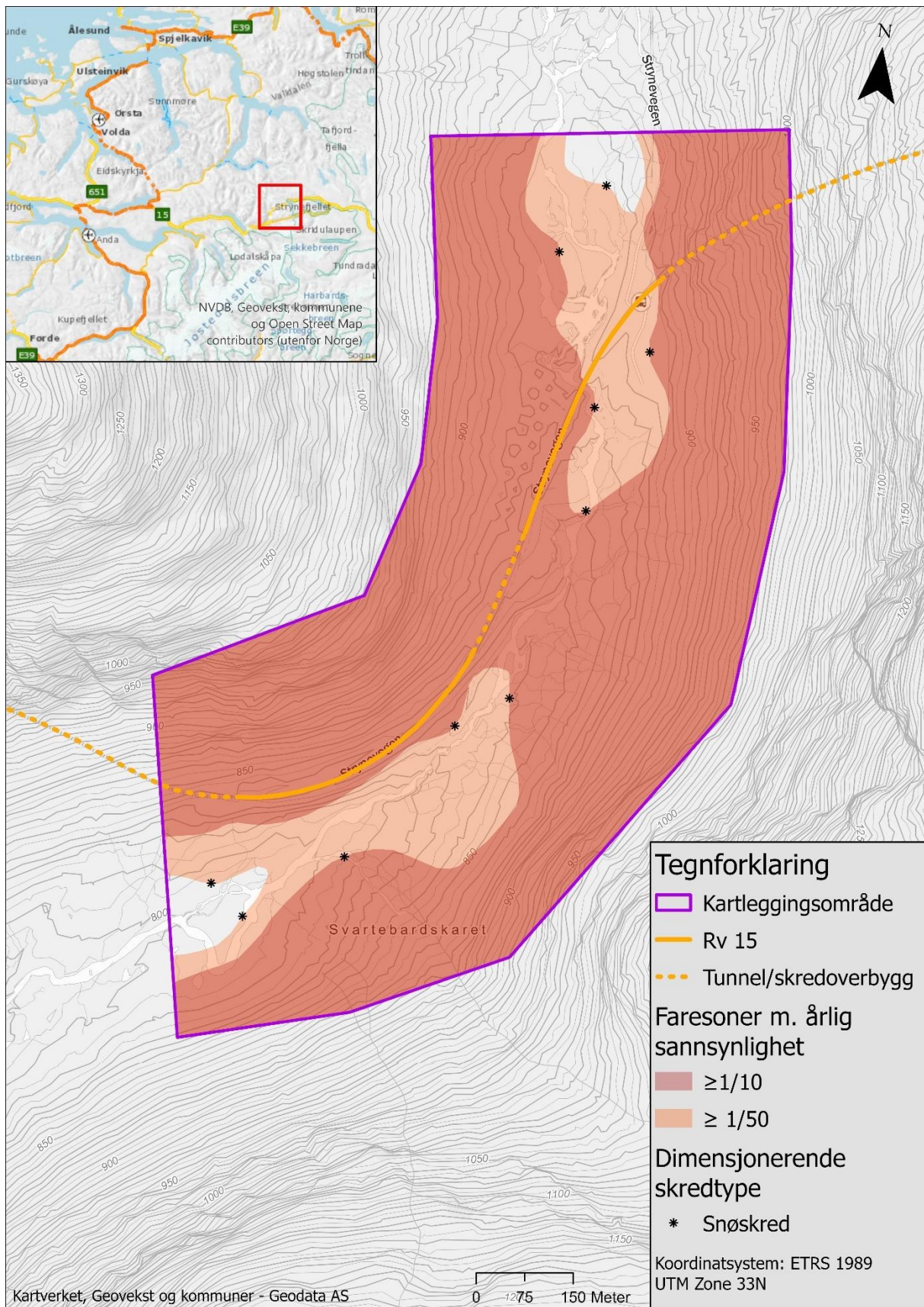
Ved lengre returperioder er det usikkert om snøskred fra Raudnova kan krysse dalbunnen og nå Rv15. Krister Kristensen (pers. kom. 8. november 2021) mener at skred fra området har nådd vegen en gang tidligere, men er selv usikker på om det da er snakk om snøsky-delen av skredet. Til tross for de 25 høydemetrene i forskjell mellom dalbunnen og Rv15, beregner Alfa-beta-modellen utløpslengder som når vegen fra både løsneområdene Raudnova 3 og 4, mens RAMMS-modellen beregner et noe kortere utløp (Se Figur 7.36). Den lange utløpslengden beregnet ved Alfa-beta-metoden kan skyldes at modellen ikke tar hensyn til den bratte stigningen opp mot vegen. Bratthet- og utløpsområdekartet (NVE, u.å-b) definerer store deler av dalbunnen som utløpsområde ved «lange utløp».

Skred fra Raudnova kan tenkes å nå Rv15, men ved returperioder større enn $1/50$ år. Hele området sør for skredoverbygget vurderes til å ligge innenfor området med en årlig sannsynlighet for snøskred $\geq 1/50$, med unntak av et mindre område lengst SV i kartleggingsområdet.

8.2.3 Samlede skredfasesoner

Innenfor kartleggingsområdet er det tegnet faresoner for snøskred med årlig sannsynlighet $1/10$ og $1/50$ per km veg. Bakgrunnen for de inntegnede faresonene er diskutert ovenfor (Kapittel 8.2), og er hovedsakelig basert på feltobservasjoner, tidligere skredhendelser, skredsimuleringer og lokalkunnskap fra området. Ifølge SVV (2021) sine krav til sikkerhet mot skred i Håndbok N200 er akseptert sannsynlighet for skred langs strekningen $\geq 1/50$ per km per år. Figur 8.1 viser faresonekartet. 700 m av den totalt 900 m lange vegstrekningen i dagen ligger innenfor området med en årlig sannsynlighet for snøskred $\geq 1/10$ per km veg. Hele vegstrekningen ligger innenfor området med en årlig skredsannsynlighet $\geq 1/50$ per km veg.

Faresonen er bestemt ut fra antatt utløpslengde av de faste skredmassene. Som nevnt tidligere er det usikkerhet knyttet til utbredelsen av skredvind, særlig langs skredløpet Sætreskarsfjellet Øst. Det er heller ikke tatt hensyn til at snøskredskyen kan svekke sikten langs vegen. Det er sannsynlig at skredskyer vil redusere sikten langs vegbanen ved lavere gjentaksintervaller enn hva faresonene i kartleggingsområdet gir uttrykk for.



Figur 8.1: Faresoner for snøskred med årlig sannsynlighet 1/10 og 1/50 per km veg.

8.2.3.1 Forutsetninger for skredfaresonene

Skredfaresonene er bestemt basert ut fra dagens klima. Endringer i temperatur og vind, samt et våtere klima vil kunne føre til en økt frekvens for snøskred (Taurisano, 2018). Ifølge Klimaservicesenteret (2021) antas nedbøren på vinter og vår å øke med 10 %, og områdene nær kysten er antatt å oppleve den største økningen i mm nedbør. Det er ikke ventet noen endring i vindforhold i løpet av dette århundret. Snømengden i høyereliggende fjellområder vil derimot øke mot midten av århundret. Dette kan potensielt gi en vesentlig økning i snøskredaktivitet i fjellområdene (Klimaservicesenteret, 2021).

8.3 Skredsikringstiltak

8.3.1 Fangvoll

Den foreslåtte fangvullen har en høyde på 14,2 m, og står over det ca. 4 m tykke snødekket i terrengmodellen. Vollens reelle høyde er dermed ca. 18 m. Ved å legge til rette for å rydde snø på skredsiden av fangvullen, kan høyden på denne reduseres tilsvarende reduksjonen av høyden til snødekket i vollmagasinet (Norem, 2014). Resultatet av simuleringene med fangvullen (Figur 7.41) viser at området rett nord for skredoverbygget er mest utsatt for overtopping av snøskredet. Dette er naturlig, siden vollen her ligger høyere opp i utløpsområdet, noe som gir en høyere skredhastighet (Figur 7.40), og et mindre magasinivolum.

Som nevnt tidligere er ikke RAMMS-modellen egnet til å vurdere om en voll er tilstrekkelig dimensjonert, da den ikke er i stand til å beregne tilstrekkelig energitap, og heller ikke tar godt hensyn til vollens geometri (SLF, pers. kom. 25. januar 2022; Bartelt et al., 2017). Dette kan føre til usannsynlig høye hastigheter og flytehyder i fremkant av fangvullen (Bartelt et al., 2017). Man skal derfor være forsiktig med å trekke konklusjoner rundt vollens effekt på de kompakte skredmassene basert på RAMMS-simuleringene mot fangvullen. Simuleringene indikerer også at vollen bør plasseres noe lengre i retning sør, da skredmassene som treffer enden av vollen bøyer av og går ned i vegbanen nord for skredoverbygget.

En voll i terrenget vil også føre til endringer i snødrift og distribusjon av snøen i området. Dette kan påvirke vollens geometri og magasinivolum, og dermed påvirke vollens effekt. Ved vindretninger fra S-SV vil vinden blåse oppover dalen (G. Skjåk, pers. kom. 20. oktober 2021). Ved vindstyrker over 5 m/s vil snø kunne transporteres av vinden og avsettes på le-siden av fangvullen. Frekvensfordelingen av vind ved Kvitenoa vist i Figur 3.5, viser at vindstyrken ved 30 % av tiden er over 5 m/s (Seklima, 2021b). Dette er riktignok på toppen av Kvitenoa hvor vind vil være mer fremtredende sammenlignet med nede i dalbunnen. Dersom snødybden i fremkant av vollen overstiger 4 m, eller distribusjonen av snø i området endrer vollens geometri, eksempelvis brattheten til vollens støtside, vil dette ha en negativ effekt på vollens funksjon. Det er ikke tatt hensyn til snødrift i vegbanen som følge av vollens utforming og plassering.

Skredvinden som følger med et snøskred, kan ha vesentlig lengre utløpslengder enn de faste skredmassene, og i enkelte tilfeller blåse biler av vegen. Skredvinden kan også føre til farlige situasjoner som følge av redusert sikt (Norem, 2014). Norem (2014) sine undersøkelser tyder på at en fangvoll tett inntil vegen med en høyde på 6 m vil kunne redusere skredvinden med opptil 80 % i området like bak vollen. Desto brattere vollens side er, desto bedre effekt har den mot skredvinden (Naaim-Bouvet et al., 2009). Kraftige skredvinder i området anses som mulig etter NVE (2020b), siden skred fra Sætreskarsfjellet kan være av størrelse 3 og større, og med skredhastigheter på over 20 m/s. Skredløpets slake helning og relativt jevne overgang mot dalbunnen taler derimot mot kraftige skredvinder i utløpet (NVE, 2020b). Selv om fangvollen reduserer skredvinden tilstrekkelig til at biler ikke blåser av vegen, vil sikten langs vegen trolig forsvinne, og farlige situasjoner kan oppstå.

Magasinvolumet på 521 m³ per løpemeter vurderes til å være stort nok til å romme skredmassene fra dimensjonerende snøskred. Vollens funksjonalitet er avhengig av vollens høyde over snøoverflaten. Denne vil begrenses i løpet av vinteren ettersom snø ved nedbør, vindtransport og skredaktivitet i området fyller magasinet. Det anbefales derfor å legge til rette for snørydding på skredsiden av fangvollen, slik at vollens geometri, høyde over snøoverflaten, og magasinvolument endres minst mulig i løpet av vinteren.

Fangvollen vurderes å kunne ha en tilstrekkelig effekt på de faste skredmassene til skred med returperioder på om lag 10 år fra området Sætreskarsfjellet Øst. Det må likevel gjøres videre vurderinger rundt dimensjoneringen av vollen da fangvollers innvirkning på tørre snøskred kan være begrenset. En fangvoll som eneste skredsikringstiltak vil ikke være tilstrekkelig for å nå den aksepterte årlige sannsynligheten for skred $\geq 1/50$. Videre vil den store vollen være et stort landskapsmessig terrenginngrep, og være kostbar å bygge. Derimot vil selve konstruksjonen kreve lite vedlikehold, og ha en lang levetid når den først er på plass.

8.3.2 Snøskredtårn

Snøskredkontroll ved hjelp av snøskredtårn er en metode som er mye brukt rundt i verden. Wyssen Avalanche Control AG, som er en av de største leverandørene av snøskredtårn, har over 690 tårn rundt om i verden (Wyssen, 2022a). Disse sikrer hovedsakelig veg- og jernbanestrekninger, gruver, skianlegg og infrastruktur.

Snøskredtårn vurderes som et godt alternativ for å sikre vegstrekningen i kartleggingsområdet. Terrenginngrepet vil begrenses til selve konstruksjonen da sprengladningen avfyres ovenfor snøoverflaten. Snøsig og snøskred i området begrenser bruken av metoden. Hvor stor grad av snøsig de forskjellige tårnene vil utsettes for er usikkert. Fem av de syv planlagte tårnene er plassert i områder hvor snødybden og brattheten er så lav som mulig, siden dette er fordelaktig med hensyn til snøsig (McClung & Schaerer, 2006).

Det er målt at snøskavlen i området ved de to nordligste tårnene på Sætreskarsfjellet kan ha en mektighet på 11-12 m (se vedlegg 2). Dette er en utfordring med tanke på snøsig og

skavlbrudd, samtidig som snøskavlen kan bli for høy i forhold til tårnets høyde (12 m). Eksplosivene må fall med en viss lengde ned fra tårnet for å ikke skade dette. Det vil være nødvendig med vindavvisere for å redusere oppbyggingen av snøskavlen. En vindavviser fungerer ved at vindhastigheten rundt konstruksjonen øker. Dette fører til at snøen innenfor et relativt lite område rundt vindavviseren eroderes bort (Hákonardóttir et al., 2008). Ifølge Hákonardóttir et al. (2008) kan flere vindavvisere på rekke forhindre oppbyggingen av en stor snøskavl. En slik konstruksjon er benyttet ved forsøksfeltet Ryggfonn hvor NGI i dag har et snøskredtårn. Vindavviserne fungerer bra, men må ifølge Krister Kristensen stå relativt nærme skredtårnet for at snøen skal passere tårnmasten før den avsettes (pers. kom. 8. november 2021). Det er likevel usikkert om vindavvisere vil ha ønsket effekt i dette tilfellet, siden mektigheten av snøskavlen er såpass stor.

For å kunne verifisere utløste skred ved dårlig sikt under skredkontroll foreslås det å vurdere bruken av doppler-radarer som har innsyn til skredløpene. Radarene har vist seg å fungere godt til å detektere snøskred også i dårlig vær (Meier, 2018). Å verifisere selv de mindre skredene som ikke når Rv15 ved dårlig sikt i området vil være nyttig for å kunne vurdere effektiviteten av skredsikringstiltaket, og ikke minst for å få en indikasjon på skredforholdene i området. Det bør undersøkes videre om det allerede eksisterende infralydanlegget i området (Kapittel 5.4) vil kunne erstatte radarene. Infralyd vil trolig kunne benyttes til å verifisere om det løsner skred i etterkant av en sprengning, men med infralyd vil det være større usikkerheter knyttet til hvor store skred som løsner, og hvor langt disse går. Ifølge Humstad et al. (2021) er teknologien forholdsvis umoden, og det er krevende å verifisere resultatene. Ved god sikt i området kan skredene verifiseres av personell på stedet, eller ved hjelp av SVVs webkamera langs vegen og på Kvitenova.

Tveit og Farestveit (2018) har publisert en rapport hvor forebyggende skredkontroll ved bruk av Wyssen snøskredtårn har blitt testet ut i et skredpunkt langs Fv53 over en toårs periode. Det ble benyttet totalt 14 skredtårn langs den skredutsatte strekningen. Etter to vintre med testing av systemet, konkluderer Tveit og Farestveit (2018) med at snøskredtårnene er driftssikre, enkle i bruk, og at systemet fungerer godt ved skredpunktet langs Fv53. Ved snøskredkontroll stenges vegen i en periode på 5-10 minutter, og er derfor i praksis ikke lengre stengt som følge av skredfare. Arbeidssikkerheten til vedlikeholdsarbeiderne har også økt betraktelig etter etableringen av snøskredtårn (Tveit & Farestveit, 2018).

Ved bruk av syv snøskredtårn som vist i Figur 7.42, vurderes det som mulig å øke sikkerheten mot snøskred langs vegstrekningen gjennom kartleggingsområdet til 1/50 per km per år. Dette forutsetter at metoden fungerer bra i området, og at anlegget driftes aktivt. Dersom det ikke blir sprengt under perioder med ustabil snødekke vil det kunne bygge seg opp store snømengder i fjellsiden, noe som resulterer i naturlig utløste skred (Tveit & Farestveit, 2018). Det må påregnes et par år med innkjøring og justeringer av anlegget for å oppnå ønsket effekt.

8.3.3 Langdistanse skredradar (i.e. automatisk skreddeteksjon)

Sikre stoppesteder for bilistene er en forutsetning for å kunne benytte skredradar og lyssignal som skredsikringstiltak langs veg. Ifølge SVV (2021) gjelder sikkerhetskravene mot skred i TEK 17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2021) for områder hvor det tilrettelegges for stans av trafikk. Stoppestedet må dermed opprettholde en årlig sannsynlig for skred $\geq 1/1000$ (Direktoratet for byggkvalitet, 2021). Resultatet av planleggingen av radarvarslingsanlegget vist i Figur 7.43, tilsier at metoden ikke vil være egnet i området, siden stoppestedene ikke opprettholder SVV (2021) sine krav til sikkerhet mot skred i områder hvor det tilrettelegges for stans.

9 Konklusjon

Målet for denne oppgaven er å kartlegge faren for snøskred langs vegstrekningen mellom Oppljostunnelen og Grasdalstunnelen, og relatere faresonen til SVV (2021) sine krav til sikkerhet mot skred i Håndbok N200. Ifølge denne er akseptabel risiko for skred langs vegstrekningen 1/50 per km per år i områder hvor trafikken er i flyt. Oppgaven drøftet videre ulike fysiske tiltak som vil øke sikkerheten mot skred på vegen. Av fysiske tiltak vurderes en fangvoll, aktiv snøskredkontroll ved hjelp av snøskredtårn, og lysregulering av vegstrekningen ved automatisk skreddeteksjon.

Feltobservasjoner, historiske skredhendelser og intervju av lokalkjente bekrefter at snøskredaktiviteten innenfor kartleggingsområdet er stor. Siden åpningen av vegen for 50 år siden har rundt 53 snøskred hatt utløp i vegbanen, hvor minst ett av disse har vært av skredstørrelse 5. Vegstrekningen er mest utsatt for tørre flakskred under perioder med kraftig snøvær og/eller vind. I kombinasjon er dette vanligst ved vindretninger fra SV-NV. Om våren ved sterk solinnstråling eller regn kan også våte snøskred ha utløp i vegbanen. Historisk sett er vegen mest utsatt for skred i januar måned, og da fra delområdene Sætreskarsfjellet Sør og Øst.

Av den totalt 900 m lange vegen som går i dagen gjennom kartleggingsområdet, ligger 700 m av strekningen i områder med en årlig sannsynlighet for snøskred $\geq 1/10$, mens hele vegstrekningen ligger i områder med en årlig sannsynlighet $\geq 1/50$. Figur 8.1 viser skredfaresonene innenfor kartleggingsområdet.

Av de tre typene vurderte skredsikringstiltak forventes aktiv snøskredkontroll ved hjelp av snøskredtårn å gi best effekt. Ved bruk av syv snøskredtårn som vist i Figur 7.42 vurderes det som mulig å øke sikkerheten mot snøskred langs vegstrekningen til 1/50 per km per år. Dette forutsetter at metoden fungerer bra i området, og at anlegget driftes aktivt. Ved utøvelse av aktiv skredkontroll, viser tidligere erfaringer at vegstrekningen må sperres i perioder på 5-10 minutter ved normale situasjoner. Tidsperioden anses som rimelig for bilistene.

En 18 m høy fangvoll fra den nordlige enden av skredoverbygget og 225 m retning NØ (Figur 7.41), vurderes å kunne ha en tilstrekkelig effekt på de faste skredmassene til skred med returperioder på opp mot 10 år fra delområdet Sætreskarsfjellet Øst. Tiltaket vil kun redusere skredfaren i området tilknyttet vollen.

Et automatisk skredvarslingsanlegg og lysregulering vil ikke være egnet som skredsikringstiltak i området, da stoppestedene for bilister ikke oppnår påkrevd årlig sannsynlighet for skred $\geq 1/1000$ etter SVV (2021) sine krav i Håndbok N200.

10 Videre arbeid

I det videre arbeidet tilknyttet vurderingen av snøskredtårn som skredsikringstiltak, vil det være nyttig med grundigere undersøkelser og beregninger av kreftene som mastene til snøskredtårnene utsettes for som følge av snøsig og skred fra ovenforliggende områder. Dersom undersøkelsene tilsier at en tårnmast er plassert i et utsatt område, kan bruken av forhåndsutlagte sprengladninger vurderes som en mulig erstatning for snøskredtårnet. Dette kan være et alternativ for snøskredtårn nr. 1 og 2 ved Sætreskarsfjellet. Disse er plassert i et område hvor snøskavlen kan bygge seg opp til en mektighet på over 12-15 m, og vindavviseres effekt på snøskavler med en så stor mektighet er usikker.

Ved videre vurderinger av fangvollen, burde metoden benyttet ved dimensjoneringen vurderes opp mot andre metoder for dimensjonering av fangvoller. Særlig bør den dimensjonerende hastigheten ved vollfoten kontrolleres. Videre er det endelige skredvolumet avhengig av mengden masser som tilføres skredet som følge av medrivning. Dersom det endelige skredvolumet overstiger vollens magasinivolum, vil skredet gå over fangvollen og ned på vegen. Derfor bør volumøkningen som følge av medrivning undersøkes nærmere, og vurderes opp imot vollens magasinivolum.

Referanser

- Avalanche.org. (2021a). *Cornice*. American Avalanche Association & National Avalanche Center. Hentet 23.11.2021 fra <https://avalanche.org/avalanche-encyclopedia/cornice/>
- Avalanche.org. (2021b). *Weak layer*. American Avalanche Association & National Avalanche Center. Hentet 22.11.2021 fra <https://avalanche.org/avalanche-encyclopedia/weak-layer/>
- Bakkehoi, S. (1987). Snow avalanche prediction using a probabilistic method. *IAHS Publ*, 162.
- Bartelt, P., Buhler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Salz, M., Schneider, M. & Schumacher, L. (2017). RAMMS:: AVALANCHE User Manual (v1. 7.0). Hentet fra: https://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_AVAL_Manual.pdf.
- Bartelt, P., Salm, B. & Gruber, U. (1999). Calculating dense-snow avalanche runout using a Voellmy-fluid model with active/passive longitudinal straining. *Journal of Glaciology*, 45(150), 242-254.
- Bjørnstad, J. (2017). Bayes-analyse. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/Bayes-analyse>
- Boje, S., Beldring, S. & Engeset, R. (2018). *Hvordan lages vær- og vanndata fra seNorge.no og xGeo.no*. Norges vassdrags- og energidirektorat. https://www.nve.no/media/7502/waterdata_v2_no.pdf
- Buckley, A. (2010). *Understanding curvature rasters*. Esri Hentet 09.05.2022 fra <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/understanding-curvature-rasters/>
- Buhler, R., Argue, C., Jamieson, B. & Jones, A. (2018). Sensitivity analysis of the RAMMS avalanche dynamics model in a Canadian transitional snow climate. *ISSW, Innsbruck, Austria*, 7.
- Bühler, Y., Christen, M., Dreier, L., Feistl, T. & Bartelt, P. (2014). Merging of recent developments in avalanche simulation technology into practice. International Snow Science Workshop ISSW,
- Bühler, Y., von Rickenbach, D., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L. & Christen, M. (2018). Automated snow avalanche release area delineation—validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large-scale hazard indication mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(12), 3235-3251.
- Carlsby, F. (u.å). *Helårsveg over fjellet* P. film; <https://www.youtube.com/watch?v=vAP9hcyNmX0&t=1s>
- Christen, M., Kowalski, J. & Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology*, 63(1-2), 1-14.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2021). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Hentet 02.02.2021 fra https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-3/?_t_q=skredfare
- Engeset, R. (2018). How are the snow maps in seNorge and xGeo made. <https://www.nve.no/media/11708/how-are-the-snow-maps-in-senorge-and-xgeo-made.pdf>
- Ese, K. (2019). Byggjing av heilårsvegen over Strynefjellet. <https://leksikon.fylkesarkivet.no/article/6be48ca6-8788-4092-b916-4bc399506bc1/>
- Esri. (2021a). *ArcGIS Pro* (Versjon 2.9.1) [APP]. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/buy>
- Esri. (2021b). *What is raster data?* Hentet 06.05.2022 fra <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
- Esri. (u.å). *Curvature*. Hentet 20.12.2021 fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/arcpy/image-analyst/curvature.htm>
- Floyer, J. (u.å). *Wind Transport*. Avalanche Canada. Hentet 22.11.2021 fra <https://www.avalanche.ca/glossary/terms/wind-transport>

- GEOprevent. (u.å). AVYX® *Avalanche radar*. Hentet 15.03.2021 fra <https://www.geopraevent.ch/technologies/avalanche-radar/?lang=en>
- Hákonardóttir, K. M., Hogg, A. J., Jóhannesson, T. & Tómasson, G. G. (2003). A laboratory study of the retarding effects of braking mounds on snow avalanches. *Journal of Glaciology*, 49(165), 191-200. <https://doi.org/10.3189/172756503781830692>
- Hákonardóttir, K. M., Margreth, S., Tómasson, G. G., Indriðason, H. D. & Þórðarson, S. (2008). Snow drift measures as protection against snow avalanches in Iceland. *Mitigative Measures against Snow Avalanches*, 85.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J., Sandven, S., Sandø, A. & Sorteberg, A. (2015). Klima i Norge 2100 - Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. *NCCS Report, NCCS, Oslo, Norway, 203*.
- Hardeng, J. & Linge, H. (2019). Skred. I. Store Norske Leksikon. <https://snl.no/skred>
- Hegdalstrand, K. (2013). *Mold mot snø* Statens vegvesen; <https://www.youtube.com/watch?v=lbqvcHF6leA&t=141s>
- Helseth, L. E. (2020). ikke-newtonsk væske. I. Store norske leksikon. https://snl.no/ikke-newtonsk_v%C3%A6ske
- Humstad, T., Venås, M., Velsand, P. & Langeland, S. (2021). Deteksjon av snøskred ved hjelp av infralyd. *Statens vegvesens Rapporter, Nr. 717*. [https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2735031/11_06_21%20Rapport%20717%20Deteksjon%20av%20sn%C3%B8skred%20ved%20hjelp%20av%20infralyd%20\(2014%20-%202020\).pdf?sequence=6](https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/2735031/11_06_21%20Rapport%20717%20Deteksjon%20av%20sn%C3%B8skred%20ved%20hjelp%20av%20infralyd%20(2014%20-%202020).pdf?sequence=6)
- Håland, G., Norem, H., Orset, K. I. & Frekhaug, M. H. (2016). AN ASSESSMENT OF RUN-OUT MODELS APPLIED TO EXTREME NORWEGIAN SNOW AVALANCHES. Proceedings Breckenridge 2016 International Snow Science Workshop, October 3-7 2016,
- Håland, G., Orset, K. I., Frekhaug, M. H. & Norem, H. (2015). *Sammenligning av modelleringsverktøy for norske snøskred* (107-2015). Norges vassdrags- og energidirektorat. <https://nve.brage.unit.no/nve-xmlui/handle/11250/2497173>
- Jaedicke, C. (2019). Snøskred. I. Store norske leksikon. <https://snl.no/snøskred>
- Johnson, B. C., Jamieson, J. B. & Stewart, R. R. (2004). Seismic measurement of fracture speed in a weak snowpack layer. *Cold Regions Science and Technology*, 40(1-2), 41-45.
- Kartverket. (u.å). *Høydedata - Nasjonal detaljert høydemodell*. Hentet 20.08.2021 fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>
- Kartverket, Geovekst, Kommuner, OSM & Geodata, A. (u.å). *Skred i bratt terreng, faresone*. NVE Atlas. <https://atlas.nve.no/html5viewer/index.html?viewer=nveatlas#>
- Klimaservicesenteret. (2021). Klimaprofil Sogn og Fjordane. <https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/sogn-og-fjordane>
- Körner, H. J. (1980). The Energy-Line Method in the Mechanics of avalanches. *Journal of Glaciology*, 26(94), 501-505. <https://doi.org/10.3189/s0022143000011023>
- Larsen, H. T., Hendriks, J., Slåtten, M. S. & Engeset, R. V. (2018). GIS based ATES mapping in Norway, a tool for expert guided mapping. *Forest*, 90, 35.
- Larsen, J. O. (1973a). *Kunstig utløsning av snøskred*. Vegvesenet i Sogn og Fjordane.
- Larsen, J. O. (1973b). *Kunstig utløsning av snøskred - Rapport 2*. Vegvesenet i Sogn og Fjordane.
- Lied, K. (2014). Snøskred. HØEG, K., Karlsrud, K. & LIED, K.(eds.) *Skred: skredfare og sikringstiltak: praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. Oslo: Universitetsforlaget, 13-43.
- Lied, K. (2018). *Etablering av snøskredforskning i Norge*. Norskred. Hentet 15.11.2021 fra <https://norskred.wordpress.com/2018/05/01/snoskred-og-snoskredforskning-i-norge/>
- Lied, K. & Bakkehøi, K. (1980). Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology*, 26(94), 165-177.
- Maggioni, M. & Gruber, U. (2003). The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Science and Technology*, 37(3), 407-419.
- Mayer, S., Van Herwijnen, A., Ulivieri, G. & Schweizer, J. (2020). Evaluating the performance of an operational infrasound avalanche detection system at three locations in the Swiss Alps

- during two winter seasons. *Cold Regions Science and Technology*, 173, 102962.
<https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.102962>
- McClung, D. & Schaerer, P. A. (2006). *The avalanche handbook* (3. utg.). The Mountaineers Books.
- Meier, L. G. A. (2018). *Radarmålinger av snøskred ved fv. 293 Holmbuktura: Resultater fra testmålinger i 2017 og 2018* (1893-1162). Statens vegvesens rapporter.
- Meteorologisk institutt. (u.å). *eKlima*. Hentet 10.09.2021 fra <http://eklima.met.no>
- NGI. (u.å-a). *Forskningsvirksomhet på Fonnbu*. Norges geotekniske institutt. Hentet 01.11.2021 fra <https://www.ngi.no/Tjenester/Fagekspertise/Snoeskred/Fonnbu>
- NGI. (u.å-b). *Ryggfonn*. Norges geotekniske institutt. Hentet 01.11.2021 fra <https://www.ngi.no/Tjenester/Fagekspertise/Snoeskred/Ryggfonn>
- NGI. (u.å-c). *Snøskredulykker med død*. Norges geotekniske institutt. Hentet 11.04.2022 fra <https://www.ngi.no/Tjenester/Fagekspertise/Snoeskred/snoskred.no2/Snoeskredulykker-med-doeed>
- NGI. (u.å.). *Nasjonal Skreddatabase - Orientering om snøskred*. Norges Geotekniske Institutt. Hentet 01.02.2021 fra <https://www.ngu.no/filearchive/91/snoskred.pdf>
- NGU. (2022). *Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase*. Norges geologiske undersøkelse. http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- NGU, NVE, Kartverket, Geovekst, Kommuner, OSM & Geodata, A. (u.å). *Sikringstiltak*. NVE Atlas. <https://atlas.nve.no/Html5Viewer/index.html?viewer=nveatlas#>
- Norem, H. (1981). *Helårsvegen over strynejellet - Forslag til sikring av veggen mot snøskred* (E99 G nr. 3). Statens Vegvesen - Veglaboratoriet.
- Norem, H. (2014). *Veger og snøskred. Håndbok V138. Vegdirektoratet, Trondheim, Norge*.
- Norge i bilder. (2021). *Norge i Bilder*. Statens kartverk, Geovekst og kommunene. Hentet 05.09.2021 fra <https://norgeibilder.no/>
- Norgeskart.no. (u.å). *Norgeskart*. Kartverket. <https://www.norgeskart.no>
- Norsk skredfaglig forening. (2018). *Helårsveg over Strynejellet i 40 år*. Hentet 21.11.2021, fra <http://norskred.no/>
- NVE. (2016). *Snøskred - Tørre og våte*. Artikkel 1/2016. Hentet 11.02.2021, fra http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2016/faktaark2016_01.pdf
- NVE. (2017). *Skredvær*. Artikkel 06. http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2017/faktaark2017_06.pdf
- NVE. (2018). *Vedlegg 2 - Snøskred. Bransjestandard for kartlegging av fare for snøskred*. Norges vassdrags- og energidirektorat. <https://www.nve.no/media/8358/vedlegg-2-sn%C3%B8skred.pdf>
- NVE. (2020a). *Laussnøskred*. Norges vassdrag og energiforbund. Hentet 21.02.2021 fra <https://www.nve.no/flaum-og-skred/om-skred/laussnoskred/>
- NVE. (2020b). *Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 20.08.2021 fra <https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng/?ref=mainmenu>
- NVE. (2021a). *Aktsomhetskart fro snøskred*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 07.01.2022 fra <https://www.nve.no/naturfare/utredning-av-naturfare/om-kart-og-kartlegging-av-naturfare/om-kartlegging-av-skredfare-i-bratt-terreng/aktsomhetskart-for-snoskred/>
- NVE. (2021b). *NEVIDA Nedbørsfelt- Vannføring-Indeks-Analyse*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 07.12.2021 fra <https://nevina.nve.no/>
- NVE. (2021c). *NVE Temakart - NVE automatisk klassifisert skredterreng (AutoKAST)*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 08.04.2022 fra <https://temakart.nve.no/link/?link=kast>
- NVE. (2021d). *NVE Temakart - Skredhendinger*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 16.12.2021 fra <https://temakart.nve.no/testlink/?link=skredhendelser>
- NVE. (2021e). *Om kartlegging av skredfare i bratt terreng*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 20.04.2022 fra <https://nve.no/naturfare/utredning-av-naturfare/om-kart-og-kartlegging-av-naturfare/om-kartlegging-av-skredfare-i-bratt-terreng/>

- NVE. (2022a). *Varsom Regobs*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 05.01.2022 fra <https://regobs.no/?SelectedNumberOfDays=3&&NWLat=71.11&NWLon=4.29&SELat=57.57&SELon=31.1>
- NVE. (2022b). *Varsom Regobs - Skredhendelse*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 15.03.2022 fra <https://regobs.no/Registration/217627>
- NVE. (u.å-a). *AlfaBeta - Utløpslengde beregning*. Norges vassdrags- og energidirektorat. . Hentet 06.12.2021 fra <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e510e316b4654982a64a5e5c2fcff474>
- NVE. (u.å-b). *Bratthet- og utløpsområdekart*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 09.04.2022 fra <https://www.varsom.no/snoskredskolen/skredterreng/bratthet-og-utlopsomradekart/>
- NVE. (u.å-c). *Nysnø (flakskred)*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 06.05.2022 fra <https://varsom.no/snoskred/snoskredskolen/snoskredproblemer/nysno-flakskred/>
- NVE. (u.å-d). *Snøskredstørrelser*. Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 28.04.2022 fra <https://www.varsom.no/snoskredskolen/snoskredvarselet-forklaring/snoskredstørrelser/>
- Naaïm-Bouvet, F., Naaïm, M., Faug, T. & Issler, D. (2009). *The effect of dams on powder-snow avalanches*. Norges Geotekniske Institutt <https://www.ngi.no/Publikasjoner-og-bibliotek>
- Opedal, P. S. & Østbye, H. (2011). *UD6-81-8 Veiledning i Vintertjeneste - snøkjennskap*. Forsvarets vinterskole. <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/turistforeningen/files/2c1d1a0a4a883ffb96cc02464675c01e9e9c82ad.pdf>
- Persson, A., Venås, M., Humstad, T. & Meier, L. (2018). Real-time radar avalanche detection of a large detection zone for road safety in Norway. *Proceedings ISSW*,
- Rye, N., Nesje, A., Lien, R., Blikra, L. H., Eikenaes, O., Hole, P. & Torsnes, I. (1997). Glacial geology and deglaciation chronology of the area between inner Nordfjord and Jostedalbreen Strynefjellet, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 77(1), 51-63.
- Salm, B., Burkard, A. & Gubler, H. (1990). *Berechnung von Fliesslawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos.
- Sandøy, G. & Rubensdotter, L. (2020). *Komplekse skredvifter: monitorering og karakterisering av skredavsetninger fra ulike prosesser (2020.021)*. NGU rapport
- Schaerer, P. A. (1977). Analysis of snow avalanche terrain. *Canadian Geotechnical Journal*, 14(3), 281-287.
- Schweizer, J., Bruce Jamieson, J. & Schneebeli, M. (2003). Snow avalanche formation. *Reviews of Geophysics*, 41(4).
- Seklima. (2021a). *Stasjonsinformasjon*. Meteorologisk institutt. Hentet 07.12.2021 fra <https://seklima.met.no/stations/>
- Seklima. (2021b). *Vindrose med frekvensfordeling*. Meteorologisk institutt. Hentet 07.12.2021 fra https://seklima.met.no/windrose/?timeresolution=last_30_years&locationid=SN58705
- Seklima. (2022). *Observasjoner og væstatistikk*. Meteorologisk institutt. Hentet 21.12.2021 fra <https://seklima.met.no/observations/>
- SeNorge.no. (2021). *Klima*. Senorge, Norges vassdrags- og energidirektorat, Meteorologisk institutt, Kartverket. <http://www.senorge.no/aboutSeNorge.html?show=on>
- Skjerdal, M. S., Hagen, B., Mamen, J., Rudberg, K. J. & Fagerlid, G. O. (2022). *METinfor - Hendelsesrapport - Ekstremværet Gyda 12.-13. januar 2022* Meteorologisk institutt. <https://www.met.no/publikasjoner/met-info/ekstremvaer>
- Sletten, K., Sandøy, G., Taurisano, A., Yugsi, F. F., Rubensdotter, L. & Stalsberg, K. (2015). *Skredfarekartlegging i Sykkylven kommune*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Starheim, O. (2018). Strynefjellsvegen. *Allkunne*. Hentet 27.11.2021, fra <https://www.allkunne.no/framside/fylkesleksikon-sogn-og-fjordane/samferdsle/strynefjellsvegen/1902/77365/>

- SVV. (2012). *KVU Rv. 15 Strynefjellet*. Statens vegvesen - region vest. <https://docplayer.me/7549326-Kvu-rv-15-strynefjellet.html>
- SVV. (2018). *Vegbygging - Håndbok N200 (N200)*. Vegdirektoratet. <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-n200-vegbygging-juli-2018.pdf>
- SVV. (2021). *Vegbygging - Håndbok N200 (N200)*. Vegdirektoratet. <https://store.vegnorm.vegvesen.no/svv-proj-1464925>
- SVV. (u.å). *Trafikkinformasjon*. Statens vegvesen. Hentet 25.10.2021 fra <https://www.vegvesen.no/trafikk/?lat=65.00761&long=10.21021&zoom=3>
- Tarboton, D. (2015). *TauDEM version 5*. Hydrology Research Group. Hentet 22.04.2022 fra <https://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/index.html>
- Taurisano, A. (2018). *Skredfarekartlegging i Oppdal kommune (Nr. 8-2018)*. Norges vassdrags- og energidirektorat. http://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2018/eksternrapport2018_08.pdf
- Tveit, J. & Farestveit, N. (2018). *Fv 53 Tyin-Årdal – Alternativ for vidare drift av Wyssen snøskredtårn*. Statens vegvesen. <https://www.vegvesen.no/dokument/basis/fil/18220031>
- UiO. (2019). *Gumbelfordelingen*. Universitetet i Oslo. Hentet 05.05.2022 fra <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/matematikk/gumbelfordelingen.html>
- WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. (2017). *RAMMS:: Avalanche (Versjon 1.7.20)* [APP]. https://ramms.slf.ch/ramms/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=70
- Wyssen. (2019). *Instructions for building the foundation and erection of the tower*. Wyssen Avalanche Controll AG. https://www.wyssenavalanche.com/wp-content/uploads/2020/07/fundationsanleitung_v2.3_en_klein.pdf
- Wyssen. (2021a). *IDA® Infrasound Detection System*. Wyssen Avalanche Controll AG. Hentet 29.11.2021 fra https://www.wyssenavalanche.com/wp-content/uploads/2019/03/ida-infrasound-detection-system_en.pdf
- Wyssen. (2021b). *Wyssen snøskredtårn LS12-5*. Wyssen Avalanche Controll AG. Hentet 25.11.2021 fra <https://www.wyssenavalanche.com/nb/systemer-for-snoskredkontroll/wyssen-snoskredtarn-ls12-5/>
- Wyssen. (2022a). *About us*. Wyssen avalanche control AG. Hentet 29.04.2022 fra <https://www.wyssenavalanche.com/en/aboutus/>
- Wyssen. (2022b). *Grunnlag for snøskredkontroll*. Wyssen Avalanche Control AG. Hentet 25.04.2022 fra https://www.wyssenavalanche.com/wp-content/uploads/2019/07/grunnlag-for-snoskredkontroll_no.pdf
- Aalbu, J. (2021). *AV-Klima*. Asplan Viak. Hentet 11.11.2021 fra <https://av-klima.herokuapp.com/>

Vedlegg

Vedlegg 1: Oversiktsbilder av delområdene.

Sætreskarsfjellet Øst. Fotoretning: V. Foto: Halgeir Dahle, SVV.



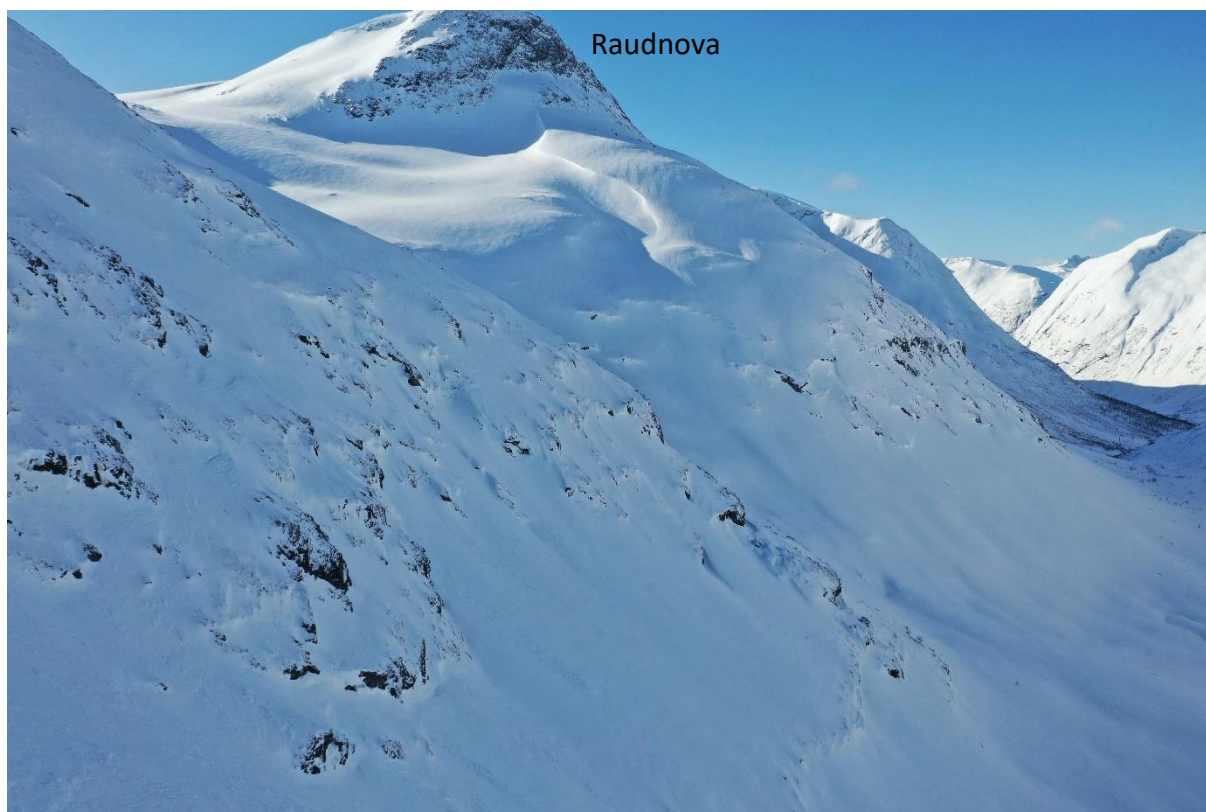
Sætreskarsfjellet Øst. Fotoretning: NV. Foto: Halgeir Dahle, SVV.



Oppljostunnelen. Fotoretning: NØ. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

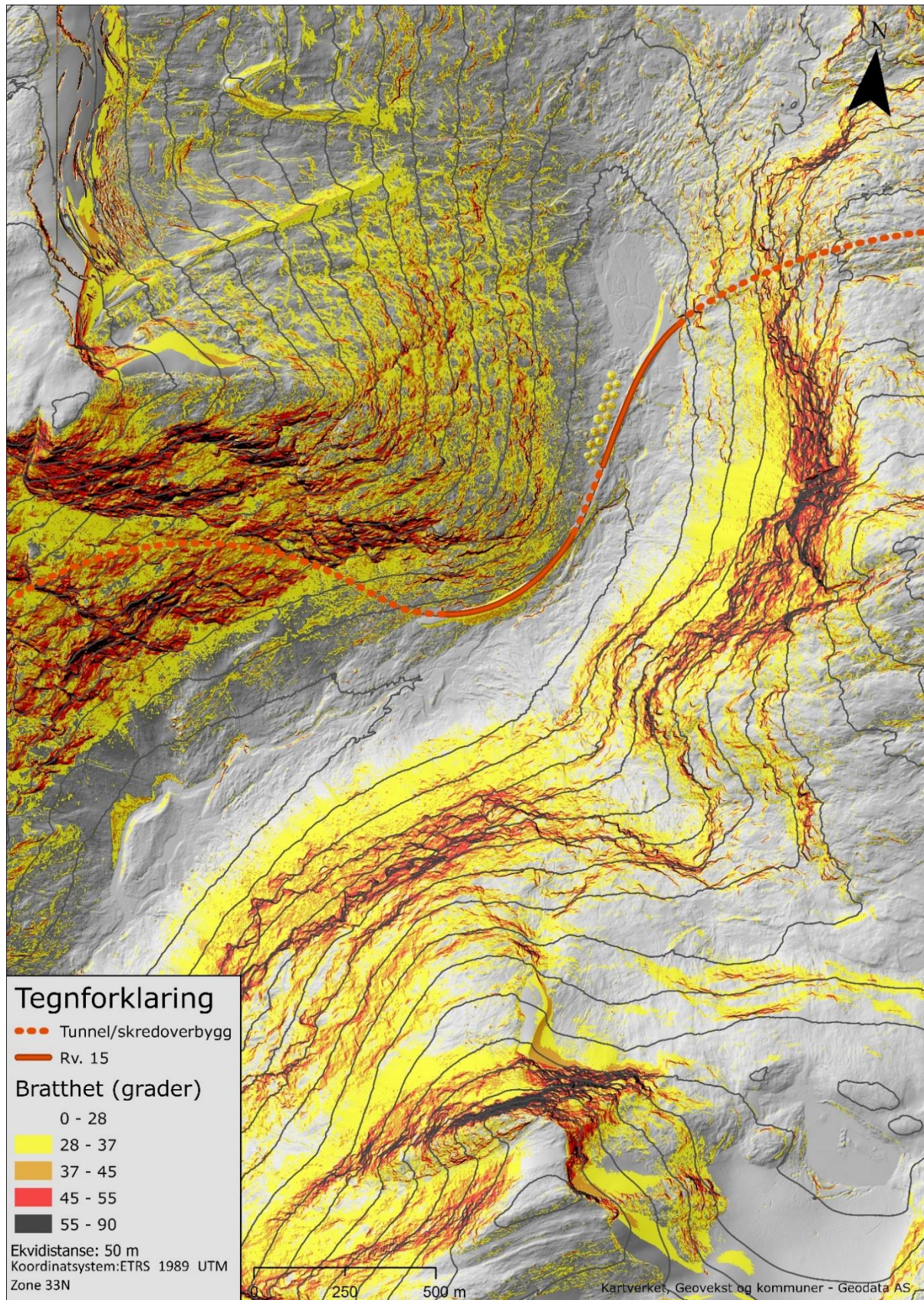


Raudnova. Fotoretning: SV. Foto: Halgeir Dahle, SVV.

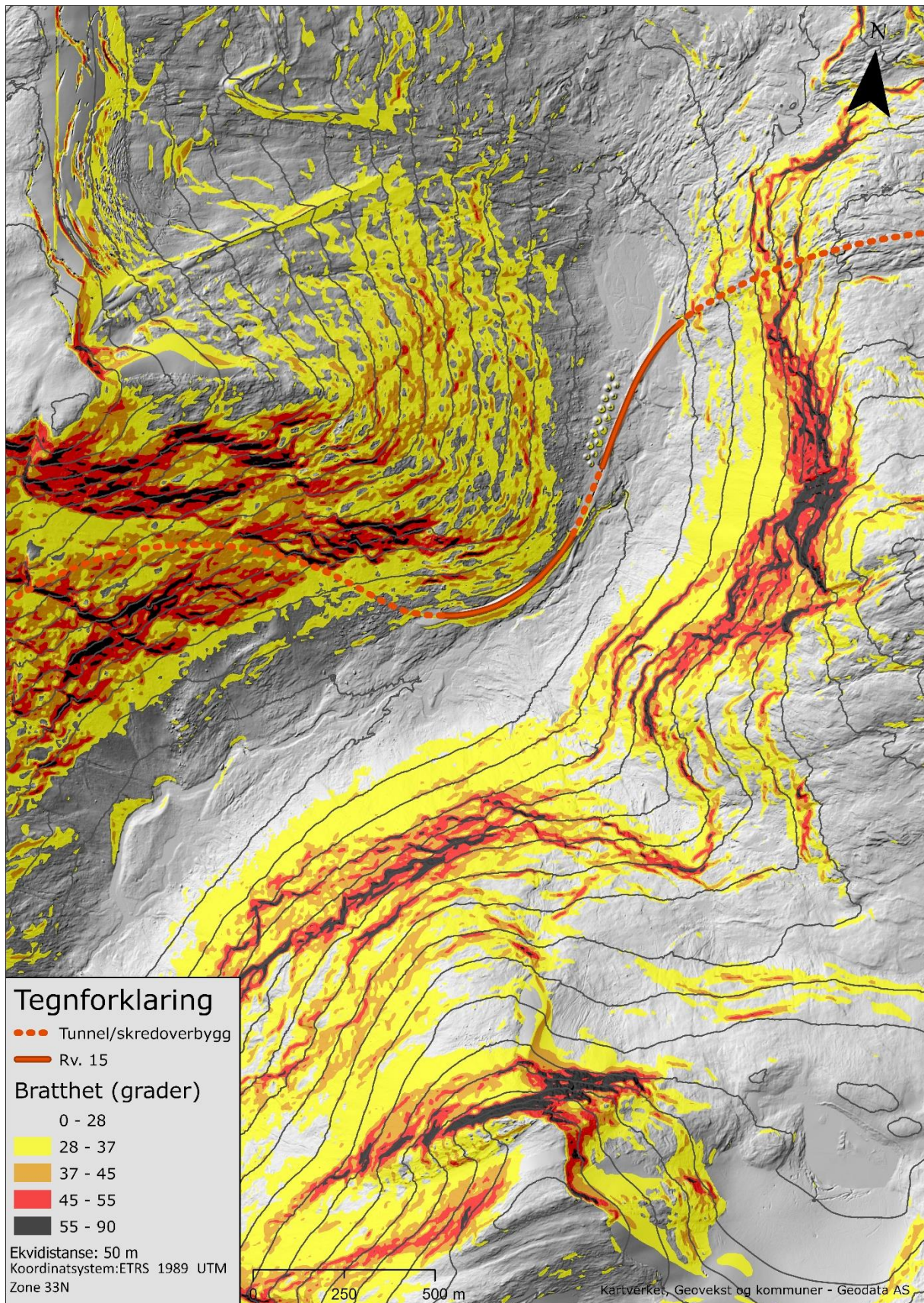


Vedlegg 2: Bratthetskart, skyggerelieffkart, snødybde og terrengoverflatens plankurvatur.

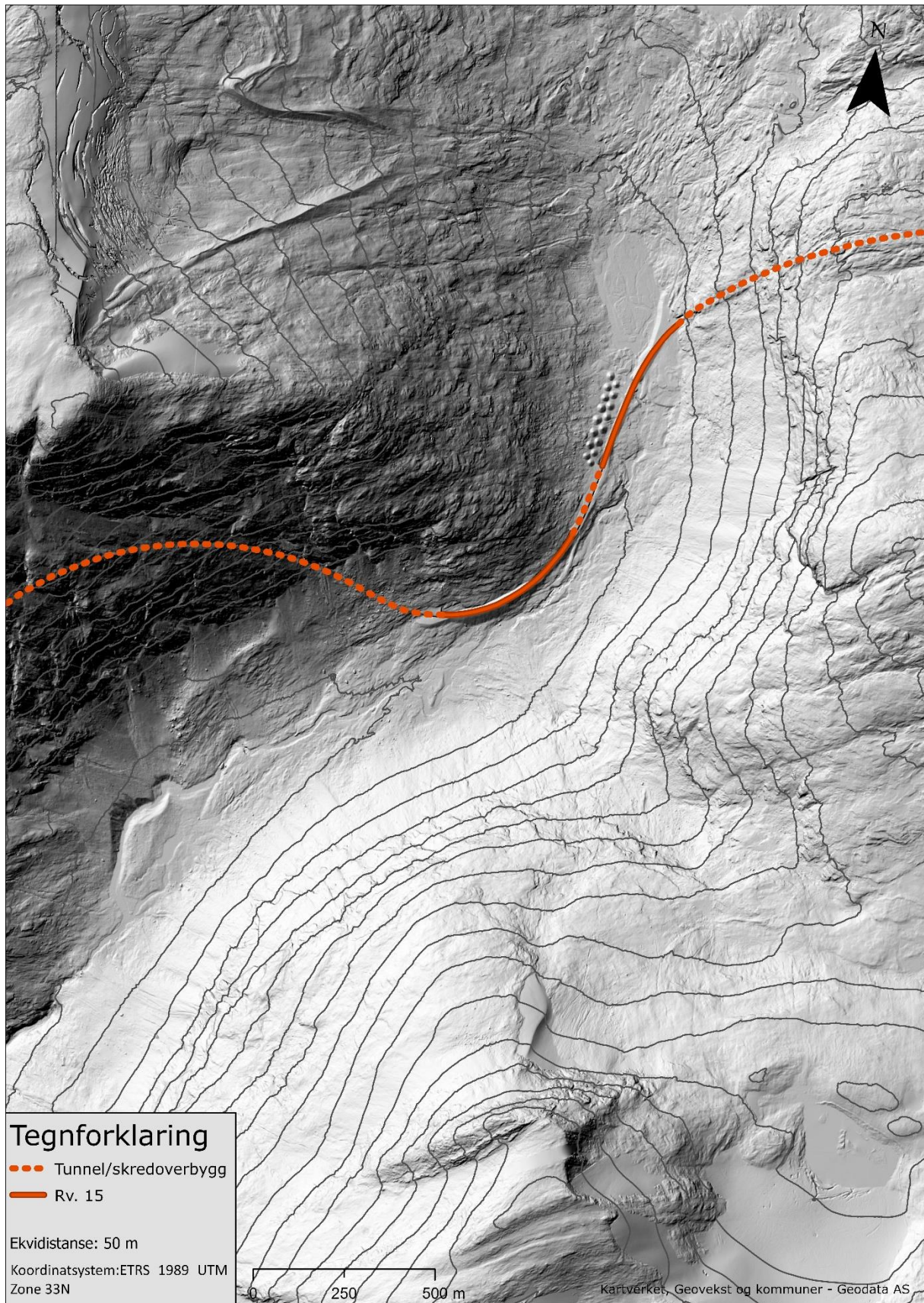
Bratthetskart over påvirkningsområdet. 1 m oppløsning.



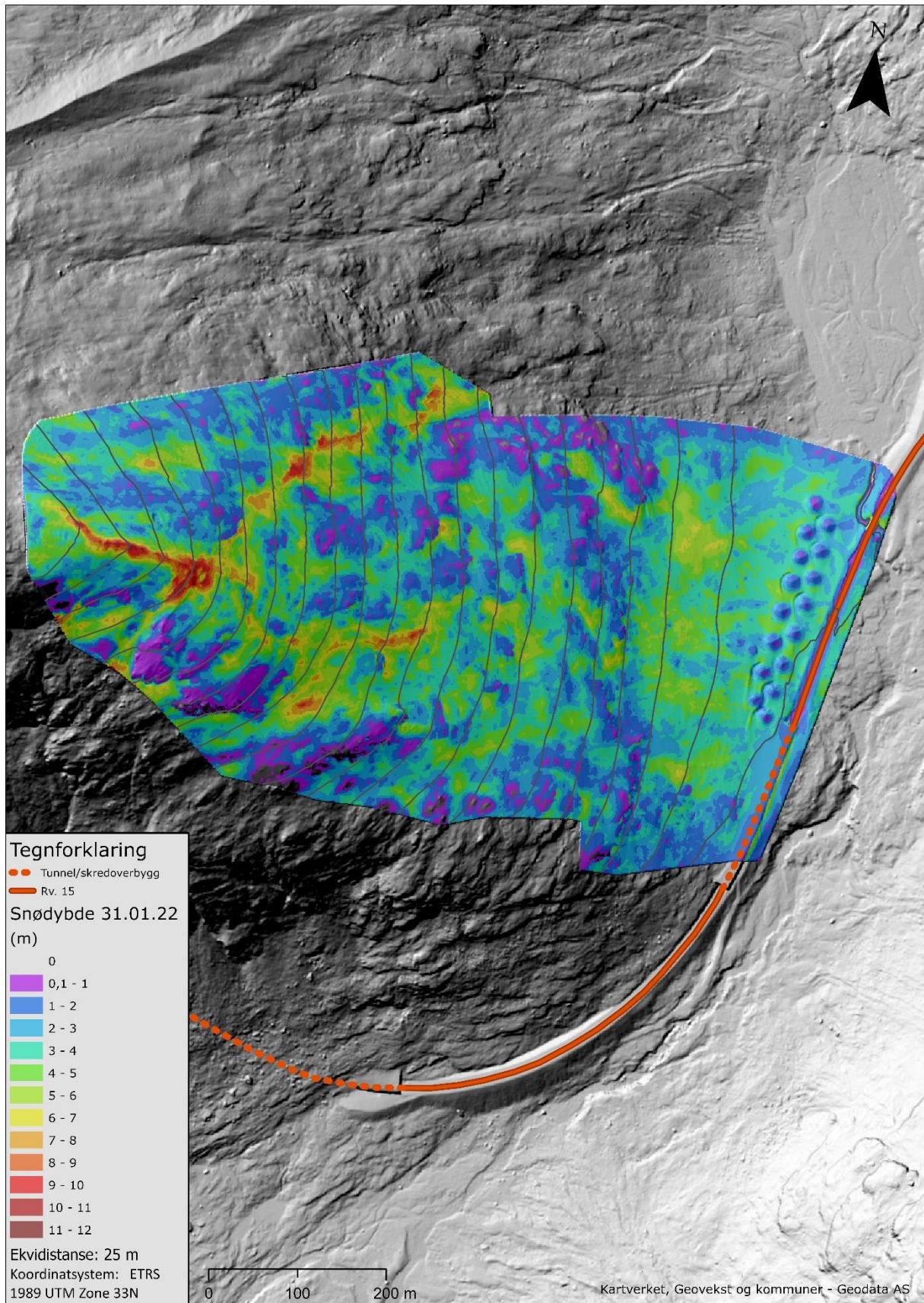
Bratthetskart over påvirkningsområdet. 5 m oppløsning.



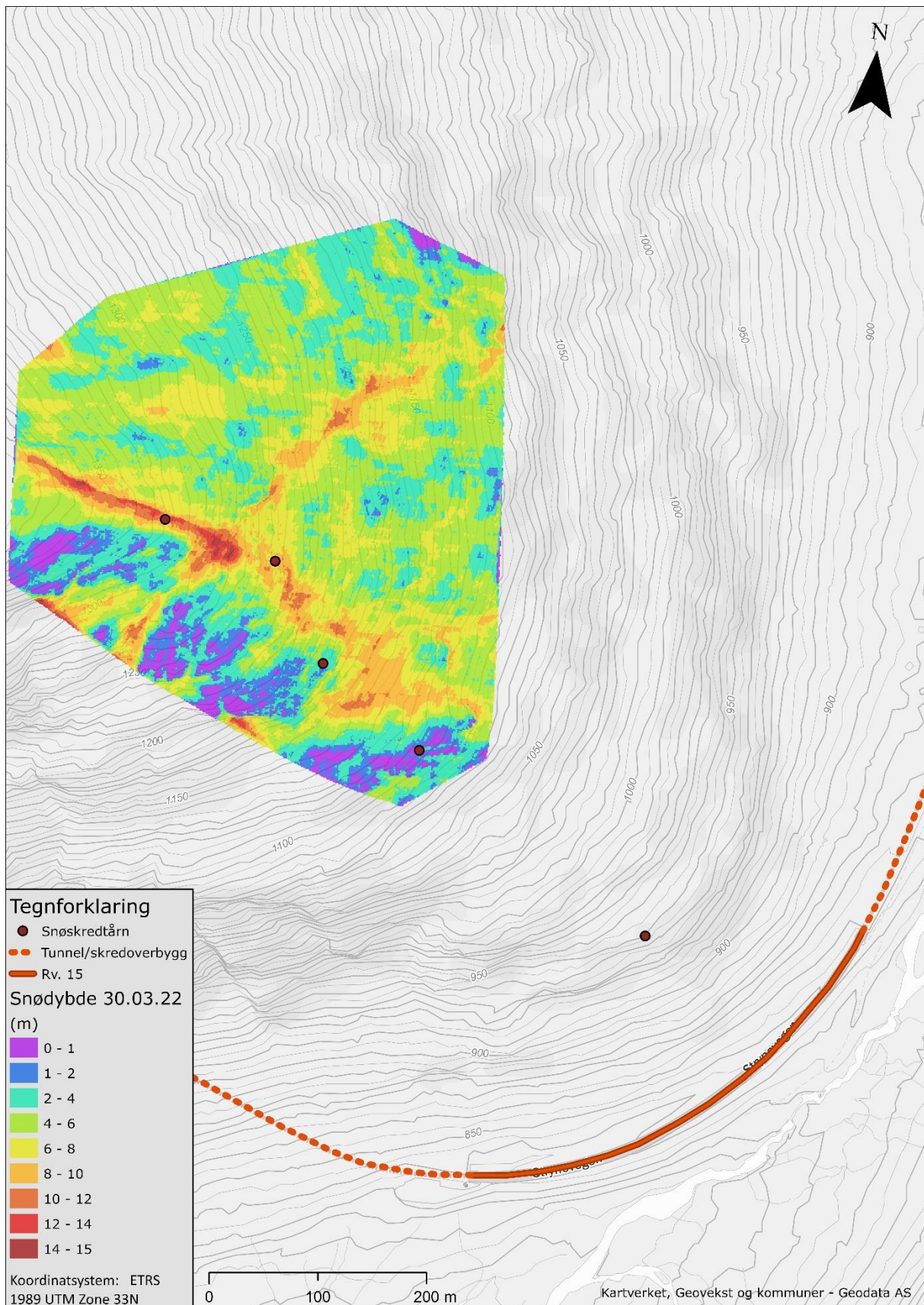
Skyggerelieffkart over påvirkningsområdet. 1 m oppløsning.



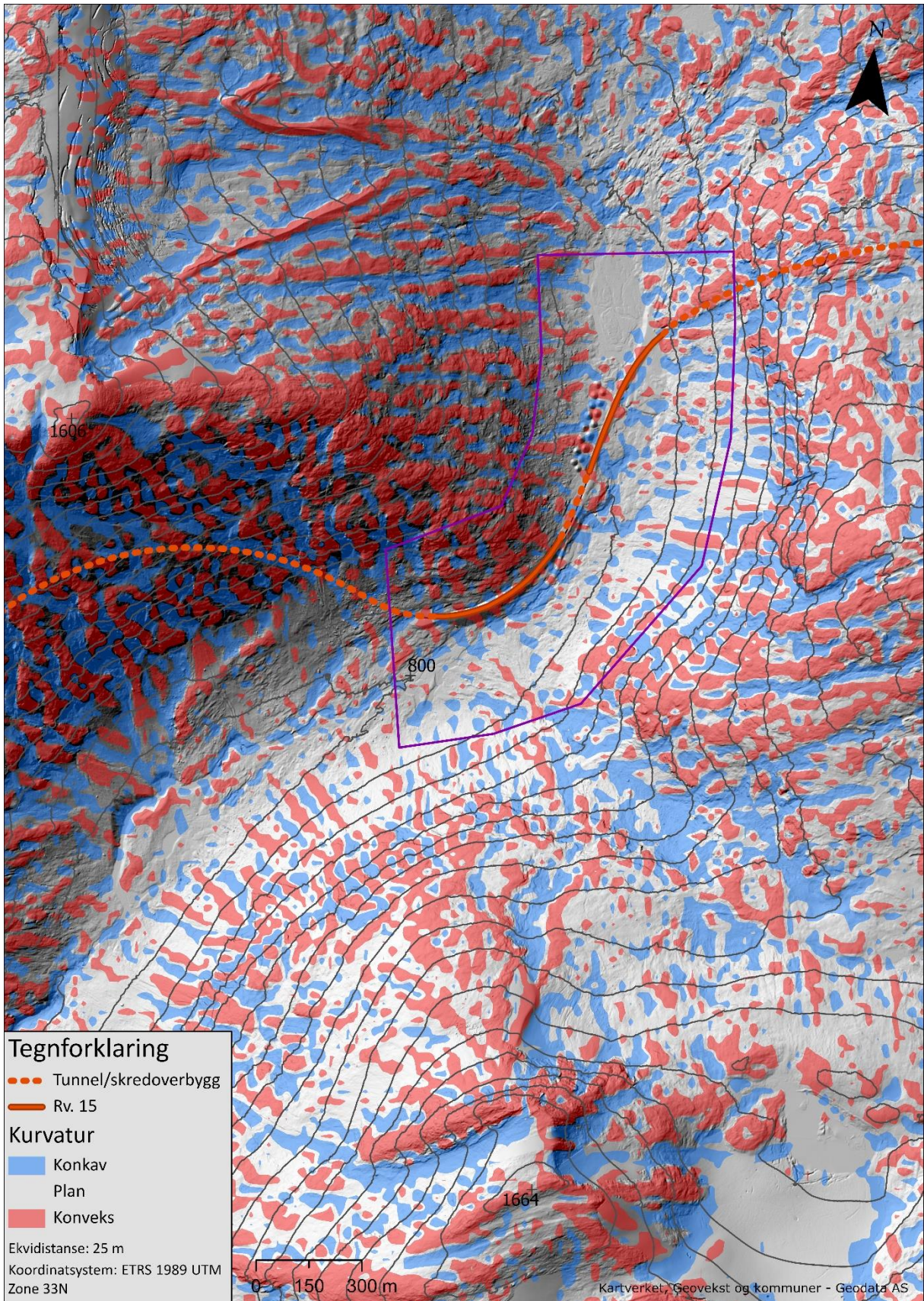
Snødybde 31. januar 2022 ved Sætreskarsfjellet.



Snødybde 30. mars 2022 ved Sætreskarsfjellet. Røde sirkler viser plasseringen av de foreslåtte snøskredtårnene.

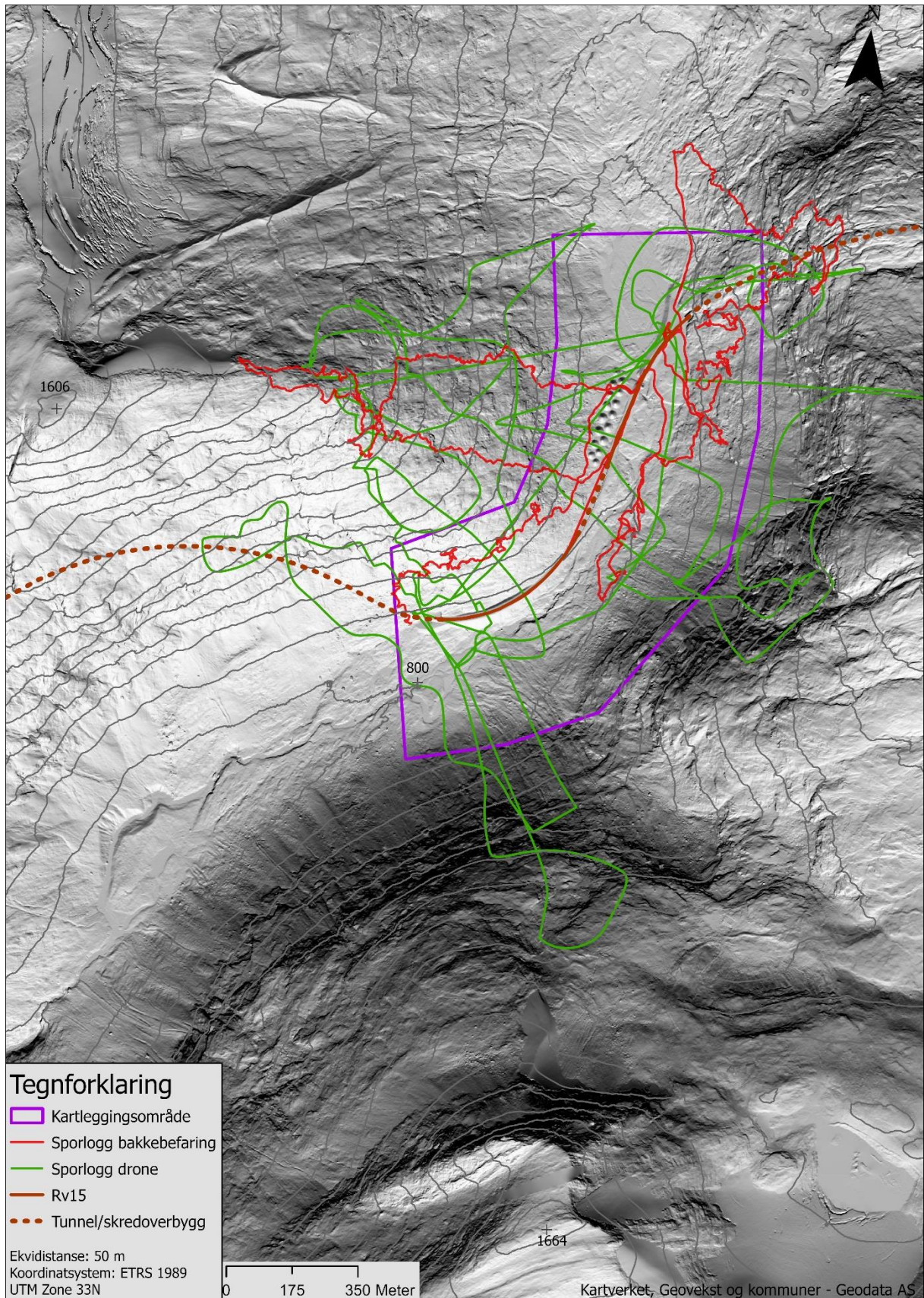


Kurvaturen i terrengoverflaten vinkelrett på fallretningen (plan kurvatur). 25 m oppløsning.



Vedlegg 3: Sporlogg fra feltarbeid.

Sporlogg fra drone- og bakkebefaring i felt.



Vedlegg 4: Output loggfiler fra RAMMS:: Avalanche

Sim. Nr.	RAMMS:: AVALANCHE OUTPUT LOGFILE
1	<p>Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 76.0000s Calculation time (min.): 0.42 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 39788 Number of nodes: 40264 Calculated Release Volume (m3): 17940.6 Overall MAX velocity (m/s): 32.4198 Overall MAX flowheight (m): 3.31105 Overall MAX pressure (kPa): 315.314</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.00 m Vol: 17913.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1_X1.shp Depth: 1.00 m Vol: 7827.7 m3 Delay: 10.00 s Name: Ost3_X11.shp Estimated release volume: 25741.67 m3</p> <p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 1000 m a.s.l Altitude_limit_2: 500 m a.s.l Format of following parameters: [< 500] - [500 - 1000] - [> 1000]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
2	<p>Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 76.0000s Calculation time (min.): 0.37</p>

	<p>Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 39788 Number of nodes: 40264 Calculated Release Volume (m3): 17940.6 Overall MAX velocity (m/s): 32.4198 Overall MAX flowheight (m): 3.31105 Overall MAX pressure (kPa): 315.314</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 03 11:49:22 2022 Input filename: DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.00 m Vol: 17913.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1_X1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Depth: 1.00 m Vol: 7827.7 m3 Delay: 10.00 s Name: Ost3_X11.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 25741.67 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
3	<p>Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 64.0000s Calculation time (min.): 0.90 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS</p>

	<p>Number of cells: 78695 Number of nodes: 79411 Calculated Release Volume (m3): 130136. Overall MAX velocity (m/s): 51.6626 Overall MAX flowheight (m): 6.49692 Overall MAX pressure (kPa): 800.709</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sat Mar 05 13:59:32 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred_Setre_O1ogN2_30ors_Large.av2 Project: 50ors_skred Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred.xyz DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 295809 Nr of cells: 294704</p> <p>Project region extent: E - W: 98553.000 / 96293.000 S - N: 6894697.0 / 6897957.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.28 m Vol: 95236.4 m3 Delay: 0.00 s Name: Nord2__X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Nord) Depth: 2.17 m Vol: 35071.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost3_X11.shp (1) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 130308.33 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.210 - 0.190 - 0.170 Xi: 2000 - 2500 - 3000 Channelled parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Gully parameters: Mu: 0.330 - 0.310 - 0.290 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Flat parameters: Mu: 0.190 - 0.170 - 0.155 Xi: 3000 - 3500 - 4000 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 30 VOLUME category: Large COHESION: No COHESION specified.</p>
4	<p>Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 62.0000s Calculation time (min.): 0.93 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS</p>

	<p>Number of cells: 78695 Number of nodes: 79411 Calculated Release Volume (m3): 130136. Overall MAX velocity (m/s): 52.0127 Overall MAX flowheight (m): 6.48544 Overall MAX pressure (kPa): 811.596</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sat Mar 05 14:06:03 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred_Setre_O1ogN2.av2 Project: 50ors_skred Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred.xyz DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 295809 Nr of cells: 294704</p> <p>Project region extent: E - W: 98553.000 / 96293.000 S - N: 6894697.0 / 6897957.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.28 m Vol: 95236.4 m3 Delay: 0.00 s Name: Nord2__X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Nord) Depth: 2.17 m Vol: 35071.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost3_X11.shp (1) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 130308.33 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.200 - 0.180 - 0.165 Xi: 2000 - 2500 - 3000 Channelled parameters: Mu: 0.250 - 0.230 - 0.220 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Gully parameters: Mu: 0.315 - 0.300 - 0.280 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Flat parameters: Mu: 0.180 - 0.160 - 0.150 Xi: 3000 - 3500 - 4000 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Large COHESION: No COHESION specified.</p>
5	<p>Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 60.0000s Calculation time (min.): 4.27 Simulation resolution (m): 2.00</p> <p>SIMULATION RESULTS</p>

	<p>Number of cells: 207623 Number of nodes: 208660 Calculated Release Volume (m3): 25379.0 Overall MAX velocity (m/s): 33.8509 Overall MAX flowheight (m): 4.49854 Overall MAX pressure (kPa): 343.766</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE DEM resolution (m): 5.0</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.51 m Vol: 25098.5 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 25098.55 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
6	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Sno_Mkjegle_2m\Sno_Mkjegle_Ost1_150cm_Res2m.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 60.0000s Calculation time (min.): 1.65 Simulation resolution (m): 2.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 67654 Number of nodes: 68322 Calculated Release Volume (m3): 25187.8 Overall MAX velocity (m/s): 34.9728 Overall MAX flowheight (m): 3.46979 Overall MAX pressure (kPa): 366.930</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Tue Mar 29 12:27:50 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Sno_Mkjegle_2m\Sno_Mkjegle_Ost1_150cm_Res2m.av2 Project: Sno_Mkjegle_2m Details:</p> <p>DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Sno_Mkjegle_2m\Sno_Mkjegle_2m.xyz DEM resolution (m): 2.00</p> <p>Nr of nodes: 233244 Nr of cells: 232260</p> <p>Project region extent: E - W: 98076.000 / 96900.000 S - N: 6896775.0 / 6897565.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.50 m Vol: 25182.4 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 25182.38 m3</p> <p>FRICTION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
7	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\UKjegle2m\UKjegle2m_ost1logOst3_150cm.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 56.0000s Calculation time (min.): 2.13 Simulation resolution (m): 2.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 113683 Number of nodes: 114476 Calculated Release Volume (m3): 25180.5 Overall MAX velocity (m/s): 34.9751 Overall MAX flowheight (m): 5.63304 Overall MAX pressure (kPa): 366.977</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE</p> <p>Date: Thu Apr 28 16:30:15 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\UKjegle2m\UKjegle2m_ost1logOst3_150cm.av2</p> <p>Project: UKjegle2m Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\UKjegle2m\UKjegle2m.xyz DEM resolution (m): 2.00</p> <p>Nr of nodes: 290474 Nr of cells: 289386</p> <p>Project region extent: E - W: 98074.000 / 96832.000 S - N: 6896744.0 / 6897676.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.50 m Vol: 25175.0 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Depth: 1.51 m Vol: 11855.1 m3 Delay: 8.00 s Name: Ost3.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 37030.08 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
8	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\UKjegle2m\UKjegle2m_ost1ognord2_150cm.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 72.0000s Calculation time (min.): 5.07 Simulation resolution (m): 2.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 156632 Number of nodes: 157591 Calculated Release Volume (m3): 28769.2 Overall MAX velocity (m/s): 39.2028 Overall MAX flowheight (m): 4.87445 Overall MAX pressure (kPa): 461.058</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Apr 28 17:32:55 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\UKjegle2m\UKjegle2m_ost1lognord2_150cm.av2 Project: UKjegle2m Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\UKjegle2m\UKjegle2m.xyz DEM resolution (m): 2.00</p> <p>Nr of nodes: 290474 Nr of cells: 289386</p> <p>Project region extent: E - W: 98074.000 / 96832.000 S - N: 6896744.0 / 6897676.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.50 m Vol: 25175.0 m3 Delay: 5.00 s Name: Ost1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Depth: 1.59 m Vol: 28760.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Nord1_X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Nord) Estimated release volume: 53935.87 m3</p> <p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
9	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreO1ogO2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 64.0000s Calculation time (min.): 0.38 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 32971 Number of nodes: 33385 Calculated Release Volume (m3): 41926.9 Overall MAX velocity (m/s): 34.7742 Overall MAX flowheight (m): 3.44925 Overall MAX pressure (kPa): 362.773</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Wed Mar 09 16:10:12 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreO1logO2.av2 Project: 10orsX_skred Details:</p> <p>DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.51 m Vol: 17631.8 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost2_x.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Depth: 1.51 m Vol: 24591.0 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1_X1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 42222.77 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
10	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreO1_O3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 62.0000s Calculation time (min.): 0.40 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 32971 Number of nodes: 33385 Calculated Release Volume (m3): 25136.2 Overall MAX velocity (m/s): 33.9220 Overall MAX flowheight (m): 4.49331</p>

	<p>Overall MAX pressure (kPa): 345.211</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Wed Mar 09 16:01:15 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreO1_O3.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.51 m Vol: 25098.5 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Depth: 1.54 m Vol: 12054.7 m3 Delay: 8.00 s Name: Ost3.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 37153.25 m3</p> <p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
11	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreO1logN1.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 78.0000s Calculation time (min.): 0.57 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 38005 Number of nodes: 38462 Calculated Release Volume (m3): 54172.2 Overall MAX velocity (m/s): 35.1791 Overall MAX flowheight (m): 3.57345 Overall MAX pressure (kPa): 371.270</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Wed Mar 09 15:44:02 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreO1ogN1.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.59 m Vol: 29219.0 m3 Delay: 0.00 s Name: Nord1_X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Nord) Depth: 1.51 m Vol: 25098.5 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 54317.59 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
12	<p>RAMMS::AVALANCHE RAMMS OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred_Setre_O1ogN2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 62.0000s Calculation time (min.): 0.93 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 78695 Number of nodes: 79411 Calculated Release Volume (m3): 130136. Overall MAX velocity (m/s): 52.0127 Overall MAX flowheight (m): 6.48544 Overall MAX pressure (kPa): 811.596</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sat Mar 05 14:06:03 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred_Setre_O1ogN2.av2 Project: 50ors_skred Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 295809 Nr of cells: 294704</p> <p>Project region extent: E - W: 98553.000 / 96293.000 S - N: 6894697.0 / 6897957.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.28 m Vol: 95236.4 m3 Delay: 0.00 s Name: Nord2__X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Nord) Depth: 2.17 m Vol: 35071.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost3_X11.shp (1) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 130308.33 m3</p> <p>FRICTION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.200 - 0.180 - 0.165 Xi: 2000 - 2500 - 3000 Channelled parameters: Mu: 0.250 - 0.230 - 0.220 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Gully parameters: Mu: 0.315 - 0.300 - 0.280 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Flat parameters: Mu: 0.180 - 0.160 - 0.150 Xi: 3000 - 3500 - 4000 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Large COHESION: No COHESION specified.</p>
13	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred_Setre_O1og2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 50.0000s Calculation time (min.): 0.68 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 78695 Number of nodes: 79411 Calculated Release Volume (m3): 61301.9 Overall MAX velocity (m/s): 43.3674 Overall MAX flowheight (m): 4.76960 Overall MAX pressure (kPa): 564.220</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Wed Mar 09 15:32:09 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred_Setre_O1og2.av2 Project: 50ors_skred Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred\50ors_skred.xyz DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 295809 Nr of cells: 294704</p> <p>Project region extent: E - W: 98553.000 / 96293.000 S - N: 6894697.0 / 6897957.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.15 m Vol: 24911.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost2_x.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Depth: 2.17 m Vol: 36303.8 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost) Estimated release volume: 61215.75 m3</p> <p>FRICTION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.200 - 0.180 - 0.165 Xi: 2000 - 2500 - 3000 Channelled parameters: Mu: 0.250 - 0.230 - 0.220 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Gully parameters: Mu: 0.315 - 0.300 - 0.280 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Flat parameters: Mu: 0.180 - 0.160 - 0.150 Xi: 3000 - 3500 - 4000 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Large COHESION: No COHESION specified.</p>
14	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_SetreN3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 200.000s Calculation time (min.): 1.53 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 66079 Number of nodes: 66685 Calculated Release Volume (m3): 37737.4 Overall MAX velocity (m/s): 30.6490 Overall MAX flowheight (m): 9.15271 Overall MAX pressure (kPa): 281.808</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Tue Mar 15 19:34:34 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_SetreN3.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.65 m Vol: 37649.3 m3 Delay: 0.00 s Name: Nord3X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Nord) Estimated release volume: 37649.29 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
15	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Nord3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 164.000s Calculation time (min.): 1.37 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 57994 Number of nodes: 58564 Calculated Release Volume (m3): 52603.7 Overall MAX velocity (m/s): 36.5003 Overall MAX flowheight (m): 10.9631 Overall MAX pressure (kPa): 399.682</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Tue Mar 15 19:41:14 2022</p>

	<p>Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Nord3.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.30 m Vol: 52480.8 m3 Delay: 0.00 s Name: Nord3X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Nord) Estimated release volume: 52480.84 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.205 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.290 - 0.280 - 0.260 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.370 - 0.340 - 0.330 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.220 - 0.200 - 0.180 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
16	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreS1.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 92.0000s Calculation time (min.): 0.17 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 20365 Number of nodes: 20687 Calculated Release Volume (m3): 5406.21 Overall MAX velocity (m/s): 25.2864 Overall MAX flowheight (m): 2.81252 Overall MAX pressure (kPa): 191.820</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Feb 11 12:33:36 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreS1.av2</p>

	<p>Project: 10orsX_skred Details:</p> <p>DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.29 m Vol: 5401.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Sor1_x.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Sætreskar_Sor) Estimated release volume: 5401.95 m3</p> <p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.295 - 0.275 - 0.260 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.340 - 0.325 - 0.310 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.430 - 0.410 - 0.400 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.270 - 0.255 - 0.240 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
17	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreS2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 114.000s Calculation time (min.): 0.18 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 20365 Number of nodes: 20687 Calculated Release Volume (m3): 4406.41 Overall MAX velocity (m/s): 17.8772 Overall MAX flowheight (m): 2.14995 Overall MAX pressure (kPa): 95.8782</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Feb 11 14:01:02 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreS2.av2 Project: 10orsX_skred Details:</p>

	<p>DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.31 m Vol: 4401.7 m3 Delay: 0.00 s Name: Setre_S2.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Sætreskar_Sor) Estimated release volume: 4401.69 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.330 - 0.305 - 0.290 Xi: 1250 - 1400 - 1500 Channelled parameters: Mu: 0.370 - 0.355 - 0.340 Xi: 1050 - 1180 - 1250 Gully parameters: Mu: 0.470 - 0.460 - 0.450 Xi: 900 - 1000 - 1050 Flat parameters: Mu: 0.295 - 0.285 - 0.275 Xi: 1500 - 1600 - 1750 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
18	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreS3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 48.0000 Calculation time (min.): 0.10 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 20365 Number of nodes: 20687 Calculated Release Volume (m3): 2612.95 Overall MAX velocity (m/s): 15.5479 Overall MAX flowheight (m): 2.65806 Overall MAX pressure (kPa): 72.5209</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Feb 11 13:58:38 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreS3.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00</p>

	<p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.21 m Vol: 2610.4 m3 Delay: 0.00 s Name: Sor3_X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Sætreskar_Sor) Estimated release volume: 2610.43 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.330 - 0.305 - 0.290 Xi: 1250 - 1400 - 1500 Channelled parameters: Mu: 0.370 - 0.355 - 0.340 Xi: 1050 - 1180 - 1250 Gully parameters: Mu: 0.470 - 0.460 - 0.450 Xi: 900 - 1000 - 1050 Flat parameters: Mu: 0.295 - 0.285 - 0.275 Xi: 1500 - 1600 - 1750 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
19	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreS4.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 44.0000s Calculation time (min.): 0.08 Simulation resolution (m): 5.00 SIMULATION RESULTS Number of cells: 12331 Number of nodes: 12611 Calculated Release Volume (m3): 3985.31 Overall MAX velocity (m/s): 19.2000 Overall MAX flowheight (m): 1.62576 Overall MAX pressure (kPa): 110.592</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Wed Mar 16 16:56:48 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreS4.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p>

	<p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.20 m Vol: 3979.6 m3 Delay: 0.00 s Name: Sor4.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Sætreskar_Sor) Estimated release volume: 3979.62 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.330 - 0.305 - 0.290 Xi: 1250 - 1400 - 1500 Channelled parameters: Mu: 0.370 - 0.355 - 0.340 Xi: 1050 - 1180 - 1250 Gully parameters: Mu: 0.470 - 0.460 - 0.450 Xi: 900 - 1000 - 1050 Flat parameters: Mu: 0.295 - 0.285 - 0.275 Xi: 1500 - 1600 - 1750 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
20	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Setre_Sor1og2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 78.0000s Calculation time (min.): 0.20 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 24714 Number of nodes: 25078 Calculated Release Volume (m3): 12480.6 Overall MAX velocity (m/s): 26.8090 Overall MAX flowheight (m): 3.26435 Overall MAX pressure (kPa): 215.618</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Wed Mar 16 17:05:33 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Setre_Sor1og2.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p>

	<p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.60 m Vol: 6700.1 m3 Delay: 0.00 s Name: Sor1_x.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Sætreskar_Sor) Depth: 1.60 m Vol: 5769.7 m3 Delay: 0.00 s Name: Sor2_X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Sætreskar_Sor) Estimated release volume: 12469.80 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.275 - 0.260 - 0.245 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.320 - 0.310 - 0.290 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.410 - 0.390 - 0.380 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.255 - 0.240 - 0.225 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
21	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Setre_Sor4.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 34.0000s Calculation time (min.): 0.10 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 22486 Number of nodes: 22852 Calculated Release Volume (m3): 5313.74 Overall MAX velocity (m/s): 22.8981 Overall MAX flowheight (m): 2.05632 Overall MAX pressure (kPa): 157.297</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Wed Mar 16 17:13:36 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Setre_Sor4.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p>

	<p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.60 m Vol: 5306.2 m3 Delay: 0.00 s Name: Sor4.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Sætreskar_Sor) Estimated release volume: 5306.16 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.275 - 0.260 - 0.245 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.320 - 0.310 - 0.290 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.410 - 0.390 - 0.380 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.255 - 0.240 - 0.225 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
22	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Oppljos1og4.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 62.0000s Calculation time (min.): 0.08 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 11226 Number of nodes: 11482 Calculated Release Volume (m3): 5007.76 Overall MAX velocity (m/s): 17.3834 Overall MAX flowheight (m): 1.83221 Overall MAX pressure (kPa): 90.6550</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 17 16:01:17 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Oppljos1og4.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p>

	<p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.30 m Vol: 1839.4 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Depth: 1.30 m Vol: 3162.8 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos4.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Estimated release volume: 5002.29 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.330 - 0.305 - 0.290 Xi: 1250 - 1400 - 1500 Channelled parameters: Mu: 0.370 - 0.355 - 0.340 Xi: 1050 - 1180 - 1250 Gully parameters: Mu: 0.470 - 0.460 - 0.450 Xi: 900 - 1000 - 1050 Flat parameters: Mu: 0.295 - 0.285 - 0.275 Xi: 1500 - 1600 - 1750 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
23	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Oppljos2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 70.0000s Calculation time (min.): 0.08 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 11226 Number of nodes: 11482 Calculated Release Volume (m3): 2544.93 Overall MAX velocity (m/s): 20.8323 Overall MAX flowheight (m): 2.27766 Overall MAX pressure (kPa): 130.195</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 17 15:39:01 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Oppljos2.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder</p>

	<p>H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.20 m Vol: 2542.6 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos_3x.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Estimated release volume: 2542.62 m3</p> <p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.330 - 0.305 - 0.290 Xi: 1250 - 1400 - 1500 Channelled parameters: Mu: 0.370 - 0.355 - 0.340 Xi: 1050 - 1180 - 1250 Gully parameters: Mu: 0.470 - 0.460 - 0.450 Xi: 900 - 1000 - 1050 Flat parameters: Mu: 0.295 - 0.285 - 0.275 Xi: 1500 - 1600 - 1750 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
24	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Oppljos3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 106.000s Calculation time (min.): 0.10 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 11226 Number of nodes: 11482 Calculated Release Volume (m3): 2495.26 Overall MAX velocity (m/s): 24.0517 Overall MAX flowheight (m): 2.16619 Overall MAX pressure (kPa): 173.545</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 17 16:30:15 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Oppljos3.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE:</p>

	<p>Depth: 1.30 m Vol: 2491.2 m³ Delay: 0.00 s Name: Oppljos3.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Estimated release volume: 2491.17 m³</p> <p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.330 - 0.305 - 0.290 Xi: 1250 - 1400 - 1500 Channelled parameters: Mu: 0.370 - 0.355 - 0.340 Xi: 1050 - 1180 - 1250 Gully parameters: Mu: 0.470 - 0.460 - 0.450 Xi: 900 - 1000 - 1050 Flat parameters: Mu: 0.295 - 0.285 - 0.275 Xi: 1500 - 1600 - 1750 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
25	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Oppljos1og4.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 62.0000s Calculation time (min.): 0.08 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 11226 Number of nodes: 11482 Calculated Release Volume (m³): 5007.76 Overall MAX velocity (m/s): 17.3834 Overall MAX flowheight (m): 1.83221 Overall MAX pressure (kPa): 90.6550</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 17 16:01:17 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Oppljos1og4.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m³): 300 NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.30 m Vol: 1839.4 m³ Delay: 0.00 s Name: Oppljos1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Depth: 1.30 m Vol: 3162.8 m³ Delay: 0.00 s Name: Oppljos4.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Estimated release volume: 5002.29 m³</p>

	<p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.330 - 0.305 - 0.290 Xi: 1250 - 1400 - 1500 Channelled parameters: Mu: 0.370 - 0.355 - 0.340 Xi: 1050 - 1180 - 1250 Gully parameters: Mu: 0.470 - 0.460 - 0.450 Xi: 900 - 1000 - 1050 Flat parameters: Mu: 0.295 - 0.285 - 0.275 Xi: 1500 - 1600 - 1750 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
26	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Oppljos1og3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 98.0000s Calculation time (min.): 0.15 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 15531 Number of nodes: 15813 Calculated Release Volume (m3): 5340.57 Overall MAX velocity (m/s): 25.3086 Overall MAX flowheight (m): 2.52163 Overall MAX pressure (kPa): 192.158</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 17 16:53:25 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Oppljos1og3.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.60 m Vol: 2263.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Depth: 1.60 m Vol: 3066.1 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos3.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Estimated release volume: 5329.98 m3</p>

	<p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1250 - 1400 - 1500</p> <p>Channelled parameters: Mu: 0.350 - 0.340 - 0.320 Xi: 1050 - 1180 - 1250</p> <p>Gully parameters: Mu: 0.450 - 0.440 - 0.430 Xi: 900 - 1000 - 1050</p> <p>Flat parameters: Mu: 0.285 - 0.275 - 0.265 Xi: 1500 - 1600 - 1750</p> <p>Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
27	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Oppljos2og4.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 48.0000s Calculation time (min.): 0.10 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 15531 Number of nodes: 15813 Calculated Release Volume (m3): 7075.08 Overall MAX velocity (m/s): 21.7590 Overall MAX flowheight (m): 2.60488 Overall MAX pressure (kPa): 142.036</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 17 16:44:40 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Oppljos2og4.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.50 m Vol: 3178.3 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos2.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Depth: 1.60 m Vol: 3892.7 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos4.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Estimated release volume: 7071.02 m3</p> <p>FRICION MUXI:</p>

	<p>Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1250 - 1400 - 1500</p> <p>Channelled parameters: Mu: 0.350 - 0.340 - 0.320 Xi: 1050 - 1180 - 1250</p> <p>Gully parameters: Mu: 0.450 - 0.440 - 0.430 Xi: 900 - 1000 - 1050</p> <p>Flat parameters: Mu: 0.285 - 0.275 - 0.265 Xi: 1500 - 1600 - 1750</p> <p>Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
28	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Oppljos1og3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 98.0000s Calculation time (min.): 0.15 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 15531 Number of nodes: 15813 Calculated Release Volume (m3): 5340.57 Overall MAX velocity (m/s): 25.3086 Overall MAX flowheight (m): 2.52163 Overall MAX pressure (kPa): 192.158</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 17 16:53:25 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Oppljos1og3.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.60 m Vol: 2263.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Depth: 1.60 m Vol: 3066.1 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos3.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Estimated release volume: 5329.98 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l</p>

	<p>Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1250 - 1400 - 1500</p> <p>Channelled parameters: Mu: 0.350 - 0.340 - 0.320 Xi: 1050 - 1180 - 1250</p> <p>Gully parameters: Mu: 0.450 - 0.440 - 0.430 Xi: 900 - 1000 - 1050</p> <p>Flat parameters: Mu: 0.285 - 0.275 - 0.265 Xi: 1500 - 1600 - 1750</p> <p>Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
29	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Oppljos2og4.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 48.0000s Calculation time (min.): 0.10 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 15531 Number of nodes: 15813 Calculated Release Volume (m3): 7075.08 Overall MAX velocity (m/s): 21.7590 Overall MAX flowheight (m): 2.60488 Overall MAX pressure (kPa): 142.036</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 17 16:44:40 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Oppljos2og4.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.50 m Vol: 3178.3 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos2.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Depth: 1.60 m Vol: 3892.7 m3 Delay: 0.00 s Name: Oppljos4.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Oppljostunnelen) Estimated release volume: 7071.02 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p>

	<p>Open slope parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1250 - 1400 - 1500 Channelled parameters: Mu: 0.350 - 0.340 - 0.320 Xi: 1050 - 1180 - 1250 Gully parameters: Mu: 0.450 - 0.440 - 0.430 Xi: 900 - 1000 - 1050 Flat parameters: Mu: 0.285 - 0.275 - 0.265 Xi: 1500 - 1600 - 1750 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Tiny COHESION: No COHESION specified.</p>
30	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Kvitenova1og2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 70.0000s Calculation time (min.): 0.18 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 21908 Number of nodes: 22273 Calculated Release Volume (m3): 16704.6 Overall MAX velocity (m/s): 33.9708 Overall MAX flowheight (m): 2.16536 Overall MAX pressure (kPa): 346.204</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Mar 18 17:24:03 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Kvitenova1og2.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00</p> <p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.30 m Vol: 7934.1 m3 Delay: 0.00 s Name: Kviten2.shp (0) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Depth: 1.30 m Vol: 8753.8 m3 Delay: 0.00 s Name: Kviten1.shp (1) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Estimated release volume: 16687.92 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters:</p>

	<p>Mu: 0.295 - 0.275 - 0.260 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.340 - 0.325 - 0.310 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.430 - 0.410 - 0.400 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.270 - 0.255 - 0.240 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
31	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Kvitenova1og2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 70.0000s Calculation time (min.): 0.18 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 21908 Number of nodes: 22273 Calculated Release Volume (m3): 16704.6 Overall MAX velocity (m/s): 33.9708 Overall MAX flowheight (m): 2.16536 Overall MAX pressure (kPa): 346.204</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Mar 18 17:24:03 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Kvitenova1og2.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.30 m Vol: 7934.1 m3 Delay: 0.00 s Name: Kviten2.shp (0) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Depth: 1.30 m Vol: 8753.8 m3 Delay: 0.00 s Name: Kviten1.shp (1) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Estimated release volume: 16687.92 m3</p> <p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500] Open slope parameters: Mu: 0.295 - 0.275 - 0.260 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.340 - 0.325 - 0.310 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters:</p>

	<p>Mu: 0.430 - 0.410 - 0.400 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.270 - 0.255 - 0.240 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
32	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Kvitenova3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 68.0000s Calculation time (min.): 0.13 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 21908 Number of nodes: 22273 Calculated Release Volume (m3): 6350.41 Overall MAX velocity (m/s): 33.8107 Overall MAX flowheight (m): 2.52295 Overall MAX pressure (kPa): 342.949</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Mar 18 16:20:39 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Kvitenova3.av2 Project: 10orsX_skred Details:</p> <p>DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.30 m Vol: 6344.6 m3 Delay: 0.00 s Name: Kvitenova3_X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Estimated release volume: 6344.59 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.295 - 0.275 - 0.260 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.340 - 0.325 - 0.310 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.430 - 0.410 - 0.400 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters:</p>

	<p>Mu: 0.270 - 0.255 - 0.240 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
33	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Kvitenova1og2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 60.0000s Calculation time (min.): 0.25 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 27854 Number of nodes: 28290 Calculated Release Volume (m3): 24414.4 Overall MAX velocity (m/s): 37.3402 Overall MAX flowheight (m): 2.99768 Overall MAX pressure (kPa): 418.288</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Mar 18 17:21:18 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Kvitenova1og2.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.90 m Vol: 11596.0 m3 Delay: 0.00 s Name: Kviten2.shp (0) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Depth: 1.90 m Vol: 12794.0 m3 Delay: 0.00 s Name: Kviten1.shp (1) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Estimated release volume: 24390.04 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.275 - 0.260 - 0.245 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.320 - 0.310 - 0.290 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.410 - 0.390 - 0.380 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.255 - 0.240 - 0.225</p>

	<p>Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
34	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Kvitenova1og2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 60.0000s Calculation time (min.): 0.25 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 27854 Number of nodes: 28290 Calculated Release Volume (m3): 24414.4 Overall MAX velocity (m/s): 37.3402 Overall MAX flowheight (m): 2.99768 Overall MAX pressure (kPa): 418.288</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Mar 18 17:21:18 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Kvitenova1og2.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165</p> <p>Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.90 m Vol: 11596.0 m3 Delay: 0.00 s Name: Kviten2.shp (0) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Depth: 1.90 m Vol: 12794.0 m3 Delay: 0.00 s Name: Kviten1.shp (1) (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Estimated release volume: 24390.04 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.275 - 0.260 - 0.245 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.320 - 0.310 - 0.290 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.410 - 0.390 - 0.380 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.255 - 0.240 - 0.225</p>

	<p>Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
35	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM_Kvitenova3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 56.0000s Calculation time (min.): 0.17 Simulation resolution (m): 5.00 SIMULATION RESULTS Number of cells: 27854 Number of nodes: 28290 Calculated Release Volume (m3): 9281.37 Overall MAX velocity (m/s): 36.5941 Overall MAX flowheight (m): 3.41938 Overall MAX pressure (kPa): 401.739</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Fri Mar 18 16:32:26 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM_Kvitenova3.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.90 m Vol: 9272.9 m3 Delay: 0.00 s Name: Kvitenova3_X.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Kvitenova) Estimated release volume: 9272.86 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.275 - 0.260 - 0.245 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.320 - 0.310 - 0.290 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.410 - 0.390 - 0.380 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.255 - 0.240 - 0.225 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p>

	<p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
36	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Raudnova1.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 82.0000s Calculation time (min.): 0.38 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 43920 Number of nodes: 44454 Calculated Release Volume (m3): 23503.4 Overall MAX velocity (m/s): 25.8100 Overall MAX flowheight (m): 5.31190 Overall MAX pressure (kPa): 199.846</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sat Mar 19 18:16:16 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Raudnova1.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.60 m Vol: 23483.1 m3 Delay: 0.00 s Name: Raudnova1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Raudnova) Estimated release volume: 23483.06 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.295 - 0.275 - 0.260 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.340 - 0.325 - 0.310 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.430 - 0.410 - 0.400 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.270 - 0.255 - 0.240 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Small COHESION:</p>

<p>37</p>	<p>No COHESION specified.</p> <p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Raudnova2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 168.000s Calculation time (min.): 0.67 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 43920 Number of nodes: 44454 Calculated Release Volume (m3): 13395.5 Overall MAX velocity (m/s): 29.3035 Overall MAX flowheight (m): 3.79069 Overall MAX pressure (kPa): 257.609</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sat Mar 19 18:22:47 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Raudnova2.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.60 m Vol: 13384.0 m3 Delay: 0.00 s Name: Raudnova2.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Raudnova) Estimated release volume: 13383.99 m3</p> <p>FRICION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.295 - 0.275 - 0.260 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Channelled parameters: Mu: 0.340 - 0.325 - 0.310 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Gully parameters: Mu: 0.430 - 0.410 - 0.400 Xi: 1000 - 1100 - 1200 Flat parameters: Mu: 0.270 - 0.255 - 0.240 Xi: 2000 - 2250 - 2500 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Small COHESION: No COHESION specified.</p>
<p>38</p>	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Raudnova3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 162.000s</p>

	<p>Calculation time (min.): 0.77 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 43920 Number of nodes: 44454 Calculated Release Volume (m3): 28859.5 Overall MAX velocity (m/s): 31.3966 Overall MAX flowheight (m): 6.07773 Overall MAX pressure (kPa): 295.724</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sat Mar 19 18:29:25 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Raudnova3.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.60 m Vol: 28855.8 m3 Delay: 0.00 s Name: Raudnova3.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Raudnova) Estimated release volume: 28855.81 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
39	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Raudnova4.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 262.000s Calculation time (min.): 2.73 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS</p>

	<p>Number of cells: 128929 Number of nodes: 129808 Calculated Release Volume (m3): 44705.3 Overall MAX velocity (m/s): 30.9380 Overall MAX flowheight (m): 4.92423 Overall MAX pressure (kPa): 287.148</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sat Mar 19 18:40:11 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_Raudnova4.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 1.70 m Vol: 44690.7 m3 Delay: 0.00 s Name: Raudnova4.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Raudnova) Estimated release volume: 44690.71 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.260 - 0.240 - 0.225 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.310 - 0.295 - 0.280 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.390 - 0.360 - 0.350 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.200 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 10 VOLUME category: Medium</p>
40	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Raudnova1.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 62.0000s Calculation time (min.): 0.85 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 121959 Number of nodes: 122813 Calculated Release Volume (m3): 32317.1 Overall MAX velocity (m/s): 33.3584 Overall MAX flowheight (m): 6.44324 Overall MAX pressure (kPa): 333.834</p>

	<p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sun Mar 20 09:44:35 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Raudnova1.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.20 m Vol: 32289.2 m3 Delay: 0.00 s Name: Raudnova1.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Raudnova) Estimated release volume: 32289.20 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.205 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.290 - 0.280 - 0.260 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.370 - 0.340 - 0.330 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.220 - 0.200 - 0.180 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
41	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Raudnova2.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 84.0000s Calculation time (min.): 0.92 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 121959 Number of nodes: 122813 Calculated Release Volume (m3): 19256.1 Overall MAX velocity (m/s): 35.6975 Overall MAX flowheight (m): 5.06310 Overall MAX pressure (kPa): 382.293</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sun Mar 20 09:50:59 2022</p>

	<p>Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Raudnova2.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details:</p> <p>DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.30 m Vol: 19239.5 m3 Delay: 0.00 s Name: Raudnova2.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Raudnova) Estimated release volume: 19239.48 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.205 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.290 - 0.280 - 0.260 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.370 - 0.340 - 0.330 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.220 - 0.200 - 0.180 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
42	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Raudnova3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 134.000s Calculation time (min.): 2.05 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 121959 Number of nodes: 122813 Calculated Release Volume (m3): 41485.5 Overall MAX velocity (m/s): 35.6683 Overall MAX flowheight (m): 7.20370 Overall MAX pressure (kPa): 381.668</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sun Mar 20 10:07:05 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Raudnova3.av2 Project: 50ors_skred_storDTM</p>

	<p>Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.30 m Vol: 41480.2 m3 Delay: 0.00 s Name: Raudnova3.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Raudnova) Estimated release volume: 41480.23 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.240 - 0.220 - 0.205 Xi: 1750 - 2100 - 2500 Channelled parameters: Mu: 0.290 - 0.280 - 0.260 Xi: 1350 - 1530 - 1750 Gully parameters: Mu: 0.370 - 0.340 - 0.330 Xi: 1100 - 1200 - 1350 Flat parameters: Mu: 0.220 - 0.200 - 0.180 Xi: 2500 - 2900 - 3250 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Medium COHESION: No COHESION specified.</p>
43	<p>Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Raudnova4.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 148.000s Calculation time (min.): 2.35 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 121959 Number of nodes: 122813 Calculated Release Volume (m3): 63113.4 Overall MAX velocity (m/s): 36.6578 Overall MAX flowheight (m): 5.77535 Overall MAX pressure (kPa): 403.138</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Sun Mar 20 10:15:12 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_Raudnova4.av2 Project: 50ors_skred_storDTM Details: DEM file: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\50ors_skred_storDTM\50ors_skred_storDTM.xyz DEM resolution (m): 5.00</p>

	<p>Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent: E - W: 99644.000 / 95669.000 S - N: 6894593.0 / 6899028.0</p> <p>GENERAL SIMULATION PARAMETERS: Simulation time (s): 300.000 Dump interval (s): 2.00 Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5 Constant density (kg/m3): 300</p> <p>NUMERICS: Numerical scheme: SecondOrder H Cutoff (m): 0.000001 Curvature effects are ON!</p> <p>RELEASE: Depth: 2.40 m Vol: 63092.8 m3 Delay: 0.00 s Name: Raudnova4.shp (C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Raudnova) Estimated release volume: 63092.78 m3</p> <p>FRICITION MUXI: Altitude_limit_1: 500 m a.s.l Altitude_limit_2: 0 m a.s.l Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]</p> <p>Open slope parameters: Mu: 0.200 - 0.180 - 0.165 Xi: 2000 - 2500 - 3000 Channelled parameters: Mu: 0.250 - 0.230 - 0.220 Xi: 1500 - 1750 - 2000 Gully parameters: Mu: 0.315 - 0.300 - 0.280 Xi: 1200 - 1350 - 1500 Flat parameters: Mu: 0.180 - 0.160 - 0.150 Xi: 3000 - 3500 - 4000 Forest parameters: Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020 Xi: 400 - 400 - 400</p> <p>RETURN PERIOD (y): 100 VOLUME category: Large COHESION: No COHESION specified.</p>
44	<p>RAMMS::AVALANCHE RAMMS OUTPUT LOGFILE Output filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreO3.out.gz Simulation stopped due to LOW FLUX! Simulation stopped after 62.0000s Calculation time (min.): 0.22 Simulation resolution (m): 5.00</p> <p>SIMULATION RESULTS Number of cells: 32971 Number of nodes: 33385 Calculated Release Volume (m3): 12069.4 Overall MAX velocity (m/s): 26.2511 Overall MAX flowheight (m): 3.62902 Overall MAX pressure (kPa): 206.737</p> <p>RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 INPUT LOGFILE Date: Thu Mar 03 21:09:12 2022 Input filename: C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\10orsX_skred\10orsX_skred_SetreO3.av2 Project: 10orsX_skred Details: DEM resolution (m): 5.00 Nr of nodes: 706848 Nr of cells: 705165 Project region extent:</p>

E - W: 99644.000 / 95669.000
S - N: 6894593.0 / 6899028.0

GENERAL SIMULATION PARAMETERS:

Simulation time (s): 300.000
Dump interval (s): 2.00
Stopping criteria (momentum threshold) (%): 5
Constant density (kg/m3): 300

NUMERICS:

Numerical scheme: SecondOrder
H Cutoff (m): 0.000001
Curvature effects are ON!

RELEASE:

Depth: 1.54 m Vol: 12054.7 m3 Delay: 0.00 s Name: Ost3_X11.shp (0)
(C:\DATA\Grasdalen\GIS\RAMMS\Losneomrode\Grasdalen_Ost)
Estimated release volume: 12054.71 m3

FRICITION MUXI:

Altitude_limit_1: 500 m a.s.l
Altitude_limit_2: 0 m a.s.l
Format of following parameters: [< 0] - [0 - 500] - [> 500]

Open slope parameters:

Mu: 0.295 - 0.275 - 0.260
Xi: 1500 - 1750 - 2000

Channelled parameters:

Mu: 0.340 - 0.325 - 0.310
Xi: 1200 - 1350 - 1500

Gully parameters:

Mu: 0.430 - 0.410 - 0.400
Xi: 1000 - 1100 - 1200

Flat parameters:

Mu: 0.270 - 0.255 - 0.240
Xi: 2000 - 2250 - 2500

Forest parameters:

Mu (delta): 0.020 - 0.020 - 0.020
Xi: 400 - 400 - 400

RETURN PERIOD (y): 10

VOLUME category: Small

COHESION:

No COHESION specified.

