

1 Oppdragsgiver	Navn Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Kontaktperson Stian Bue Kanstad
Oppdrag	Nummer og navn 20154 Senja, Fjordgård – Faresoner etter sikringstiltak, sentrumsområdet (HP 16071)	Oppdragsleder Nils Arne K. Walberg
Dokument	Nummer 16071-05-1 Utført av Nils Arne K. Walberg, Andrea Taurisano	Dato 2020-09-25 Kontrollert av Hallvard Nordbrøden, Kalle Kronholm

## Faresoner etter sikringstiltak

### Sammendrag

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har nettopp ferdigstilt en voll for sikring mot snøskred for skredutsatt bebyggelse i Fjordgård, Senja kommune. I den forbindelse er Skred AS forespurt om å utarbeide faresoner for skred før og etter sikringstiltak.

Det er utarbeidet faresoner både uten noen form for sikringstiltak og faresoner hvor effekten av ny voll er tatt med for skred med årlig nominell sannsynlighet  $\geq 1/100$ ,  $\geq 1/333$ ,  $\geq 1/1000$  og  $\geq 1/5000$ .

Som grunnlag for utarbeidelsen av faresoner er tidligere arbeid i forbindelse med forprosjektering og dimensjonerende skred, utført av NGI og Skred AS, samt oversendt informasjon om vollens geometri og plassering i terrenget benyttet. Skredvollens risikoreduserende effekt er vurdert både opp mot tradisjonelle beregningsmetoder i prosjekteringen, samt numerisk modellering i RAMMS. Skredvollens effekt mot skredvind er også vurdert.

I en situasjon uten sikringstiltak er det vurdert at store deler av bebyggelsen på Fjordgård ligger innenfor  $\geq 1/333$  og  $\geq 1/1000$  faresonen, tre hus ligger innenfor  $\geq 1/100$  faresonen, mens hele det vurderte området ligger innenfor  $\geq 1/5000$  faresonen for snøskred og skredvind.

Den nye vollen er prosjektert for å stå imot et dimensjonerende skred med gjentakintervall  $\geq 1/333$ . På bakgrunn av en helhetlig vurdering vurderes det at vollen sikrer eksisterende bebyggelse mot snøskred og skredvind med skadepotensiale for en  $\geq 1/333$  hendelse. Sammenhengende områder brattere enn  $27^\circ$  på nedsiden av vollen gjør at mindre utglidninger av snø ikke kan utelukkes, men disse vurderes ikke å nå ned til bebyggelsen. Det er også vanskelig å utelukke at noe overtopping av mindre masser kan forekomme i en

ekstremhendelse. Det er derfor en liten faresone for årlig sannsynlighet  $\geq 1/333$  også på nedsiden av vollen.

Store deler av bebyggelsen ligger fortsatt innenfor  $\geq 1/1000$  faresonen, og hele bebyggelsen ligger innenfor faresonen for skred med årlig sannsynlighet  $\geq 1/5000$ . Dette på bakgrunn av muligheten for multiple skredhendelser, hvor skredvollens effekt reduseres som følge oppfylling av skredmasser i forkant av vollen, og mulighet for større skred enn vollen er dimensjonert for.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>6</b>
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Mål	7
1.3	Grunnlag	7
1.3.1	Rapporter	8
1.3.2	Terrengmodell	8
1.4	Forbehold	11
<b>2</b>	<b>Beskrivelse av området og skredproblematikken</b>	<b>12</b>
2.1	Dimensjonerende skredtype	12
<b>3</b>	<b>Beregninger</b>	<b>13</b>
3.1	Utløsningsområder	13
3.2	Utløsningsscenarioer for dimensjonerende skred	14
3.3	Bruddkant	15
3.4	Friksjonsparametre	16
<b>4</b>	<b>Faresoner uten tiltak</b>	<b>17</b>
4.1	Beregninger av skredutbredelse	17
4.2	Faresoner uten tiltak	20
<b>5</b>	<b>Vurdering av effekten av skredsikringstiltak - fangvoll</b>	<b>21</b>
5.1	Vurdering av grunnlagsmateriale	21
5.2	Vurdering av etablert tiltak opp mot prosjektert grunnlag	21
5.3	Vurdere terrengingrep og skredbevegelse	22
5.4	Vurdere effekten av multiple hendelser	28
5.5	Vurdere om tiltaket har ført til nye løseområder	28
5.6	Vurdering av skredvind	29
5.7	Faresoner med tiltak	32
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>Referanser</b>	<b>34</b>

## Figurer

Figur 1:	Oversiktskart over Fjordgård i Senja kommune	6
Figur 2:	Kart over det vurderte område	7
Figur 3:	Dronefoto over Fjordgård med ny skredvoll, tatt 17.06.2020. Foto oversendt av oppdragsgiver	8
Figur 4:	Sammenlikning av opprinnelig terrengmodell fra nasjonal laserskanning (A,B), modifisert terrengmodell uten tiltak (C, D) og nasjonal terrengmodell inkludert ny fangvoll (E, F). G og H viser dronefoto tilsendt fra oppdragsgiver etter utført tiltak.	10
Figur 5:	Kart med terrenghelning og utløsningsområder anvendt i beregningene med RAMMS. Profiler anvendt i beregner i NGI (2010) er tegnet inn og merket Profil 1-6.14	

Figur 6: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for utløsningsområdene 1, 2abc og 3+4d for designscenario 1/333 i en situasjon uten tiltak.....	18
Figur 7: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for alle utløsningsområdene i designscenario 1/1000 i en situasjon uten tiltak. ....	19
Figur 8: Faresoner for skred i en situasjon uten sikringstiltak i fjellsiden. Faresonen for årlig gjentakintervall $\geq 1/100$ er vurdert å gå rett ovenfor den øvre/vestlige grensen av bebyggelsen, og derfor ikke tegnet.....	20
Figur 9: Sammenlikning av ny (2020) og gammel (2017) terrengmodell omtrent ved profil 6. ....	22
Figur 10: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for utløsningsområdene 1, 2abc og 3+4d for designscenario 1/333 i en situasjon med ny voll (5x5m oppløsning). Resultatet viser en vesentlig reduksjon av utløp og hastigheter nedenfor vollen, sammenliknet med en situasjon uten voll (Figur 6).....	23
Figur 11: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for alle utløsningsområdene for designscenario 1/1000 i en situasjon med voll (5x5m oppløsning). Resultatet viser en reduksjon av utløp og hastigheter nedenfor vollen, sammenliknet med en situasjon uten voll (Figur 7).....	24
Figur 12: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for utløsningsområdene 1, 2abc og 3+4d for designscenario 1/333 i en situasjon modellert med en 12.5 vertikal voll (5x5m oppløsning). Resultatet er sammenliknbare med resultatene i Figur 10. ....	25
Figur 13: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for alle utløsningsområdene i designscenario 1/1000 i en situasjon modellert med en 12.5 vertikal voll (5x5m oppløsning). Resultatet er sammenliknbare med resultatene i Figur 11.....	26
Figur 14: A) Modellert skredutløp for løsneområde 3 + 4d for et 1/333 scenario uten voll med 5x5 m oppløsning på terrengmodellen. B) Modellert skredutløp for løsneområde 3 + 4d for et 1/333 scenario uten voll med 2x2 m oppløsning på terrengmodellen. Resultatet er sammenliknbart med A, men har noe mindre utstrekning og avvikende hastigheter. C) Modellert skredutløp for løsneområde 3 + 4d for et 1/333 scenario med voll og 2x2 m oppløsning på terrengmodellen. D) Modellert skredutløp for et 1/1000 scenario med voll og 2x2 m oppløsning på terrengmodellen. ....	27
Figur 15: Eksempel på flakskred på voll-lignende formasjon på Svalbard, vinteren 2020. Kilde: RegObs.....	29
Figur 16: Modellert skredvind ved RAMMS::Extended. For beskrivelse, se forrige avsnitt. ...	31
Figur 17: Faresoner for skred etter utbygging av ny voll. Vollen vurderes å sikre bebyggelsen mot en $\geq 1/333$ hendelse. Mulighet for større skred enn vollen er dimensjonert for, eller flere skred som gradvis fyller opp magasineringsvolumet i forkant av vollen, gjør at faresonen for 1/1000 ikke reduseres ytterligere. ....	32

## Tabeller

Tabell 1: Definisjon av designscenarioer for snøskred med årlig sannsynlighet på 1/100, 1/333 og 1/1000. Designscenarioene er beregnet med RAMMS for å vurdere faresoner uten sikring. ....	15
---	----

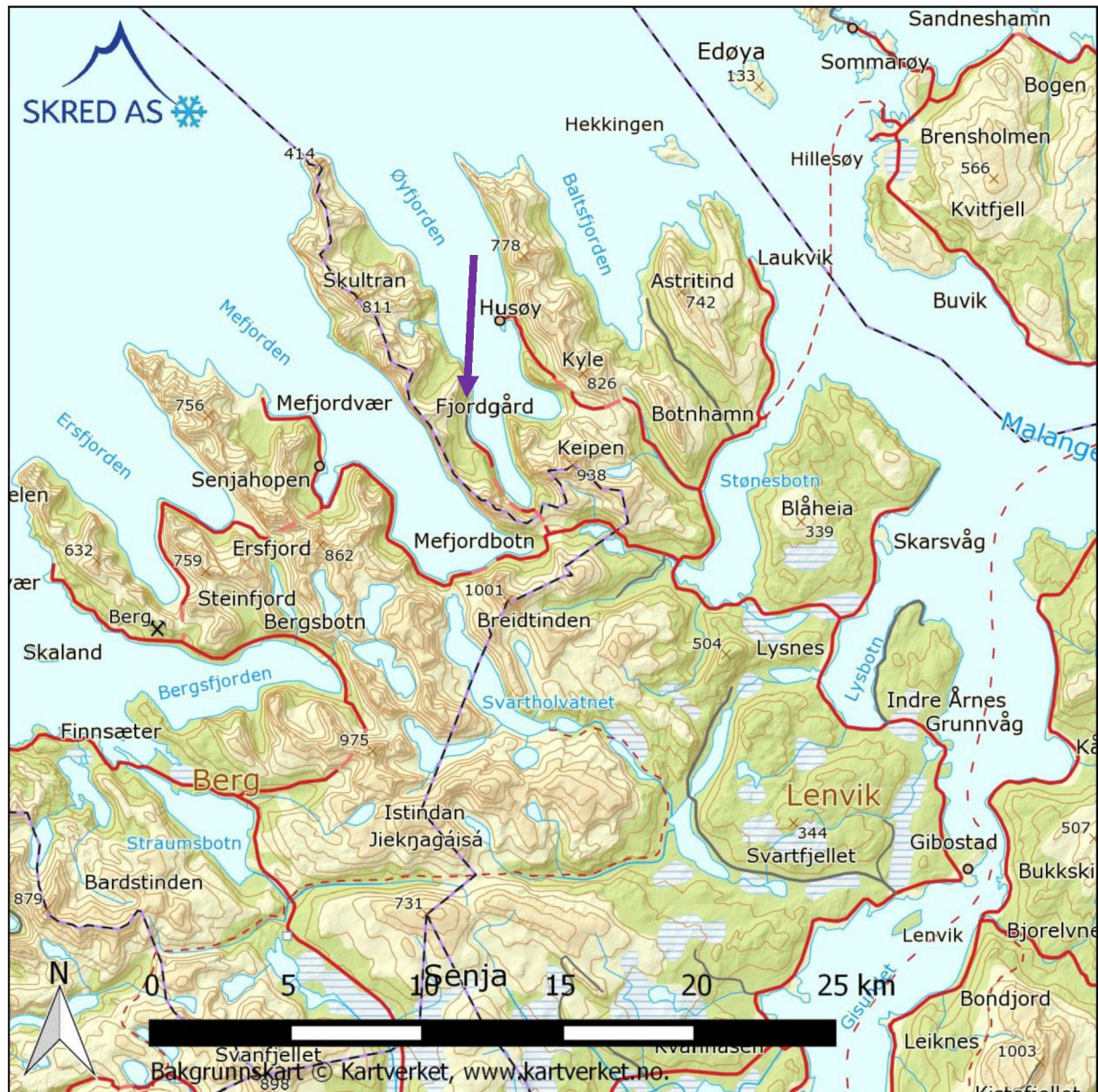


Tabell 2: Høyde på bruddkant anvendt i beregningene av designscenario..... 15

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har nettopp ferdigstilt en voll for sikring mot snøskred for skredutsatt bebyggelse i Fjordgård, Senja kommune. I den forbindelse er Skred AS forespurt om å utarbeide faresoner for skred før og etter sikringstiltak.



Figur 1: Oversiktskart over Fjordgård i Senja kommune.

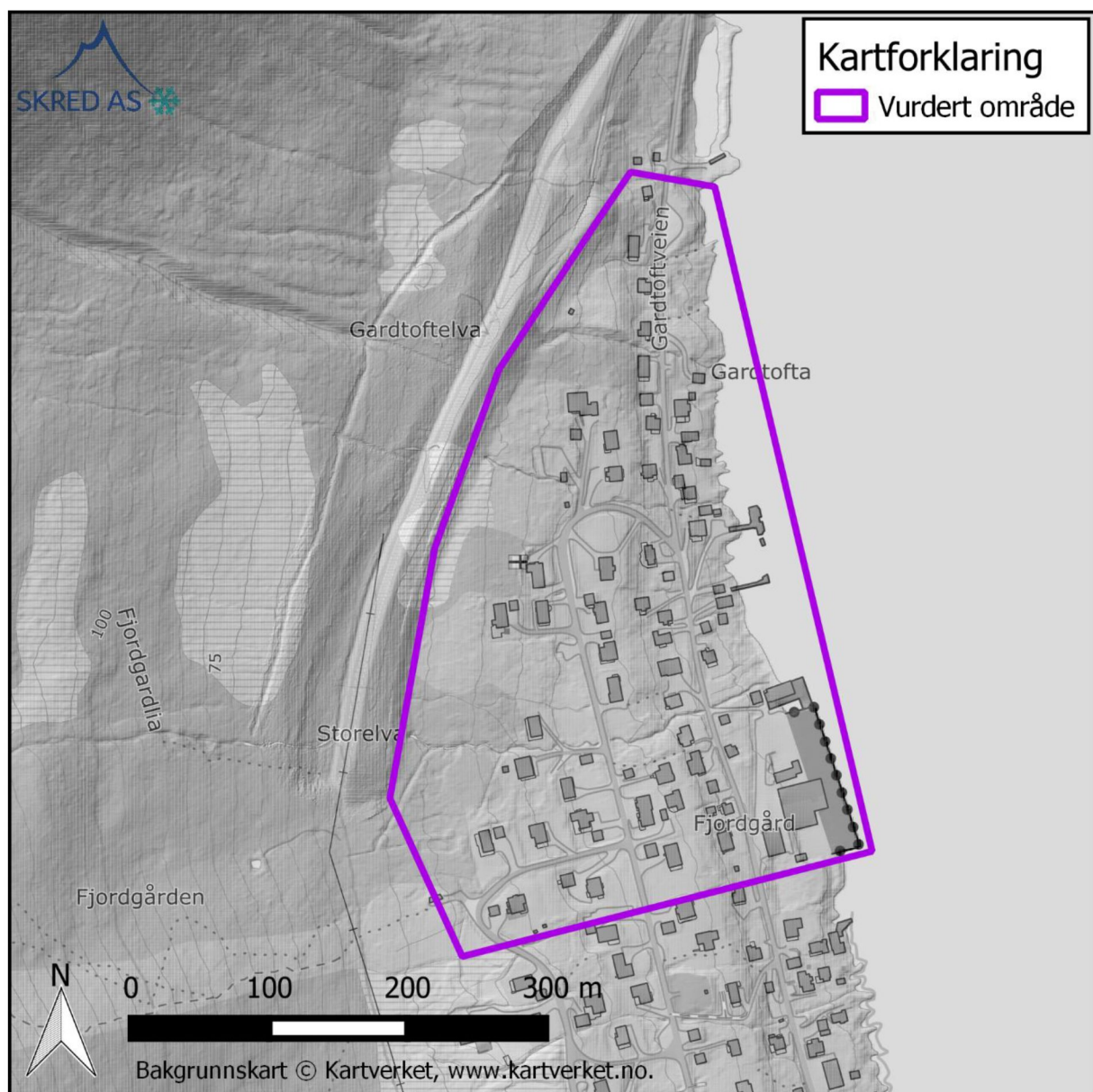


## 1.2 Mål

Skredvollens effekt mot snøskred og skredvind skal vurderes ved at det utarbeides faresoner for årlig nominell sannsynlighet for skred på hhv.  $\geq 1/100$ ,  $\geq 1/333$ ,  $\geq 1/1000$  og  $\geq 1/5000$  for en situasjon med ny skredvoll, og en situasjon uten noen form for sikringstiltak.

## 1.3 Grunnlag

Som grunnlag for utarbeidelsen av faresoner benyttes tidligere arbeid i forbindelse med forprosjektering og dimensjonerende skred, utført av NGI (2010) og Skred AS (2016, 2018), samt informasjon om vollens geometri og innmålt terrengmodell av vollen, oversendt fra NVE. Det er ikke utført befaring i forbindelse med oppdraget i denne fasen.



Figur 2: Kart over det vurderte område.





*Figur 3: Dronefoto over Fjordgård med ny skredvoll, tatt 17.06.2020. Foto oversendt av oppdragsgiver.*

### 1.3.1 Rapporter

På oppdrag fra NVE utarbeidet Skred AS i 2016 en rapport (16071-01) med beregninger av utbredelse, hastighet, og flytehyde for dimensjonerende 333-års og 1000-års snøskred fra fjellsiden ovenfor Fjordgård, med tanke på utbedring av eksisterende fangvoll.

Under arbeidet med den rapporten fikk Skred AS tilgang til følgende dokumenter og rapporter, som utgjorde det vesentligste grunnlaget:

- NGI rapport 20051396-01-6-R, «Fjordgård nord. Utredning av mulige sikringstiltak mot snøskred fra Stavlitippen» (NGI, 2010).
- NGI rapport 81446-2, «Vurdering av skredfare og forslag til sikring av området» (NGI, 1983).
- Multiconsult notat 415470-01 med forslag til oppgradering av vollen.

I tillegg lagde Skred AS et forslag til detaljprosjektering av sikringstiltak i 2018 (16071-04). Denne rapporten (16071-05) bygger i stor grad på resultatene og vurderingene i Skred AS rapport 16071-04.

### 1.3.2 Terrengmodell

I 2017, i etterkant av arbeidet med rapport 16071-1, ble det utført en laserskanning for nasjonal høydemodell. Dette gjør at det foreligger en terrengmodell med 1 m x 1 m

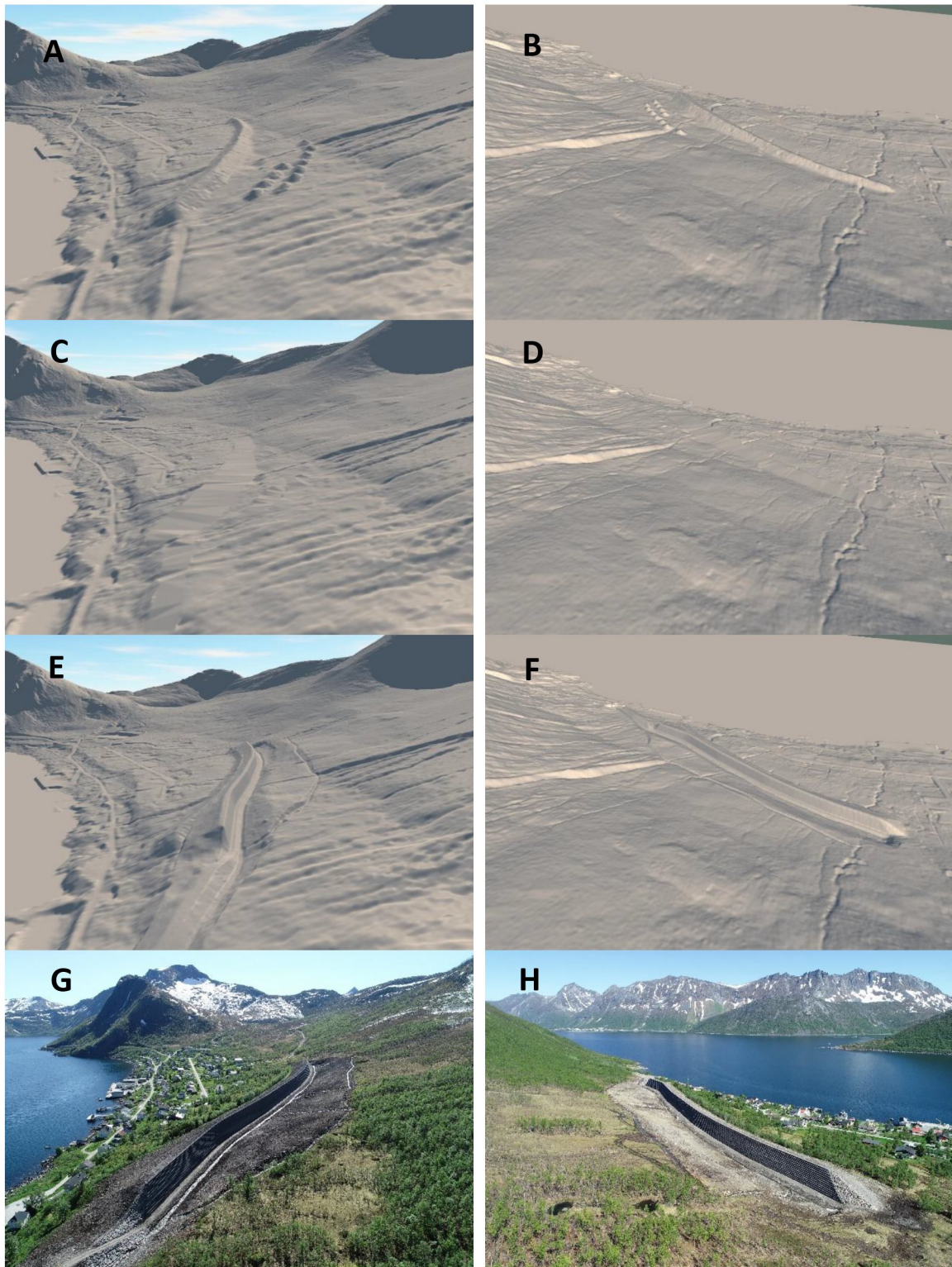


oppløsning basert på laserdata fra området (Terratec AS, 2017). Denne høydemodellen inkluderer tidligere fangvoll og bremsekjegler ovenfor bebyggelsen i Fjordgård.

I tillegg har vi fått oversendt en lokal terrengmodell av ny fangvoll, utarbeidet på grunnlag av dronefotogrammetri i etterkant av anleggsarbeidet (dato 2020-06-18).

For utarbeidelse av faresoner med og uten tiltak har vi gjort følgende modifikasjoner, visualisert i Figur 4:

- For beregning av faresoner uten tiltak: Tidligere fangvoll og bremsekjegler er fjernet fra nasjonal høydemodell, og triangulering er benyttet for å interpolere terrenget i områder uten data.
- For beregning av faresoner med tiltak: Terrengmodell for ny voll er benyttet der denne innehar data, for øvrig er nasjonal terrengmodell benyttet. Sammenlikning av terrengmodellene viser at det er god overenskomst i grenseområdene.



Figur 4: Sammenlikning av opprinnelig terrengmodell fra nasjonal laserskanning (A,B), modifisert terrengmodell uten tiltak (C, D) og nasjonal terrengmodell inkludert ny fangvoll (E, F). G og H viser dronefoto tilsendt fra oppdragsgiver etter utført tiltak.

## 1.4 Forbehold

Informasjon om tidligere skredhendelser er viktige for vurdering av skredfare. Dersom det kommer mer informasjon om tidligere skred, bør det tas med i betraktningene.

Vurderingene er gjort ut fra terreng og vegetasjon slik det fremstår på tilgjengelige flyfoto, kotegrunnlag og tilsendt terrengmodell av ny voll. Hvis terreng eller vegetasjon endres betydelig, kan det ha betydning for skredforholdene. Da anbefales det å utføre en ny vurdering.

Det finnes ingen norske retningslinjer for dimensjonering av sikringstiltak mot snøskred, eller utarbeidelse av faresoner før- og etter sikringstiltak. Vi har støttet oss til erfaringer og standarder fra Alpene, hovedsakelig Østerrike, og overført dette på best mulig måte til det vurderte området.

## 2 Beskrivelse av området og skredproblematikken

For detaljerte beskrivelser av området, terrenget, og skredforholdene vises til NGI (2010). I det følgende er en kort oppsummering av situasjonen.

Første vurdering av skredfare for Fjordgård er fra 1958, etter et snøskred som ødela tre bolighus og tok ett liv. En første voll ble bygget i 1990. Siste detaljerte vurdering av skredforholdene er fra 2010 (NGI, 2010), og deler av den rapporten utgjør grunnlaget for vårt arbeid. NGI rapport 20051396-01-6-R beskriver de ulike beregninger gjort for å vurdere hastighet av dimensjonerende snøskred ifm. dimensjonering av vollen bygd i 1990, samt parametersett anvendt i beregningene. NGIs beregninger er supplert med egne beregninger utført av Skred AS for prosjektering av ny voll og er beskrevet i detalj i rapport 16071-04.

### 2.1 Dimensjonerende skredtype

Bebyggelsen i Fjordgård ligger hovedsakelig utsatt for snøskred med faste masser, men også skredvind kan utgjøre fare for bebyggelsen. Sørpeskred er også en potensiell problemstilling, blant annet langs Storelva. Det er rapportert og beskrevet flere sørpeskred i Fjordgård.



### 3 Beregninger

Utløsningsområdene og utløsningsscenarioene anvendt i modellberegningene for dimensjonerende skred er beskrevet i Skred AS Rapport 16071-04 (2018), og kort gjengitt i de kommende avsnittene. Det ikke tidligere er oppgitt dimensjonerende bruddhøyde eller skredscenario for en hendelse med gjentaksintervall  $\geq 1/5000$ .

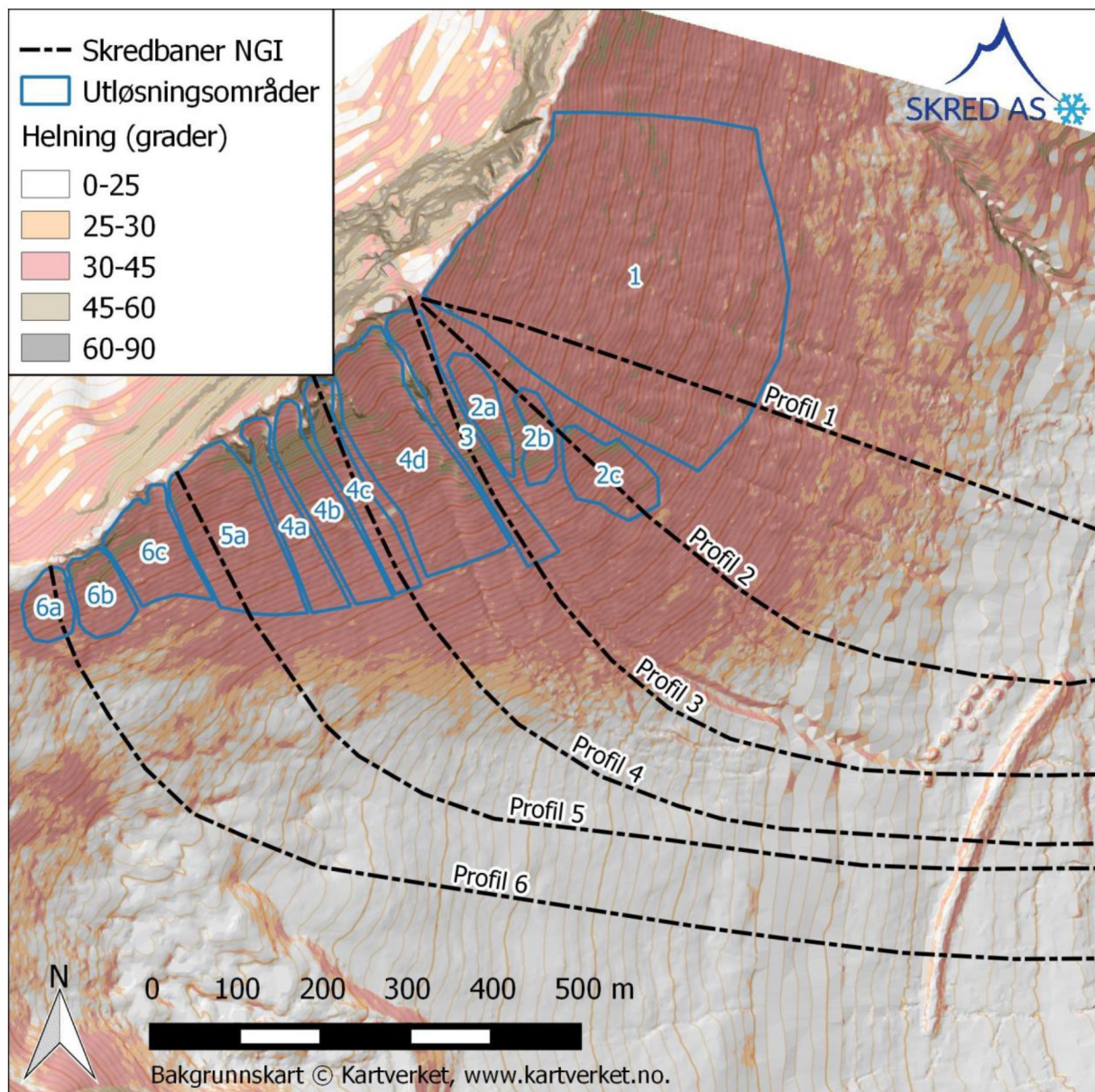
I 2018 ble det heller ikke utført simuleringer for skredvind, da det ikke fantes modellverktøy utviklet for det. Selv i dag finnes det kun verktøy som fortsatt er i en utviklingsfase, som vi her har benyttet (kap. 5.6).

Vi har gjennomført beregninger med RAMMS::Avalanche v.1.17.20 (Christen, Kowalski, & Bartelt, 2010).

#### 3.1 Utløsningsområder

Vi har ikke detaljert kjennskap til utløsningsområdene i tidligere skredhendelser.

Løsneområdene for snøskred er tegnet på bakgrunn av terrengformasjoner, hovedsakelig adskilt av rygger mellom de ulike skålformasjonene og retningsendringen langs toppryggen. Utløsningsområdene anvendt i RAMMS-beregningene er vist i figur 5.



Figur 5: Kart med terrenghelning og utløsningsområder anvendt i beregningene med RAMMS. Profiler anvendt i beregner i NGI (2010) er tegnet inn og merket Profil 1-6.

### 3.2 Utløsningsscenarier for dimensjonerende skred

Bevegelsen av dimensjonerende snøskred avhenger blant annet av hvilke utløsningsområder som utløses samtidig. Dette vil blant annet påvirke skredmassenes mulighet for å utvide seg til sidene, og dermed også utløpslengden. Vi har benyttet designscenarier definert i tidligere arbeid (Skred AS, 2018). I designscenarioet for 1/100 er alle løsningsområdene 1-6 (figur 5) utløst separat. I designscenarioet for 1/333 er de fleste av utløsningsområdene utløst enkeltvis i modellen, bortsett fra områder som er nesten sammenhengende uten definerte rygger mellom, og som har nesten samme hengretning. For et 1/1000 scenario er alle utløsningsområder 1-6 utløst samtidig i beregningene (Tabell 1).



Vi har ikke utarbeidet et scenario for en hendelse med årlig sannsynlighet  $\geq 1/5000$ . Det er svært vanskelig å definere et slikt scenario, og usikkerheten knyttet til en evt. definisjon av et scenario for  $1/5000$  vil være svært stor. I tillegg vurderes det at et slikt scenario, basert på et definert  $1/1000$  scenario allerede dekker store deler av fjellsiden med utløp over store deler av bebyggelsen, uansett vil dekke hele det vurderte området.

Tabell 1: Definisjon av designscenarioer for snøskred med årlig sannsynlighet på  $1/100$ ,  $1/333$  og  $1/1000$ . Designscenarioene er beregnet med RAMMS for å vurdere faresoner uten sikring.

Scenario	Parameter	Beskrivelse
1/100	Utløsningsområder	Alle utløst separat
	Bruddhøyde	Som definert i NGI (2010) for $1/100$ (Tabell 2).
	Friksjonsparametere	SLF anbefalt parametersett L100 med høydenivå justert ned fra 1500 til 500 m og 1000 til 100 m.
1/333	Utløsningsområder	Følgende utløsningsområder utløses enkeltvis (beregningsnummer i parentes): 1 (18), 2 (19), 5a (22), 6c (23), 6b (24) og 6a (25). Følgende utløsningsområder utløses samtidig: 3+4d (20) og 4a+4b+4c (21).
	Bruddhøyde	Som definert i NGI (2010) for $3/1000$ (Tabell 2).
	Friksjonsparametere	SLF anbefalt parametersett L300 med høydenivå justert ned fra 1500 til 500 m og 1000 til 100 m.
1/1000	Utløsningsområder	Alle utløsningsområder utløses samtidig.
	Bruddhøyde	Som definert i NGI (2010) for $1/1000$ (Tabell 2).
	Friksjonsparametere	SLF anbefalt parametersett L300 med høydenivå justert ned fra 1500 til 500 m og 1000 til 100 m.

### 3.3 Bruddkant

Høyden på bruddkanten påvirker beregnet utløsningsvolum og er derfor viktig for skredmassenes utbredelse, hastighet og flyte høyde. Vi har anvendt bruddhøydene estimert av NGI for ulike årlige sannsynligheter (NGI, 2010).

Tabell 2: Høyde på bruddkant anvendt i beregningene av designscenario.

Utløsningsområde	Bruddhøyde 1/100 (m)	Bruddhøyde 1/333 (m)	Bruddhøyde 1/1000 (m)
1	1,0	1,2	1,4
2a, 2b, 2c	1,1	1,3	1,5
3	1,3	1,6	1,8
4a, 4b, 4c, 4d	1,3	1,6	1,8
5a	1,2	1,4	1,6
6a, 6b, 6c	1,2	1,4	1,6

### 3.4 Friksjonsparametre

Friksjonsparametrene  $\mu$  og  $\xi$  styrer energitapet i skredmodellen. De er derfor viktige for beregnet skredutbredelse, hastighet og flyte høyde. Vi har ved valg av designscenarier valgt å bruke de SLF-fastsatte verdiene i RAMMS. Eneste forskjell er at vi har justert høydenivåene for de anvendte verdiene (Tabell 1). Dette er i samsvar med arbeidet utført i Skred AS (2018).



## 4 Faresoner uten tiltak

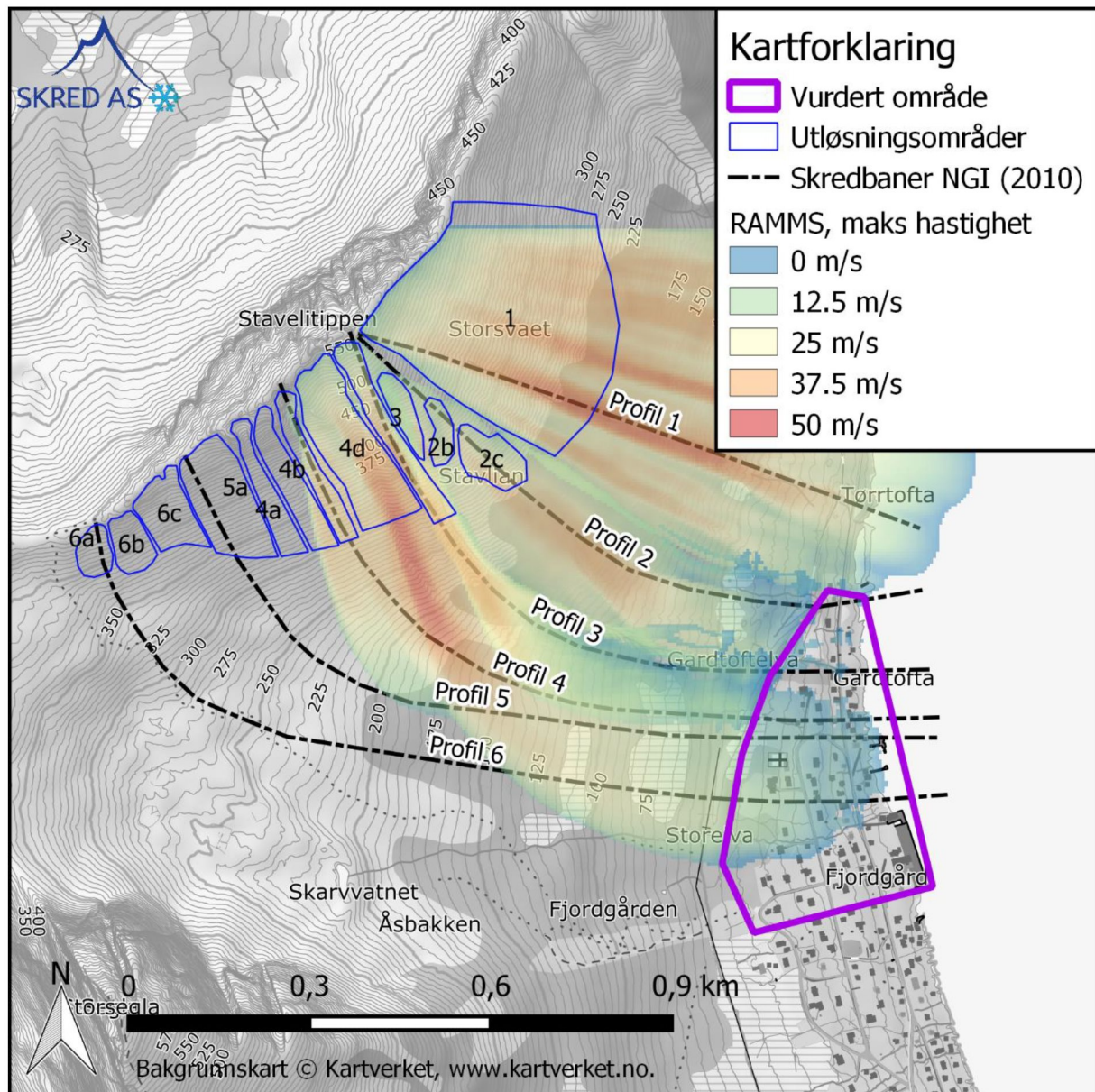
### 4.1 Beregninger av skredutbredelse

Beregning av faresoner i en situasjon uten tiltak (uten noen form for sikring) er gjort ved å beregne skredutløp i RAMMS for dimensjonerende hendelser med hhv.  $\geq 1/100$ ,  $\geq 1/333$  og  $\geq 1/1000$  års gjentaksintervall som beskrevet i Tabell 1 og Tabell 2. Modifisert terrengmodell uten tiltak, som beskrevet i kap. 1.3.2, er benyttet, og det er kjørt simuleringer med en oppløsning på 5 m x 5 m.

Figur 6 viser resultatet av utløpsberegningen for et antatt 300 års scenario, definert som vist i Tabell 1 og Tabell 2.

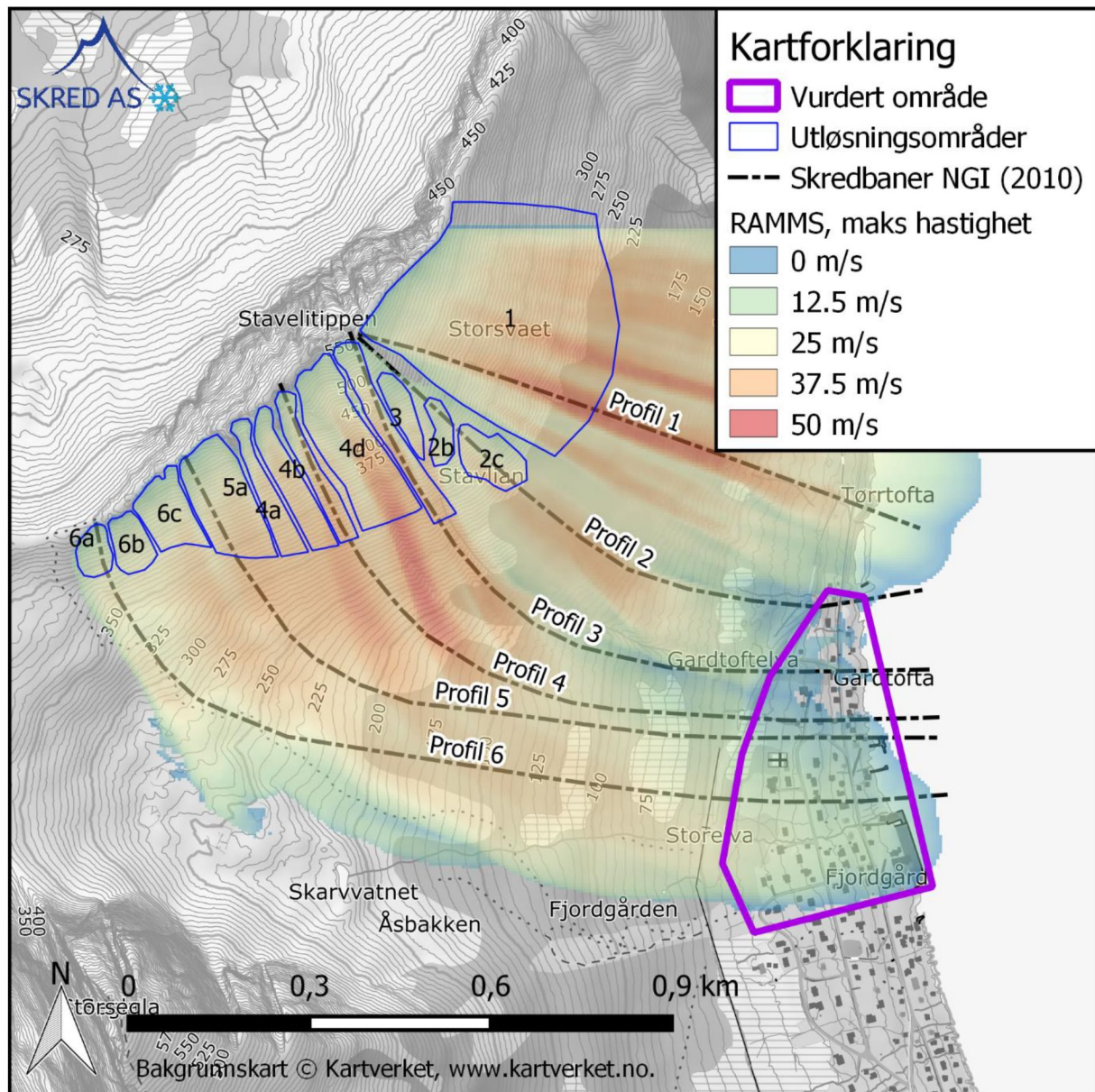
Definisjonen av en 1/1000 års hendelse, med samtlige løsneområder som løsner samtidig, samt bruddhøyder opp mot 2 m og dels svært store volumer, gjør at nesten hele planområdet er dekket av faresone med årlig gjentaksintervall på 1/1000 i en situasjon uten voll. Dette er vist i Figur 7.

På bakgrunn av modelleringsresultatene for et 1000 års scenario og store usikkerheter knyttet til en hendelse med gjentaksintervall 1/5000, vurderes det at hele planområdet er dekket av faresone for årlig sannsynlighet som overstiger 1/5000.



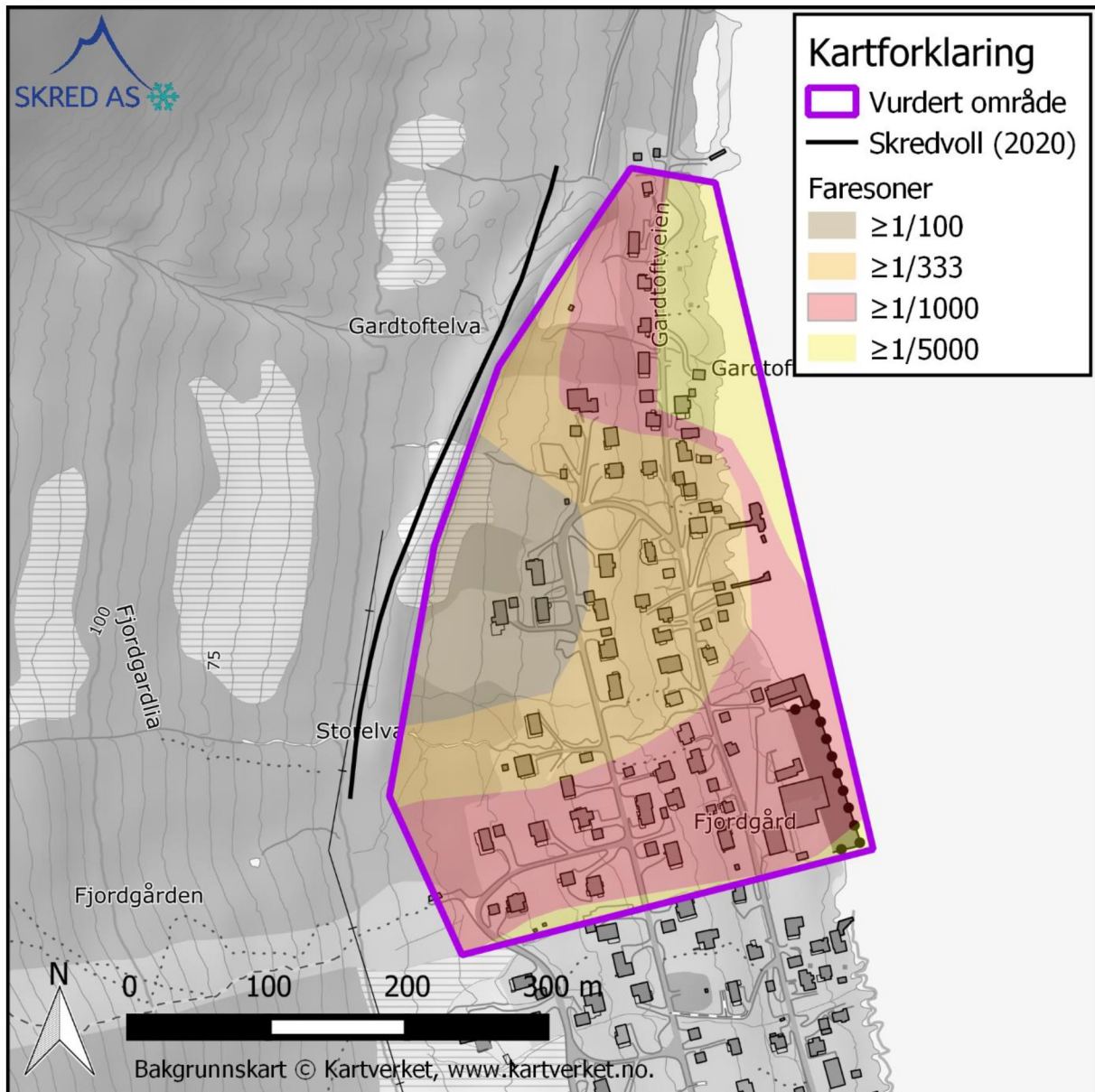
Figur 6: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for utløsningsområdene 1, 2abc og 3+4d for designscenario 1/333 i en situasjon uten tiltak.





Figur 7: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for alle utløsningsområdene i designscenario 1/1000 i en situasjon uten tiltak.

## 4.2 Faresoner uten tiltak



Figur 8: Faresoner for skred i en situasjon uten sikringstiltak i fjellsiden.



## 5 Vurdering av effekten av skredsikringstiltak - fangvoll

Det finnes ingen norske retningslinjer for å tegne faresoner etter tiltak. For å vurdere effekten det etablerte tiltaket, har vi gjort følgende:

- Vurdert om det er endring i dimensjonerende parametere eller ny kunnskap som ikke fantes under prosjekteringen (kap. 5.1).
- Vurdert om det etablerte tiltaket er utført i henhold til anbefalte dimensjoner og geometrisk utforming (kap. 5.2).
- Vurdert tiltakets effekt skredbevegelse (kap. 5.3).
- Vurdert effekten av multiple hendelser samme vinter og vollens evne til å håndtere dem (kap. 5.4)
- Vurdere om tiltaket har ført til nye mulige løseområder for snøskred (kap. 5.5)
- Vurdert effekten av tiltaket på skredvind (kap. 5.6)

### 5.1 Vurdering av grunnlagsmateriale

Vi er ikke kjent med at det har kommet nye opplysninger eller kunnskap som tilsier at grunnlaget eller metodikken benyttet til prosjekteringen av vollen er feil eller burde endres.

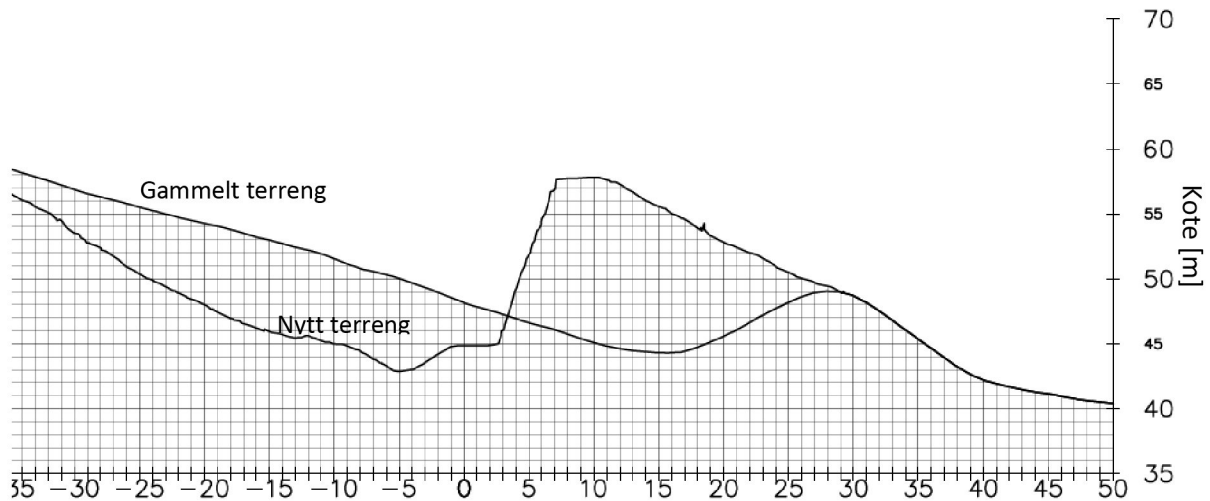
Det er i etterkant av arbeidet utført en laserskanning av området, som gir en terrengmodell med noe høyere nøyaktighet. Sammenlikninger av grunnlagsdokumenter og modellkjøringer kjørt med ny terrengmodell indikerer ikke avvik utover usikkerheten i analysene.

### 5.2 Vurdering av etablert tiltak opp mot prosjektert grunnlag

I dimensjoneringsgrunnlaget for sikringstiltak (Skred AS, 2018) er det, basert på en helhetsvurdering, anbefalt at fangvoll til sikring mot dimensjonerende snøskred med årlig sannsynlighet på  $\geq 1/333$  skal ha en høyde på minst 14 m. Mot nord ved Profil 2 og 3, kunne vollhøyden om nødvendig reduseres noe, men i dette området er det store sprik mellom våre vurderinger fra 2016 og tidligere utførte vurderinger. Ved å opprettholde vollhøyden på minst 14 m, velger man en konservativ tilnærming. Beregnede verdier varierer mellom 7,8 m (profil 2) og 13,8 m (profil 6).

Oversendt tegningsgrunnlag viser at det er lagt opp til ca. 14 m høyde langs hele vollen. Vi har vurdert oversendt terrengmodell opp mot forutsetningene ovenfor ved å se på tverrsnitt av innmålt terrengmodell. Målingene viser en høydeforskjell på ca. 12,5 m – 13,5 m fra fot støttside til toppen av vollen, med noe usikkerhet rundt nøyaktighet og avlesninger. Dette er høyere enn beregnede nødvendige vollhøyder langs alle profiler med unntak av profil 6, hvor avlest høyde er ca. 13,0 m, mens mest konservative beregnet nødvendig vollhøyde er 13,8 m (Figur 9). Det er i tillegg anlagt en grøft i forkant av vollen med opptil 2 meters dybde, men denne vurderes å ikke ha effekt vinterstid da den antas snødd igjen.

Med tanke på usikkerheter knyttet til dimensjonerende hendelser, beregningsgrunnlag og innmålinger vurderer vi at vollen er etablert i henhold til anbefalinger.

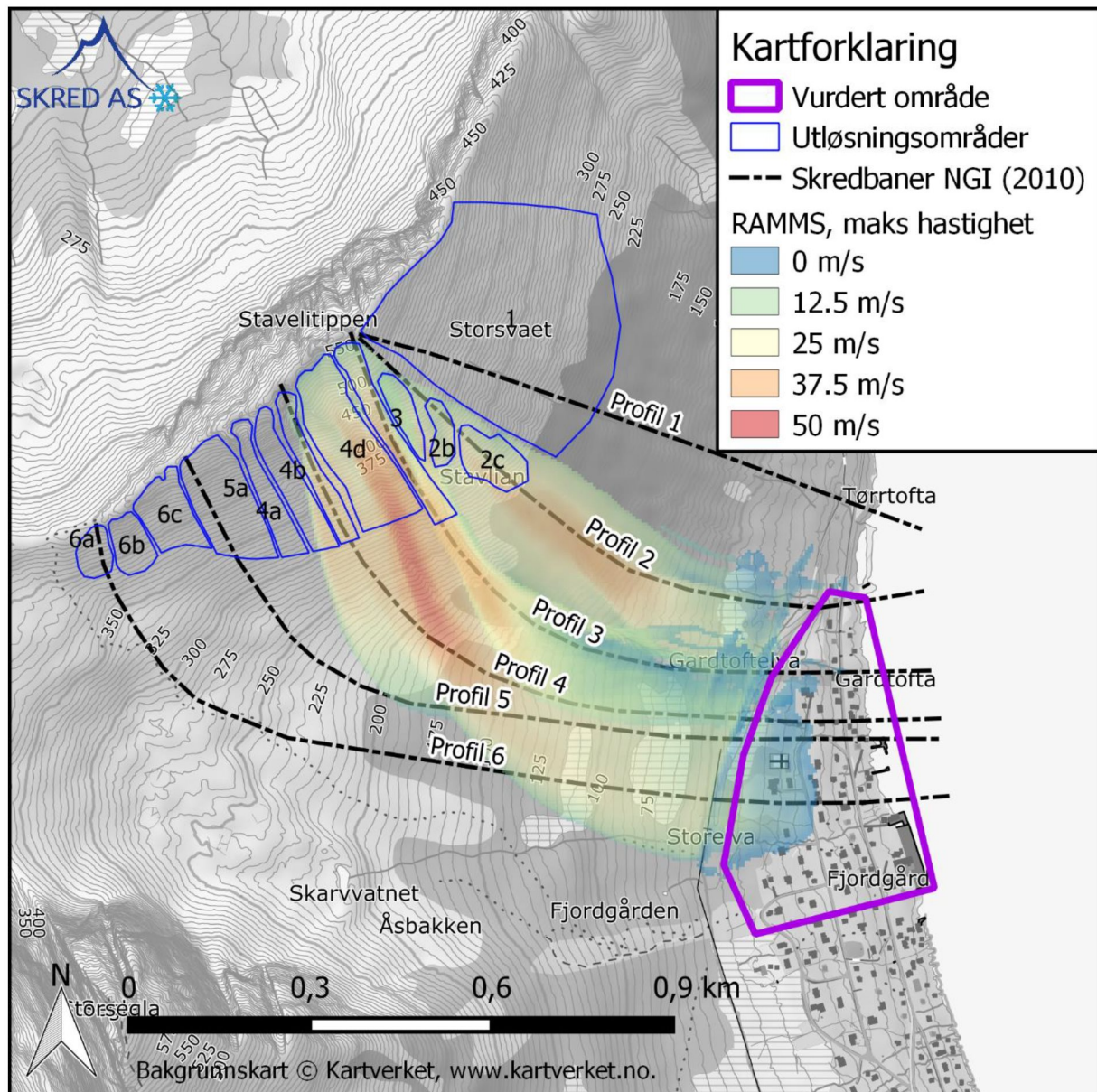


Figur 9: Sammenlikning av ny (2020) og gammel (2017) terrengmodell omtrent ved profil 6.

### 5.3 Vurdere terrenginngrep og skredbevegelse

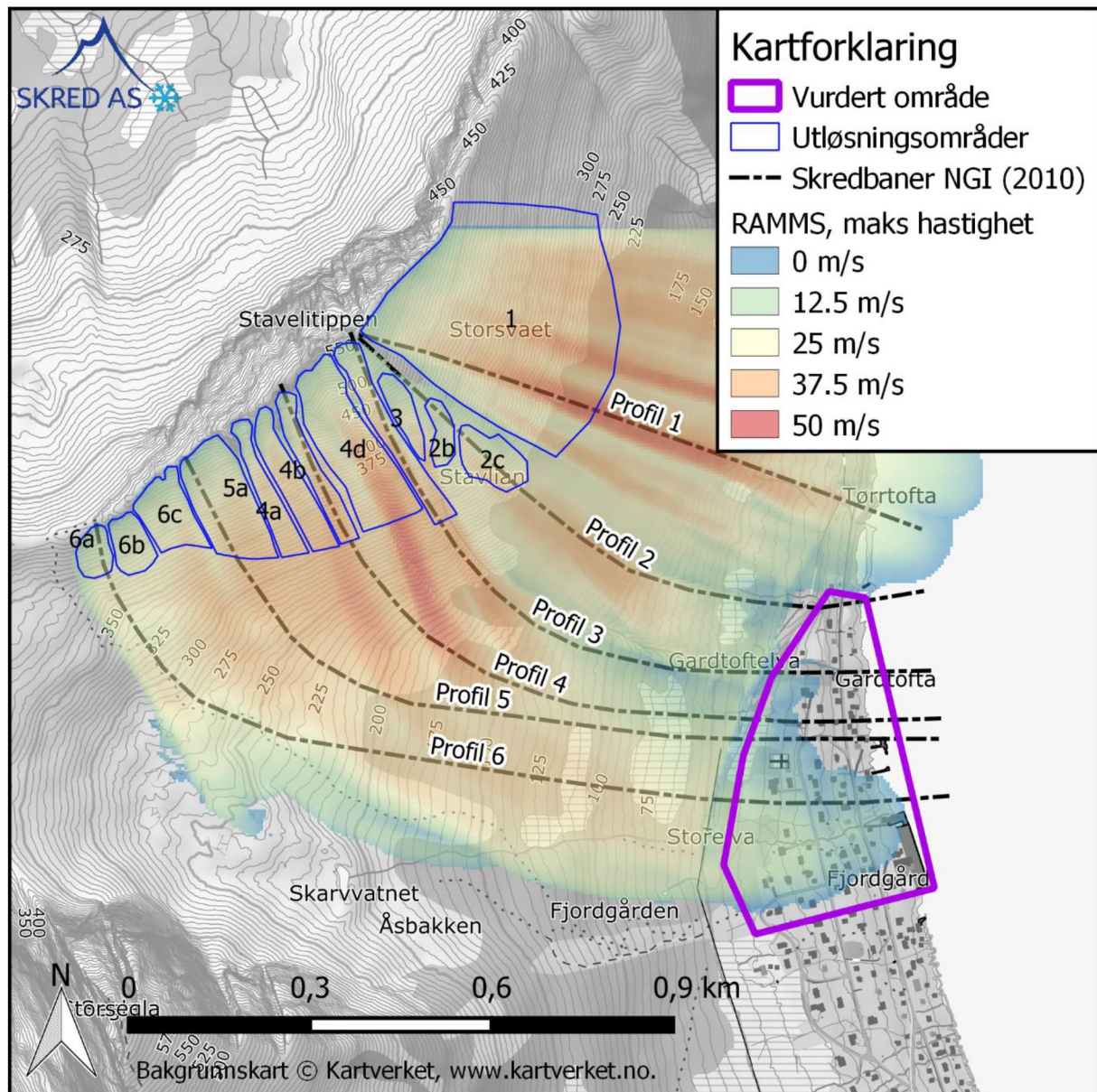
Som et ledd i å verifisere effekten av fangvollen er dimensjonerende skred for de ulike scenarioene med gjentaksintervall  $\geq 1/100$ ,  $\geq 1/333$  og  $\geq 1/1000$  modellert i RAMMS::Avalanche. Modifisert terrengmodell med tiltak, som beskrevet i kap. 1.3.2, er benyttet, og det er kjørt simuleringer med en oppløsning på 5 m x 5 m. Resultatene er sammenliknet med beregninger utført for en situasjon uten voll.

Oppløsningen på 5 m x 5 m gjør at fangvollen ikke blir like bratt i modellen som i virkeligheten, og RAMMS har heller ingen fullverdig funksjon for å beregne energitap under en kollisjon med en vertikal voll vinkelrett på skredretningen. Dette gjør at beregnede hastigheter og flytehyder i forkant av vollen blir overestimert, med mulig overtopping av vollen som resultat (Bartelt, et al., 2017).



Figur 10: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for utløsningsområdene 1, 2abc og 3+4d for designscenario 1/333 i en situasjon med ny voll (5x5m oppløsning). Resultatet viser en vesentlig reduksjon av utløp og hastigheter nedenfor vollen, sammenliknet med en situasjon uten voll (Figur 6).

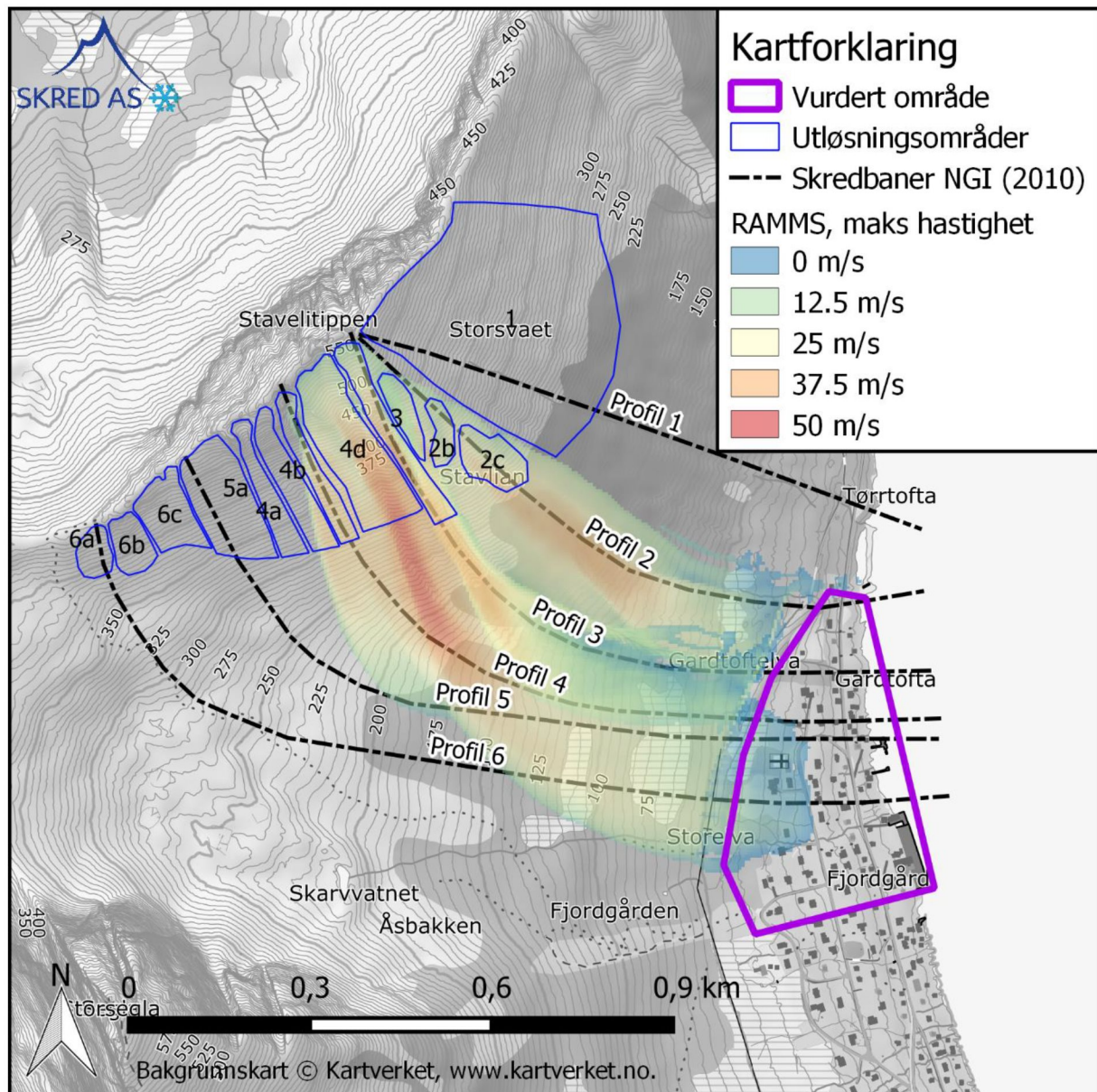




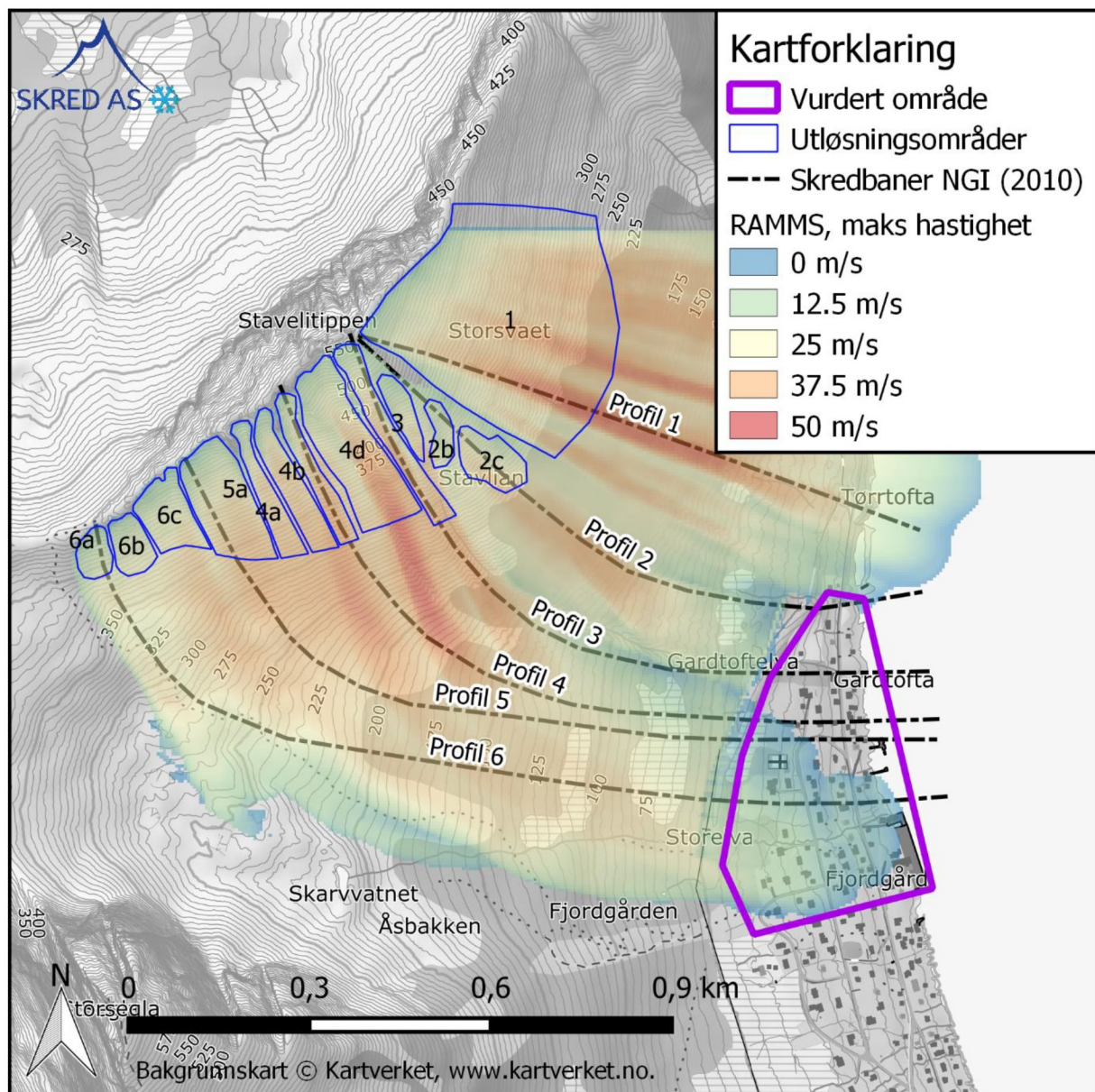
Figur 11: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for alle utløsningsområdene for designscenario 1/1000 i en situasjon med voll (5x5m oppløsning). Resultatet viser en reduksjon av utløp og hastigheter nedenfor vollen, sammenliknet med en situasjon uten voll (Figur 7).

I tillegg er det kjørt beregninger med terrengmodell uten tiltak, med en implementert voll (dam) på 12,5 m på lokasjonen for ny skredvoll, som beskrevet i RAMMS brukermanual, side 65 (Bartelt, et al., 2017). Høyden på vollen er noe redusert fra prosjektert og målt høyde for å ta hensyn til snø i terrenget, noe som er tatt hensyn til i prosjekteringen. Modellresultatene avviker ikke i vesentlig grad fra de med implementert voll i terrengmodellen.









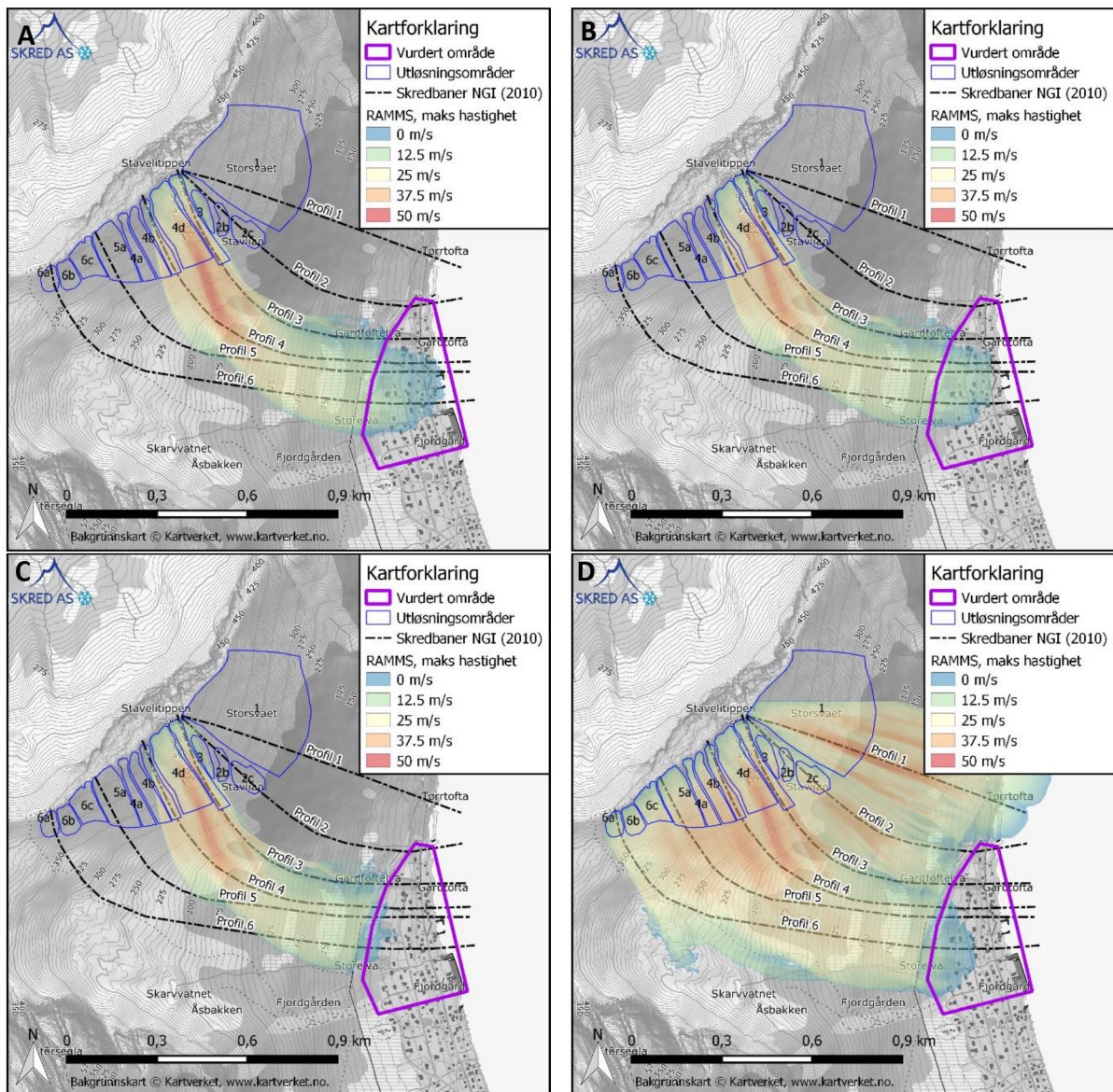
Figur 13: Beregnet maksimal hastighet på skredmasser for alle utløsningsområdene i designscenario 1/1000 i en situasjon modellert med en 12.5 vertikal voll (5x5m oppløsning). Resultatet er sammenliknbare med resultatene i Figur 11.

Til tross for usikkerhetene rundt geometrien på vollen og oppløsning og svakheter i modellen viser resultatene en vesentlig reduksjon av modellerte hastigheter og utbredelse for 1/333 scenarioene, men også 1/1000 scenarioet. Dette underbygger at faresonene kan reduseres noe.

For å bedre fremstille vollens geometri i terrengmodellen, ble det også gjennomført simuleringer med 2 m x 2 m. RAMMS::Avalanche simuleringer med så fin oppløsning gjør at modellerte hastigheter og skredutløp underestimeres litt i forhold til en oppløsning på 5 m x 5 m. Dette gjør at effekten av vollen ikke kan sammenliknes direkte på grunn av at vi kan ha



noe avvik fra dimensjonerende hastigheter og flytehyder, men som vi ser av Figur 14, har vollen en vesentlig risikoreduserende effekt.



Figur 14: A) Modellert skredutløp for løснеområde 3 + 4d for et 1/333 scenario uten voll med 5x5 m oppløsning på terrenngmodellen. B) Modellert skredutløp for løснеområde 3 + 4d for et 1/333 scenario uten voll med 2x2 m oppløsning på terrenngmodellen. Resultatet er sammenliknbart med A, men har noe mindre utstrekning og avvikende hastigheter. C) Modellert skredutløp for løснеområde 3 + 4d for et 1/333 scenario med voll og 2x2 m oppløsning på terrenngmodellen. D) Modellert skredutløp for et 1/1000 scenario med voll og 2x2 m oppløsning på terrenngmodellen.

I designregler for voll mot snøskred, beskrevet i Johannesson, Gauer, Issler, & Lied (2009), er det beskrevet at et skred kan avbøyes 20° inn bak enden på en fangvoll, sammenliknet med skredretningen. Plassering av søndre avgrensning av vollen har under prosjekteringen tatt hensyn til dette i forhold til dimensjonerende skred ( $\geq 1/333$ ), mens dimensjonerende

skred ikke har stor nok utstrekning til at dette gir utslag på faresonen ( $\geq 1/333$ ) ved den nordlige avgrensningen av vollen.

#### 5.4 Vurdere effekten av multiple hendelser

En fangvoll er avhengig av full kapasitet for å fungere etter hensikten og stoppe et dimensjonerende skred. Det er en kjent sak at gjentakende skred i samme skredbane kan fylle opp magasineringsvolumet ovenfor vollen, noe som gjør at effekten av skredvollen gradvis reduseres. Dette er hyppigere et problem i mindre, kanaliserte skredbaner hvor skred løsner med høy frekvens hver vinter, men kan også bli en problemstilling for sjeldnere skred.

Det er ingen retningslinjer eller krav som beskriver at vollen må stå imot flere dimensjonerende skred samme sesong. For Fjordgård sitt tilfelle vil mindre skred fra deler av løснеområdene mest sannsynlig ikke ha påvirkning på effekten av vollen, da dimensjonene er store, og magasinet er beregnet å ha god kapasitet (Skred AS, 2018). Mindre snøskred som ikke når vollen vil kunne ha en positiv effekt, ettersom løśnieområdene avlastes og eventuelle svake lag fjernes.

I et tilfelle hvor ett eller flere store skred når vollen og vesentlige deler av magasinivolumet fylles opp, bør effekten av vollen på nye skred samme sesong vurderes. Dette ligger til grunn for at faresonen med årlig sannsynlighet  $\geq 1/1000$  ikke er redusert ytterligere for en situasjon med voll, sammenliknet med situasjonen uten voll, da en ekstrem skredsituasjon med sannsynlighet  $1/1000$  like godt kan være flere påfølgende og relativt store skred samme sesong, kontra en enkelt ekstremhendelse. Spesielt gjelder dette Fjordgård hvor mange løśnieområder samles i omtrent samme skredbane nede ved bebyggelsen.

Det anbefales derfor å utarbeide en rutine for oppfølging av vollen vinterstid, spesielt i etterkant av kraftig uvær fra vestlig sektor og i etterkant av skredhendelser. I slike tilfeller kan det være nødvendig, dersom forholdene tillater det, å fjerne snømasser som måtte ha fylt deler av magasinet, eller å evakuere mest utsatt bebyggelse dersom forholdene tilsier at det kan komme en ny ekstremhendelse.

#### 5.5 Vurdere om tiltaket har ført til nye løśnieområder

Snøskred kan oppstå i terreng som er  $\geq 27^\circ$ . Nedsiden av vollen er stedvis bratt nok til at den kan fungere som mulig løøgneområde for mindre snøskred, da det er en høydeforskjell på 5-15 m og sammenhengende brattere enn  $27^\circ$  langs store deler av vollen. Dette gjør at snøskred fra vollen og ned mot bebyggelsen ikke kan utelukkes. I dag er det en del vegetasjon i nedre deler av vollen, som består av rester av tidligere etablert sikringstiltak på stedet, noe som reduserer sannsynligheten for utløsning av skred, men vi vurderer at dette kan være aktuelt for en  $\geq 1/333$  hendelse langs vollen. Eventuelle skred som starter på vollen vil ha svært begrenset rekkevidde, og ikke nå helt ned mot eksisterende bebyggelse.





*Figur 15: Eksempel på flakskred på voll-lignende formasjon på Svalbard, vinteren 2020. Kilde: RegObs*

## 5.6 Vurdering av skredvind

Begrepet skredvind brukes om det markerte lufttrykket som ofte oppstår i forbindelse med store snøskred. Når tørrsnøskred oppnår en hastighet på ca. 20 m/s, dannes en skredsky, dvs. en suspensjon av snøpartikler rundt den faste kjernen av skredet. Skredskyen beveger seg nedover fjellsiden med hastigheter i samme størrelsesorden som hastigheten av de faste skredmassene. Grunnet lavere tetthet og lav friksjon mot bakken forsetter skredskyen nedover med stor hastighet selv etter av de faste skredmassene har mistet fart eller stoppet opp. Skredvinden er altså lufttrykket som registreres i forbindelse med skredskyen, normalt sterkest nedenfor (dvs. foran) fronten av de faste skredmassene og noe svakere ut på sidene.

Beregningene utført i RAMMS::Avalanche tilsier at skredmassene overstiger en hastighet på ca. 20 m/s. Skredmassenes hastighet, samt fjellsidens profil, tilsier at sekundære effekter av snøskred (snøskredvind/gufs) er en aktuell problemstilling.

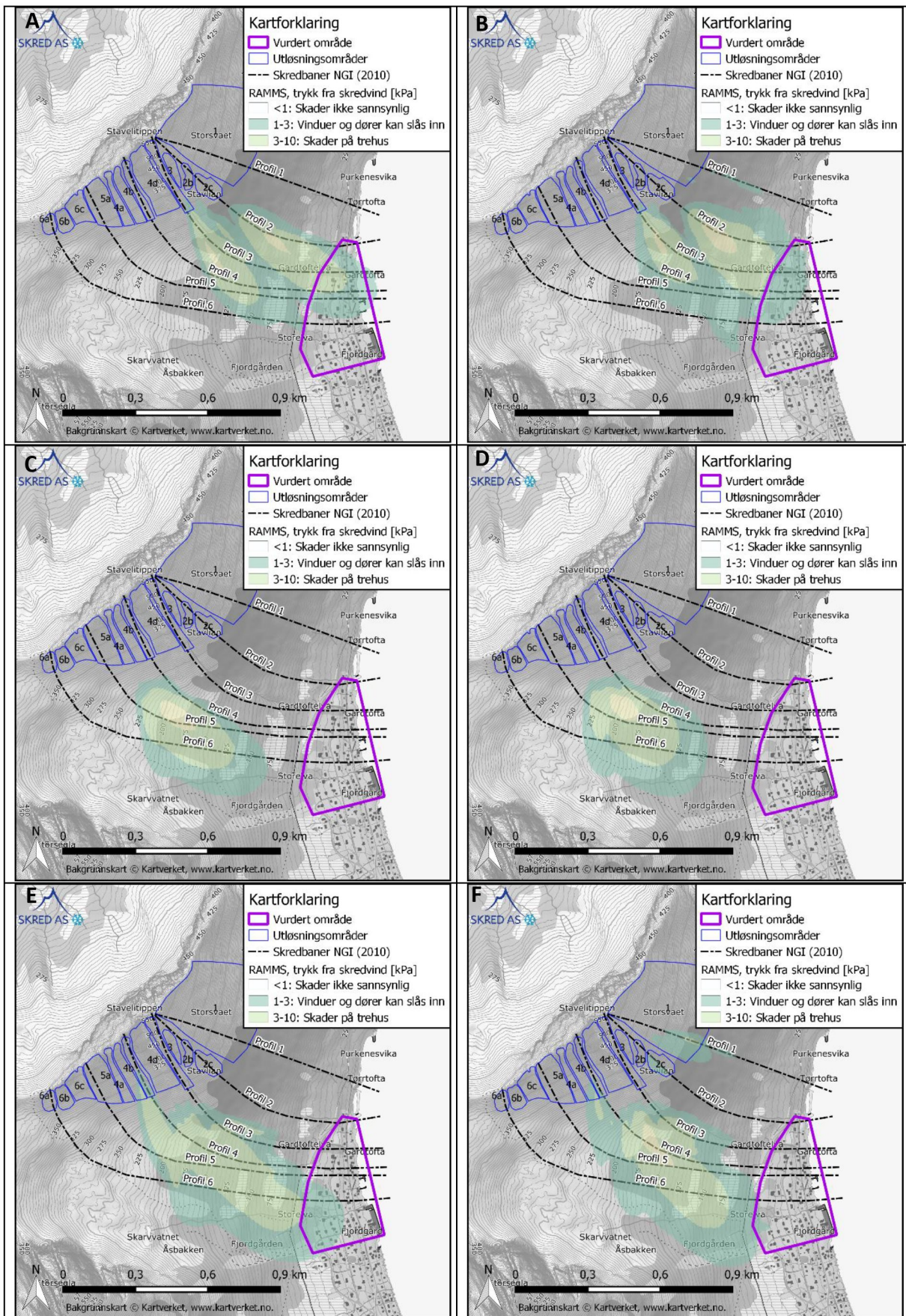
Det finnes i skrivende stund ingen validerte programverktøy for nøyaktig beregning av kreftene fra skredvind. En utvidet versjon av RAMMS-programvaren (RAMMS::Extended), som skal gjøre det mulig å anslå skredvindkreftene, er under utprøving. Vi har tilgang til en beta-utgave av modellen og har benyttet den for å beregne skredvind i det aktuelle området. Valget av flere viktige inngangsparametere er ikke underbygd av tilstrekkelig forskning, samt at det kun er mulig å utføre beregninger med 5 x 5 m oppløsning, gjør at det er usikkerhet i resultatet.

Verdien beregnet ved hjelp av RAMMS::Extended representerer trykket beregnet på bakkenivået. Ettersom både densiteten og hastigheten av skredskyen er større i den nedre delen av den, og avtar med høyden, kan beregnede verdier anslås å være maksverdier.



RAMMS::Extended er brukt for å beregne skredvind som følge av dimensjonerende skredhendelse for scenarioene med årlig sannsynlighet 1/333 med og uten voll, og løснеområdene 2abc (Figur 16 A+B), 3+4d (Figur 16 C+D), og 4abc (Figur 16 E+F). Modellresultatene viser at beregnet skredvind fra løснеområdene 3, 4 og 5 ikke i like stor grad som de faste massene avbøyes ned langs fjellsiden, men har noe lengre utbredelse mot sør, også syd for oppført voll (Figur 16E+F). Det er derfor kun helt i søndre del av det vurderte området at den beregnede skredvinden fra disse løснеområdene har større utbredelse enn beregnet fra de faste massene.

Når det gjelder løснеområde 2abc viser beregninger av de faste massene uten voll at disse akkurat når ned til vestre områdeavgrensning (Figur 6), mens skredvind beregningene fra løснеområde 2c brer seg helt ut i fjorden, både uten og med voll (Figur 16 A+B). På bakgrunn av at dette er blant de minste løснеområdene, og starter langt ned i fjellsiden, er vi usikre på hvor reell skredvinden fra dette løснеområdet er. Det er også andre avvik mellom modelleringsresultatene med og uten voll som gjør at vi ikke legger vesentlig vekt på modellresultatene, spesielt sett i lys av at det er en betamodell hvor vi ikke kjenner alle parameter, og som ikke er kalibrert for norske forhold.



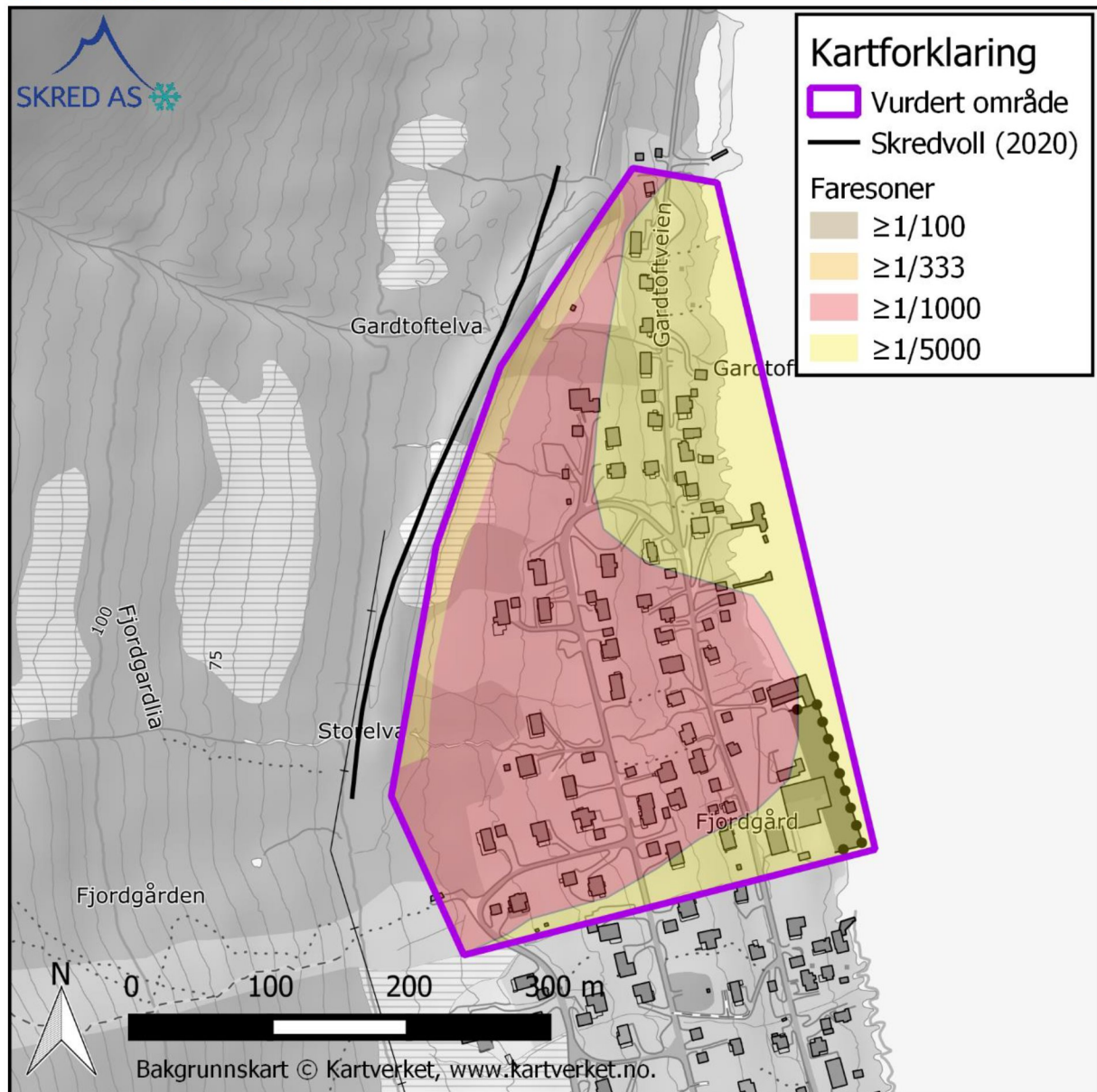
Figur 16: Modellert skredvind ved RAMMS::Extended. For beskrivelse, se forrige avsnitt.



Faresonene har fått en liten buffer grunnet mulig skredvind, sammenliknet med faste modellerte masser, men ikke like omfattende som modellert resultat.

Beregninger av skredvind med voll viser en reduksjon i trykk og utstrekning, men det er store usikkerheter knyttet til modellresultatene. På bakgrunn av en helhetlig vurdering vurderes det at vollen sikrer mot skredvind med skadepotensiale for en  $\geq 1/333$  hendelse.

## 5.7 Faresoner med tiltak



Figur 17: Faresoner for skred etter utbygging av ny voll. Vollen vurderes å sikre bebyggelsen mot en  $\geq 1/333$  hendelse. Mulighet for større skred enn vollen er dimensjonert for, eller flere skred som gradvis fyller opp magasineringsvolumet i forkant av vollen, gjør at faresonen for  $1/1000$  ikke reduseres ytterligere.



## 6 Konklusjon

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har nettopp ferdigstilt en voll for sikring mot snøskred for skredutsatt bebyggelse i Fjordgård, Senja kommune. I den forbindelse har Skred AS utarbeidet faresoner for en situasjon uten sikringstiltak og etter at dagens voll er ferdigstilt. Faresoner er utarbeidet med for skred med årlig nominell sannsynlighet  $\geq 1/100$ ,  $\geq 1/333$ ,  $\geq 1/1000$  og  $\geq 1/5000$ .

I en situasjon uten sikringstiltak er det vurdert at store deler av bebyggelsen på Fjordgård ligger innenfor  $\geq 1/333$  og  $\geq 1/1000$  faresonen, tre hus ligger innenfor  $\geq 1/100$  faresonen, mens hele det vurderte området ligger innenfor  $\geq 1/5000$  faresonen for snøskred og skredvind.

Den nye vollen er prosjektert for å stå imot et dimensjonerende skred med gjentakintervall  $\geq 1/333$ . Vollens effekt på faste masser og skredvind er vurdert opp mot dimensjonerende skred med årlig sannsynlighet  $\geq 1/333$  og  $\geq 1/1000$  ved bruk av RAMMS. På bakgrunn av en helhetlig vurdering vurderes det at vollen sikrer eksisterende bebyggelse mot snøskred og skredvind med skadepotensiale for en  $\geq 1/333$  hendelse. Sammenhengende områder brattere enn  $27^\circ$  på nedsiden av vollen gjør at mindre utglidninger av snø ikke kan utelukkes, men disse vurderes ikke å nå ned til bebyggelsen. Det er også vanskelig å utelukke at noe overtopping av mindre masser kan forekomme i en ekstremhendelse. Det er derfor en faresone for årlig sannsynlighet  $\geq 1/333$  også på nedsiden av vollen.

Store deler av bebyggelsen ligger fortsatt innenfor  $\geq 1/1000$  faresonen, og hele bebyggelsen ligger innenfor faresonen for skred med årlig sannsynlighet  $\geq 1/5000$ . Dette på bakgrunn av muligheten for multiple skredhendelser, hvor skredvollens effekt reduseres som følge oppfylling av skredmasser i forkant av vollen, og mulighet for større skred enn vollen er dimensjonert for.

## 7 Referanser

- Bartelt, P., Bühler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Salz, M., Schneider, M., & Schumacher, L. (2017). *RAMMS::Avalanche user manual v. 1.7.0*. SLF/WSL.
- Christen, M., Kowalski, J., & Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Reg. Sci. Technol.*, ss. 63, 1–14.
- Johannesson, T., Gauer, P., Issler, P., & Lied, K. (2009). *The design of avalanche protection dams*.
- NGI. (1983). *Vurdering av skredfare og forslag til sikring av området*. NGI Rapport 81446-2, datert 1983-11-30.
- NGI. (2010). *Fjordgård nord. Utredning av mulige sikringstiltak mot skred fra Stavlitippen*. NGI rapport 20051396-01-6-R.
- Skred AS. (2016). *Dimensjonering av sikringstiltak Fjordgård*. Skred AS Rapport 16071-01-2, datert 2016-09-18.
- Skred AS. (2018). *Forslag til detaljprosjektering av sikringstiltak*. Skred AS rapport 16071-04-4, datert 2018-01-28.
- Terratec AS. (2017). *Laserskanning for detaljert høydemodell. NDH Berg 2 pkt 2017*.