EKSTERN RAPPORT

Nr. 20/2020

FOU 80607 - RAMMS::Debris Flow for beregning av jordskred

Casestudier og anbefalinger for bruk

Skred AS

NVE Ekstern rapport nr. 20/2020

FOU 80607 - RAMMS::Debris Flow for beregning av jordskred – Casestudier og anbefalinger for bruk

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Jaran Wasrud, NVE

Forfatter: Andrea Taurisano, Skred AS

Forsidefotofotograf: Jaran Wasrud, NVE
Jordskred i Veikleenget, Nord-Fron kommune

ISBN: 978-82-410-2067-4

ISSN: 2535-8235

Sammendrag: Hypotesen i denne studien har vært at det er mulig å anbefale en relativt enkel fremgangsmåte og et tilnærmet standardisert oppsett for RAMMS::Debris Flow versjon 1.7.20 som gir akseptable resultater for ikke-kanaliserte jordskred under norske forhold, når modellen brukes i skredfarekartlegging uten kalibreringsmuligheter.

Resultater viser at RAMMS::Debris Flow kan gi veldig fornuftige resultater ved modellering av ikke kanaliserte jordskred som de registrert i morenemasser i Norge. En akseptabel til veldig god match mellom modellert og registrert utløp ble oppnådd i alle testområder med kjent jordskredhistorikk.

Resultatene viser at både større og mindre jordskred kan modelleres på tilfredsstillende vis med standard friksjonsparametere, men ved å ta i betraktning erosjonen av masser i skredbanen med erosjonsrate satt for fast lagrede sedimenter.

Rapporten anbefaler en standard fremgangsmåte som gir akseptable resultater for de aller fleste skredbanene.

Emneord: RAMMS, jordskred, skredfareutredning, modellering

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthuns gate 29

Postboks 5091 Majorstuen

0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95

E-post: nve@nve.no

Internett: www.nve.no

September, 2020

Forord

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

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

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

Denne rapporten presenterer resultater av casestrudier gjort av skred i Norge og anbefalinger for bruk av programmet RAMMS Debris Flow for modellering av jordskred. Arbeidet er utført av Skred AS.

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

Oslo, oktober 2020

Anne Britt Leifseth

direktør

Hallvard Berg

seksjonssjef

Rapport

Oppdragsgiver	Navn Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)	Kontaktperson Jaran Wasrud
Oppdrag	Nummer og navn 20130 FoU – RAMMS::Debris Flow for beregning av jordskred	Oppdragsleder Andrea Taurisano
Dokument	Nummer 20130-01-1 Utført av Andrea Taurisano	Dato 2020-07-06 Kontrollert av Kalle Kronholm

Casestudie og anbefalinger for bruk av RAMMS::Debris Flow for beregning av jordskred

Sammendrag

Hypotesen i denne studien har vært at det er mulig å anbefale en relativt enkel fremgangsmåte og et tilnærmet standardisert oppsett for RAMMS::Debris Flow versjon 1.7.20 som gir akseptable resultater for ikke-kanaliserte jordskred under norske forhold, når modellen brukes i skredfarekartlegging uten kalibreringsmuligheter.

Resultater viser at RAMMS::Debris Flow kan gi veldig fornuftige resultater ved modellering av ikke kanaliserte jordskred som de registrert i morenemasser i Norge. En akseptabel til veldig god match mellom modellert og registrert utløp ble oppnådd i alle testområder med kjent jordskredhistorikk.

Resultatene viser at både større og mindre jordskred kan modelleres på tilfredsstillende vis med standard friksjonsparametere, men ved å ta i betraktning erosjonen av masser i skredbanen med erosjonsrate satt for fast lagrede sedimenter.

En standard fremgangsmåte og et sett anbefalinger blir foreslått, som gir akseptable resultater for de aller fleste skredbanene.

Innhold

1 Innledning 9
1.1 Bakgrunn og overordnet mål med studien 9
1.2 Problemstilling og hypotese 9

2 Om RAMMS::Debris Flow 11
2.1.1 Løsneområdet («Release area» i RAMMS) 11
2.1.2 Generelle simuleringsparametere («Simulation prameters» i RAMMS) 11
2.1.3 Utløsningsparametere («Release prameters» i RAMMS) 12
2.1.4 Friksjonsparametere («Mu/Xi Friction prameters» i RAMMS) 12
2.1.5 Erosjon («Erosion parameters» i RAMMS) 13

3 Metodikk i casestudien 15
3.1 Tegning av løsneområder 15
3.2 Tegning av erosjonspolygoner 16
3.3 Inngangsparametere anvendt i simuleringer med RAMMS::Debris Flow 17

4 Casestudier 19
4.1 Valg av caseområder 19
4.2 Presentasjon og vurdering av resultater: Hva er «godt nok» 20
4.3 Case 1 – Viromdalen i Sunndal 22
4.3.1 Kort beskrivelse 22
4.3.2 Modelleringsresultater 23
4.3.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 24
4.4 Case 2 – Årset i Ørsta 26
4.4.1 Kort beskrivelse 26
4.4.2 Modelleringsresultater 28
4.4.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 29
4.5 Case 3 – Borga i Rauma 31
4.5.1 Kort beskrivelse 31
4.5.2 Modelleringsresultater 34
4.5.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 35
4.6 Case 4 – Marsteinbakkane i Gloppen 37
4.6.1 Kort beskrivelse 37
4.6.2 Modelleringsresultater 39
4.6.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 41
4.7 Case 5 – Yri i Stryn 42
4.7.1 Kort beskrivelse 42
4.7.2 Modelleringsresultater 44
4.7.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 45
4.8 Case 6 – Jølstra i Jølster 46
4.8.1 Kort beskrivelse 46
4.8.2 Modelleringsresultater 48
4.8.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 49

4.9 Case 7 – Krundalen i Luster 50
4.9.1 Kort beskrivelse 50
4.9.2 Modelleringsresultater 52
4.9.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 53
4.10 Case 8 – Veikleenget i Nord-Fron 54
4.10.1 Kort beskrivelse 54
4.10.2 Modelleringsresultater 55
4.10.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 57
4.11 Case 9 – Skjeggestad i Ringebu 58
4.11.1 Kort beskrivelse 58
4.11.2 Modelleringsresultater 59
4.11.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 61
4.12 Case 10 – Botterud i Øyer 62
4.12.1 Kort beskrivelse 62
4.12.2 Modelleringsresultater 63
4.12.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 66
4.13 Case 11 – Svenskeplassen i Nord-Aurdal 67
4.13.1 Kort beskrivelse 67
4.13.2 Modelleringsresultater 68
4.13.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater 71

5 Diskusjon 72

6 Konklusjon 76

7 Referanseliste 77

Figurer

Figur 1: RAMMS::Debris Flows fane med innstillinger for erosjonen i skredbanen. De to feltene i røde ellipser er variert i modellkjøringene med erosjonsfunksjonaliteten aktivert. 14
Figur 2: Gule polygoner viser digitaliserte løsneområder for et større skred (Årset, A) og for et litt mindre skred (Svenskeplassen, B). Pilene viser antatte løsneområder for tidligere jordskred. 16
Figur 3: Erosjonspolygoner (rød farge) for skredet i Viromdalen (A) og to skred ved Borga (B). Tegningen av erosjonspolygoner er mer styrt av tegnene etter tidligere jordskred i resten av fjellsidene, enn av tegnene i den enkelte modellerte skredbanen. 17
Figur 4: Lokalisering av de valgte case-områdene, nummerert som i 20
Figur 5: Oversiktskart og flyfoto av skredet i Viromdalen, avgrenset av den blå linja (flyfoto fra www.norgeibilder.no). Løsneområdet av et lignende, eldre jordskred er vist av pilen. 22
Figur 6: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard

friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 23
Figur 7: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 24
Figur 8: Oversiktskart og flyfoto av skredet ved Årset, avgrenset av den blå linja (flyfoto fra www.norgeibilder.no). 26
Figur 9: Skyggekart av fjellsiden rett vest for området der skredet ved Årset løsnet. Det er tegn på at flere lignende skred tidligere startet i samme høyde (røde piler).....27
Figur 10: Skyggekart av fjellsiden der skredet ved Årset løsnet, med tegnet erosjonspolygon. 27
Figur 11: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 28
Figur 12: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 29
Figur 13: Oversiktskart og flyfoto av skredene ved Borga (flyfoto fra www.norgeibilder.no). 31
Figur 14: Skyggekart av fjellsiden der det største skredet ved Borga løsnet. Det er tegn på at flere skred tidligere startet i omtrent samme høyde (røde piler). 32
Figur 15: Skyggekart av fjellsiden ved det største skredet ved Borga, med erosjonspolygon. 32
Figur 16: Skygge- og helningskart av fjellsiden ved det minste skredet ved Borga, med erosjonspolygon. 33
Figur 17: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 34
Figur 18: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 35

Figur 19: Oversiktskart og flyfoto av skredet ved Marsteinbakkane, avgrenset av den blå linja (flyfoto fra www.norgeibilder.no). 37
Figur 20: Skyggekart av fjellsiden rett sør for der skredet ved Marsteinbakkane løsnet. Det er tegn på at flere lignende skred tidligere startet i samme høyde (røde piler). 38
Figur 21: Skyggekart av skredet ved Marsteinbakkane, med tegnet erosjonspolygon. 38
Figur 22: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow utført med 5 m DTM. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). Beregningen har 5 x 5 m oppløsning som de andre i denne rapporten, men resultatet i denne og andre små skredbaner synes noe mer pikselert pga. zoomfaktor. 39
Figur 23: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow utført med 5 m DTM. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 40
Figur 24: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow utført med 1 m DTM. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 40
Figur 25: Oversiktskart og flyfoto av skredet ved Yri, avgrenset av den blå linja (flyfoto fra www.norgeibilder.no). 42
Figur 26: Skyggekart av skredet ved Yri. Det er tegn på at lignende skred tidligere startet i ca. samme høyde (røde piler), i tillegg til skred som gikk ned fra høyere oppe i fjellet (flere spor rett nord for Yri-skredet). 43
Figur 27: Skyggekart av skredet ved Yri, med tegnet erosjonspolygon. 43
Figur 28: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 44
Figur 29: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 45
Figur 30: Oversiktskart og georeferert flybilde av noen av skredene ved Jølstra, oversendt av NVE (flyfotoet i bakgrunnen er fra www.norgeibilder.no). 46

Figur 31: Skyggekart av skredene ved Jølstra. Det er tegn på at lignende skred tidligere startet i ca. samme høyde (røde piler).....47
Figur 32: Skyggekart av skredene ved Jølstra, med tegnet erosjonspolygon.....47
Figur 33: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 48
Figur 34: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 49
Figur 35: Oversiktskart og flybilde av skredet i Krundalen (flyfoto fra www.norgeibilder.no). 50
Figur 36: Flyfoto av skredet i Krundalen. Det er tegn på mange eldre jordskred utløst i omtrent samme høyde rett nedenfor fjellskrentene (røde piler). 51
Figur 37: Skyggekart av skredet i Krundalen, med tegnet erosjonspolygon. 51
Figur 38: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 52
Figur 39: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 53
Figur 40: Oversiktskart og flybilde av skredet ved Veikleenget (flyfotoet er fra www.norgeibilder.no). 54
Figur 41: Skyggekart over skredet ved Veikleenget. Flere eldre jordskred ble tydeligvis utløst i samme høyde rett nedenfor fjellskrentene (røde piler). Dette skyggekartet er utarbeidet utfra LiDAR-data samlet i 2017, mens for modellering er det benyttet en DTM fra 2005, dvs. eldre enn både skredhendelsen vi forsøkte å etterregne og ledevollen synlig i figuren. 55
Figur 42: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 56

Figur 43: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 57
Figur 44: Oversiktskart og flybilde av skredet ved Skjeggestad i Ringebu (flyfoto fra www.norgeibilder.no). 58
Figur 45: Skyggekart over skredet ved Skjeggestad. Flere eldre jordskred ble tydeligvis utløst i samme høyde, ved knekkpunktet mellom slak dyrket mark og bratt skråning (røde piler). Dette skyggekartet er utarbeidet utfra LiDAR-data samlet i 2017, mens for modellering er det benyttet en DTM fra 2012, dvs. eldre skredhendelsen vi forsøkte å etterregne. 59
Figur 46: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 60
Figur 47: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 61
Figur 48: Oversiktskart og flybilde av skredet ved Botterud (flyfoto fra www.norgeibilder.no). 62
Figur 49: Skyggekart over skredet ved Botterud. Flere eldre jordskred ble tydeligvis utløst i ca. samme høyde (røde piler). I den hvite rammen er et utsnitt av helningskart, med oransje farge som indikerer terreng brattere enn 25° og rødt brattere enn 30°. 63
Figur 50: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 64
Figur 51: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 65
Figur 52: Sammenstilling av de beste modelleringsresultatene med 5 m og 1 m oppløsning. (A): 5 m oppløsning, standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde =

0,1 m/kPa («medium») og potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). (B): som i A, men med 1 m oppløsning. 65
Figur 52: Oversiktskart og flybilde av skredet ved Svenskeplassen (flyfoto fra www.norgeibilder.no). 67
Figur 53: Skyggekart over skredet ved Svenskeplassen. Flere eldre jordskred ble tydeligvis utløst i ca. samme høyde (røde piler). 68
Figur 54: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,05) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). 69
Figur 55: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). 70

Tabeller

Tabell 1: Anvendte parametere i de ulike beregningene med RAMMS::Debris Flow. 18
Tabell 2: Oversikt over case inkludert i denne studien (vist på kart i Figur 4). ID markert med stjerne (*) representerer mindre, lokale jordskred, mens de andre er større jordskred som bevegde seg over store deler av fjellsiden (Borga-case inneholder begge typer skred). 19
Tabell 3: Anbefalte parametere for modellering av jordskred med RAMMS::Debris Flow. 75

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og overordnet mål med studien

Skredfarevurdering og skredfarekartlegging er en krevende skjønnsmessig oppgave innbefattet med stor usikkerhet, spesielt når det gjelder vurderingen av sannsynligheten for skredutløsning og utløpet av eventuelle skred.

Bruk av dynamiske modeller for beregning av skredutløpet har i de siste årene etablert seg som et sentralt ledd i skredfarevurdering og skredfarekartlegging.

Dynamiske modeller utgjør kjernen av kommersiell programvare som f.eks. RAMMS::Avalanche (Christen m.fl., 2010) utviklet for snøskred, RAMMS::Debris Flow (Christen m.fl., 2012) for flomskred, eller RAMMS::Rockfall (Christen m.fl., 2012) og Rockyfor3D (Dorren, 2015) for steinsprang.

Dynamiske modeller krever generelt tilpasninger og kalibrering, selv når de anvendes for skredprosesser som de er utviklet og godt utprøvd for. Bruk for andre skredtyper byr på enda større usikkerhet. RAMMS::Debris Flow, som i Norge er det oftest anvendte modelleringsverktøyet for flomskred, har derfor vært veldig lite brukt for modellering av jordskred i åpne skråninger eller ikke-kanaliserte jordskred (heretter omtalt som jordskred).

Det overordnede målet med denne casestudien er å teste RAMMS::Debris Flow som modelleringsverktøy for jordskred under norske forhold, og gi anbefalinger til bruk av programvaren i skredfarevurdering og skredfarekartlegging der jordskred er en relevant skredtype.

Siden jordskred i deler av Norge er den mest aktuelle skredtypen og den som dimensjonerer skredfaresoner, kan anbefalingene fra denne studien direkte redusere usikkerheten i resultatet av skredfarekartlegging.

1.2 Problemstilling og hypotese

Resultatet av beregninger utført med RAMMS::Debris Flow avhenger av kombinasjonen av flere inngangsparametere, hvorav de viktigste er det mobiliserte volumet (arealet av løsneområdet x høyden av «blokken», når modellen brukes i «block release mode»), i tillegg til de to friksjonsparameterne μ («mu») og ξ («xi»). Plasseringen av løsneområdet i terrengmodellen og oppløsningen av terrengmodellen er også kjent for å påvirke resultatet, når de andre parameterne holdes konstant (Bühler m.fl., 2011; Krušić m.fl., 2019).

Det er ofte mulig å oppnå tilfredsstillende resultater ved «etterregning» av kjente skredhendelser, ved hjelp av gjentatte simuleringer med ulike kombinasjoner av parameterne nevnt ovenfor, når løsneområdet og gjerne skredvolumet er kjent.

I reelle skredfarekartleggingssituasjoner er det imidlertid sjeldent mulig å kalibrere modellen opp mot en kjent hendelse i samme fjellside, da slike hendelser sjeldent finnes. Og dersom man har en slik hendelse, er det vanskelig å si noe om hvilken årlig sannsynlighet hendelsen representerer.

Formålet ved denne studien er derfor ikke å bevise at det er mulig å perfekt etterregne reelle jordskred i RAMMS::Debris Flow.

Hypotesen i denne studien er at det er mulig å anbefale en relativt enkel fremgangsmåte og et tilnærmet standardisert oppsett for RAMMS::Debris Flow som gir akseptable resultater for jordskred for norske fjellsider og skråninger, når modellen brukes i skredfarekartlegging uten kalibreringsmuligheter.

I vurderingen av hva utgjør «akseptable resultater» tas det i betraktning at modelleringsresultater kun er et ledd i den skjønnsbaserte prosessen som fører til skredfaresoner, dvs. at det beregnede skredutløpet ikke direkte skal gjenspeiles i faresoner. Mer om dette er diskutert i avsnitt 4.2.

De to avsnittene ovenfor er en forutsetning for diskusjonen av de enkelte modelleringsresultatene og de generelle «funn» i prosjektet.

2 Om RAMMS::Debris Flow

RAMMS (Rapid Mass Movements Simulation) er et todimensjonalt numerisk simuleringsprogram som beregner massebevegelser over et tredimensjonalt terreng.

Alle RAMMS-moduler, inkl. RAMMS::Debris Flow (Christen m.fl., 2012), er utviklet i Sveits av WSL-institutt for snø og skredforskning SLF.

Den aktuelle RAMMS-modulen er utviklet for modellering av «torrent based debris flows and hillslope debris flows», dvs. både kanaliserte og ikke kanaliserte prosesser, hvorav de siste kan defineres som jordskred, men sistnevnte bruk har hittil vært lite testet i Norge.

Dette kapittelet omtaler RAMMS::Debris Flow's funksjoner av størst betydning for praktisk bruk av programvaren, men forutsetter at leseren allerede er kjent med RAMMS. For informasjon om den teoretiske bakgrunnen for verktøyet, *step-by-step* veiledning til utførelse av simuleringer, eller fordypning av temaene omtalt nedenfor, henvises det til Christen m.fl. (2012) og RAMMS::Debris Flow Manual.

I denne studien er versjon 1.7.20 av RAMMS::Debris Flow benyttet. Denne versjonen introduserer noen endringer ift. tidligere versjoner, beskrevet i manualen i lenken ovenfor.

2.1.1 Løsneområdet («Release area» i RAMMS)

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

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

Løsneområdet, eller løsneområdene, tegnes i utgangspunktet der en skjønnsmessig vurdering tilsier at utløsning av skred er mer sannsynlig. Hvis RAMMS::Debris Flow brukes for jordskred, vil løsneområder tegnes i terrengpartier med helning over 20 - 25° (NVE, 2020).

2.1.2 Generelle simuleringsparametere («Simulation prameters» i RAMMS)

De første to fanene brukeren skal gjennom, under forberedelse av en simulering i RAMMS::Debris Flow, inneholder generelle parametere. Dette er blant annet stopparameter (automatisk satt til 5% av total momentum), «end time» (satt til 1000 sek). «dump step» (satt til 5 sek), densitet (satt til 2.000 kg/m^3), m.fl. I de fleste tilfellene vil det være akseptabelt at disse parameterne holdes fast.

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

Effekten av valgt simuleringsoppløsning er diskutert i denne casestudien, dog litt mindre detaljert enn effekten av andre inngangsparametere.

2.1.3 Utløsningsparametere («Release prameters» i RAMMS)

Fanen for valg av utløsningsforholdene gir følgende to muligheter:

Hydrograph: Anbefales brukt for modellering av flomskred i løp der volumet som i ulike tidsintervall passerer gjennom et gitt snitt, er kjent f.eks. fra direkte målinger. Selv når RAMMS::Debris Flow brukes for å modellere flomskred, har brukeren sjeldent tilstrekkelig datagrunnlag til å kunne anvende denne funksjonen, om man bruker derfor ofte utløsningsmodaliteten nedenfor.

Block release: Volumet som forutsettes utløst, beregnes som produkt av løsneområdets areal og den gjennomsnittlige dybden for den utløste «blokken», som brukeren bestemmer.

2.1.4 Friksjonsparametere («Mu/Xi Friction prameters» i RAMMS)

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

Coulomb-friksjonen, μ («*mu*»), tar hensyn til friksjonen som oppstår på grunn av den faste delen av skredet og dominerer når skredet er nær ved å stoppe. Den hastighetsavhengige friksjonen, ξ («*xi*»), tar hensyn til friksjonen som oppstår som følger av de viskøse og turbulente kreftene. Denne friksjonen vil dominere når skredet har stor hastighet.

RAMMS::Debris Flows manual anbefaler å alltid utføre en første beregning med standardverdier for *mu* og *xi*. I versjon 1.7.20 av RAMMS::Debris Flow er standardverdiene *mu* = 0,2 og *xi* = 200 m/s^2 (i tidligere versjoner av programvaren var standardverdien for *mu* = 0,1).

Den totale friksjonsmotstanden i Voellmy-Salm modellen («S» i formelen nedenfor, fra Christen m.fl., 2012) er direkte proporsjonal med Coulomb-friksjon *mu* («μ») og omvendt proporsjonal med hastighetsavhengig friksjon *xi («ξ»)*. Friksjonsmotstanden avhenger i tillegg av skråningsvinkelen φ og densiteten av materialet i bevegelse ρ.

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

Dette betyr at en reduksjon av *mu* og en økning av *xi* i forhold til standardverdiene gir mindre total motstand og lenger skredutløp.

Dette gir store muligheter til å kalibrere modellen på kjente hendelser. I en praktisk *case* vil man imidlertid ha lite grunnlag for å velge en bestemt verdi for *mu* og en for *xi*. Øvelsen avsluttes generelt når man har oppnådd en tilfredsstillende match mellom beregnet skredutløp og registrert utløp. Man vet da ikke om hver av de valgte verdiene er «riktig», men kun at kombinasjonen av dem synes å gi et akseptabelt resultat – i den aktuelle banen. En sensitivitetsanalyse kan indikere hvilke parametere resultatet er mer eller mindre følsomt for, men vil ikke gi en fasit for verdiene en bør gi til de enkelte parameterne.

Denne casestudien inkluderer modellering av kjente hendelser ved ulike kombinasjoner av friksjonsparametere.

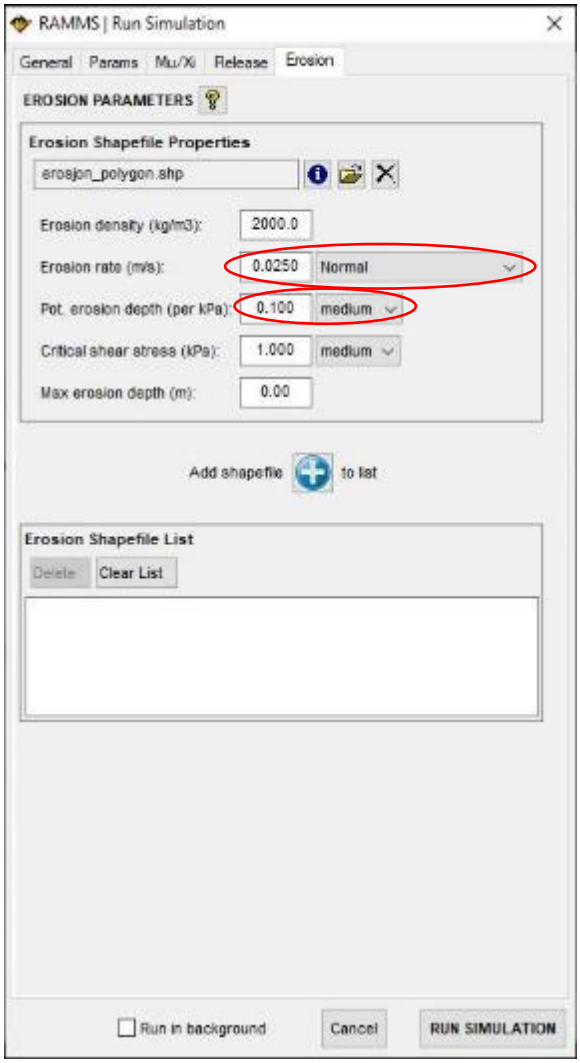
2.1.5 Erosjon («Erosion parameters» i RAMMS)

Versjon 1.7.20 av RAMMS::Debris Flow har en fane som gir mulighet å ta i betraktning erosjonen langs skredbanen (Figur 1). Dette gjøres ved å importere en eller flere Shape-filer tegnet i GIS med polygoner som markerer områder der erosjon tillates.

For hver importert Shape-fil med erosjonspolygoner, settes parametere som styrer omfanget av erosjon. De viktigste av disse parameterne er:

- «Erosion rate (m/s)», med standard verdier for normalt lagrede («normal»), løst lagrede («loose wet») og tett lagrede sedimenter («densely packed»).
- «Critical shear stress (kPa)», som angir en terskelverdi for skjærkrefter som fører til erosjon i skredbanen. Standardverdien for dette er 1 kPa, men den kan endres.
- «Potential erosion depth (m/kPa)», som angir hvor dyp erosjon hver kPa av skjærkraft skal kunne utløse. Denne varieres mellom «deep», «normal» og «shallow».
- «Max erosion depth (m)», der brukeren kan sette en maks grense for hvor dypt løsmassedekket kan eroderes, forutsatt at skjærkreftene er store nok.

Denne casestudien vil belyse effekten av erosjonen for resultatet av jordskredberegninger.



Figur 1: RAMMS::Debris Flows fane med innstillinger for erosjonen i skredbanen. De to feltene i røde ellipser er variert i modellkjøringene med erosjonsfunksjonaliteten aktivert.

3 Metodikk i casestudien

Prosjektet er gjennomført som en casestudie. Arbeidet har foregått etter følgende steg, hvorav de viktigste er nærmere beskrevet i avsnittene nedenfor:

- Utvalg av testlokaliteter (case)
- Nedlastning av 1 x 1 m DTM fra LiDAR-data (fra www.hoydedata.no) for case-områdene
- Produksjon av helningskart og skyggekart fra DTM, i GIS
- Digitalisering av historiske skredhendelser som utgjør «fasiten» i utløpsberegningene, i GIS.
- Tegning av løsneområder, i GIS
- Tegning av erosjonspolygoner, i GIS
- Oppsett av nytt prosjekt i RAMMS::Debris Flow og simuleringer utført som beskrevet i avsnitt 3.1.3 og i kapittel 4.
- Sammenstilling og vurdering av modellresultater i GIS

3.1 Tegning av løsneområder

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

Tegning av løsneområdene ble i denne studien gjort i GIS på bakgrunn av flyfoto, helningskart og skyggekart.

Selv når løsneområder skal tegnes for reelle skredhendelser, er det ofte vanskelig å avgrense løsneområder fra de øvre delene av skredbanene, der skred tok med seg løsmassedekket. Usikkerheten er naturligvis enda større når løsneområder skal tegnes i mulige skredbaner uten tegn på nylige jordskred. Et mål for denne studien er imidlertid nettopp å prøve ut en metodikk som kan brukes uten tilgang til kjente skredhendelser å kalibrere modellen mot.

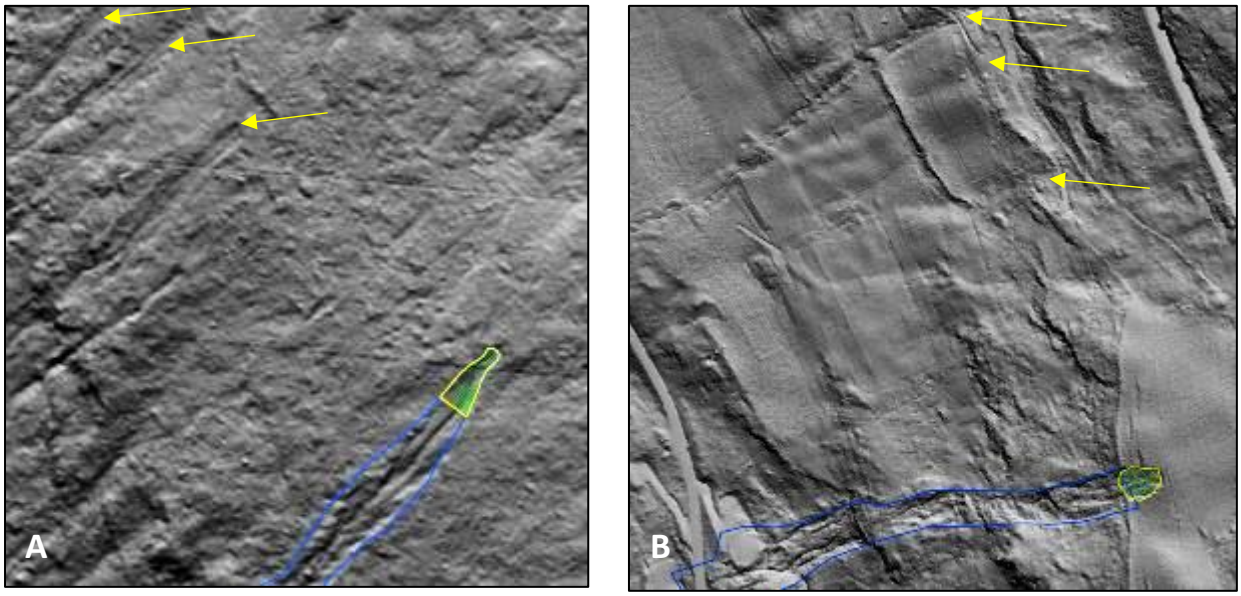
Derfor ble den følgende, enkle fremgangsmåten tentativt fulgt ved tegning av løsneområdene:

- Løsneområder tegnes i den delen av fjellsiden med terrenghelning > 20 - 25° der skredhistorikk, flyfoto og/eller skyggekart viser at tidligere jordskred (i samme fjellside) har startet. Bakgrunnen for dette forslaget er at vi antar det ikke er tilfeldig at jordskred i en fjellside ofte startet i omtrent samme høyde, da dette kan ha sammenheng med geologiske og hydrogeologiske forhold. I de fleste fjellsidene i denne studien viser skyggekartene tegn etter tidligere jordskred i omtrent samme høyde (Figur 2). I mangel på tidligere jordskred i fjellsiden plasseres løsneområder skjønnsmessig, f.eks. i terreng brattere enn 25° der vannavrenning konsentreres.
- I løsmasseskråninger med høydeforskjell på minst 300 - 400 m er løsneområdene tegnet med høydeforskjell på ca. 25 m (Figur 2A). Dette for å prøve å definere en enkel metodikk som baseres på empirisk kunnskap (observasjoner fra tidligere

jordskred) og som er anvendbar uten detaljkunnskap om den aktuelle skråningen eller mulige tidligere løsneområder der.

- I skråninger lavere enn ca. 300 m er løsneområdet tegnet med høydeforskjell på ca. 15 m (Figur 2B). Dette av samme grunn som ved punktet ovenfor, men med løsneområdestørrelse skjønnsmessig nedjustert for å passe bedre i mindre skråninger.

Løsneområdene i hver av case-områdene kunne ha blitt tegnet mer nøyaktig ved å i større grad benytte observasjoner og registreringer gjort i hver enkelt skredbane. Den ovenfor beskrevne metodikken ble imidlertid nettopp valgt fordi den er mindre avhengig av slik detaljkunnskap, som ofte mangler i reelle skredfarekartleggingssituasjoner.



Figur 2: Gule polygoner viser digitaliserte løsneområder for et større skred (Årset, A) og for et litt mindre skred (Svenskeplassen, B). Pilene viser antatte løsneområder for tidligere jordskred.

3.2 Tegning av erosjonspolygoner

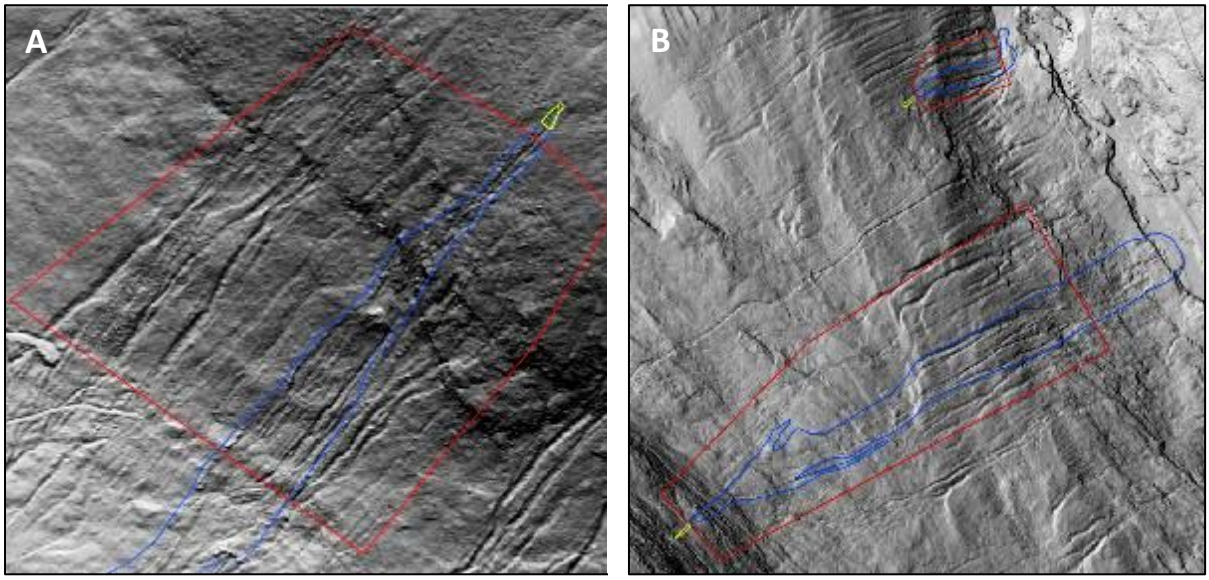
En relativt ny funksjonalitet i RAMMS::Debris Flow gjør det mulig å inkludere erosjon og medrivning ifb. flomskred, og antakelig jordskred. Erosjon starter i modellen når den beregnede skjærspenningen for skredet som simuleres, overskrider en viss terskelverdi. Delen av skredbanen der erosjon tillates, må brukeren avgrense ved en eller flere polygoner (Shape-fil), som beskrevet over.

Erosjonspolygonene ble generelt tegnet på bakgrunn av skyggekartanalyser over større deler av fjellsidene enn selve skredbanene som skulle modelleres. Dette for at resultatene i liten grad skulle styres av detaljert kunnskap om skredhendelsene som utgjør «fasiten», og i størst mulig grad baseres på tolkning av geomorfologiske elementer i fjellsidene der modellen anvendes. Denne tilnærmingen synes fornuftig i en reell skredfarekartleggingssituasjon.

Den øvre grensen av erosjonspolygonene er tegnet rett nedenfor løsneområdene, i de fleste tilfellene på bakgrunn av tegn i skyggekartet som tilsier at tidligere skred i samme fjellside har tatt med seg sedimenter derfra. I RAMMS vil erosjonen uansett aktiveres litt lengre nede i skredbanen, der skredhastighet og -skjærspenning blir store nok.

Den nedre grensen av erosjonspolygonene er tegnet der skyggekartet synes å indikere overgang mellom erosjon og akkumulasjon. Denne overgangen vil i mange tilfeller være gradvis eller utydelig. Generelt dekker erosjonspolygonene 50% - 75% av skredbanene. To eksempler på erosjonspolygoner er vist i Figur 3. Nedre avgrensning av dette området er satt skjønnsmessig, basert på en generell forståelse for løsmassedekket i dalsiden. I eventuelt videre arbeid, kan man undersøke andre måter å definere dette på.

Det er en forutsetning at det skal være løsmassedekke, eller som et minimum et torvlag over fjellet, i dalsiden nedenfor løsneområdene.



Figur 3: Erosjonspolygoner (rød farge) for skredet i Viromdalen (A) og to skred ved Borga (B). Tegningen av erosjonspolygoner er mer styrt av tegnene etter tidligere jordskred i resten av fjellsidene, enn av tegnene i den enkelte modellerte skredbanen.

3.3 Inngangsparametere anvendt i simuleringer med RAMMS::Debris Flow

Standard fremgangsmåte for alle testområder har vært å først utføre en beregning av skredutløpet med standard friksjonsparametere (*mu* = 0,2 og *xi* = 200 m/s^2) og uten å inkludere erosjon.

Det er deretter utført beregninger med ulike kombinasjoner av friksjonsparametere, mye mer konservative enn standardverdiene, men uten å inkludere erosjon.

Det er så utført nye beregninger med standard friksjonsparametere, men der erosjon er tatt i betraktning, med ulike innstillinger for erosjonsrate og maks erosjonsdybde pr. kPa (Figur

1). Inngangsparameterne benyttet i de ulike modellkjøringene er oppsummert i tabellen nedenfor.

Tabell 1: Anvendte parametere i de ulike beregningene med RAMMS::Debris Flow.

	Oppløsning DTM (m)	Friksjonspar. ξ (m/s^2)	Friksjonspar. μ	Høyde blokk (m)	Erosjonsrate (m/s)	Potens. erosjons -dybde (m/kPa)
Første simulering med standard friksjon	2 - 5	200	0,2	1 -2	--	--
Simuleringer med konservative friksjonsparam.	2 - 5	2000 - 3000	0,05 - 0,1	1 - 2	--	--
Simuleringer med standard friksjon + erosjon av normalt lagret material	2 - 5	200	0,2	1 - 2	0,025 (std. verdi for normalt lagret løsmasse)	0,1
Simuleringer med standard friksjon + erosjon av tett lagret material med normal erosjonsdybde pr. kPa	2 - 5	200	0,2	1 - 2	0,013 (std. verdi for tett lagret løsmasse)	0,1
Simuleringer med standard friksjon + erosjon av <u>veldig</u> tett lagret material med normal erosjonsdybde pr. kPa («medium»)	2 - 5	200	0,2	1 - 2	0,010 - 0,005 (verdier forsøkt redusert for veldig tett lagret løsmasse)	0,1
Simuleringer med standard friksjon + erosjon av tett lagret material med liten erosjonsdybde pr. kPa («shallow»)	2 - 5	200	0,2	1 - 2	0,010 - 0,005 (verdier forsøkt redusert for veldig tett lagret løsmasse)	0,05

4 Casestudier

4.1 Valg av caseområder

Et første utvalg av testområder ble gjort i en tidlig prosjektfase, og noen få skredlokaliteter ble lagt til mens studien pågikk. Totalt ble 11 lokaliteter, med til sammen 12 skredbaner, inkludert i studien.

For å bli inkludert i studien måtte hver skredbane oppfylle de følgende krav:

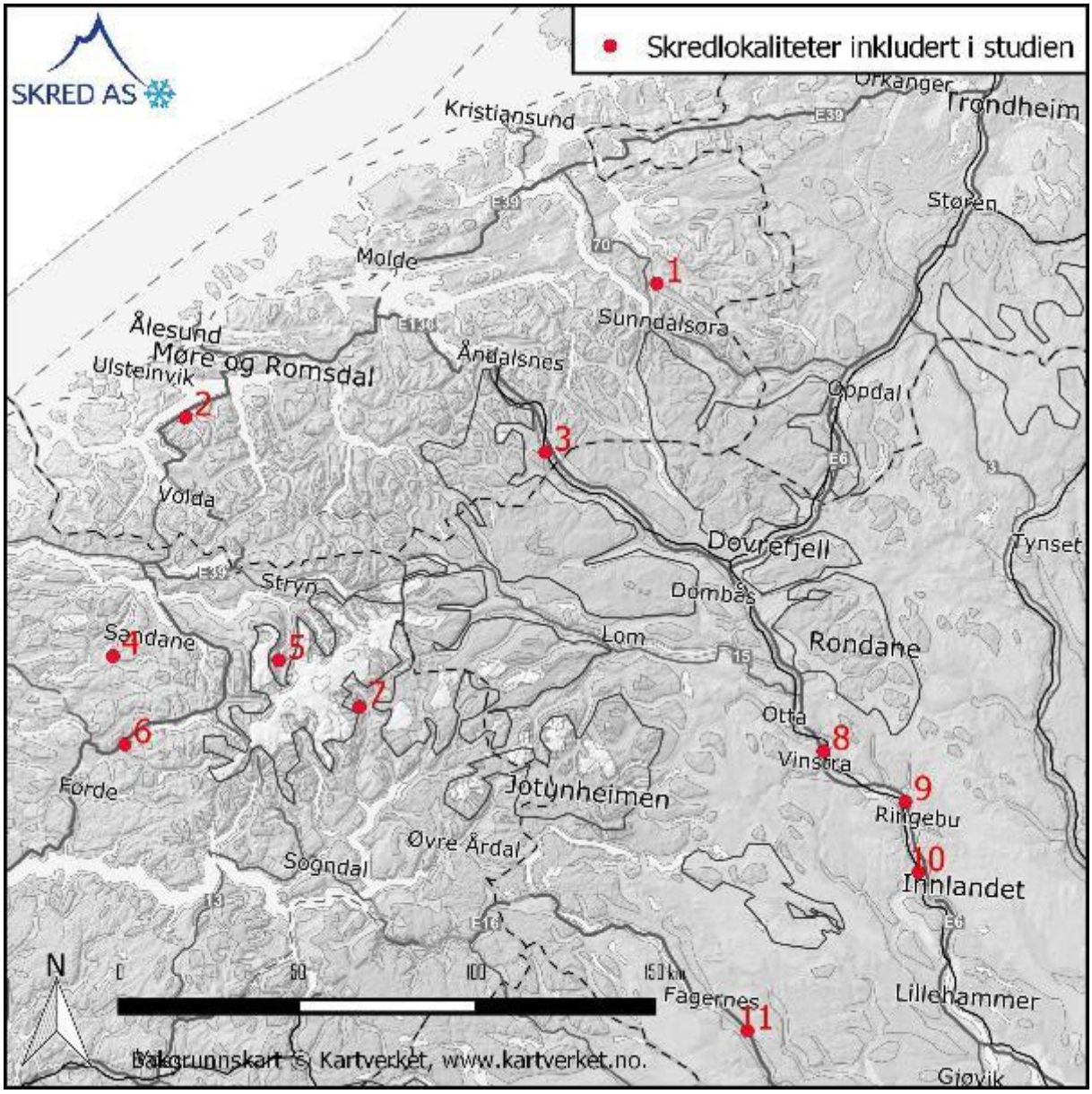
- En historisk jordskredhendelse som var fersk nok til at utløpet kunne kartlegges, f.eks. ved hjelp av flyfoto. Skredhendelsene i Jølster var allerede digitalisert av NVE på bakgrunn av georefererte dronebilder, mens skredene i Viromdalen, Årset m.fl. var tidligere digitalisert av NGU (Sandøy, 2017). I begge tilfeller fikk vi tilgang til polygoner med de registrerte skredutløpene. Avgrensningen av skredutløpene gjort av NVE og NGU ble validert ved bruk av flyfoto før skredbanene ble inkludert i studien.
- Skredhendelsen måtte være et jordskred med utløp på land (kun i ett tilfelle, ved Yrines, delvis ut i vatn). Skred som i sin helhet gikk ut i dypt vann, ble ikke tatt med ettersom en nøyaktig kartlegging av utløpet ville ha vært umulig.
- Tilgang til LiDAR-data, ideelt fra laserscanning utført før skredhendelsen inntraff. Noen skredbaner som var godt egnet i lys av kriteriene ovenfor, ble tatt med i studien selv om det kun forelå LiDAR-data fra tiden etter skredhendelsen. Effekten av terrengmodellen på resultatet av utløpsberegningene blir i så fall diskutert under behandling av de enkelte skredbanene i Kap.4.

Oversikt over de valgte case-lokalitetene er gitt i

Tabell 2, med plassering vist i Figur 4 og utfyllende beskrivelse gitt i avsnittene nedenfor.

Tabell 2: Oversikt over case inkludert i denne studien (vist på kart i Figur 4). ID markert med stjerne (*) representerer mindre, lokale jordskred, mens de andre er større jordskred som bevegde seg over store deler av fjellsiden (Borga-case inneholder begge typer skred).

ID.	Lokalitet	Dato skredhendelse	Dato LiDAR data
1	Viromdalen i Sunndal	14.8.2003	2016
2	Årset i Ørsta	15.11.2015	2015, 2017
3	Borga i Rauma (2 skred)	9.6.2011 og 19.5.2017	2014
4*	Marsteinbakkane i Gloppen	21.9.2016	2012, 2017
5	Yri i Stryn	15.11.2013	2012
6	Jølstra i Jølster (flere skred)	30.7.2019	2016, 2017
7	Krundalen i Luster	3.7.2015	2012
8*	Veikleenget i Nord-Fron	22.5.2013	2009, 2017
9*	Skjeggestad i Ringebu	24.5.2013	2007, 2009
10*	Botterud i Øyer	18.5.2017	2010, 2014
11*	Svenskeplassen i Nord-Aurdal	22.5.2013	2007, 2013



Figur 4: Lokalisering av de valgte case-områdene, nummerert som i

Tabell 2.

4.2 Presentasjon og vurdering av resultater: Hva er «godt nok»

Det er for hvert case-område produsert flere sett med RAMMS::Debris Flow resultater. En full presentasjon av modellresultatene i avsnittene nedenfor, ville krevd en kraftig komprimering av figurene. Vi har derfor valgt å presentere figurene som vedlegg i full A4-størrelse, i slutten av rapporten. I de følgende avsnittene der case-områdene presenteres, inkluderer vi kun en figur som sammenstiller hovedresultatene, slik at det blir mulig å få et generelt inntrykk av hvilke modellkjøringer gir best beskrivelse av de faktisk registrerte skredutløpene. For detaljene henviser vi så til vedleggene.

Et viktigere tema er sammenligning og vurdering av modellresultater, og hva som utgjør «gode nok» resultater.

Formålet med prosjektet er, som nevnt i avsnitt 1.2, ikke å bevise at det er mulig å perfekt etterregne et reelt jordskred, men å finne ut om en enkel, standardisert tilnærming kan gi «gode nok» resultater for bruk i reelle skredfarekartleggingssituasjoner.

Ved modellering utført ifb. prosjektering av sikringstiltak vil det være viktig å oppnå en mest mulig pålitelig definisjon av alle dimensjonerende parametere, dvs. skredhastighet og trykk, i tillegg til flytehøyde og totalt volum. Det krever generelt mange modellkjøringer med ulike sett av inngangsparametere, og etterfølgende diskusjoner av de ulike scenarioene.

I kartleggingssammenheng representerer modelleringsresultater kun er et ledd i prosessen som fører til faresoner, dvs. at det beregnede skredutløpet ikke direkte skal gjenspeiles i faresoner. Det vil derfor være tilstrekkelig med en troverdig beregning av det mulige skredutløpet, der en liten underestimering eller overestimering av skredutløpet ift. registrerte avsetninger eller kjente hendelser kan tolereres.

Man kan velge å visualisere det beregnede skredutløpet som en funksjon av skredhastigheten, trykket eller flytehøyden, med passende «cut off»-verdi for overgangen mellom skadelige og tolererbare effekter.

I denne case-studie har vi valgt å visualisere resultater ved å bruke flytehøyden, med «cut off»-verdi for overgang til tolererbare effekter satt til 25 cm.

4.3 Case 1 – Viromdalen i Sunndal

4.3.1 Kort beskrivelse

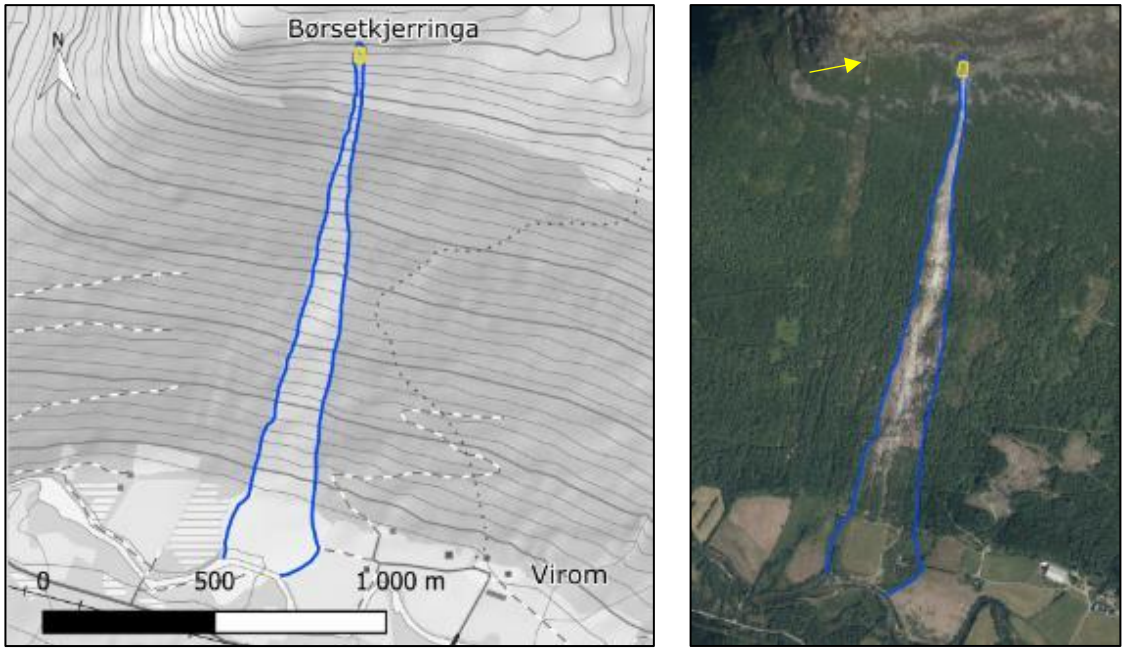
Skredet er lokalisert ved Virom i Viromdalen, på sørsiden av Børsetkjerringa (1008 moh.). Hendelsen skjedde 14. august 2003 etter en periode med kraftig nedbør. Skredløpet strekker seg 1,6 km i luftlinje fra løsnepunktet (895 moh.) ned til Ålvundelva (160 moh.).

Skredhendelsen er detaljert beskrevet i en FoU-rapport om trekantformede jordskred, utarbeidet av NGU (Sandøy m.fl., 2017). Rapporten beskriver forholdene i skredbanen og inneholder flere elementer som kan brukes til best mulig etterregning av skredhendelsen ved hjelp av en dynamisk modell som RAMMS:Debris Flow. For eksempel indikerer NGU-rapporten at erosjonen av det opprinnelige løsmassedekket i ulike deler av skredbanen kom ned til 0,2 - 2,5 m dybde.

Det vi har benyttet i denne studien, fra NGUs rapport, er imidlertid kun avgrensningen av skredbanen og utløpsområdet.

Løsneområdet som vi tegnet for modelleringsformål, har ikke nøyaktig samme form som det NGU avgrenset etter detaljerte undersøkelser, men det er delvis overlapp mellom de to. Plasseringen av vårt løsneområde er gjort på bakgrunn av flybilder og skyggekart, som viser at både det aktuelle skredet og flere eldre jordskred i samme fjellside løsnet fra den høyden.

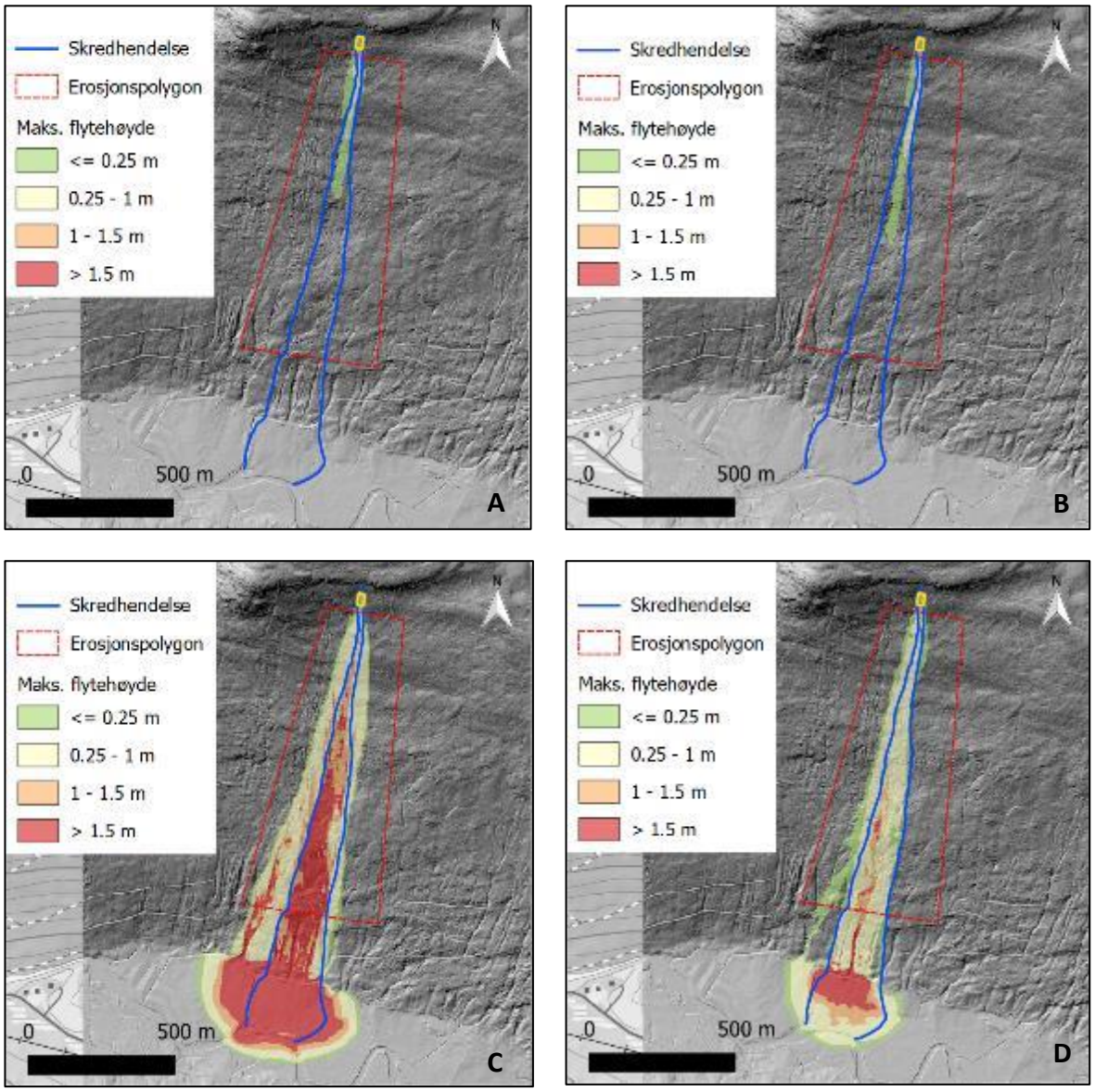
Figur *5* viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 1A og 1B.



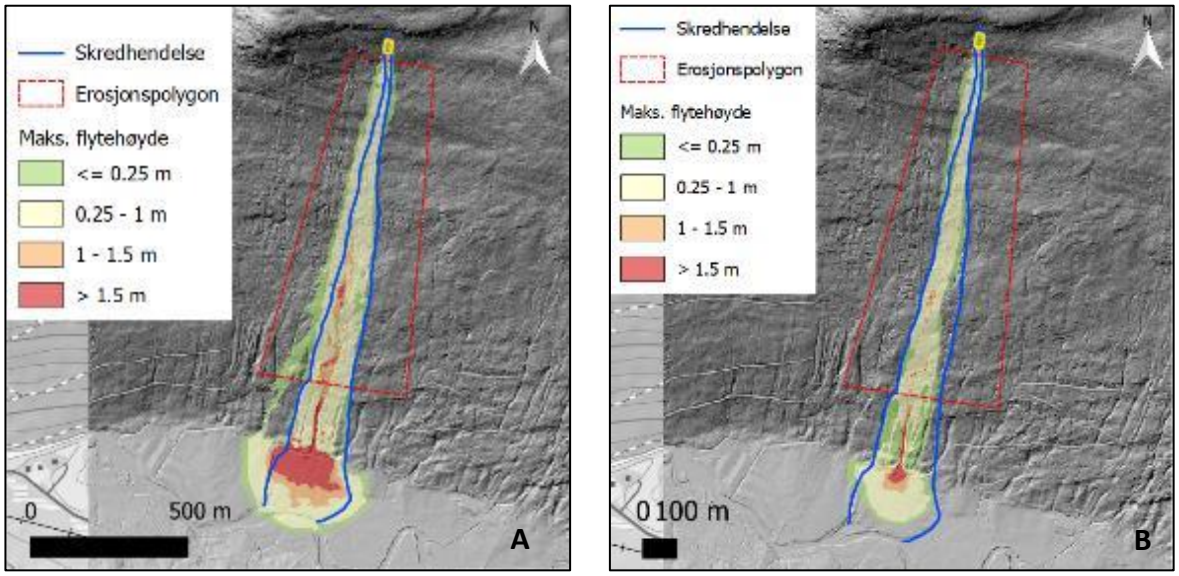
Figur 5: Oversiktskart og flyfoto av skredet i Viromdalen, avgrenset av den blå linja (flyfoto fra www.norgeibilder.no). Løsneområdet av et lignende, eldre jordskred er vist av pilen.

4.3.2 Modelleringsresultater

I Figur 6 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 1C – 1G.



Figur 6: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 7: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.3.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.3.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende volum på ca. 1.100 m^3), klarer ikke resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten, å reprodusere det registrerte skredutløpet. Skredmassene stopper opp uten å nå den nedre delen av fjellsiden, uansett de valgte friksjonsparameterne (Figur 6A og B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 6, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 177.000 m^3. Det beregnede utløpet sprer seg betydelig mer, både i lengde og i bredde, enn det registrerte utløpet i november 2013 (Figur 6C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 48.000 m^3. Det beregnede utløpet (Figur 6D) blir både i lengde og bredde litt mindre enn ved bruk av en erosjonsrate for normalt lagrede masser, og bare så vidt større enn det registrerte utløpet i november 2013.

Formålet med prosjektet er, som nevnt i avsnitt 1.2 og 4.2, ikke å bevise at det er mulig å perfekt etterregne et reelt jordskred, men å finne ut om en enkel, standardisert tilnærming kan gi «gode nok» resultater for bruk i reelle skredfarekartleggingssituasjoner.

I lys av premissene gitt i avsnitt 4.2 for vurdering av modellresultatene i denne case-studien, mener vi at resultatet i Figur 6D er godt nok.

Et forsøk er likevel gjort til ytterligere forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp ved å bruke en potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow») istedenfor 0,1

m/kPa («medium»). Resultatet underestimerer skredutløpet litt i forhold til det registrerte (*Figur 7*B). Resultatet vist i Figur 6D og *Figur 7*A er derfor det som vi ville lagt størst vekt på, i en ev. skredfarekartlegging av den fjellsiden.

Vi kunne antakelig fått til en enda bedre match mellom modellert og registrert skredutløp, f.eks. ved å redusere blokktykkelsen eller ytterligere redusere verdien av erosjonsraten til noe lavere enn 0,013 som er standardverdien for fast lagrede sedimenter.

Det sistnevnte er forsøkt gjort i dette prosjektet, men kun for å vurdere sensitiviteten av resultatet for valgte verdier av erosjonsrate. Det virker imidlertid som v. 1.7.20 av RAMMS::Debris Flow ikke tillater manuell editering av verdiene i erosjonsmodulen. Egenvalgte verdier av erosjonsraten kan tilsynelatende legges inn, men i beregningen fortsetter programmet å benytte nærmeste default-verdi, f.eks. 0,013 m/s for fast lagrede masser eller 0 for ingen erosjon, når brukeren prøver å legge inn verdier som ligger mellom disse to som er forhåndsdefinert. Dette er en *bug* som SLF har erkjent og nå jobber for å utbedre (e-post fra M. Christen datert 12.05.2020).

4.4 Case 2 – Årset i Ørsta

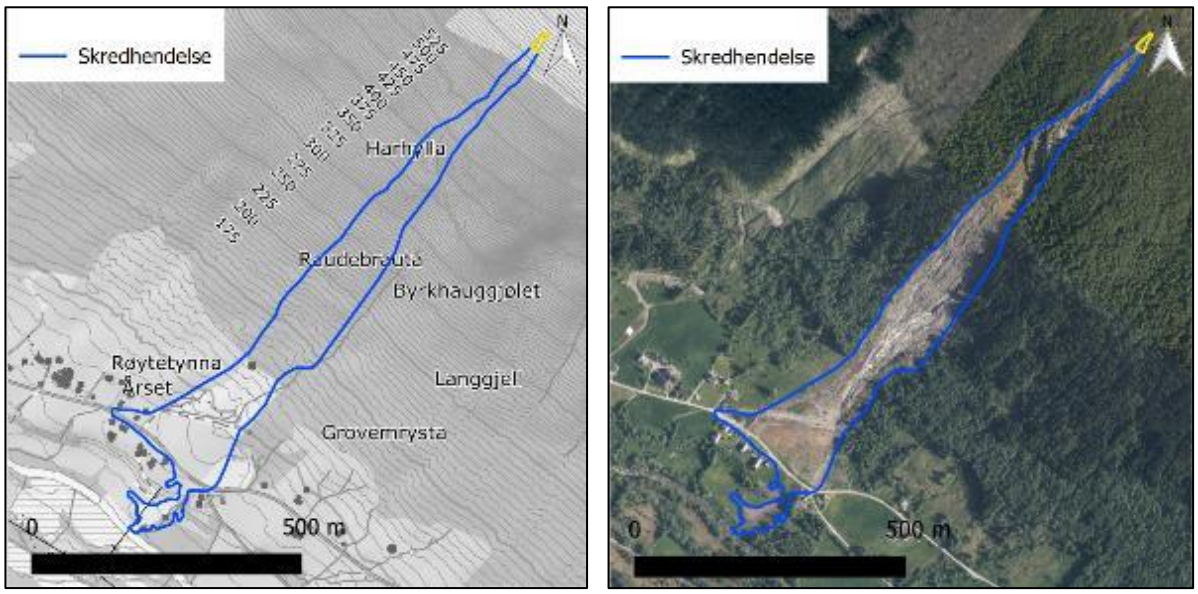
4.4.1 Kort beskrivelse

Skredet er lokalisert ved Årset i Årsetdalen, på sørsiden av Vardehornet (986 moh.). Hendelsen skjedde 15. november 2013 etter kraftig regn. Skredløpet strekker seg 1,2 km i luftlinje fra løsnepunktet (633 moh.) ned til Storelva (61 moh.).

Figur 8 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 2A og 2B.

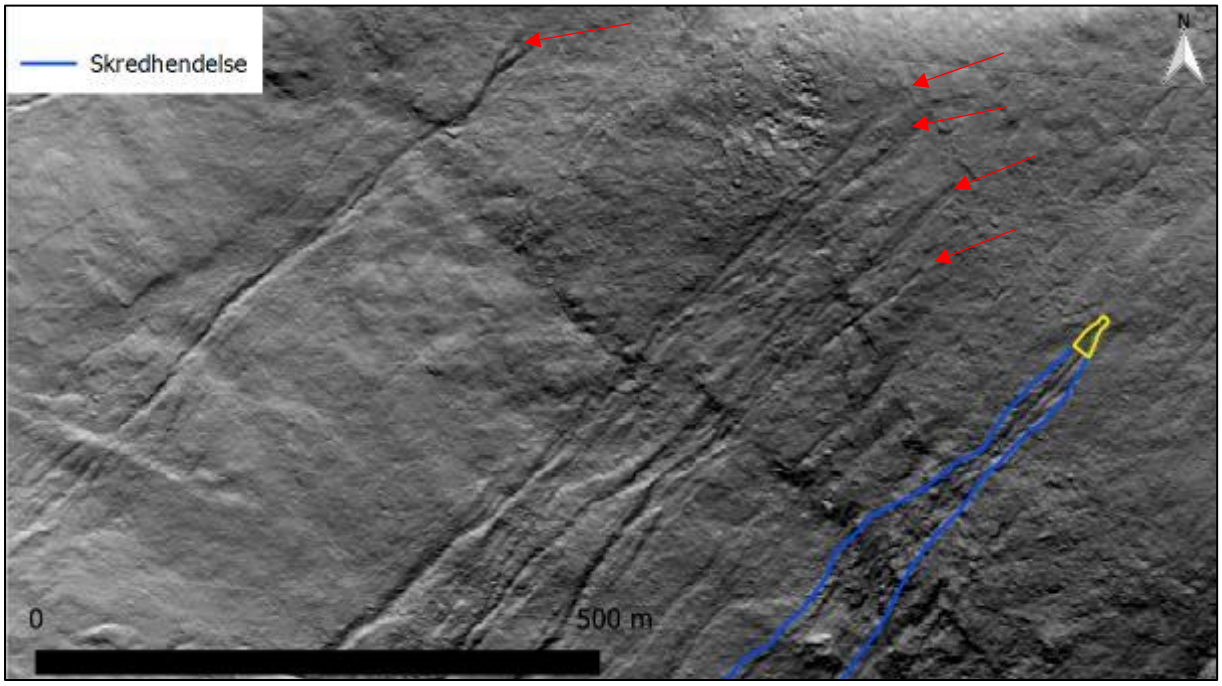
Skredhendelsen er detaljert beskrevet i NGUs FoU-rapport om trekantformede jordskred (Sandøy m.fl., 2017). Rapporten beskriver forholdene i skredbanen og inneholder flere elementer som kan brukes til best mulig etterregning av skredhendelsen ved hjelp av en dynamisk modell som RAMMS::Debris Flow. For eksempel indikerer NGU-rapporten at bruddkanten var 0,2 – 0,5 m høy, som bare 15 m lenger ned økte til 1,5 – 1,7 m. Videre antyder rapporten at skredet stedvis eroderte løsmassedekket ned til ca. 2 m dybde, samt at avsetningen i bebyggelsen var opptil 3 m tykk.

Det vi har benyttet i denne studien, fra NGUs rapport, er imidlertid kun avgrensningen av skredbanen og utløpsområdet, og til en viss grad løsneområdet. Ved det siste menes at løsneområdet som vi tegnet for modelleringsformål, omtrentlig sammenfaller med det NGU avgrenset etter detaljerte undersøkelser. Plasseringen av vårt løsneområde ville imidlertid vært omtrent det samme dersom vi ikke hadde hatt tilgang til NGUs rapport, fordi flybilder og skyggekart viser at flere jordskred i samme fjellside løsnet fra den høyden (Figur 9). Når det gjelder størrelsen av vårt løsneområde, er det som for de fleste *case* i denne rapporten begrenset til 25 høydemeter fra den øvre enden (dvs. løsnepunktet).

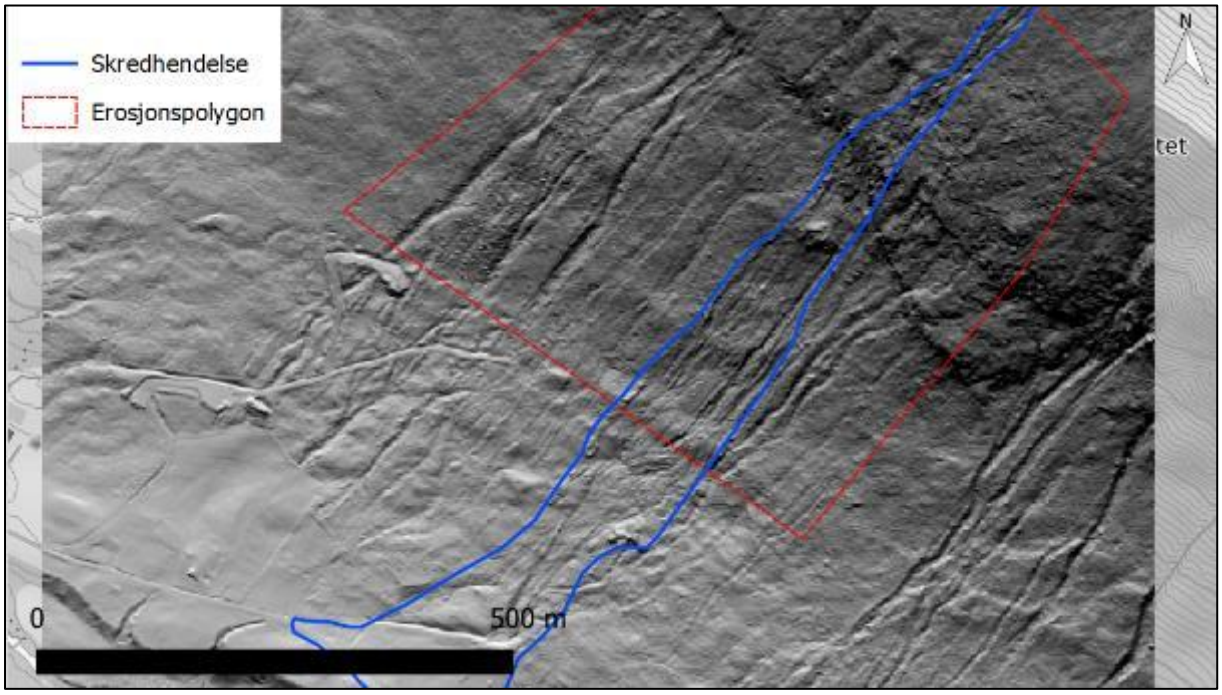


Figur 8: Oversiktskart og flyfoto av skredet ved Årset, avgrenset av den blå linja (flyfoto fra www.norgeibilder.no).

Polygonen for området med tillatt erosjon i enkelte modellkjøringer ble avgrenset nederst der skyggekart (generelt i fjellsiden) viser overgang fra et område med markert erosjon til et med mindre erosjon eller avsetning av masser (Figur 10). Polygonen dekker ca. 60% av skredbanelengden.



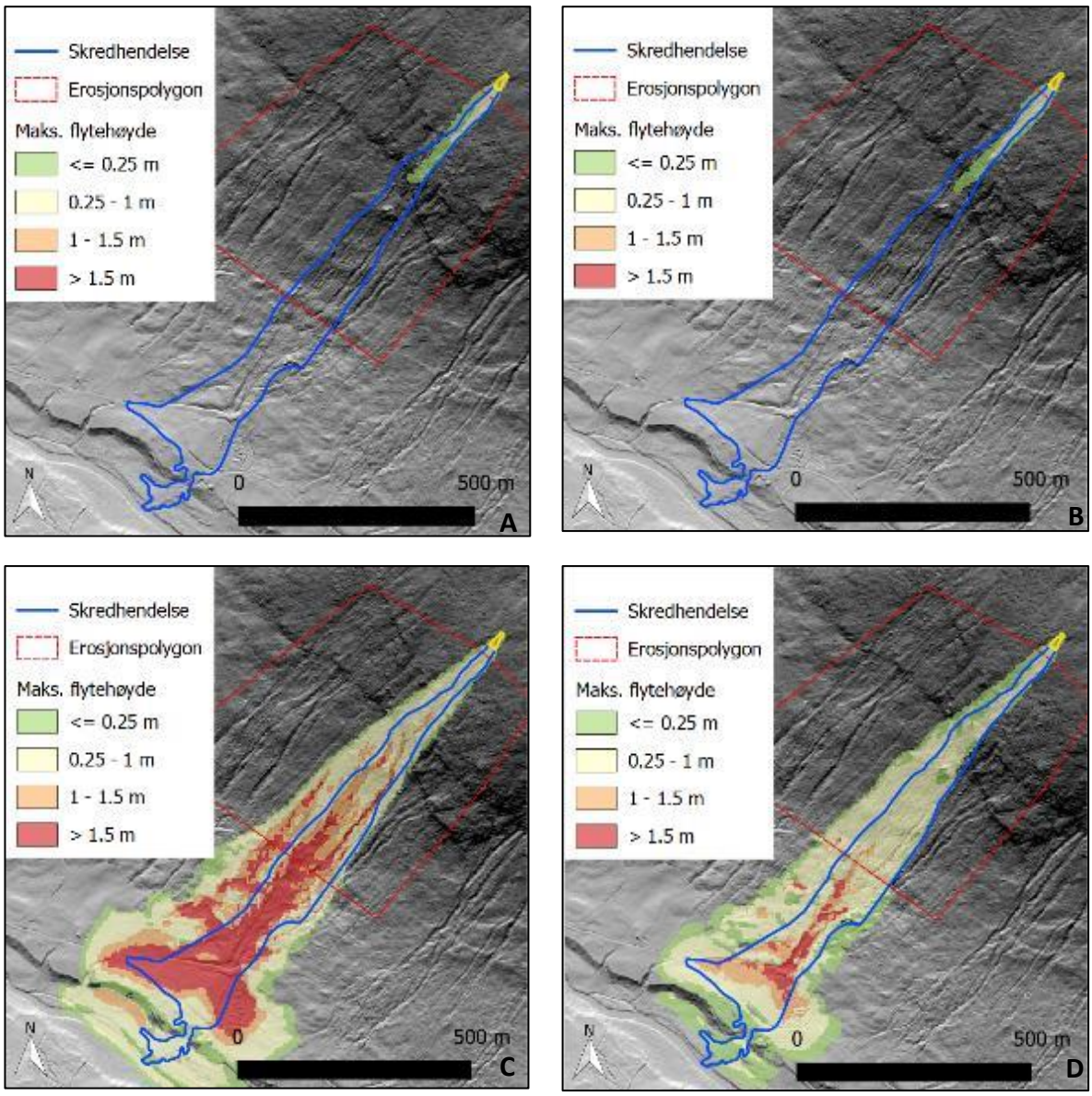
Figur 9: Skyggekart av fjellsiden rett vest for området der skredet ved Årset løsnet. Det er tegn på at flere lignende skred tidligere startet i samme høyde (røde piler).



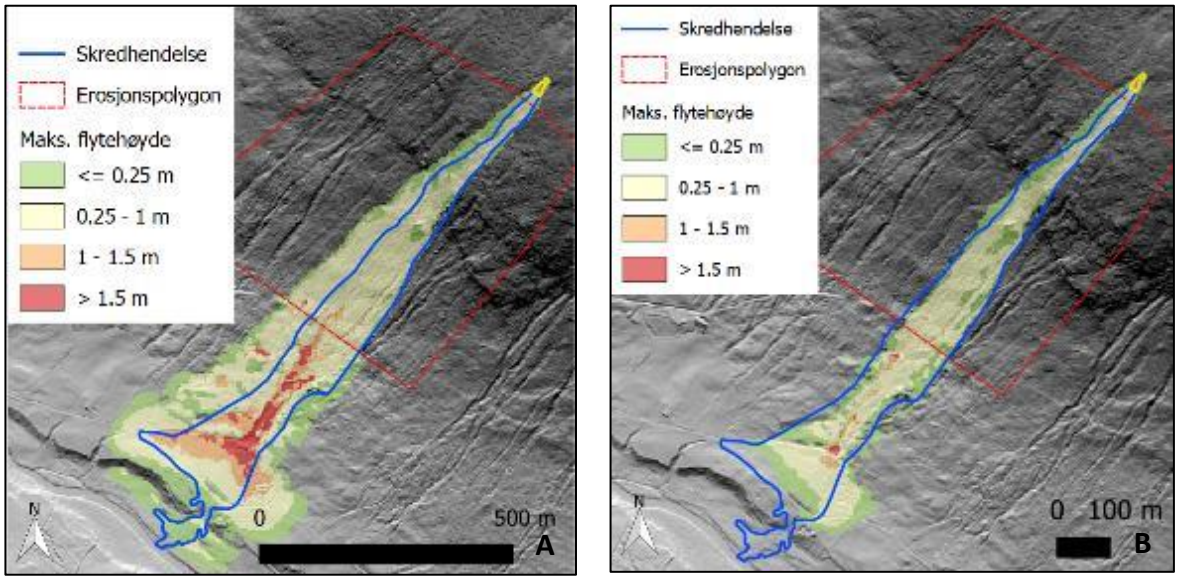
Figur 10: Skyggekart av fjellsiden der skredet ved Årset løsnet, med tegnet erosjonspolygon.

4.4.2 Modelleringsresultater

I Figur 11 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 2C – 2G.



Figur 11: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 12: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.4.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende volum på ca. 570 m^3), klarer ikke resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten, å reprodusere det registrerte skredutløpet. Skredmassene stopper opp uten å nå den nedre delen av fjellsiden, uansett de valgte friksjonsparameterne (Figur 11A og B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 10, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 70.000 m^3. Det beregnede utløpet sprer seg betydelig mer, både i lengde og i bredde, enn det registrerte utløpet i november 2013 (Figur 11C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 24.000 m^3. Det beregnede utløpet (Figur 11D) blir både i lengde og bredde litt mindre enn ved bruk av en erosjonsrate for normalt lagrede masser, men er fortsatt litt større enn det registrerte utløpet i november 2013.

Formålet med prosjektet er, som tidligere nevnt, å finne en enkel standardtilnærming som i RAMMS::Debris Flow gir «gode nok» resultater i reelle skredfarekartleggingssituasjoner. I dette perspektivet vurderes resultatet i Figur 11D som godt nok. De beregnede flytehøydene i skredets akkumulasjonsområde er opptil 3 m, noe som stemmer godt overens med det som er registrert i felt (Sandøy m.fl., 2017). Dette til tross for at den beregnede erosjonsdybden (opptil 0,85 m) er mindre enn den registrerte i samme rapport nevnt ovenfor (opptil 2 m).

Et forsøk er likevel gjort til ytterligere forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp ved å bruke en potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow») istedenfor 0,1 m/kPa («medium»). Resultatet underestimerer skredutløpet litt i forhold til det registrerte (Figur 11B). Resultatet vist i Figur 11D og Figur 12A er derfor det som vi ville lagt størst vekt på, i en ev. skredfarekartlegging av den fjellsiden.

Også i dette tilfellet kunne vi trolig fått til en enda bedre match mellom modellert og registrert skredutløp, f.eks. ved å redusere blokktykkelsen eller ytterligere redusere verdien av erosjonsraten (hvis RAMMS::Debris Flow v.1.7.20 hadde tillatt det, som diskutert i 4.3.3). Ytterligere forsøk til enda bedre match mellom modellert og registrert skredutløp er ikke vurdert nødvendig for prosjektformålet.

4.5 Case 3 – Borga i Rauma

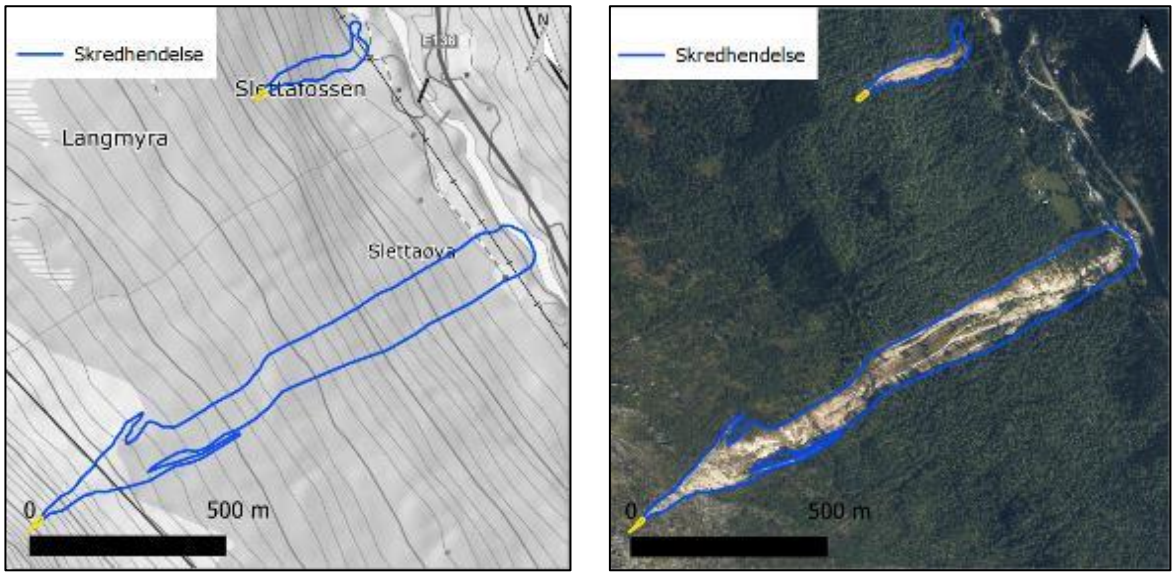
4.5.1 Kort beskrivelse

Denne case omfatter to jordskred: et større skred lokalisert ved Slettøya og et mindre skred ved Slettafossen, begge på nordøstsiden av Borga (1528 moh.) i Romsdalen. Det største jordskredet skjedde 9. juni 2011 og gikk ned 1,5 km i luftlinje fra løsnepunktet (1022 moh.) til elva Rauma (295 moh.). Det mindre skredet, 600 m lenger nord, skjedde 19. mai 2017 og gikk ned ca. 350 m i luftlinje fra løsnepunktet på 480 moh. til 280 moh.

Figur 13 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 3A og 3B.

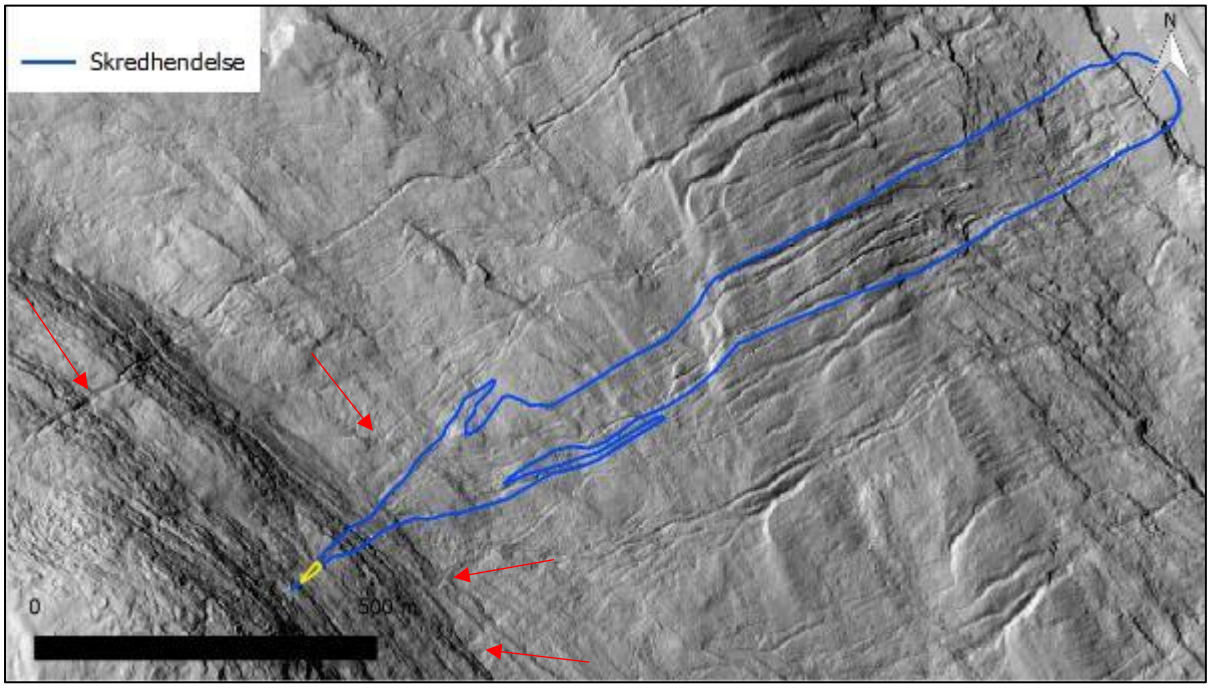
Den største av de to skredhendelsene er detaljert beskrevet i NGUs FoU-rapport om trekantformede jordskred (Sandøy m.fl., 2017). Rapporten beskriver forholdene i skredbanen og inneholder flere elementer som kan brukes til best mulig etterregning av skredhendelsen ved hjelp av en dynamisk modell som RAMMS::Debris Flow. For eksempel indikerer NGU-rapporten at skredet startet ved et bestemt punkt i en fjellskrent, trolig som et lite våtsnøskred, og det er kun flere meter lenger ned at løsmasser først ble involvert i prosessen, med en bruddkant som var 0,1 – 1 m høy. Videre antyder rapporten at skredet eroderte løsmassedekket ned til ca. 2 m dybde.

Det vi har benyttet i denne studien, fra NGUs rapport, er avgrensningen av skredbanen og utløpsområdet, og til en viss grad løsneområdet. Ved det siste menes at løsneområdet som vi tegnet for modelleringsformål, omtrentlig sammenfaller med det NGU avgrenset etter detaljerte undersøkelser. Dersom vi ikke hadde hatt tilgang til NGUs rapport ville plasseringen av vårt løsneområde vært i omtrent samme høyde eller rett nedenfor den fjellskrenten fordi skyggekart viser at flere jordskred i samme fjellside skal ha løsnet fra den høyden (Figur 14). Når det gjelder størrelsen av vårt løsneområde, er det som for de fleste *case* i denne rapporten begrenset til 25 høydemeter fra den øvre enden (dvs. løsnepunktet).

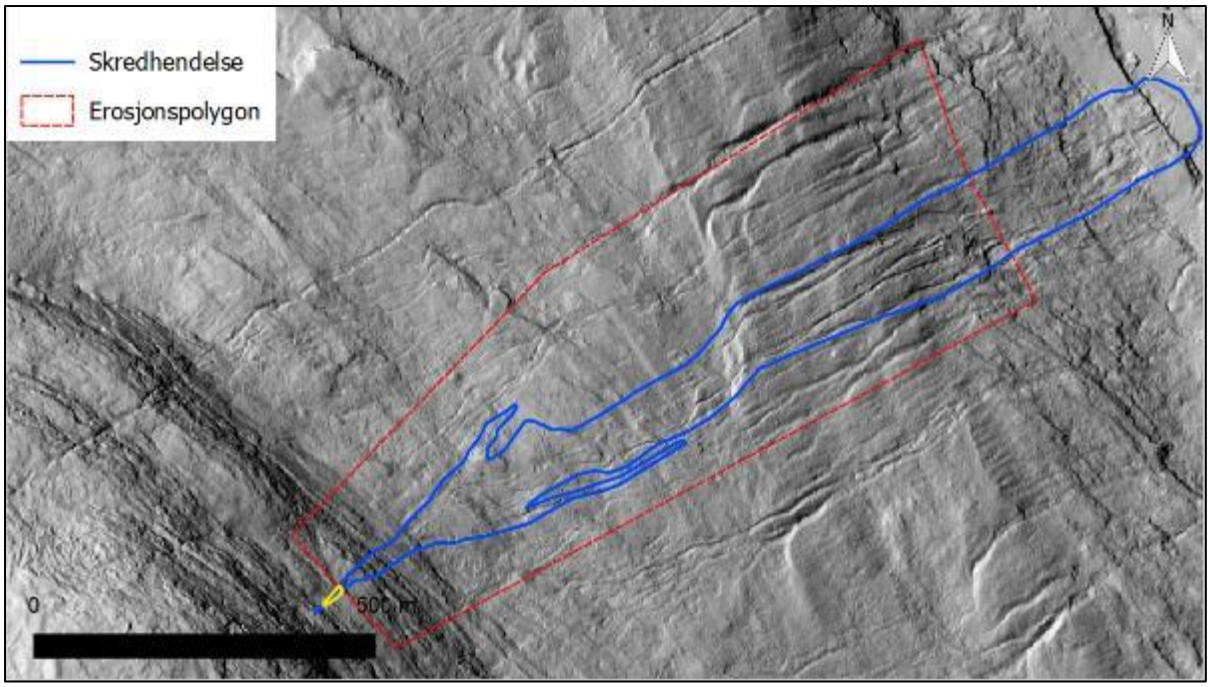


Figur 13: Oversiktskart og flyfoto av skredene ved Borga (flyfoto fra www.norgeibilder.no).

Polygonen for området med tillatt erosjon i enkelte modellkjøringer ble avgrenset nederst der skyggekart (generelt i fjellsiden) viser overgang fra et område med markert erosjon til et med mindre erosjon eller avsetning av masser (Figur 15). Polygonen dekker 75 - 80% av skredbanelengden.



Figur 14: Skyggekart av fjellsiden der det største skredet ved Borga løsnet. Det er tegn på at flere skred tidligere startet i omtrent samme høyde (røde piler).

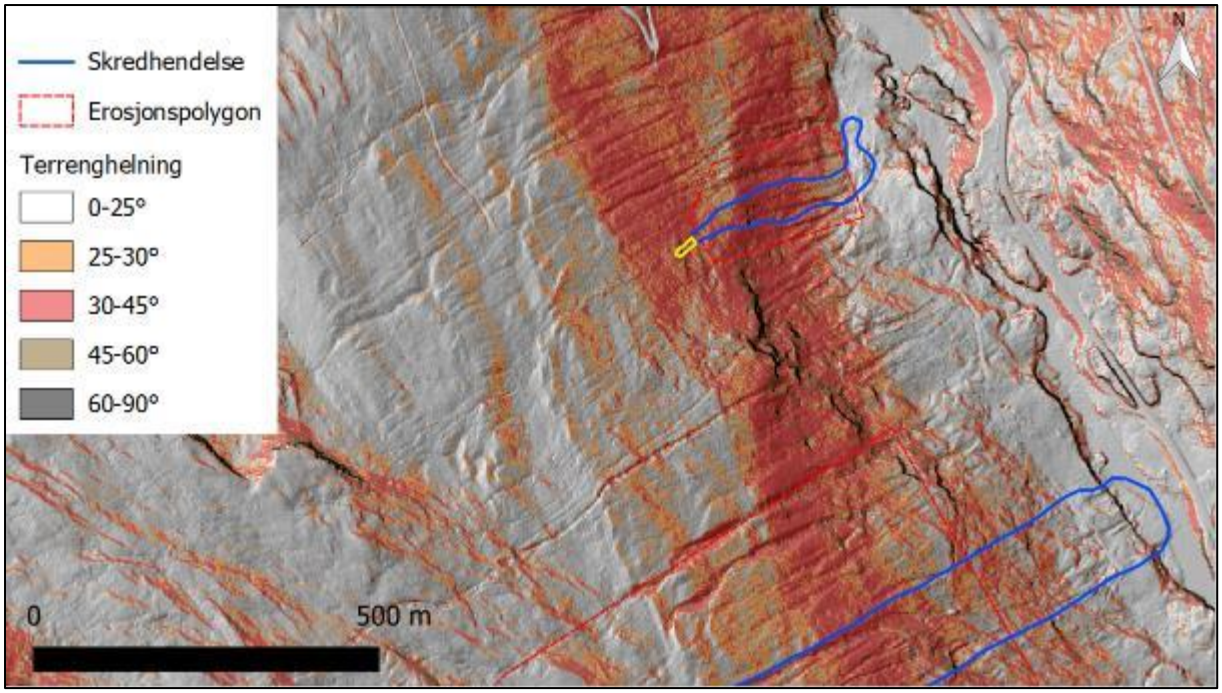


Figur 15: Skyggekart av fjellsiden ved det største skredet ved Borga, med erosjonspolygon.

Det mindre skredet nord i dette case-området er ikke beskrevet i NGUs rapport, men Skred AS har selv utført en skredfarevurdering etter at skredet i mai 2017 tok kraftlinja (Skred AS rapport nr. 17168-01).

Løsneområdet for modellering av denne hendelsen er tegnet der fly- og dronebilder viser at skredet faktisk løsnet. Dette er i øvre del av et bratt terrengbelte med omfattende tegn på tidligere jordskred (Figur 16). Polygonen med løsneområdet strekker seg ca. 15 m nedover i skredbanen, ettersom denne skråningen har en høyde på ca. 200 m (iht. metodikken beskrevet i avsnitt 3.1.1).

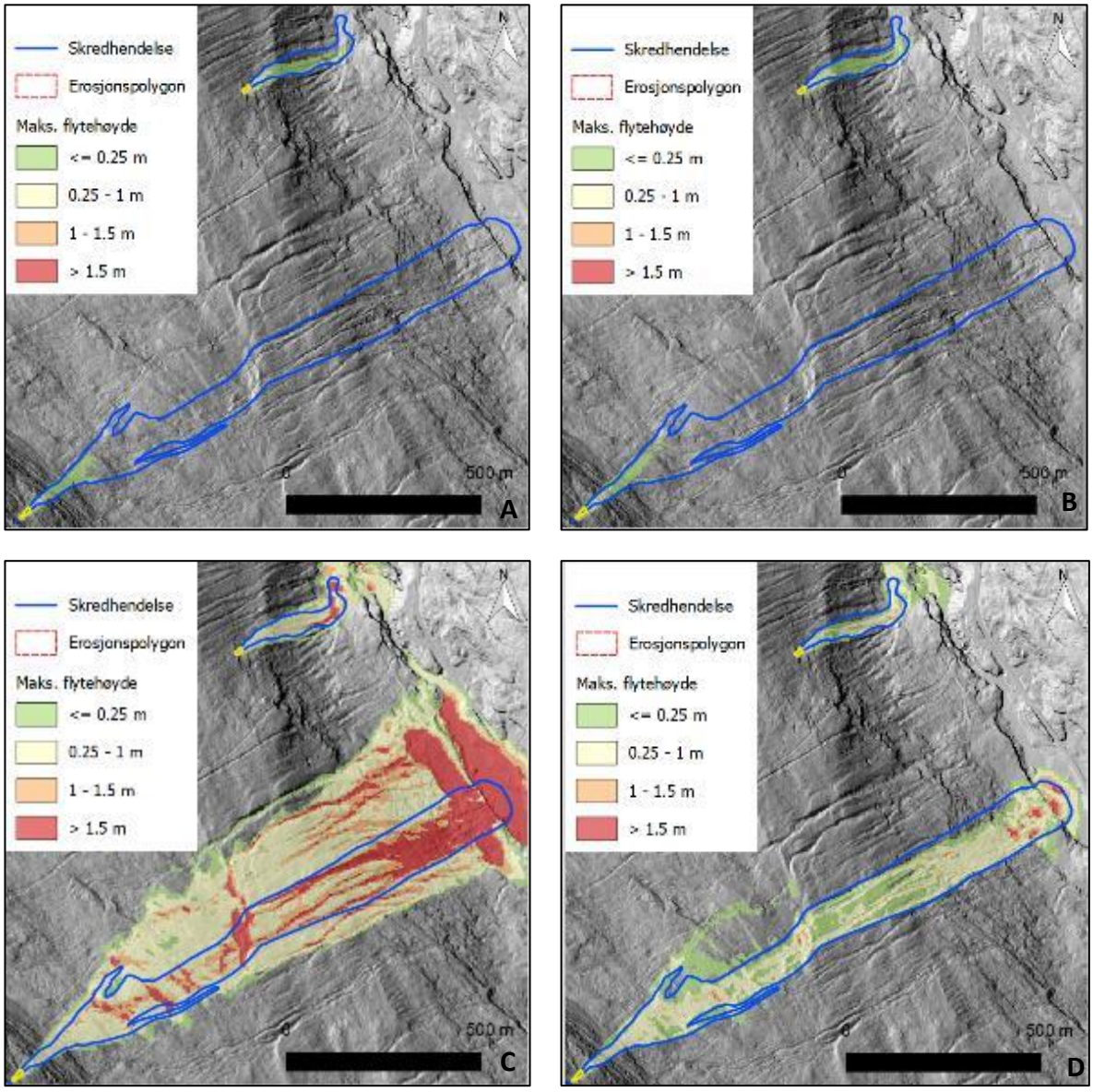
Polygonen mer tillatt erosjon er tegnet på bakgrunn av tegn i skyggekartet som viser at tidligere skred i denne skråningen har erodert løsmasser helt ned til der terrenget begynner å flate ut. Polygonen dekker ca. 75% av skredbanelengden.



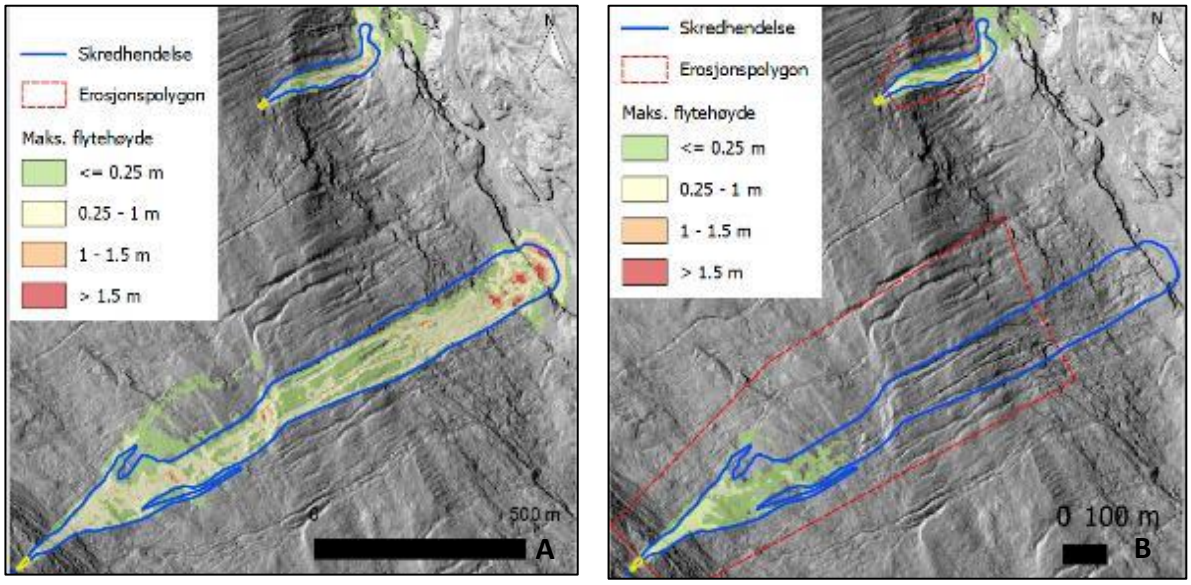
Figur 16: Skygge- og helningskart av fjellsiden ved det minste skredet ved Borga, med erosjonspolygon.

4.5.2 Modelleringsresultater

I Figur 17 og Figur 18 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 3C – 3G.



Figur 17: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 18: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.5.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende startvolum på ca. 300 m^3 i løsneområdet for det største skred, og ca. 200 m^3 i det for det mindre skredet), klarer ikke resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten, å reprodusere det registrerte skredutløpet. Skredmassene i den større skredbanen stopper opp i den øvre delen av fjellsiden, uansett de valgte friksjonsparameterne (Figur 17A og B). Det modellerte utløpet for det mindre skredet, spesielt med veldig konservative friksjonsparametere, nærmer seg det registrerte utløpet, men uten å nå det helt.

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 15 og Figur 16, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 165.000 m^3 for det største skredet og ca. 30.000 m^3 for det minste. Det beregnede utløpet sprer seg betydelig mer, både i lengde og i bredde, enn de to registrerte skredutløpene (Figur 17C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 17.000 m^3 for det største skredet og ca. 3.000 m^3 for det minste. Det beregnede utløpet (Figur 17D) blir både i lengde og bredde litt mindre enn ved bruk av en erosjonsrate for normalt lagrede masser. De modellerte utløpene matcher særdeles godt feltobservasjonene når det gjelder sidespredningen av skredene, men går fortsatt litt lenger ut enn de registrerte utløpene. Den beregnede erosjonsdybden (opptil 0,8 m) er imidlertid mindre enn den registrerte erosjonsdybden som i NGUs rapport er registrert opptil 2 m (Sandøy m.fl., 2017).

En kan diskutere hvorvidt det er riktig å tegne erosjonspolygoner rett i underkant av løsneområdet i en skredbane der observasjonene viser minimal løsmassedybde. De samme observasjonene viser imidlertid at det større av de to skredene ved Borga i det minste må ha revet med seg et humuslag og/eller et tynt lag av steinsprangavsetninger som må ha ligget over fjell. I den øvre delen av denne skredbanen, dvs. de første 100 – 200 m nedenfor løsneområdet for det større skredet, er den beregnede erosjonsdybden på kun 10 – 50 cm, og dette gjør avgrensningen av erosjonspolygonene akseptabel, i lys av observasjonene ovenfor.

Formålet med prosjektet er, som tidligere nevnt, å finne en enkel standardtilnærming som i RAMMS::Debris Flow gir «gode nok» resultater i reelle skredfarekartleggingssituasjoner. I dette perspektivet vurderes resultatet i Figur 17D som veldig godt for det største skredet og godt nok for det minste.

Et forsøk er likevel gjort til ytterligere forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp ved å bruke en potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow») istedenfor 0,1 m/kPa («medium»). Resultatet (Figur 18B) gir enda bedre match mellom modellert og registrert utløp for det minste skredet i nord, men kraftig underestimerer skredutløpet av det største skredet. Resultatet vist i Figur 17D og Figur 18A er derfor det som vi ville lagt størst vekt på, i en ev. skredfarekartlegging av den fjellsiden.

Også i dette tilfellet kunne vi trolig fått til en enda bedre match mellom modellert og registrert skredutløp, f.eks. ved å redusere blokktykkelsen eller ytterligere redusere verdien av erosjonsraten (hvis RAMMS::Debris Flow v.1.7.20 hadde tillatt det, som diskutert i 4.3.3). Ytterligere forsøk til enda bedre match mellom modellert og registrert skredutløp er ikke vurdert nødvendig for prosjektformålet.

4.6 Case 4 – Marsteinbakkane i Gloppen

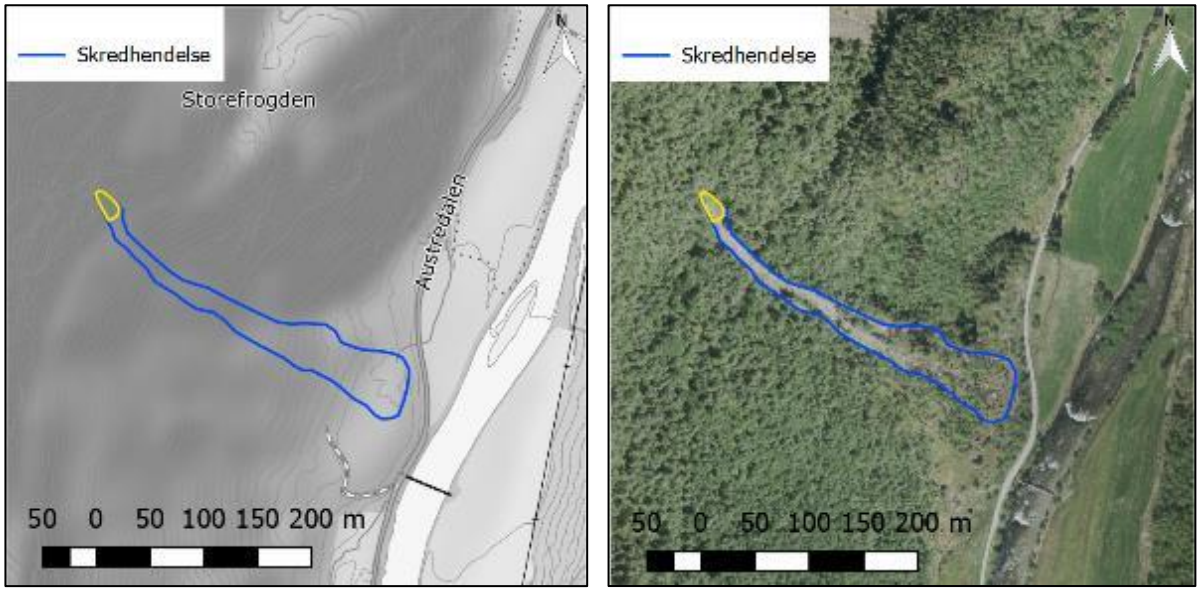
4.6.1 Kort beskrivelse

Skredet er lokalisert ved Marsteinbakkane, på vestsiden av Austredalen i Gloppen. Hendelsen skjedde 21. september 2016. Skredløpet strekker seg 350 m i luftlinje fra løsnepunktet (285 moh.) ned til overkanten av veien i dalbunnen (65 moh.).

Figur 19 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 4A og 4B.

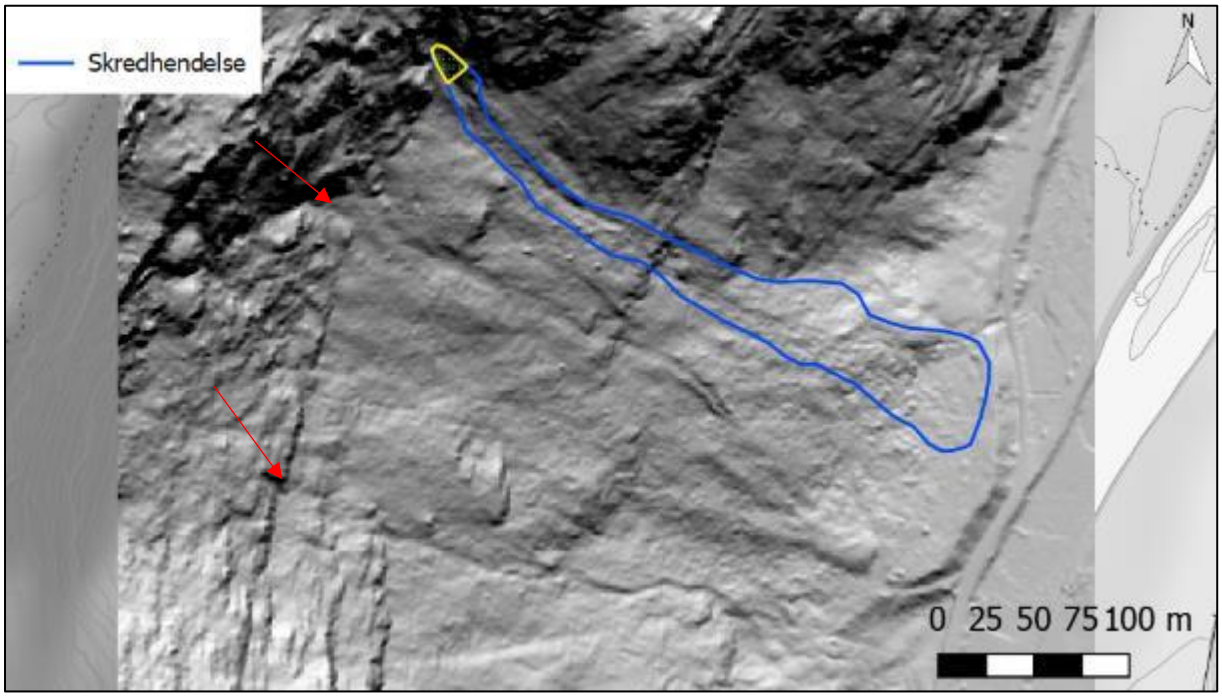
Avgrensningen av løsneområdet, skredbanen og utløpsområdet er gjort på bakgrunn av flyfoto- og skyggekartanalyse. Når det gjelder størrelsen av løsneområdet, dvs. den nedre avgrensningen av dette i forhold til resten av skredbanen, er det som for alle de mindre skredene i denne rapporten begrenset til ca. 15 høydemeter fra den øvre enden identifisert på flyfoto og skyggekart.

Skyggekart viser for øvrig at flere jordskred i samme fjellside løsnet fra omtrent den samme høyden (Figur 20). Dette betyr at selv uten kjennskap til denne skredhendelsen av 2016 burde det vært mulig å fange opp (og tegne) mulige løsneområder for jordskred i den delen av fjellsiden.

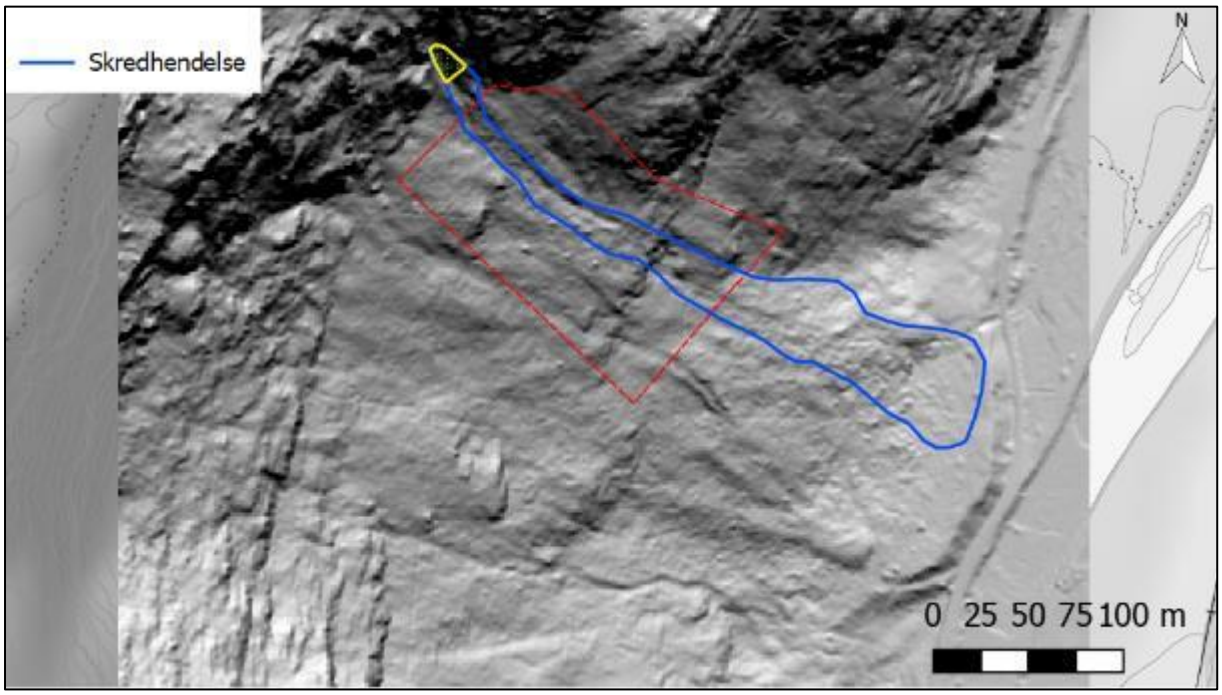


Figur 19: Oversiktskart og flyfoto av skredet ved Marsteinbakkane, avgrenset av den blå linja (flyfoto fra www.norgeibilder.no).

Polygonen for området med tillatt erosjon ble avgrenset, nederst, i delen av fjellsiden der skyggekartet synes å vise overgang fra markert erosjon til mindre erosjon eller mulig avsetning av masser (Figur 21). Polygonen dekker ca. 60% av skredbanelengden.



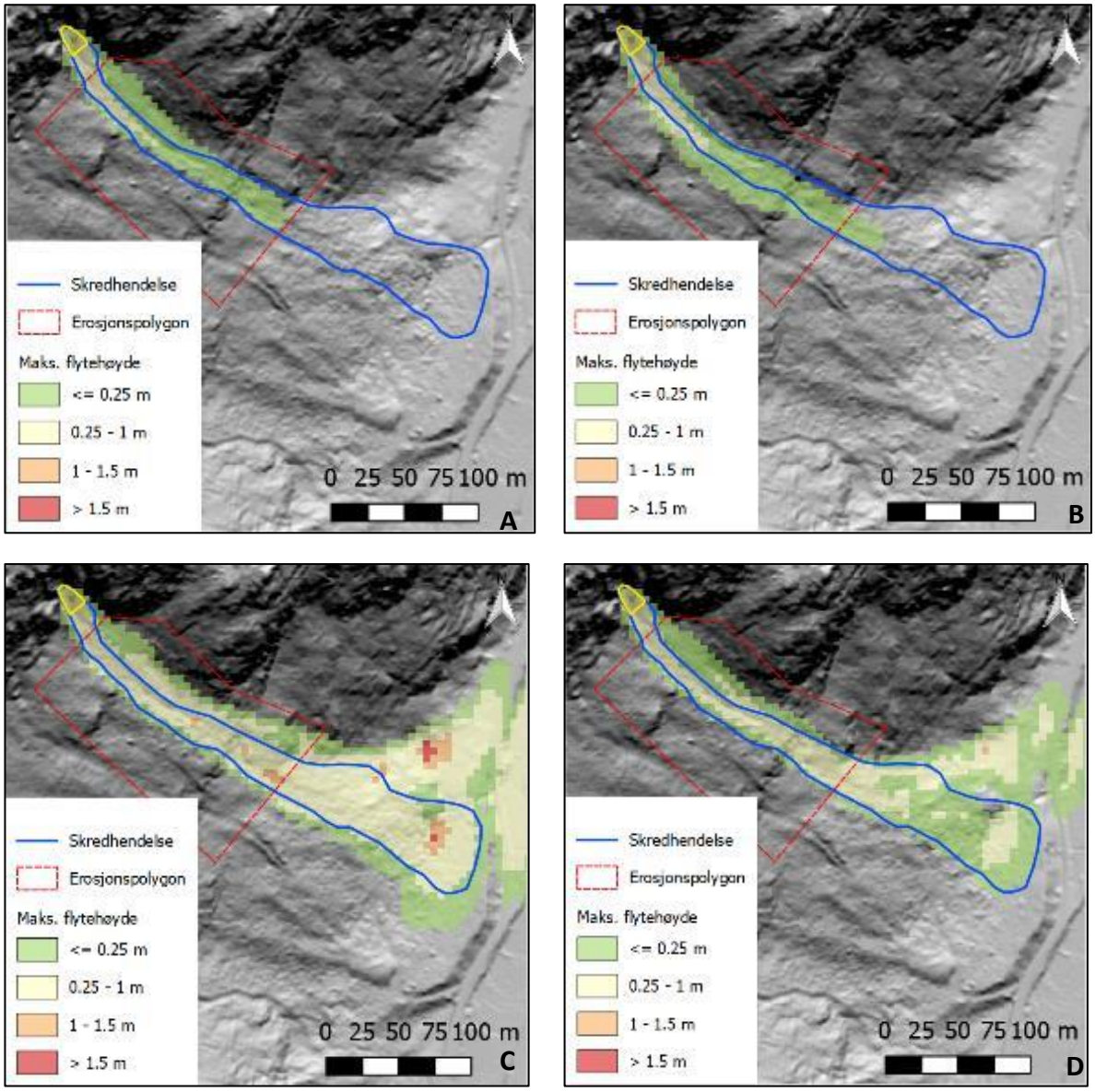
Figur 20: Skyggekart av fjellsiden rett sør for der skredet ved Marsteinbakkane løsnet. Det er tegn på at flere lignende skred tidligere startet i samme høyde (røde piler).



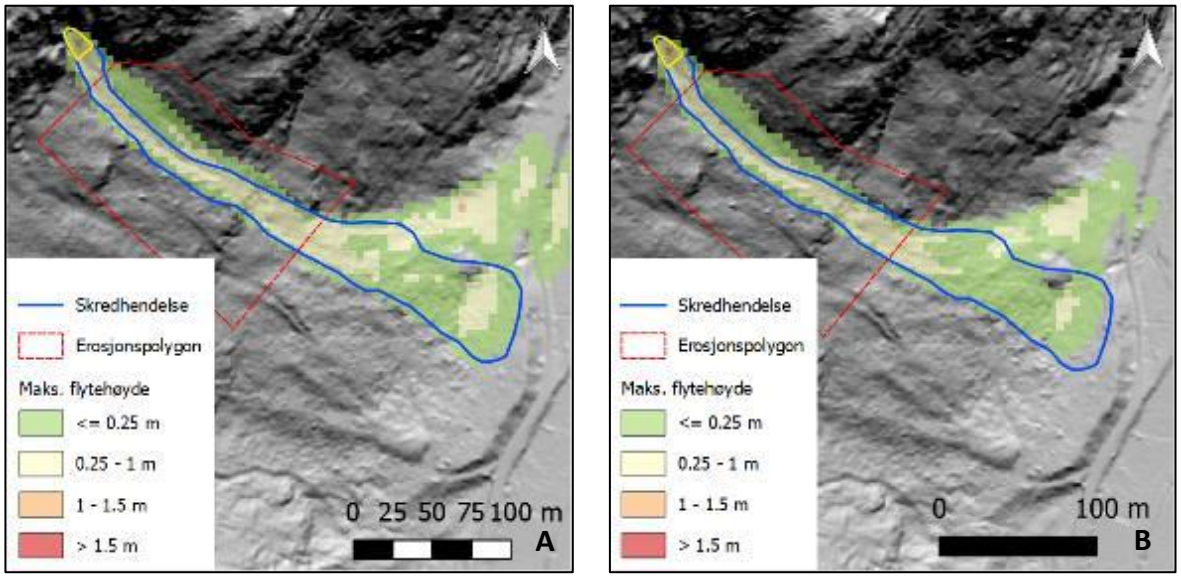
Figur 21: Skyggekart av skredet ved Marsteinbakkane, med tegnet erosjonspolygon.

4.6.2 Modelleringsresultater

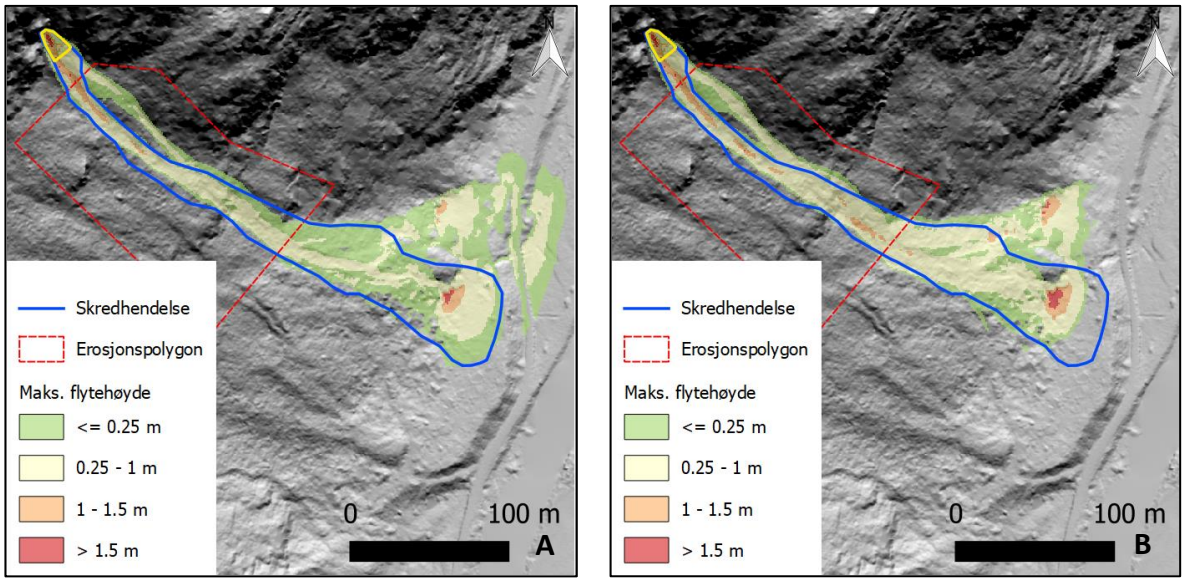
I Figur 22 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 4C – 4G.



Figur 22: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow utført med 5 m DTM. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s). Beregningen har 5 x 5 m oppløsning som de andre i denne rapporten, men resultatet i denne og andre små skredbaner synes noe mer pikselert pga. zoomfaktor.



Figur 23: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow utført med 5 m DTM. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).



Figur 24: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow utført med 1 m DTM. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.6.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende volum på ca. 260 m^3), klarer ikke resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten, å reprodusere det registrerte skredutløpet. Skredmassene stopper opp uten å nå foten av skråningen, selv når konservative friksjonsparametere velges (Figur 22A og B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 21, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 3.100 m^3. Det beregnede utløpet sprer seg betydelig mer, både i lengde og i bredde, enn det registrerte utløpet i november 2016 (Figur 22C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 1.100 m^3. Det beregnede utløpet (Figur 22D) blir både i lengde og bredde mindre enn ved bruk av en erosjonsrate for normalt lagrede masser, og i lengde matcher perfekt med det registrerte skredutløpet.

Når det gjelder sidespredning av det modellerte skredet, avviker dette noe fra det registrerte: modellen viser at om lag halvparten av skredmassene går ned mot nordøst, mens det registrerte utløpet gikk rett ned mot sørøst. Dette skjer både når beregningene utføres basert på DTM fra LiDAR data samlet i 2012 og i 2017, dvs. før og etter 2016-hendelsen. Det er altså ikke avsetningen av 2016-skredet som i modellresultatene leder deler av skredet mot nordøst.

Til tross for avviket i sidespredning ift. det registrerte skredet vurderes resultatet i Figur 22D som godt nok i en skredfarekartleggingssituasjon.

Et forsøk er likevel gjort til ytterligere forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp ved å bruke en potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow») istedenfor 0,1 m/kPa («medium»). Resultatet (Figur 23B) gir akkurat litt kortere utløp enn det faktisk registrerte. Sånn sett fremstår resultatet i Figur 22D / Figur 23A som det en bør legge størst vekt på, i en ev. skredfarekartlegging av den fjellsiden.

Vi har også kjørt modellen med beregningsoppløsning på 1 m, og i dette tilfellet også går noe av skredmassene mot nordøst (Figur 24), dog i litt mindre grad enn når 5 m DTM brukes (Figur 23). Utløpslengden beregnet med 5 m DTM er litt lenger enn den beregnet med 1 m DTM, i samsvar med våre tidligere erfaringer.

4.7 Case 5 – Yri i Stryn

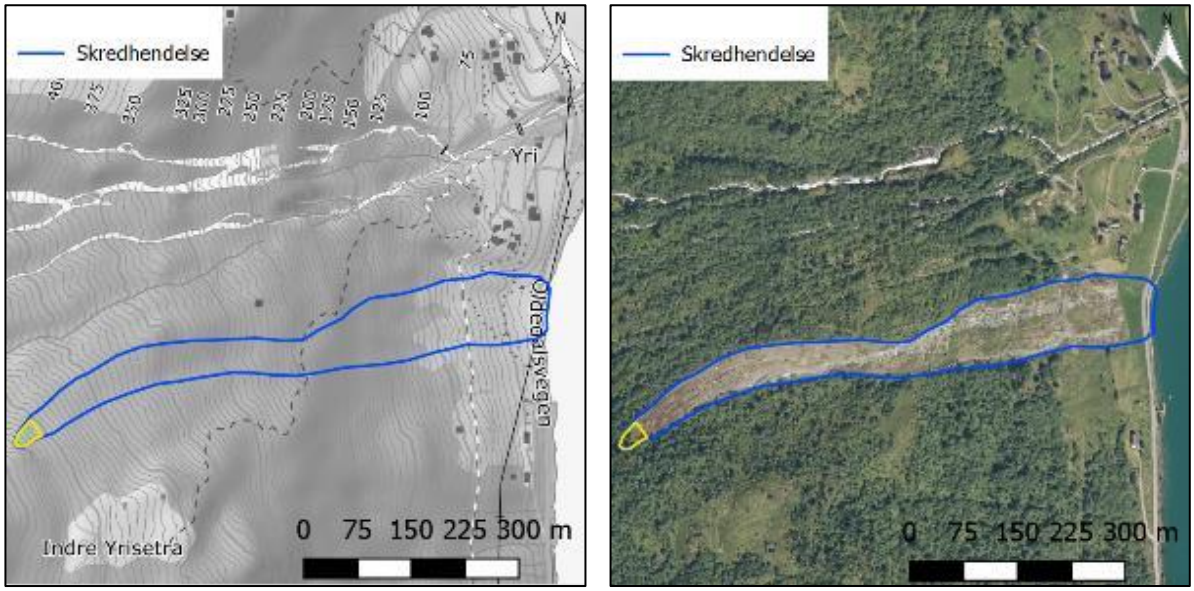
4.7.1 Kort beskrivelse

Skredet er lokalisert rett sør for Yrineset i Stryn. Hendelsen skjedde 15november 2013. Skredløpet strekker seg 750 m i luftlinje fra løsnepunktet (480 moh.) ned til Oldevatnet (34 moh.), som deler av skredmassene gikk inn i.

Figur 25 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 5A og 5B.

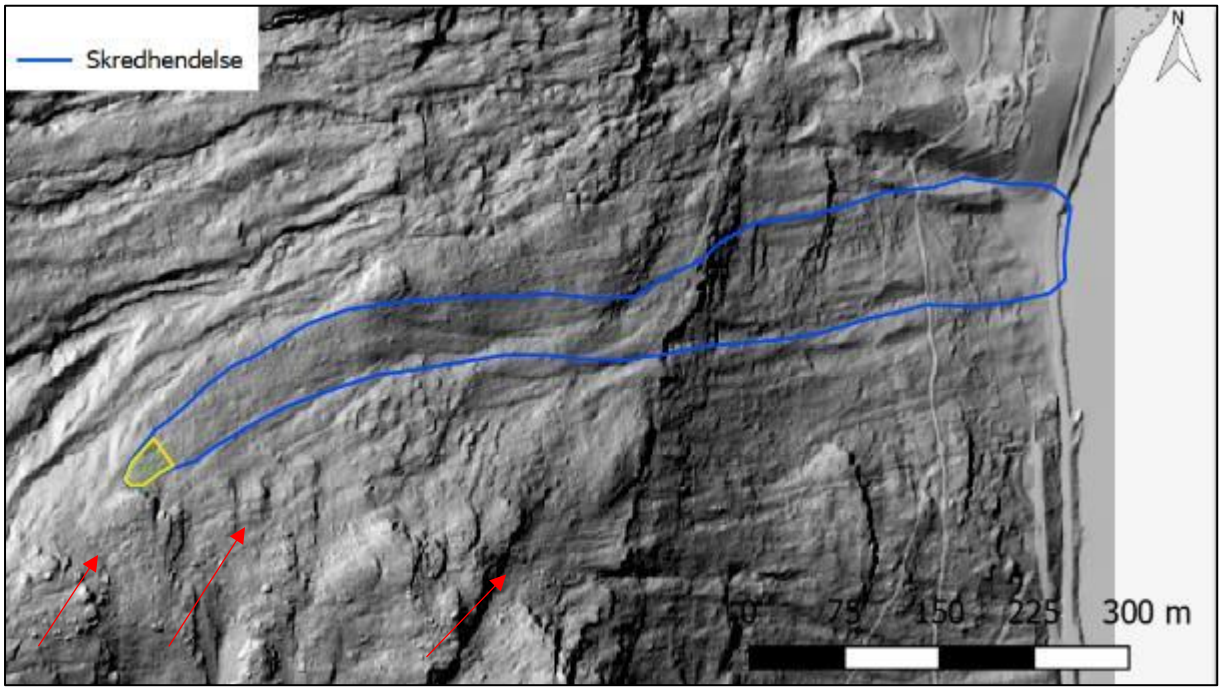
Avgrensningen av løsneområdet, skredbanen og utløpsområdet er gjort på bakgrunn av flyfoto- og skyggekartanalyse. Når det gjelder størrelsen av løsneområdet, dvs. den nedre avgrensningen av dette i forhold til resten av skredbanen, er det som for alle de større skredene i denne rapporten begrenset til ca. 25 høydemeter fra den øvre enden identifisert på flyfoto og skyggekart.

Skyggekart viser for øvrig at flere jordskred i samme fjellside løsnet fra omtrent den samme høyden, i tillegg til mange som løsnet lenger oppe i fjellet (Figur 26). Dette betyr at selv uten kjennskap til denne skredhendelsen av 2013 burde det vært mulig å fange opp (og tegne) mulige løsneområder for jordskred i den delen av fjellsiden.

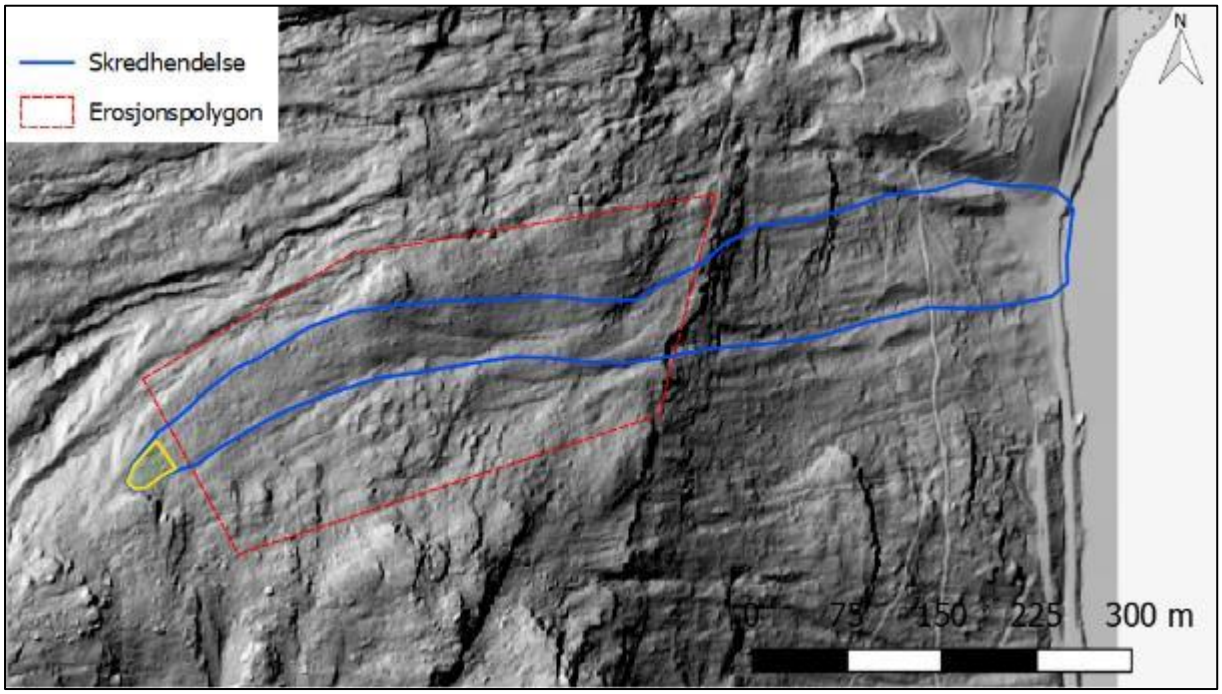


Figur 25: Oversiktskart og flyfoto av skredet ved Yri, avgrenset av den blå linja (flyfoto fra www.norgeibilder.no).

Polygonen for området med tillatt erosjon ble avgrenset, nederst, i delen av fjellsiden der skyggekartet synes å vise overgang fra markert erosjon til mindre erosjon eller mulig avsetning av masser (Figur 21). Erosjonspolygonen dekker ca. 60 – 70% av skredbanelengden.



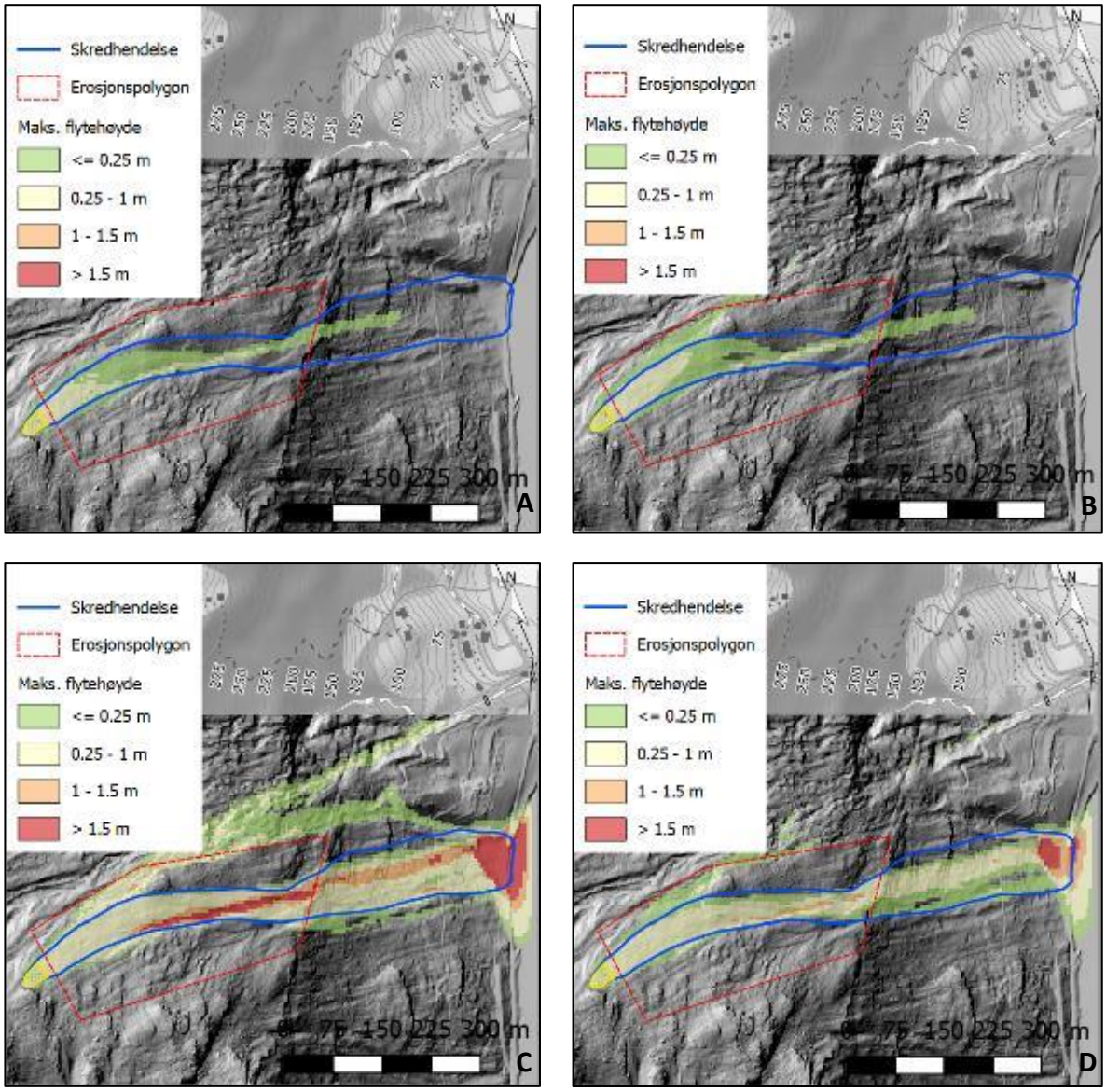
Figur 26: Skyggekart av skredet ved Yri. Det er tegn på at lignende skred tidligere startet i ca. samme høyde (røde piler), i tillegg til skred som gikk ned fra høyere oppe i fjellet (flere spor rett nord for Yri-skredet).



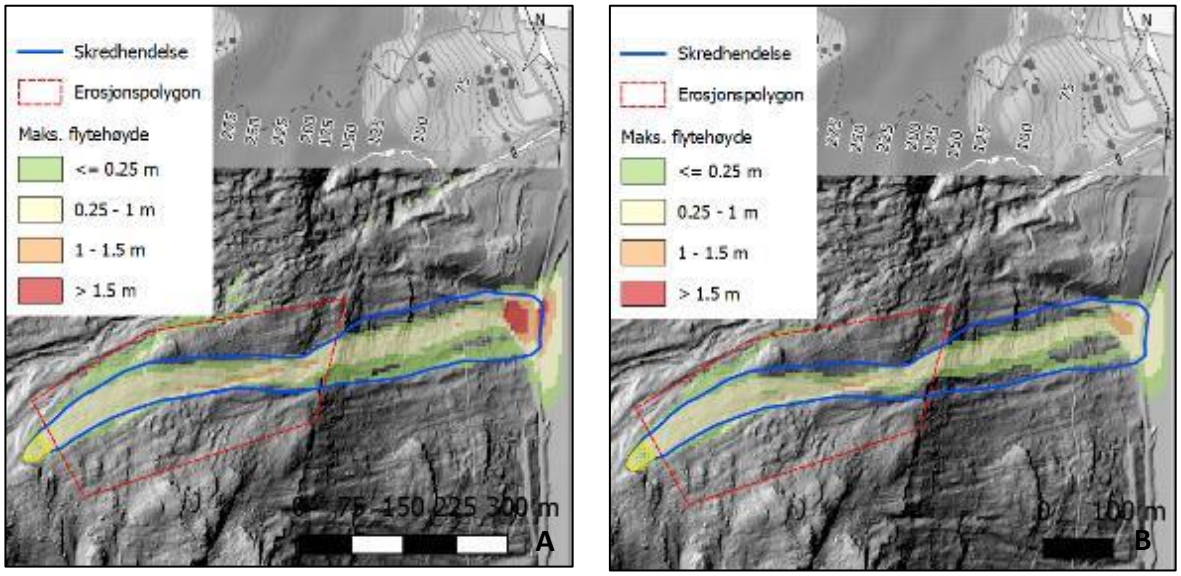
Figur 27: Skyggekart av skredet ved Yri, med tegnet erosjonspolygon.

4.7.2 Modelleringsresultater

I Figur 28 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 5C – 5G.



Figur 28: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 29: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.7.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende volum på ca. 900 m^3), klarer ikke resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten, å reprodusere det registrerte skredutløpet. Skredmassene stopper opp uten å nå foten av skråningen, selv når konservative friksjonsparametere velges (Figur 28A og B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 27, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 18.000 m^3. Det beregnede utløpet sprer seg betydelig mer i bredde (med en ny «sidearm» av skredutløpet) i forhold til det registrerte utløpet i november 2013 (Figur 28C). En tilsynelatende stor andel av skredmassene går ut i Oldevatnet, der modellen viser mye sidespredning pga. at terrengmodellen ikke representerer topografien under vannet.

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), blir det totale skredvolumet på ca. 7.000 m^3. Sidearmen av skredet blir i dette tilfellet ubetydelig og skredbredden matcher godt med den faktisk registrerte (Figur 28D). En mindre del av det modellerte utløpet går ut i Oldevatnet, men forskjellen er liten.

Vi vet at en del av skredmassene i 2013 ble avsatt i nederste del av fjellsiden, inkl. på vegen, men vi vet ikke hvor stor andel av skredmassene gikk ut i vannet. Påstanden om at resultatet i Figur 28D bedre representerer det faktiske skredutløpet enn det i Figur 28C er i dette tilfellet basert på betraktninger rundt sidespredningen, samt et inntrykk av andelen av skredet som stopper på land vs. den som går ut i Oldevatnet.

Resultatet i Figur 28D vurderes uansett som godt nok i en skredfarekartleggingssituasjon.

Et forsøk er likevel gjort til ytterligere forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp ved å bruke en potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow») istedenfor 0,1 m/kPa («medium»). Resultatet (Figur 29B) gir ikke vesentlig kortere utløp, men det gir litt tynnere masser helt nederst i skredbanen og spesielt mindre sidespredning enn det som ble registrert i 2013. Resultatet i Figur 28D er derfor det som vi ville lagt størst vekt på, i en ev. skredfarekartlegging av den fjellsiden.

4.8 Case 6 – Jølstra i Jølster

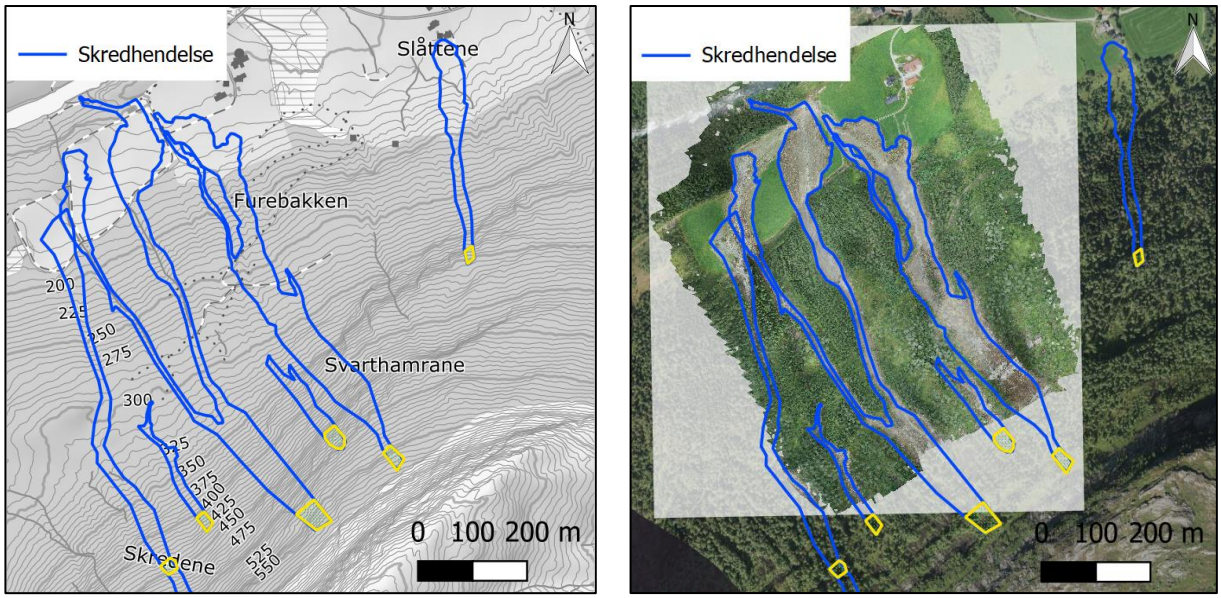
4.8.1 Kort beskrivelse

Denne case omfatter 5 – 6 jordskred på nordvestsiden av Halvgjerda (856 moh.) ved Jølstra i Jølster. Skredene gikk omtrent samtidig den 30. juli 2019. De ulike skredløpene strekker seg 400 - 800 m i luftlinje fra løsnepunktene, som ligger mellom 400 – 570 moh., og ned til gårdene ved Slåttene (ca. 150 moh.). Kun en veldig liten del av massene gikk ut i elva Jølstra.

Figur 30 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 6A og 6B.

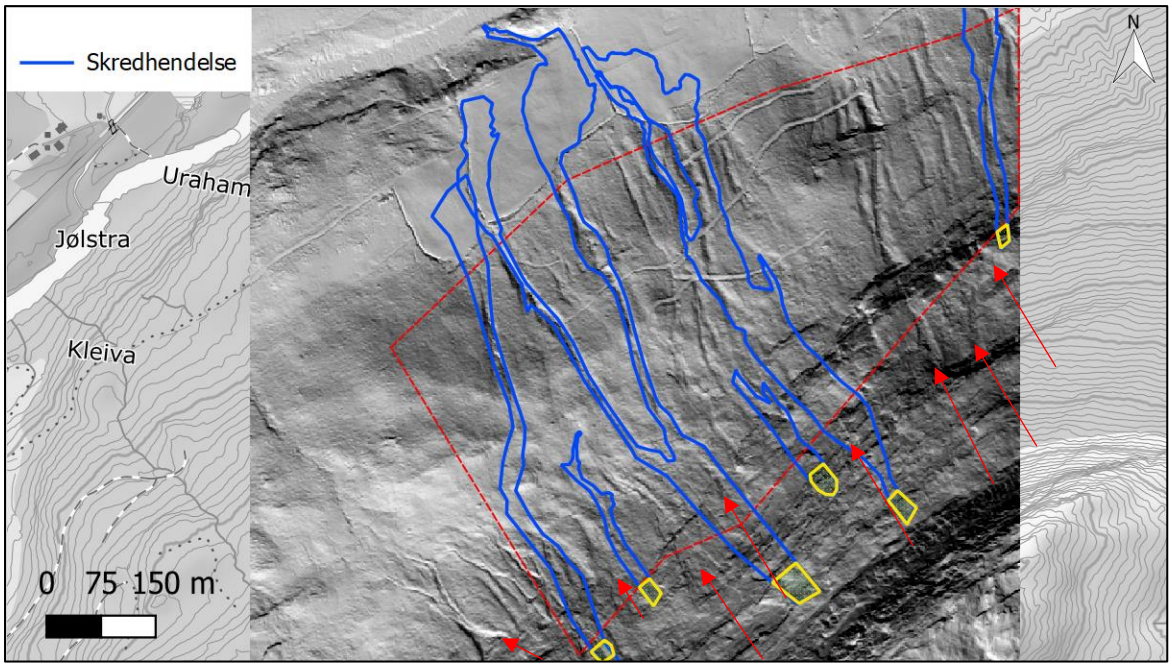
Avgrensningen av løsneområdet, skredbanen og utløpsområdet er gjort på bakgrunn av et georeferert flyfoto fra etter 2019-hendelsene, gjort tilgjengelig av NVE. Når det gjelder størrelsen av løsneområdene, dvs. den nedre avgrensningen av disse i forhold til resten av skredbanene, er det som for alle de større skredene i denne rapporten begrenset til ca. 25 høydemeter fra toppen, identifisert på flyfoto og skyggekart.

Skyggekartet viser for øvrig at flere jordskred i samme fjellside løsnet fra omtrent den samme høyden, tilsynelatende rett nedenfor de bratte fjellskrentene (Figur 31). Dette betyr at selv uten kjennskap til 2019-hendelsene burde det vært mulig å fange opp og tegne mulige løsneområder for jordskred i den delen av fjellsiden.

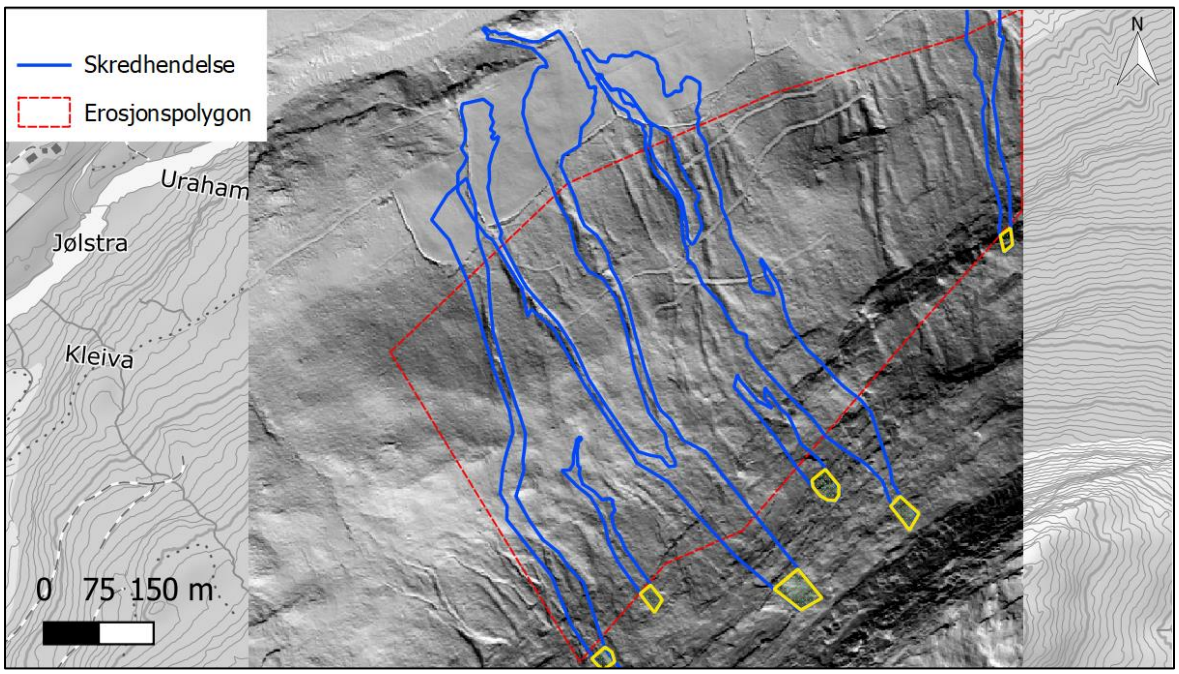


Figur 30: Oversiktskart og georeferert flybilde av noen av skredene ved Jølstra, oversendt av NVE (flyfotoet i bakgrunnen er fra www.norgeibilder.no).

Polygonen for området med tillatt erosjon ble avgrenset, nederst, i delen av fjellsiden der skyggekartet synes å vise overgang fra markert erosjon til mindre erosjon eller mulig avsetning av masser (Figur 32). Som løsneområdene, kunne også områdene med mulig erosjon av løsmassedekket blitt registrert uavhengig av 2019-hendelsene, siden de vises godt på eldre terrengmodeller og skyggekart. Erosjonspolygonen dekker i dette tilfellet om lag 60 – 70% av skredbanelengden.



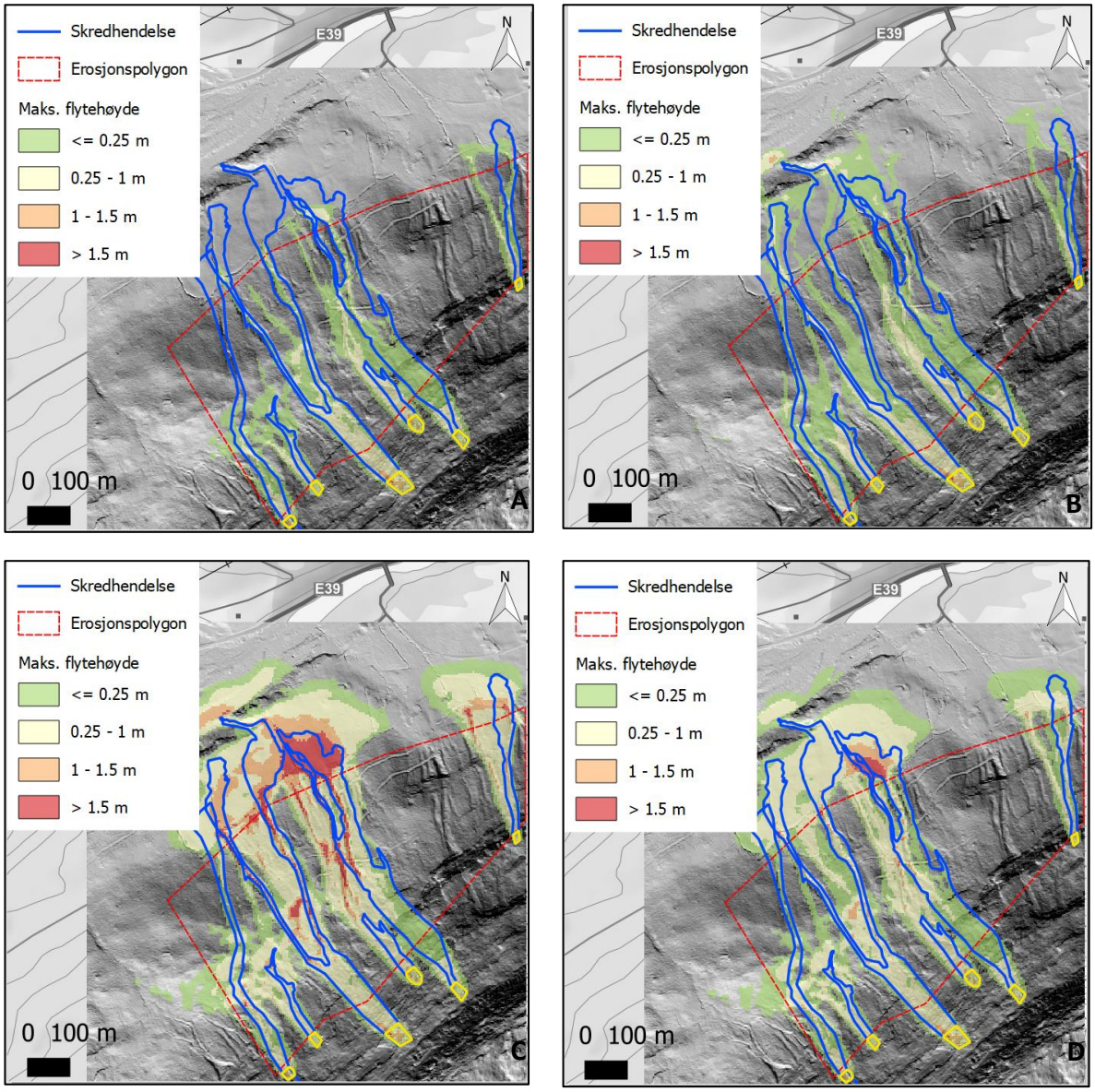
Figur 31: Skyggekart av skredene ved Jølstra. Det er tegn på at lignende skred tidligere startet i ca. samme høyde (røde piler).



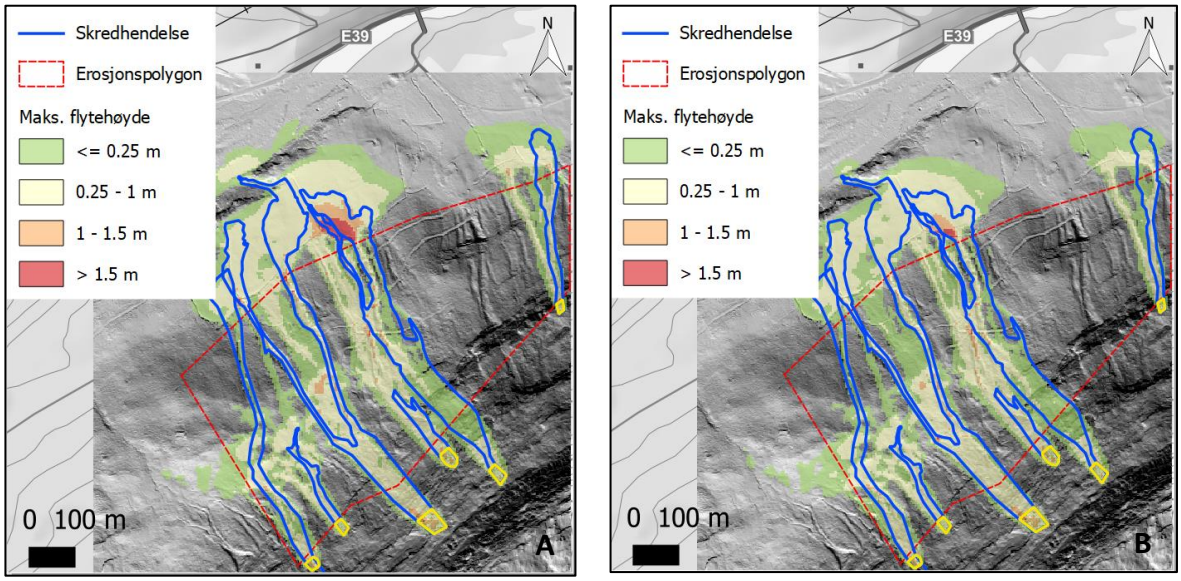
Figur 32: Skyggekart av skredene ved Jølstra, med tegnet erosjonspolygon.

4.8.2 Modelleringsresultater

I Figur 33 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Alle skredbanene er modellert samtidig, dvs. i samme modellkjøringer og ikke enkeltvis. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 6C – 6G.



Figur 33: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 34: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.8.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes med standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), klarer ikke resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten å reprodusere det registrerte skredutløpet. Skredmassene stopper opp uten å nå foten av skråningen (Figur 33A). Med svært konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05) nærmer det modellerte skredutløpet seg veldig det registrerte utløpet, men med flytehøyder stort sett godt under 25 cm. Inntrykket er at denne modellkjøringen også underestimerer hendelsene (Figur 33B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 32, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), blir de beregnede skredutløpene betraktelig større, både i bredde og lengde, enn de registrerte skredutløpene i 2019 (Figur 33C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), blir det det modellerte utløpet bare litt større enn det registrerte skredutløpet (Figur 33D). Noen av skredene får en litt annen og større sidespredning i forhold til det som ble registrert i 2019. Forskjellen ville likevel være av begrenset betydning i en reell skredfarekartleggingssituasjon, der enda flere løsneområder ble tegnet i fjellsiden med omfattende tegn på tidligere jordskred.

Resultatet i Figur 33D vurderes alt tatt i betraktning som godt nok.

Et forsøk er likevel gjort til ytterligere forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp ved å bruke en potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow») istedenfor 0,1 m/kPa («medium»). Resultatet (Figur 34B) gir kun litt kortere utløp og litt tynnere masser nederst i utløpsområdet, totalt sett med best match med det registrerte utløpet i 2013 blant våre modelleringsresultater. Begge resultater viser avsetninger med 0,25 - 1 m tykkelse i mesteparten av utløpsområdet, noe som stemmer overens med bilder oversendt av NVE.

4.9 Case 7 – Krundalen i Luster

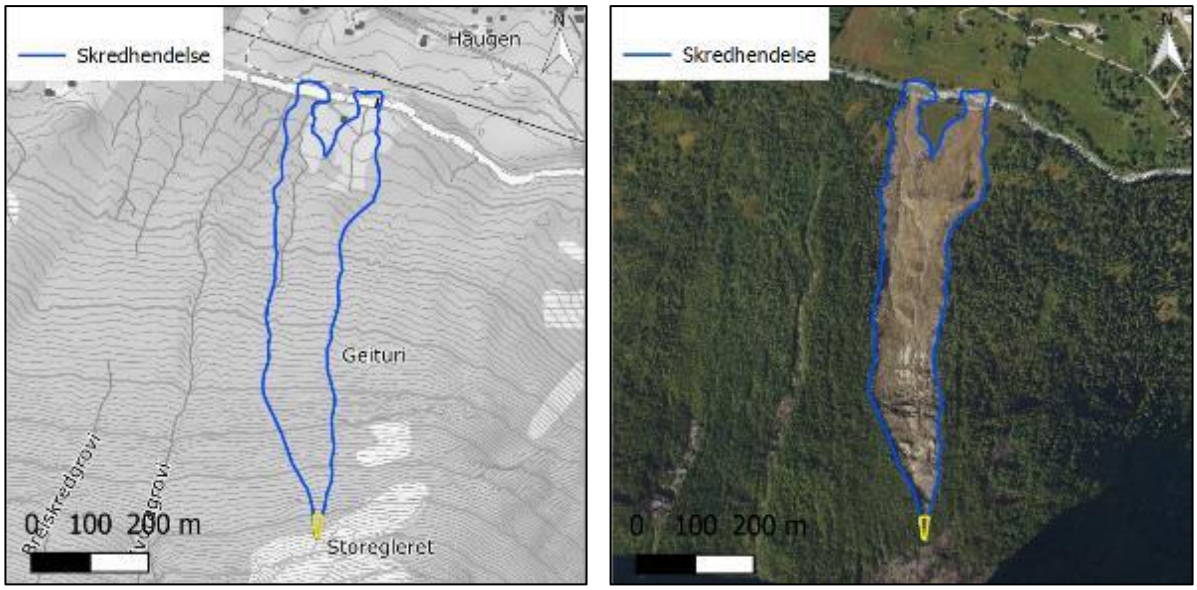
4.9.1 Kort beskrivelse

Området ligger på nordsiden av Dugurdskulen (1330 moh.) i Krundalen i Luster. Skredet gikk den 5. juli 2015. Skredløpet strekker seg ca. 800 m i luftlinje fra løsnepunktet på 630 moh., og ned til elva Krunøla (ca. 297 moh.).

Figur 35 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 7A og 7B.

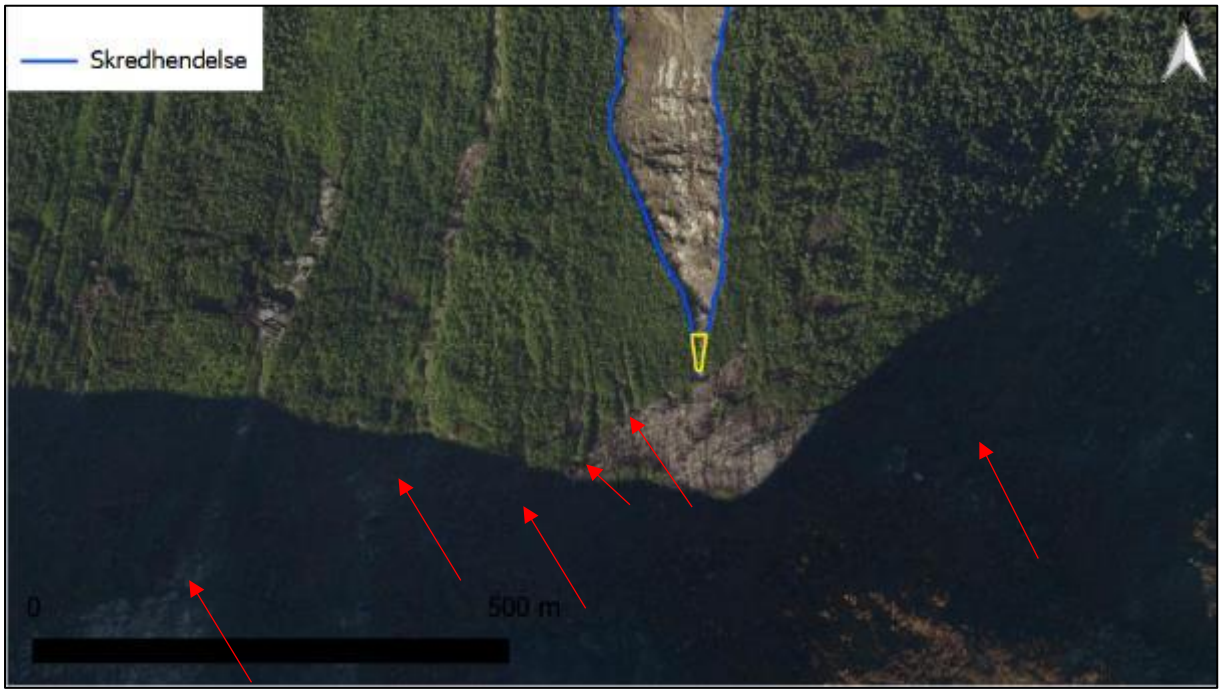
Plassering av løsneområdet, samt avgrensning av skredbanen og utløpsområdet er gjort på bakgrunn av flyfoto fra etter 2015-hendelsen. Skredbanen dekker en høydeforskjell på litt over 330 høydemeter. Den nedre avgrensningen av løsneområdet er derfor, som for alle de større skredene i denne rapporten, begrenset til ca. 25 høydemeter fra toppen.

Skyggekart og flyfoto viser for øvrig at flere jordskred i samme fjellside løsnet fra omtrent den samme høyden, rett nedenfor de bratte fjellskrentene (Figur 36). Dette betyr at selv uten kjennskap til 2015-hendelsene burde det vært mulig å fange opp og tegne mulige løsneområder for jordskred i den delen av fjellsiden.

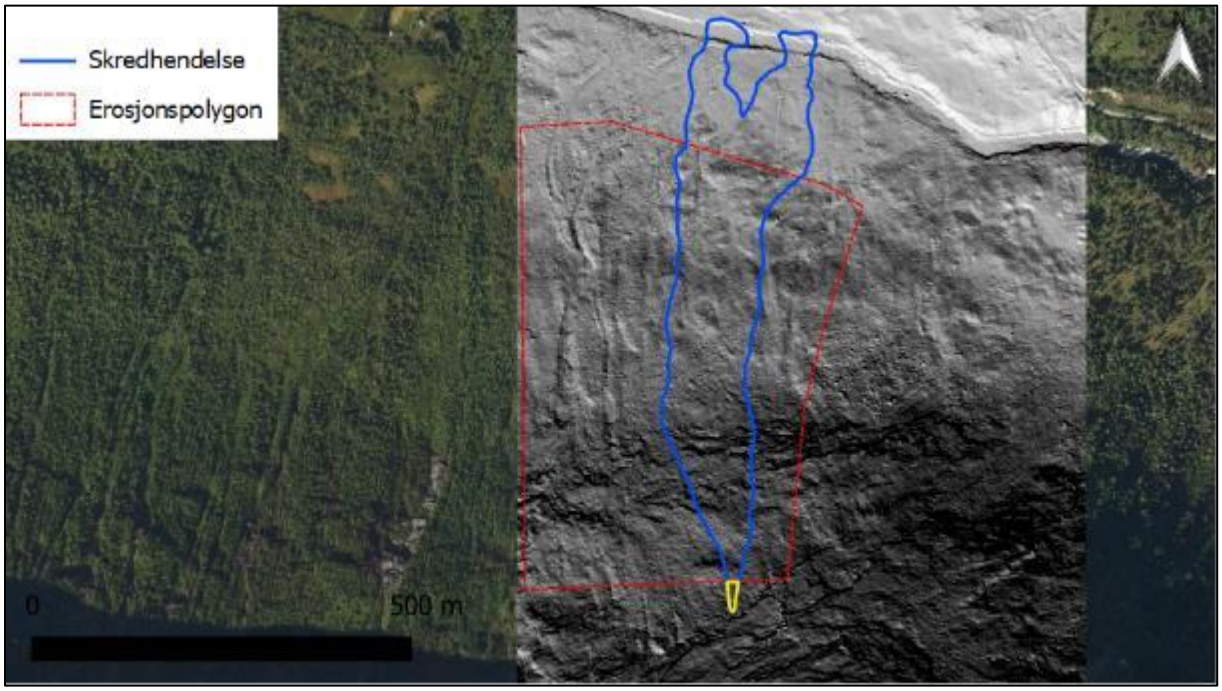


Figur 35: Oversiktskart og flybilde av skredet i Krundalen (flyfoto fra www.norgeibilder.no).

Polygonen for området med tillatt erosjon ble avgrenset, nederst, i delen av fjellsiden der skyggekartet (spesielt i nærliggende skredbaner) viser overgang fra erosjon til mulig avsetning av masser (Figur 37). Erosjonspolygonen dekker i dette tilfellet om lag 75 - 80% av skredbanelengden.



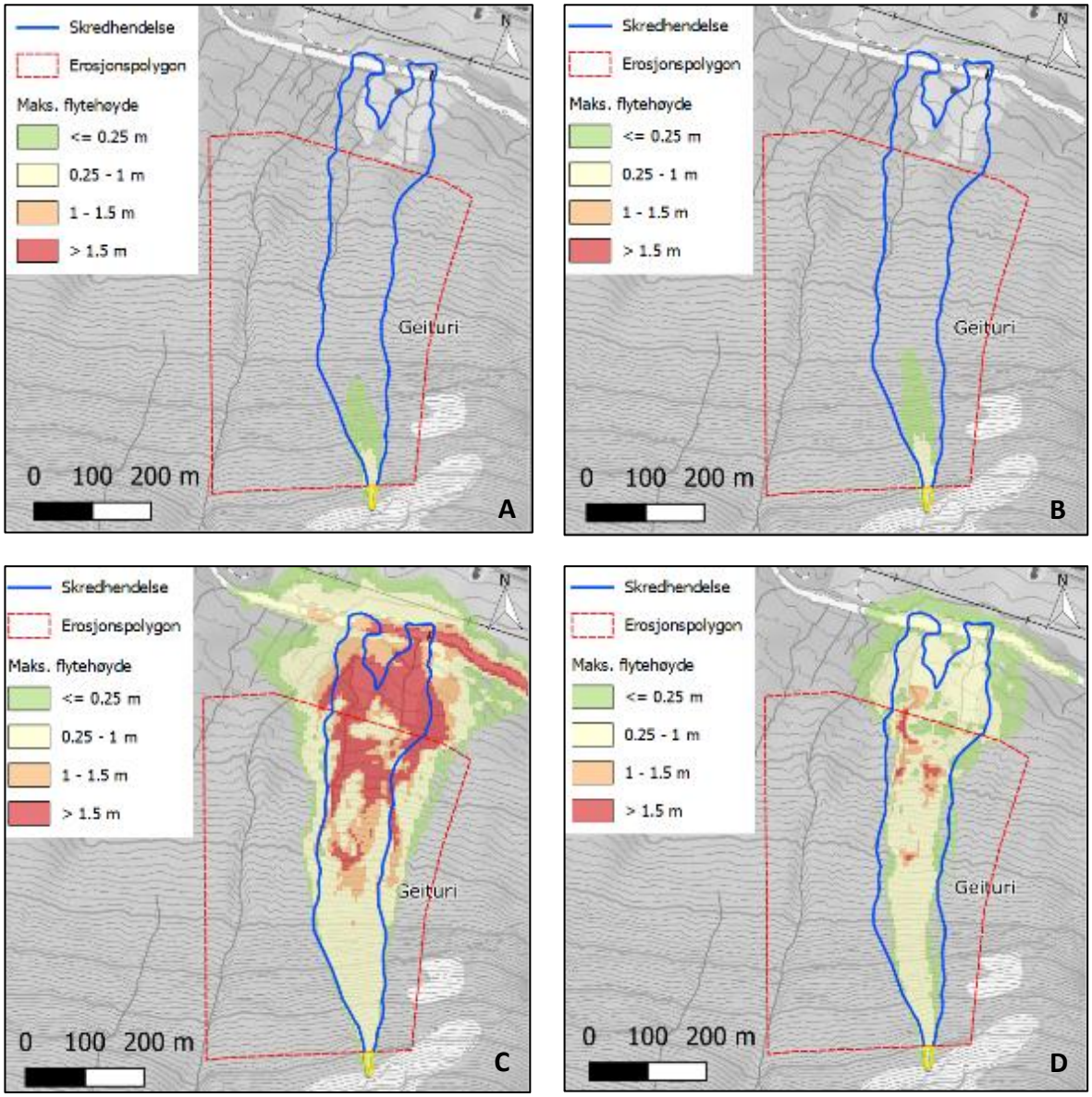
Figur 36: Flyfoto av skredet i Krundalen. Det er tegn på mange eldre jordskred utløst i omtrent samme høyde rett nedenfor fjellskrentene (røde piler).



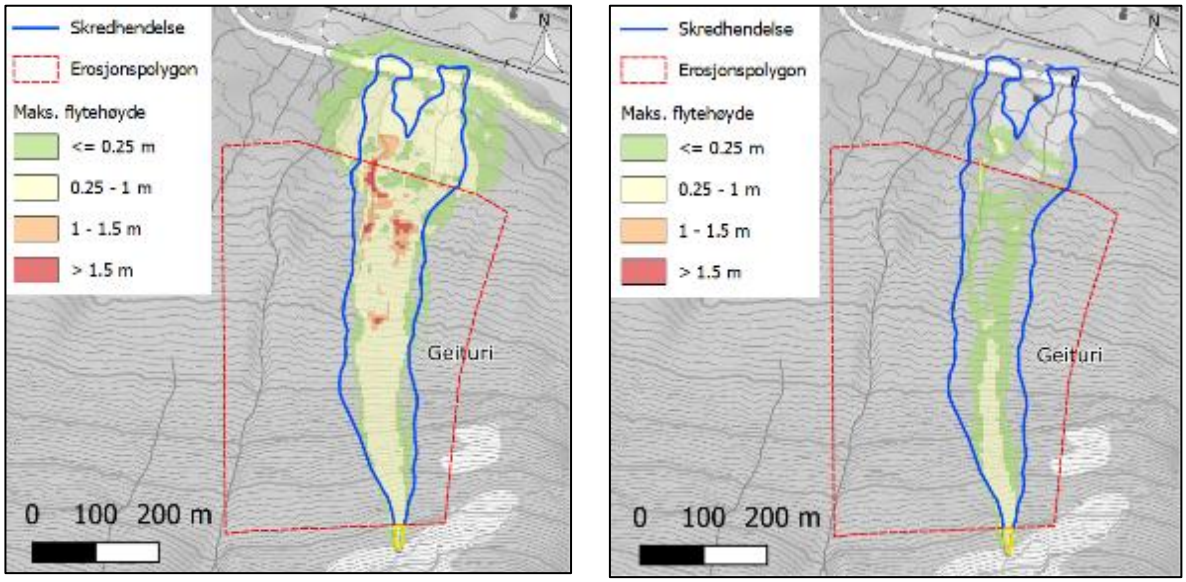
Figur 37: Skyggekart av skredet i Krundalen, med tegnet erosjonspolygon.

4.9.2 Modelleringsresultater

I Figur 38 og Figur 39 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 7C – 7G.



Figur 38: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 39: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.9.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende mobilisert volum på ca. 500 m^3), med standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), klarer ikke resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten å reprodusere det registrerte skredutløpet. Skredmassene stopper opp uten å nå foten av skråningen, uansett de valgte friksjonsparametere (Figur 38A og B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 37, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), med resulterende skredvolum på ca. 45.000 m^3, blir det beregnede skredutløpet betraktelig større, både i bredde og lengde, enn det registrerte i 2015 (Figur 38C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), med resulterende skredvolum på ca. 15.000 m^3, blir det det modellerte utløpet bare litt større enn det registrerte skredutløpet (Figur 38D). Dette resultatet vurderes alt tatt i betraktning som godt nok i en reell skredfarekartleggingssituasjon.

Forsøk til ytterligere forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp ved å bruke en potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow») istedenfor 0,1 m/kPa («medium»), kraftig underestimerer i dette tilfellet skredutløpet i forhold til det registrerte (Figur 39B).

Resultatet i Figur 38D og Figur 39A er derfor det som vi ville anbefalt å legge større vekt på, i en ev. skredfarekartlegging av denne fjellsiden.

4.10 Case 8 – Veikleenget i Nord-Fron

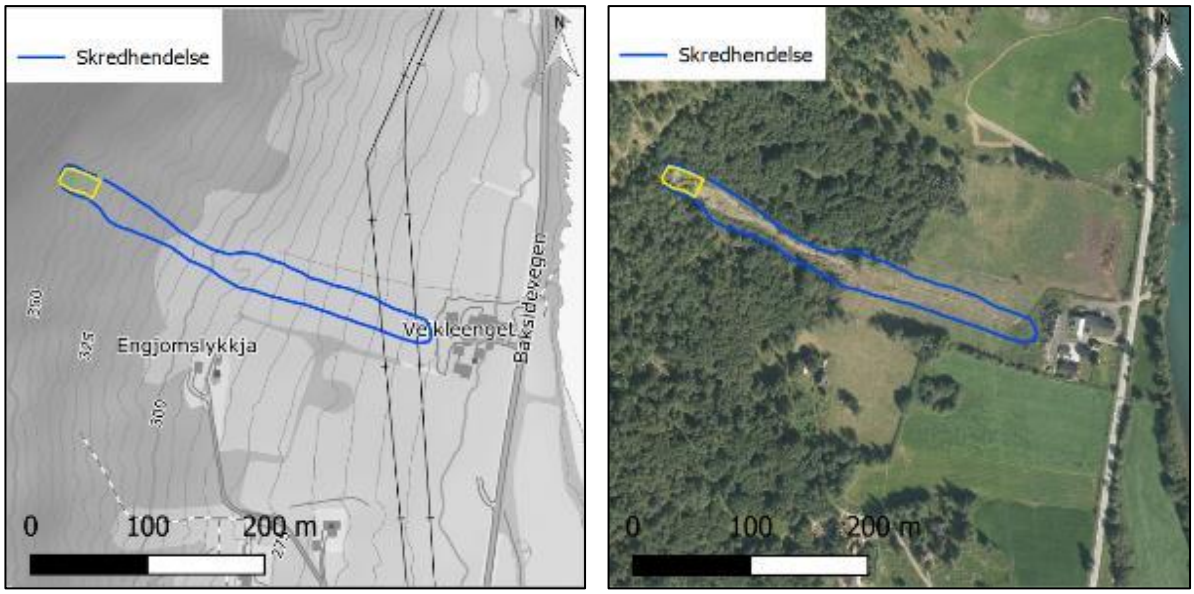
4.10.1 Kort beskrivelse

Området ligger mellom gårdene Engjomslykkja og Veikleenget på vestsiden av Lågen i Nord-Fron kommune. Skredet gikk den 22. mai 2013. Skredløpet strekker seg ca. 350 m i luftlinje fra løsnepunktet på 357 moh. og ned til den øvre grensen av gården Veikleenget (ca. 257 moh.). Skredet gikk altså akkurat 100 høydemeter nedover fjellsiden.

Figur 40 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 8A og 8B.

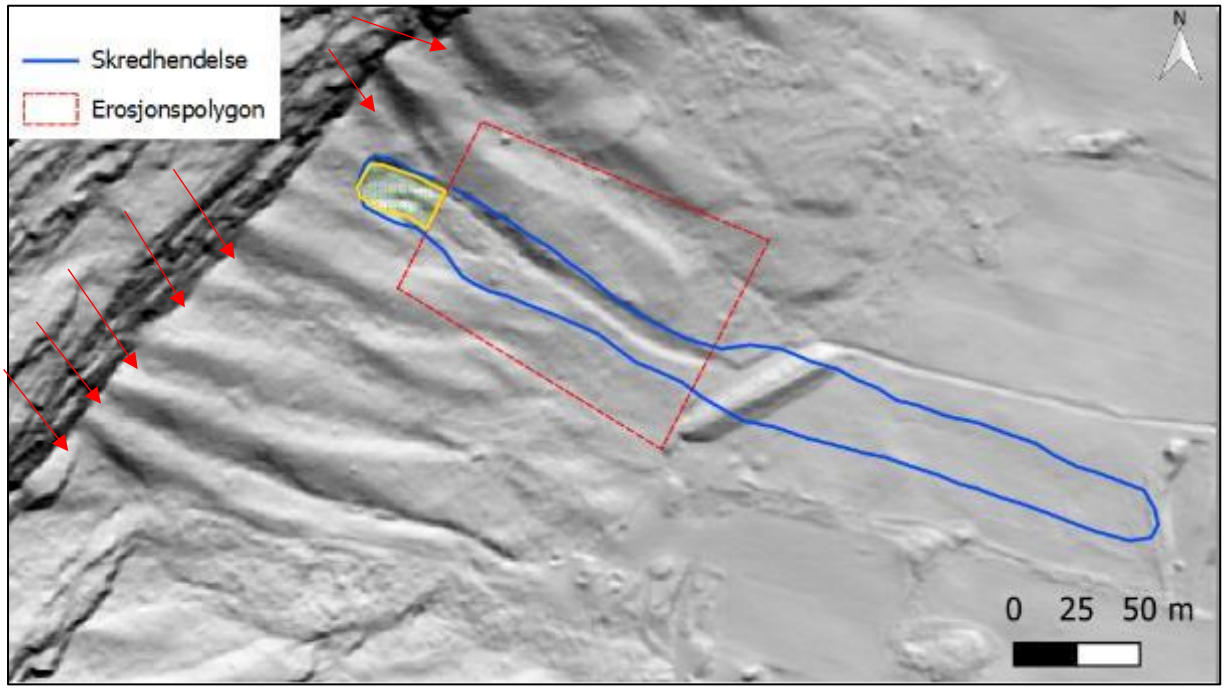
Plassering av løsneområdet, samt avgrensning av skredbanen og utløpsområdet er gjort på bakgrunn av flyfoto fra etter 2013-hendelsen. Siden skredbanen dekker en høydeforskjell på bare 100 høydemeter, er løsneområdet begrenset til ca. 15 høydemeter fra toppen.

Skyggekart og flyfoto viser for øvrig at flere jordskred løsnet fra omtrent den samme høyden i fjellsiden, rett nedenfor de bratte fjellskrentene (Figur 41). Dette betyr at selv uten kjennskap til 2013-hendelsene burde det vært mulig å fange opp og tegne mulige løsneområder for jordskred i den delen av fjellsiden.



Figur 40: Oversiktskart og flybilde av skredet ved Veikleenget (flyfotoet er fra www.norgeibilder.no).

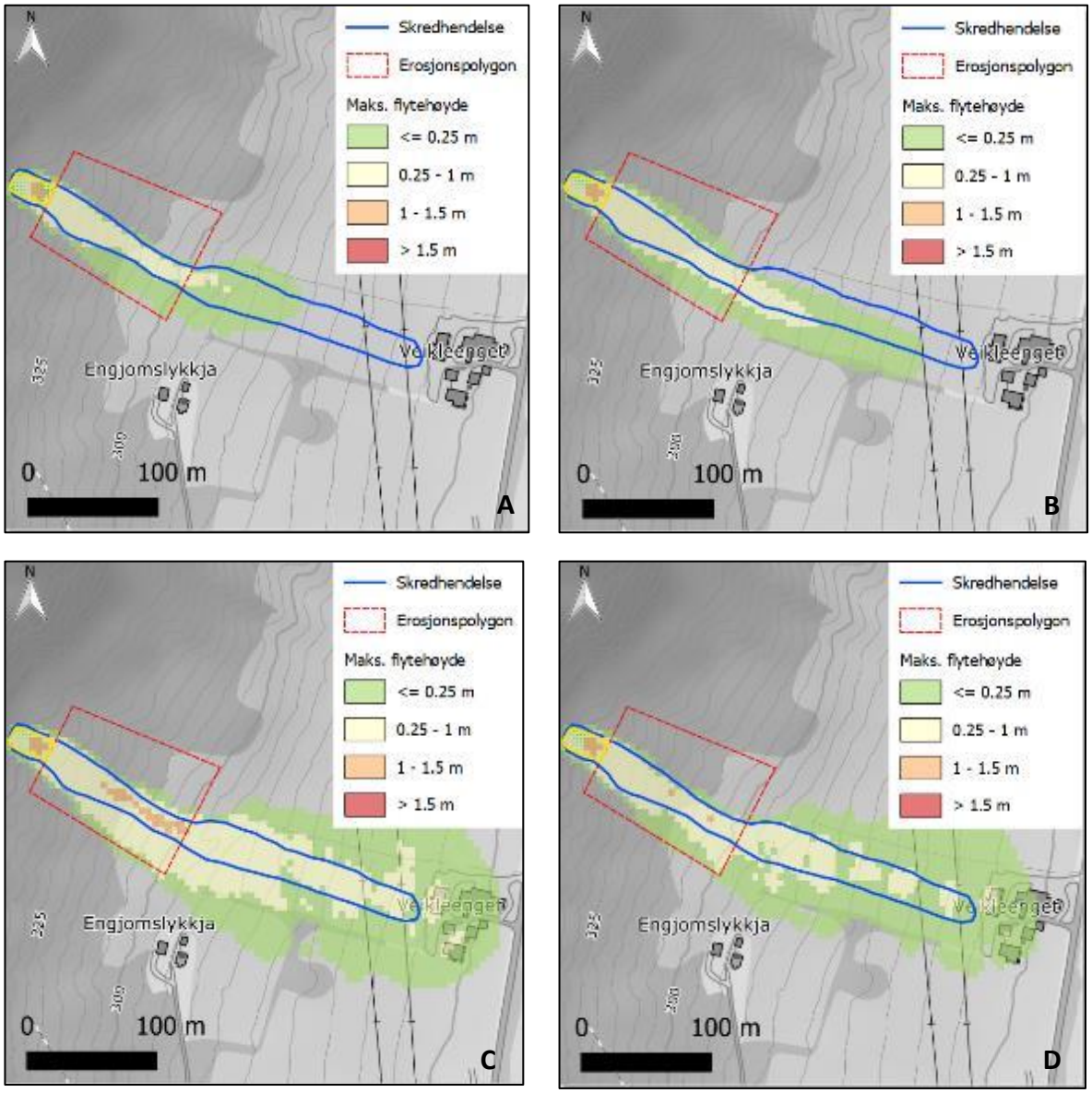
Polygonen for området med tillatt erosjon ble avgrenset, nederst, i den høyden der skyggekartet (også i nærliggende skredbaner) viser overgang fra erosjon til avsetning av masser (Figur 41). Erosjonspolygonen dekker i dette tilfellet om lag 40 - 50% av skredbanelengden.



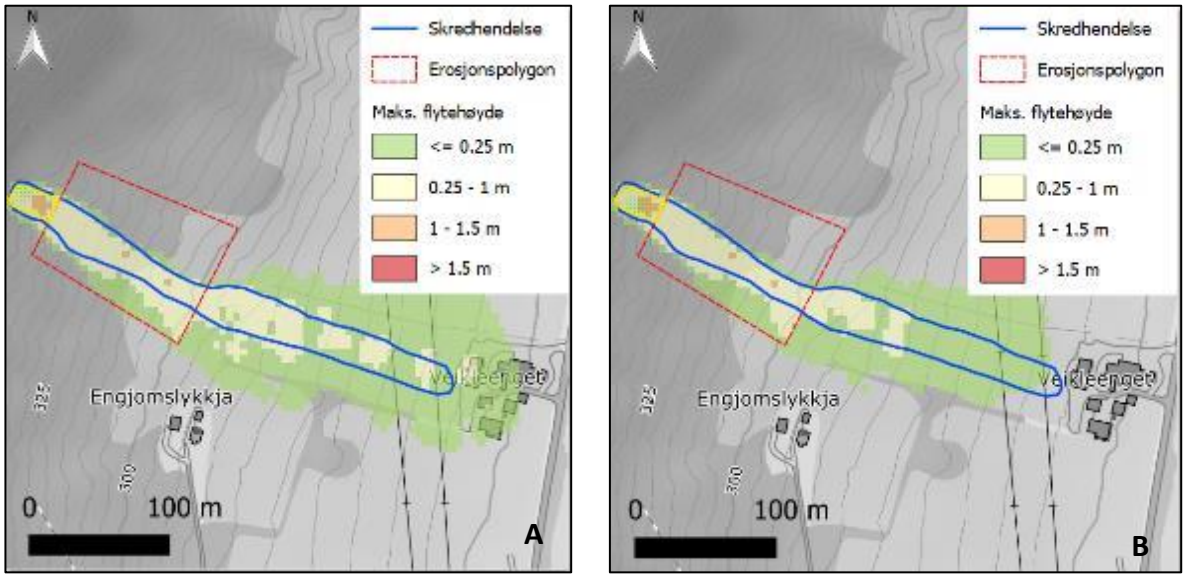
Figur 41: Skyggekart over skredet ved Veikleenget. Flere eldre jordskred ble tydeligvis utløst i samme høyde rett nedenfor fjellskrentene (røde piler). Dette skyggekartet er utarbeidet utfra LiDAR-data samlet i 2017, mens for modellering er det benyttet en DTM fra 2005, dvs. eldre enn både skredhendelsen vi forsøkte å etterregne og ledevollen synlig i figuren.

4.10.2 Modelleringsresultater

I Figur 42 og Figur 43 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 8C – 8G.



Figur 42: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 43: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.10.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende mobilisert volum på ca. 540 m^3), med standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), klarer ikke resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten å reprodusere det registrerte skredutløpet. Skredmassene stopper opp uten å nå foten av skredbanen, uansett de valgte friksjonsparametere (Figur 42A og B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 41, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), med resulterende skredvolum på 1.200 m^3, blir det beregnede skredutløpet større, både i bredde og lengde, enn det registrerte i 2013 (Figur 42C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), med resulterende skredvolum på 700 m^3, blir det det modellerte utløpet bare marginalt større enn det registrerte skredutløpet (Figur 42D), spesielt hvis man tar i betraktning at grønn farge i figurene indikerer masser med tykkelse under 25 cm. Hvis en ser på utløpet av massene med tykkelse mellom 25 cm og 1 m (gul farge), er dette svært likt det som faktisk ble registrert i 2013. Dette resultatet vurderes derfor som mer enn godt nok i en reell skredfarekartleggingssituasjon.

Forsøk til ytterligere forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp ved å bruke en potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow») istedenfor 0,1 m/kPa («medium»), underestimerer skredutløpet litt i forhold til det registrerte (Figur 43B).

Resultatet i Figur 42D og Figur 43A er derfor det som vi ville anbefalt å legge større vekt på, i en ev. skredfarekartlegging av denne fjellsiden.

4.11 Case 9 – Skjeggestad i Ringebu

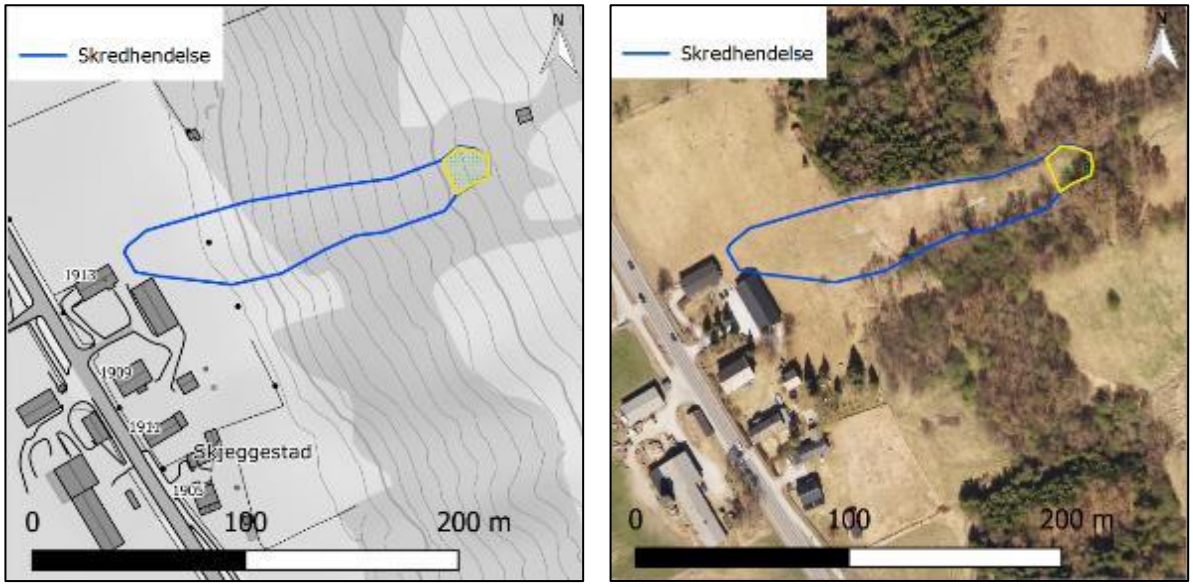
4.11.1 Kort beskrivelse

Området ligger ved Skjeggestad i Ringebu. Skredet gikk den 24. mai 2013. Skredløpet strekker seg ca. 170 m i luftlinje fra løsnepunktet på 260 moh. og ned til den øvre grensen av bebyggelsen (ca. 187 moh.). Skredet gikk altså ca. 70 høydemeter nedover fjellsiden. Denne hendelsen er med i prosjektet som et eksempel på mindre jordskred.

Figur *44* viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 9A og 9B.

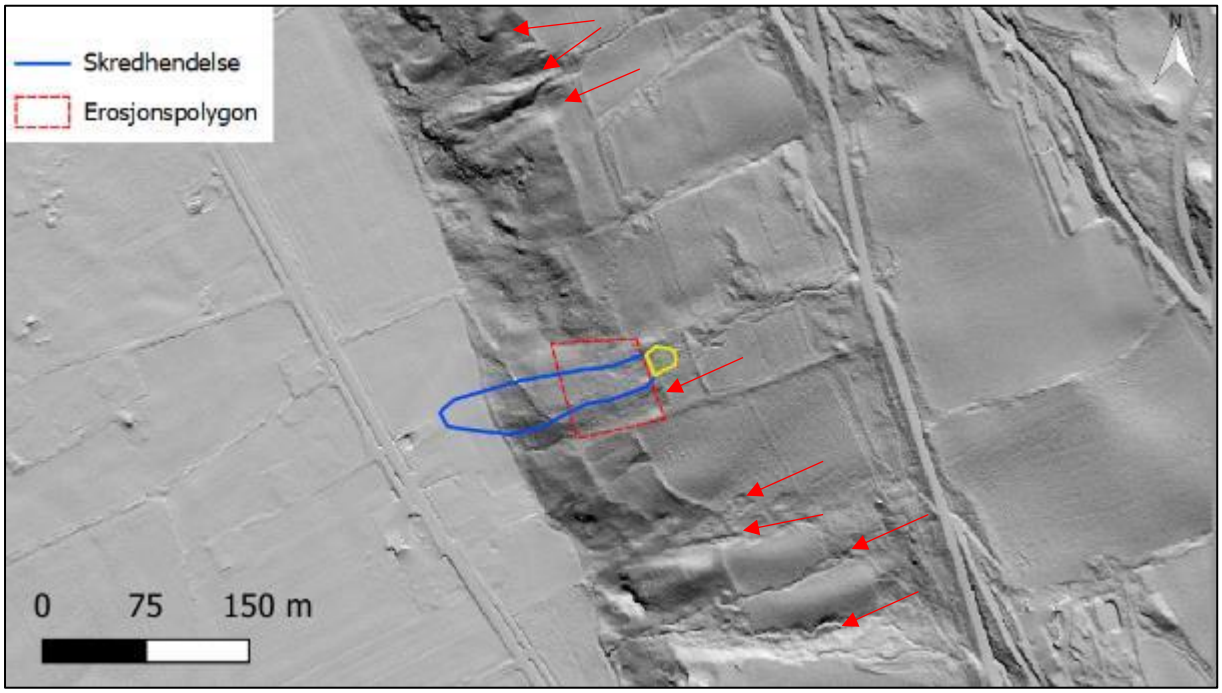
Plassering av løsneområdet, samt avgrensning av skredbanen og utløpsområdet er gjort på bakgrunn av flyfoto fra etter 2013-hendelsen, samt bilder oversendt av NVE. Siden skredbanen dekker en høydeforskjell på bare 73 høydemeter, er løsneområdet begrenset til ca. 10 høydemeter.

Skyggekart viser for øvrig at flere jordskred tidligere løsnet fra samme høyde i fjellsiden, ved knekkpunktet mellom slak dyrket mark og bratt skråning (Figur 45). Dette betyr at selv uten kjennskap til 2013-hendelsen burde det vært mulig å fange opp og tegne mulige løsneområder for jordskred i den delen av skråningen.



Figur 44: Oversiktskart og flybilde av skredet ved Skjeggestad i Ringebu (flyfoto fra www.norgeibilder.no).

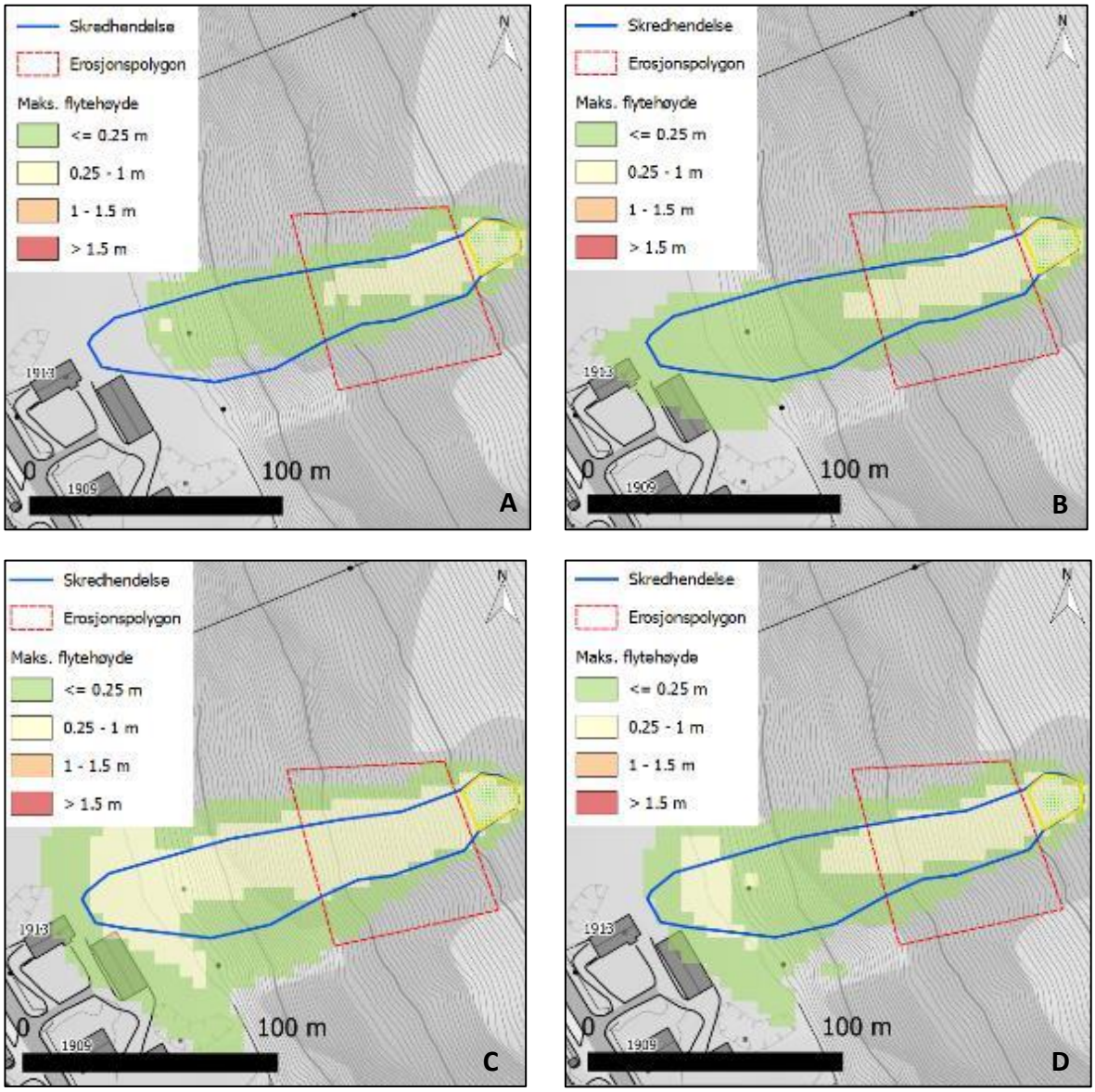
Polygonen for området med tillatt erosjon ble avgrenset, nederst, i den høyden der skyggekartet (også i nærliggende skredbaner) viser overgang fra erosjon til avsetning av masser (Figur 45). Erosjonspolygonen dekker i dette tilfellet om lag 40 - 50% av skredbanelengden.



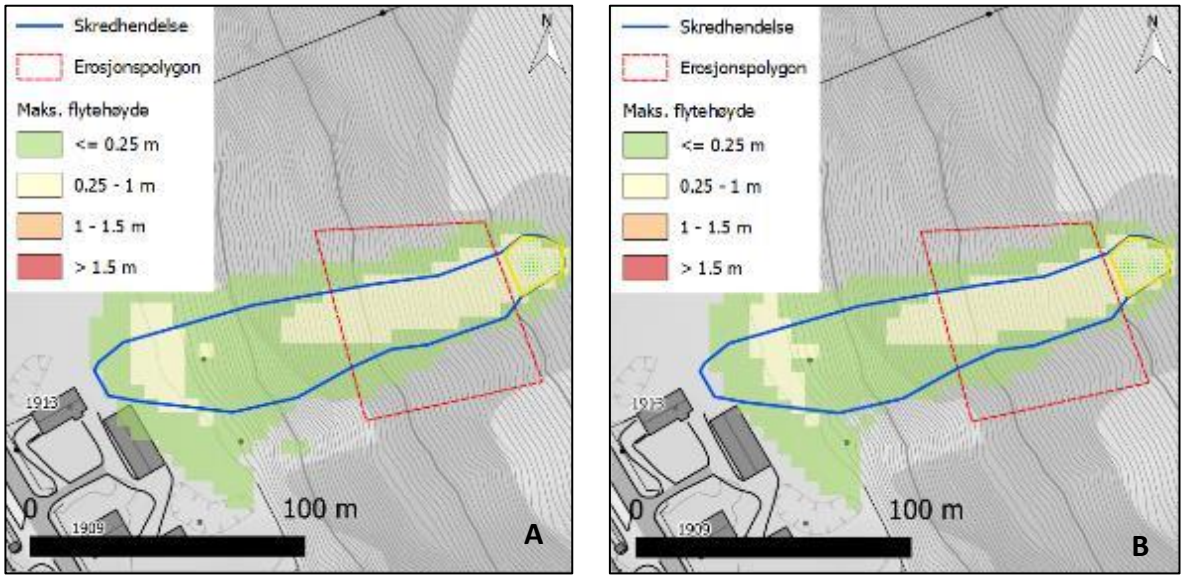
Figur 45: Skyggekart over skredet ved Skjeggestad. Flere eldre jordskred ble tydeligvis utløst i samme høyde, ved knekkpunktet mellom slak dyrket mark og bratt skråning (røde piler). Dette skyggekartet er utarbeidet utfra LiDAR-data samlet i 2017, mens for modellering er det benyttet en DTM fra 2012, dvs. eldre skredhendelsen vi forsøkte å etterregne.

4.11.2 Modelleringsresultater

I Figur 46 og Figur 47 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 9C – 9G.



Figur 46: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 47: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).

4.11.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende mobilisert volum på ca. 350 m^3), med standard friksjonsparametere (*xi=200m/s^2; mu=0,2)*, viser resultater av modellering utført uten å aktivere erosjonsfunksjonaliteten et for kort skredutløp (Figur 46A). Med veldig konservative friksjonsparametere (Figur 46B) blir utløpet omtrent som det faktisk registrerte, men massene er mye tynnere (< 0,25 cm) enn det som gikk ned i 2013.

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i *Figur 45*, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), med resulterende skredvolum på 700 m^3, blir det beregnede skredutløpet større, både i bredde og lengde, enn det registrerte i 2013 (Figur 46C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), med resulterende skredvolum på 600 m^3, blir det det modellerte utløpet bare marginalt større enn det registrerte skredutløpet (Figur 46D), spesielt hvis man tar i betraktning at grønn farge i figurene indikerer masser med tykkelse under 25 cm. Hvis en ser på utløpet av massene med tykkelse mellom 25 cm og 1 m (gul farge), er dette svært likt det som faktisk ble registrert i 2013. Dette resultatet vurderes derfor som mer enn godt nok i en reell skredfarekartleggingssituasjon.

Et ytterligere forsøk til forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp, viser minimal forskjell når det gjelder utløpslengde, sidespredning og massetykkelse mellom resultatet med potensiell erosjonsdybde på 0,05 m/kPa («shallow», Figur 47B) og det med potensiell erosjonsdybde på 0,1 m/kPa («medium», Figur 47A). Begge disse vurderes derfor å gi en god representasjon av 2013-hendelsen.

4.12 Case 10 – Botterud i Øyer

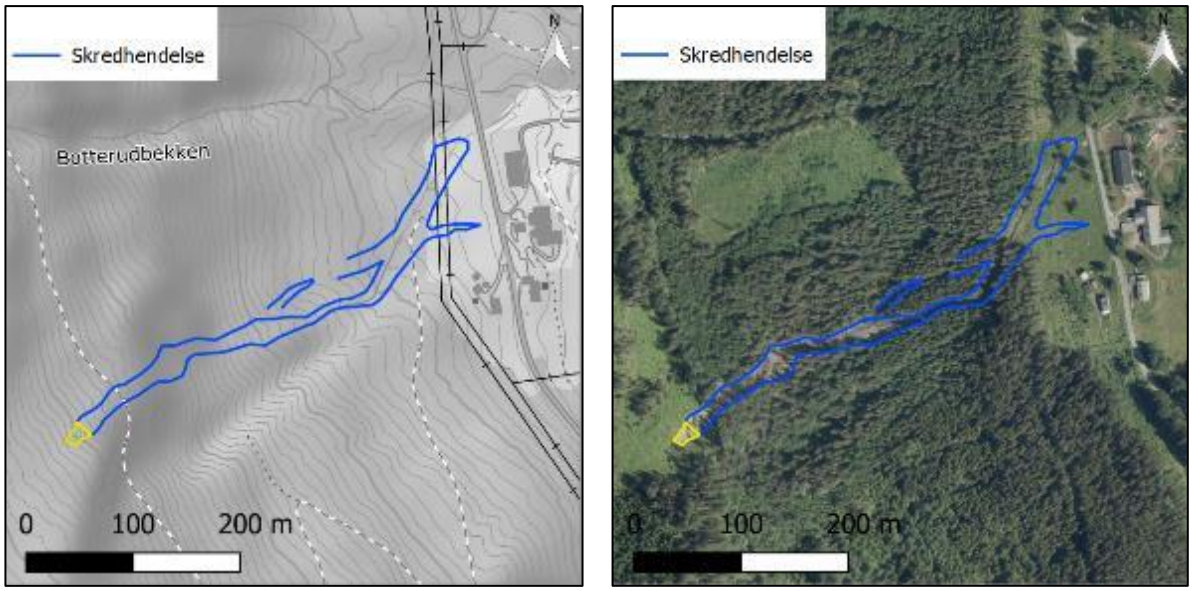
4.12.1 Kort beskrivelse

Området ligger ved Botterud ved Tretten i Øyer. Skredet gikk den 18. mai 2017. Skredløpet strekker seg ca. 480 m i luftlinje fra løsnepunktet på 460 moh. og ned til Normedlia (ca. 223 moh.). Skredet gikk altså ca. 240 høydemeter nedover fjellsiden. Denne hendelsen er med i prosjektet som et eksempel på mindre jordskred.

Figur 48 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 10A og 10B.

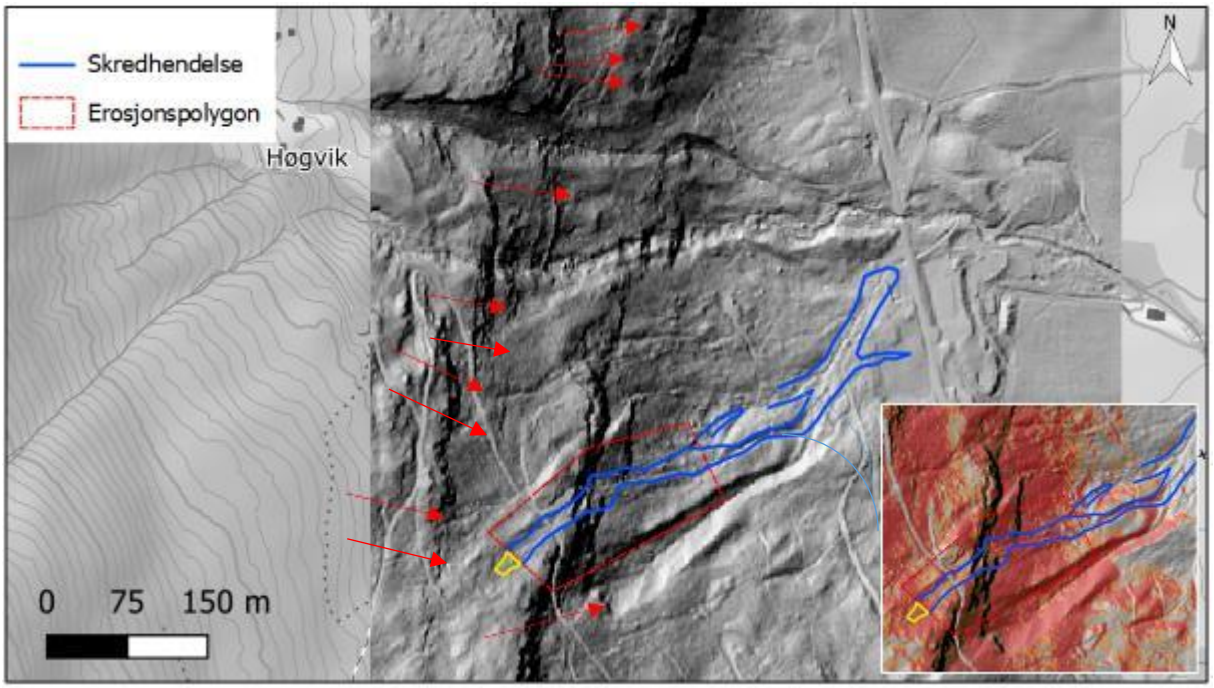
Plassering av løsneområdet, samt avgrensning av skredbanen og utløpsområdet er gjort på bakgrunn av flyfoto fra etter 2017-hendelsen. Siden skredbanen dekker en høydeforskjell på ca. 240 høydemeter, er løsneområdet begrenset til ca. 15 høydemeter.

Skyggekart viser for øvrig at flere jordskred tidligere løsnet fra omtrent samme høyde i fjellsiden, i tillegg til et par skredbaner som går ned fra lenger oppe i fjellsiden (Figur 49). Dette betyr at selv uten kjennskap til 2017-hendelsen burde det vært mulig å fange opp og tegne mulige løsneområder for jordskred i den delen av skråningen.



Figur 48: Oversiktskart og flybilde av skredet ved Botterud (flyfoto fra www.norgeibilder.no).

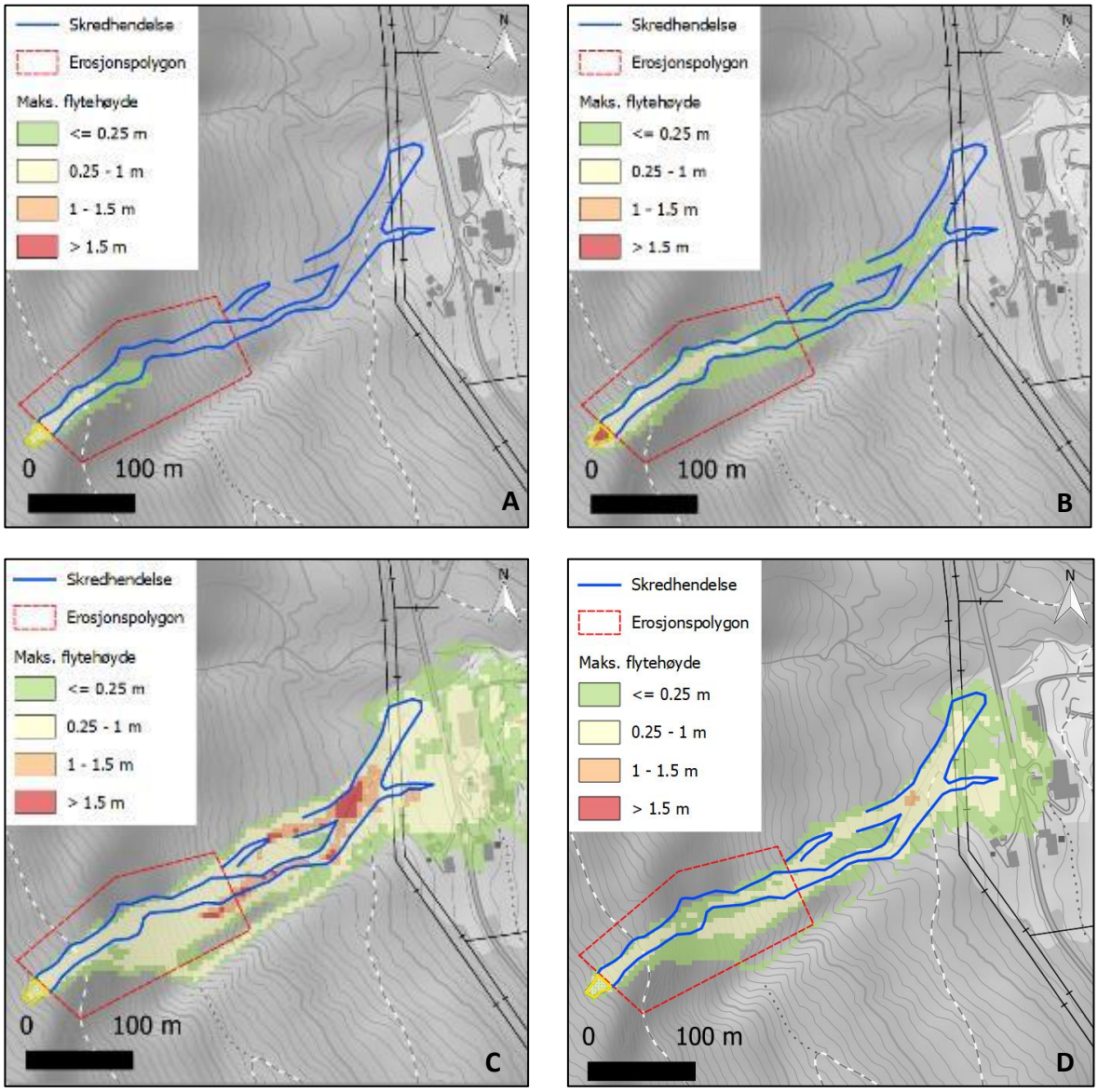
Polygonen for området med tillatt erosjon ble avgrenset, nederst, i den høyden der terrenget begynner å flate ut (helningskart i Figur 49) og skyggekartet ser ut å vise overgang fra erosjon til avsetning av masser, ved de skredbanene av sammenlignbar størrelse med den som gikk i 2017 (Figur 49). Erosjonspolygonen dekker i dette tilfellet om lag 40 - 50% av skredbanelengden.



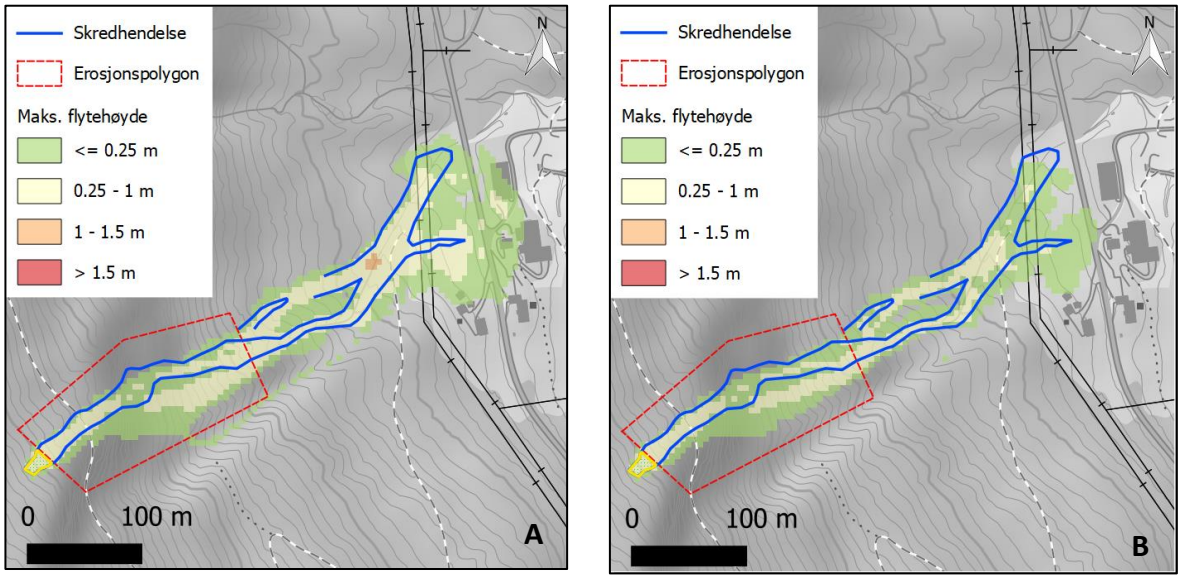
Figur 49: Skyggekart over skredet ved Botterud. Flere eldre jordskred ble tydeligvis utløst i ca. samme høyde (røde piler). I den hvite rammen er et utsnitt av helningskart, med oransje farge som indikerer terreng brattere enn 25° og rødt brattere enn 30°.

4.12.2 Modelleringsresultater

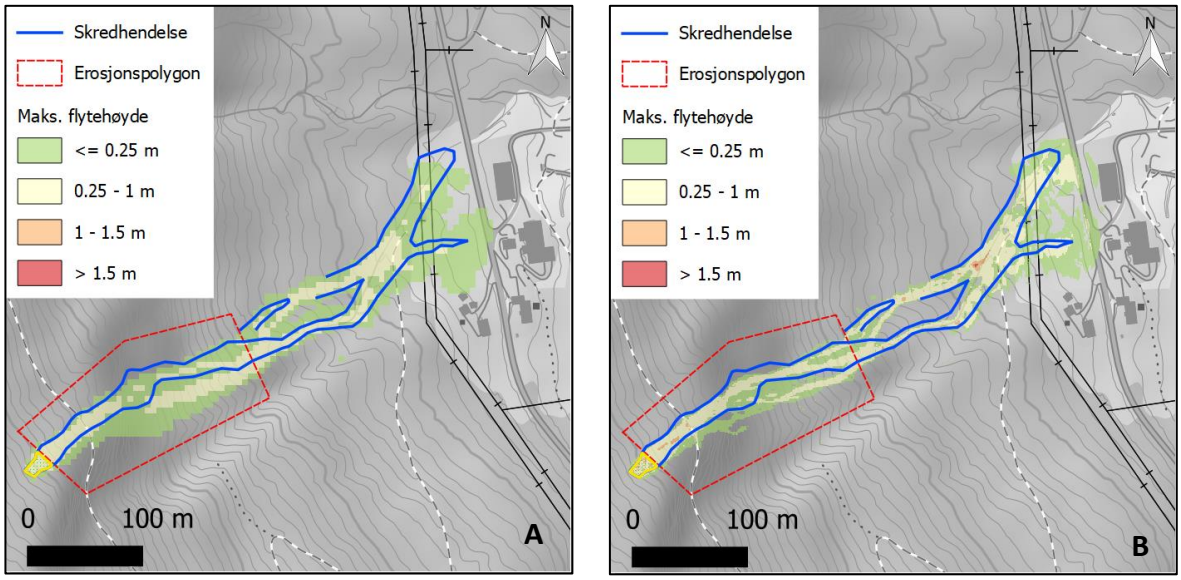
I Figur 50, Figur 51 og Figur 52 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 10C – 10G.



Figur 50: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 51: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).



Figur 52: Sammenstilling av de beste modelleringsresultatene med 5 m og 1 m oppløsning. (A): 5 m oppløsning, standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium») og potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»). (B): som i A, men med 1 m oppløsning.

4.12.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende mobilisert volum på ca. 270 m^3), med standard friksjonsparametere (*xi=200m/s²; mu=0,2)*, viser resultater av modellering uten erosjonsfunksjonaliteten et for kort skredutløp (*Figur 50*A). Dette gjelder også med veldig konservative friksjonsparametere (Figur 50B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 49, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), med resulterende skredvolum på ca. 5.000 m^3, blir det beregnede skredutløpet mye større, både i bredde og lengde, enn det registrerte i 2017 (*Figur 50*C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), med resulterende skredvolum på 1.200 m^3, blir det det modellerte utløpet litt større enn det registrerte skredutløpet (Figur 50D). Tatt i betraktning at grønn farge viser masser som er tynnere enn 25 cm, vurderes dette resultatet som akseptabelt i en reell skredfarekartleggingssituasjon.

Det er gjort et ytterligere forsøk til forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp, ved å redusere potensiell erosjonsdybde fra 0,1 m/kPa («medium», Figur 51A) til 0,05 m/kPa («shallow», Figur 51B). Det siste resultatet ser ut å gi en enda bedre representasjon av 2017-hendelsen.

Vi har også kjørt modellen med beregningsoppløsning på 1 m. Litt overraskende i lys av våre tidligere erfaringer går i dette tilfellet skredutløpet beregnet med 1 m oppløsning (Figur 52B) litt lenger enn det som er beregnet med 5 m oppløsning (Figur 52A), med små forskjeller i sidespredning. Resultatet med 1 m oppløsning gir en tilnærmet perfekt representasjon av utløpet observert i 2017.

4.13 Case 11 – Svenskeplassen i Nord-Aurdal

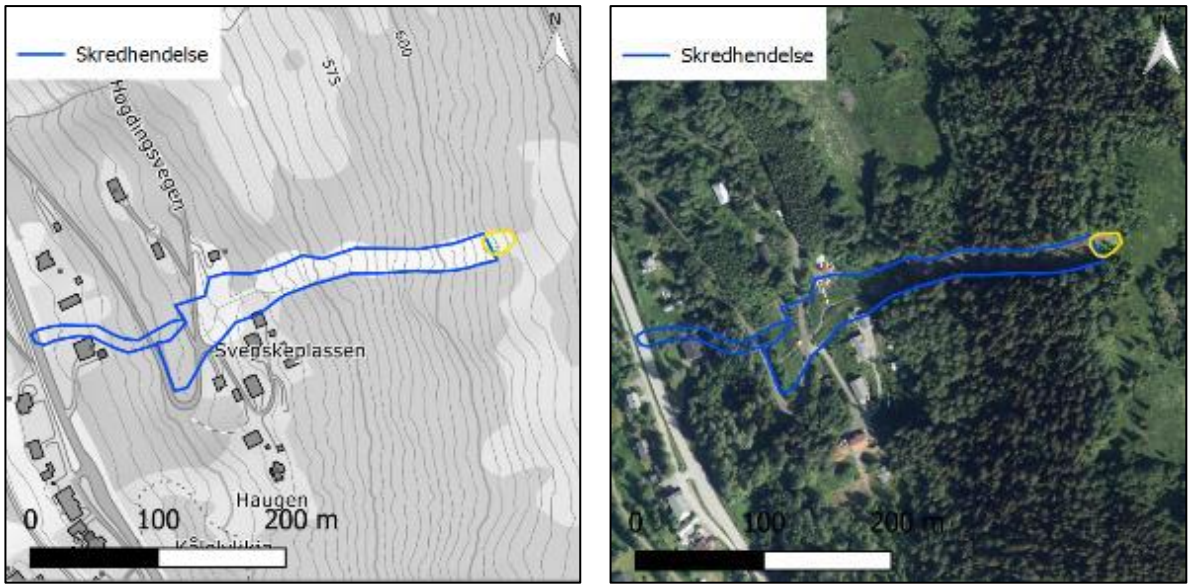
4.13.1 Kort beskrivelse

Området ligger ved Svenskeplassen i Nord-Aurdal. Skredet gikk den 22. mai 2013. Skredløpet strekker seg ca. 380 m i luftlinje fra løsnepunktet på 633 moh. og ned til Oslovegen (ca. 472 moh.). Skredet gikk altså ca. 160 høydemeter nedover fjellsiden. Denne hendelsen er med i prosjektet som et eksempel på mindre jordskred.

Figur 53 viser et oversiktskart og et flybilde over området. Større og mer detaljerte kart og flyfoto er presentert i Vedlegg 11A og 11B.

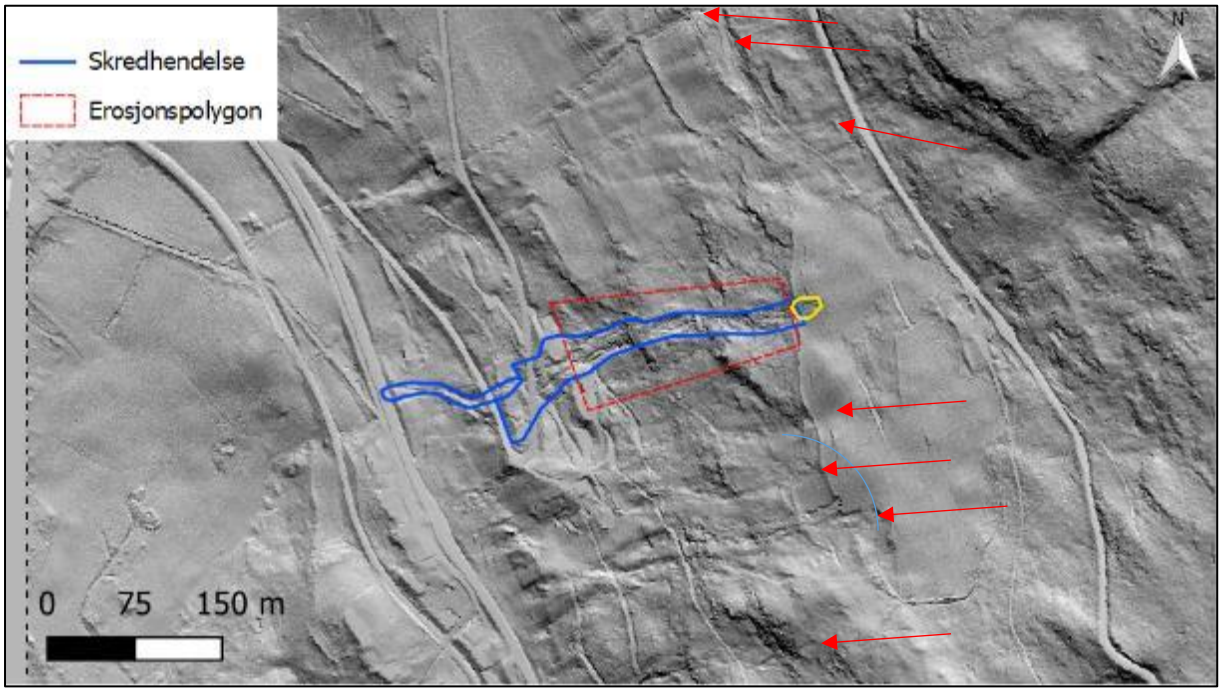
Plassering av løsneområdet, samt avgrensning av skredbanen og utløpsområdet er gjort på bakgrunn av flyfoto fra etter 2013-hendelsen. Siden skredbanen dekker en høydeforskjell på ca. 160 høydemeter, er løsneområdet begrenset til ca. 15 høydemeter.

Skyggekart viser for øvrig at flere jordskred tidligere løsnet fra omtrent samme høyde i fjellsiden, i tillegg til et par skredbaner som går ned fra lenger oppe i fjellsiden (Figur 54). Dette betyr at selv uten kjennskap til 2017-hendelsen burde det vært mulig å fange opp og tegne mulige løsneområder for jordskred i den delen av skråningen.



Figur 53: Oversiktskart og flybilde av skredet ved Svenskeplassen (flyfoto fra www.norgeibilder.no).

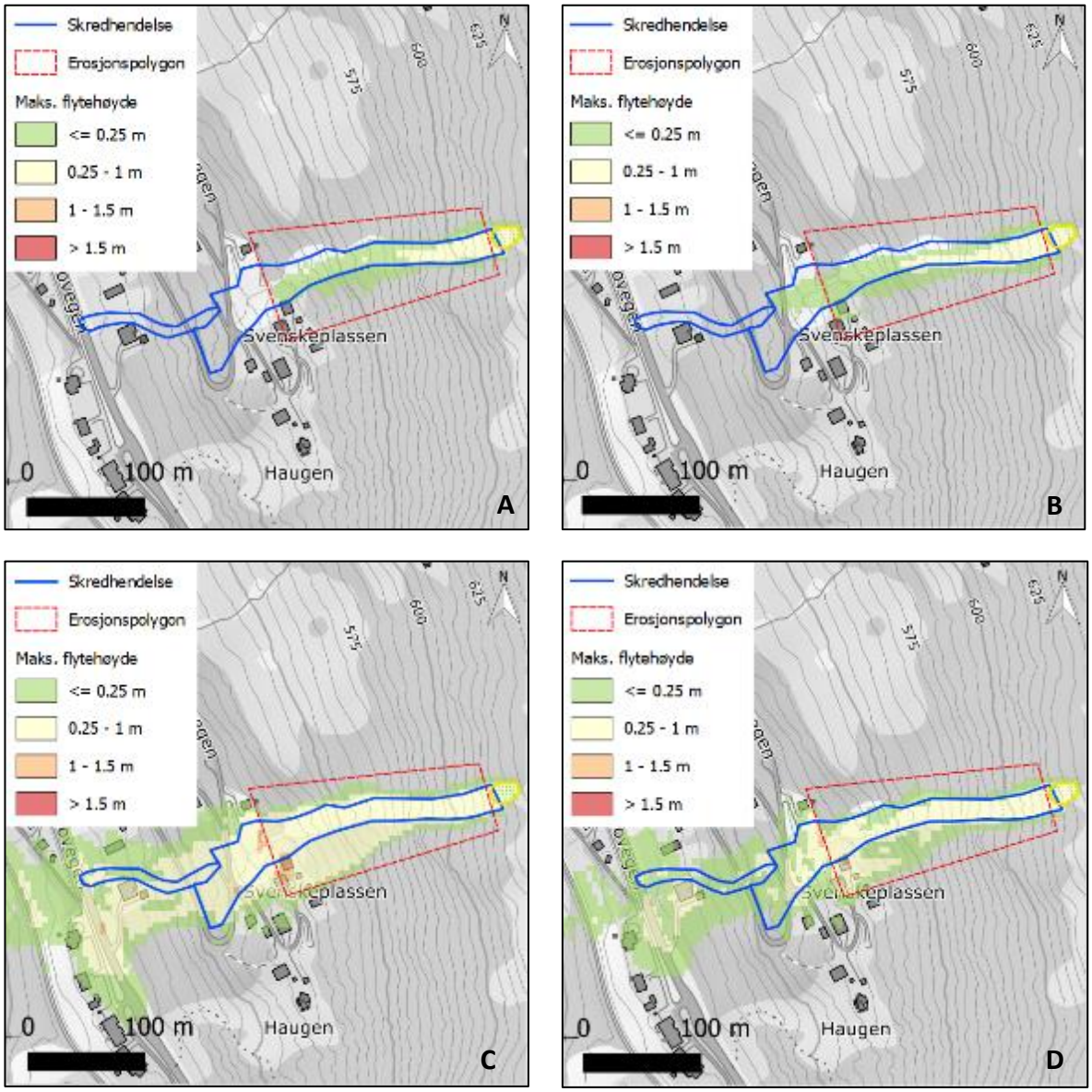
Polygonen for området med tillatt erosjon ble avgrenset, nederst, i den høyden der skyggekartet ser ut å vise overgang fra tydelig erosjon til svak erosjon eller avsetning av masser (Figur 54). Erosjonspolygonen dekker i dette tilfellet om lag 50 - 60% av skredbanelengden.



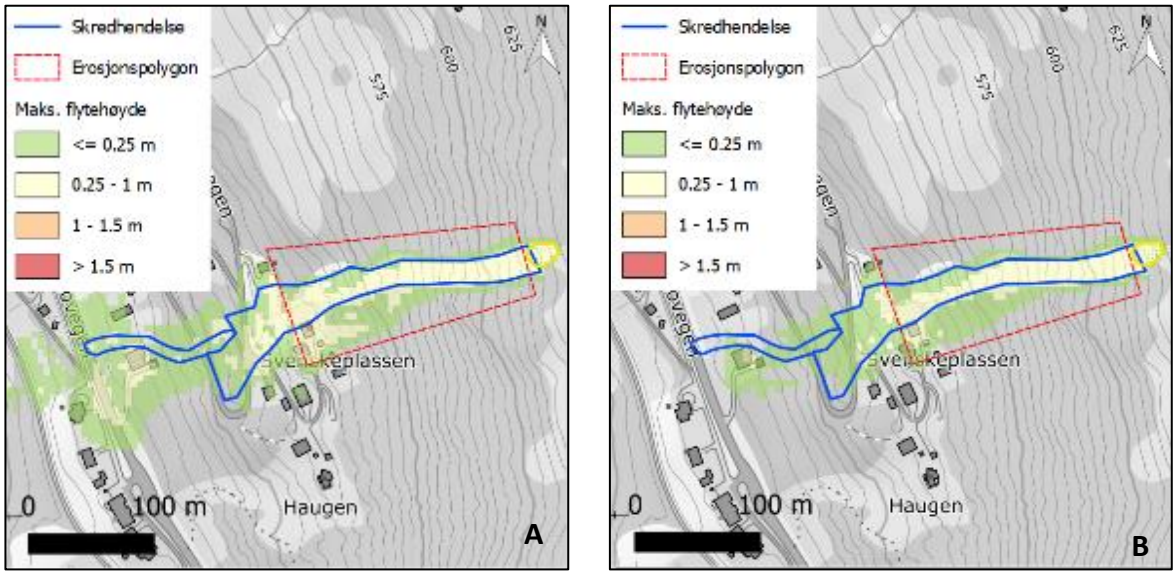
Figur 54: Skyggekart over skredet ved Svenskeplassen. Flere eldre jordskred ble tydeligvis utløst i ca. samme høyde (røde piler).

4.13.2 Modelleringsresultater

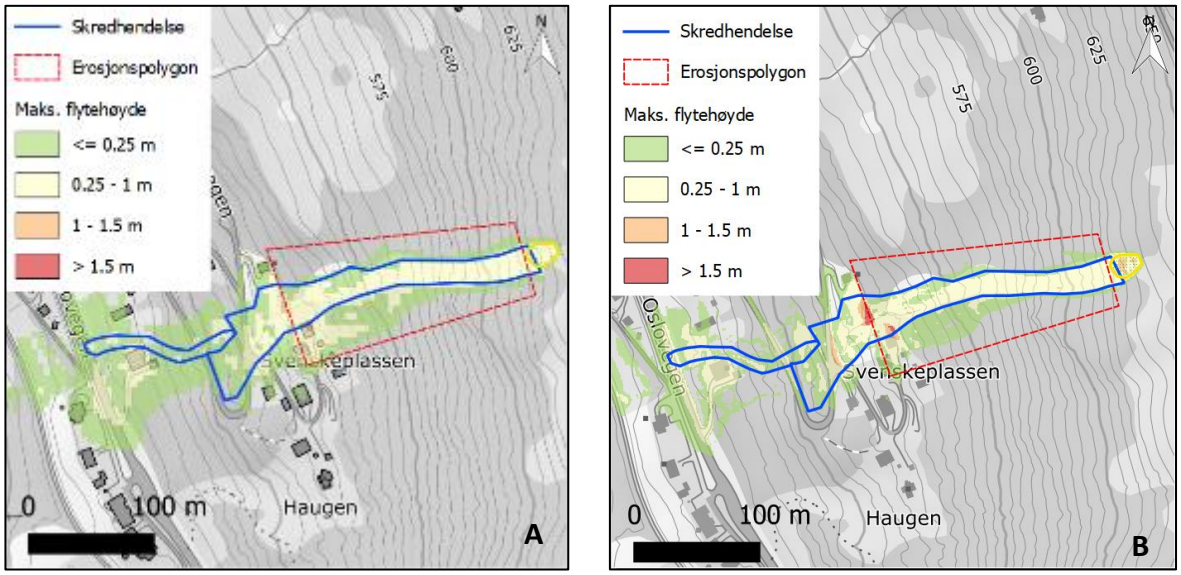
I Figur 55 og Figur 56 sammenstilles utvalgte resultater av modellering utført med RAMMS::Debris Flow. Parametere som ikke er nevnt i figurteksten, er konstante gjennom alle modellkjøringer og er som vist i Tabell 1. Resultatene er presentert i større figurer i Vedlegg 11C – 11G.



Figur 55: Sammenstilling av utvalgte modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), uten erosjon; (B): Konservative friksjonsparametere (xi=3000 m/s^2; mu=0,05), uten erosjon; (C): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i normalt lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,025 m/s); (D): Standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s).



Figur 56: Sammenstilling av de to beste modelleringsresultater fra RAMMS::Debris Flow. (A): Standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»); (B): Som i (A), men med potensiell erosjonsdybde = 0,05 m/kPa («shallow»).



Figur 57: Sammenstilling av de beste modelleringsresultatene med 5 m og 1 m oppløsning. (A): 5 m oppløsning, standard friksjonsparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2) og erosjon i fast lagrede sedimenter (erosjonsrate = 0,013 m/s) med potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium») og potensiell erosjonsdybde = 0,1 m/kPa («medium»). (B): som i A, men med 1 m oppløsning.

4.13.3 Kort diskusjon av modelleringsresultater

Når løsneområdet tegnes som beskrevet i avsnitt 4.4.1, og en blokktykkelse på 1 m anvendes (med resulterende mobilisert volum på ca. 360 m^3), med standard friksjonsparametere (xi=200m/s^2; mu=0,2), viser resultater av modellering uten erosjonsfunksjonaliteten et for kort skredutløp (Figur 55A). Dette gjelder også med veldig konservative friksjonsparametere (Figur 55B).

Når erosjon tillates innenfor polygonen definert som vist i Figur 54, og erosjonsraten velges for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), med resulterende skredvolum på ca. 2.800 m^3, blir det beregnede skredutløpet mye større, både i bredde og lengde, enn det registrerte i 2013 (Figur 55C).

Når erosjonsraten velges for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s), med resulterende skredvolum på 1.600 m^3, blir det det modellerte utløpet fortsatt litt større enn det registrerte skredutløpet (Figur 55D), men forskjellen blir mindre enn i det forrige resultatet. Graden av overestimering av skredutløpet blir litt mindre når en tar i betraktning at grønn farge viser masser som er tynnere enn 25 cm. Det modellerte utløpet går rett ned på huset som står ovenfor Oslovegen, mens det registrerte utløpet (den nedre, tynnere delen av skredet) svingte rundt huset. Dette skyldes mest sannsynlig at modelleringen benyttet DTM, der bygningene er filtrert bort. Resultatet i Figur 55D vurderes derfor som akseptabelt i en reell skredfarekartleggingssituasjon.

Det er gjort et ytterligere forsøk til forbedring av matchen mellom modellert og registrert utløp, ved å redusere potensiell erosjonsdybde fra 0,1 m/kPa («medium», Figur 56A) til 0,05 m/kPa («shallow», Figur 56B). Det siste resultatet gir litt for kort utløp i forhold til av 2013-hendelsen, men er også akseptabelt i en reell skredfarekartleggingssituasjon. Det ideelle resultatet ville trolig ligget midt mellom disse to.

Vi har også kjørt modellen med beregningsoppløsning på 1 m. I samsvar med våre tidligere erfaringer går i dette tilfellet skredutløpet beregnet med 1 m oppløsning (Figur 57B) litt kortere enn det som er beregnet med 5 m oppløsning (Figur 57A). Resultatet med 1 m oppløsning gir en tilnærmet perfekt representasjon av utløpet observert i 2013, selv om begge resultatene ville vært akseptable i en reell skredfarekartleggingssituasjon.

5 Diskusjon

Elleve skredlokaliteter er inkludert i case-studien. Disse omfatter 6 – 10 større skredbaner (avhengig av hvorvidt hendelsene ved Jølstra anses som ett skred eller flere uavhengige skred med felles utløpsområde), samt 6 mindre jordskred. Vi har forsøkt å teste RAMMS::Debris Flow på et relativt bredt spektrum av jordskred, med fallhøyder mellom ca. 70 og 700 høydemeter og utløpslengder mellom 160 og 1600 m.

Vi har bevisst utelatt grunne, lokale utglidninger med utløpslengder på bare noen meter eller få titalls meter. Dette av flere grunner: 1) fordi bratte løsmasseskråninger med få meter høydeforskjell, der slike små utglidninger eventuelt har betydning, er så utbredt, til og med i generelt slake områder, at de normalt ikke blir håndtert ved dynamisk modellering; 2) fordi dynamikken av så små utglidninger ofte styres av veldig lokale og gjerne menneskelige faktorer, f.eks. fyllinger, gravinger, bygninger, m.m.; 3) fordi valget av terrengmodellen (f.eks. 1m DTM vs. 5m DTM, og ikke minst DOM vs. DTM) antas å bli mye mer avgjørende for modelleringsresultater ved små, lokale utglidninger, der flytehøyder og skredhastighetene er relativt lave, enn det er for større jordskred.

Vi har også utelatt store, komplekse skred, f.eks. jordskred som starter med et steinskred eller som et sørpeskred, før løsmassedekket blir involvert.

Resultatene av våre simuleringer viser tydelig at hverken større eller mindre jordskred kan modelleres på tilfredsstillende vis uten å ta i betraktning erosjonen av masser i skredbanen. Selv ved bruk av svært konservative friksjonsparametere, som enkelte i bransjen hittil har anvendt for modellering av sørpeskred (f.eks. xi=3000 m/s^2; mu=0,05), blir de modellerte jordskredutløpene for korte i forhold til de faktisk registrerte.

Som en liten digresjon, er vi ikke sikre på hvorfor svært konservative friksjonsparametere (f.eks. xi=3000 m/s^2; mu=0,05) ved modellering av godt kanaliserte skred gir mye lenger utløp enn standardparametere (xi=200 m/s^2; mu=0,2), mens de ved modellering av skred i åpne skråninger gir ubetydelig lenger utløp enn standardparametere. Dette er ikke undersøkt nærmere i dette prosjektet.

Uansett, vurderer vi at det som lite hensiktsmessig å forsøke å oppnå realistisk lange jordskredutløp ved å taste inn svært (og trolig unaturlig) konservative friksjonsparametere og samtidig bruke urealistisk små skredvolumer.

Det vi i stedet har forsøkt å gjøre, er å teste en relativt enkel fremgangsmåte og en metodikk som først og fremst bygger på prosessforståelse og observasjoner: Disse viser at tilnærmet alle jordskred tar med seg deler av løsmassedekket i skredløpet nedenfor utløsningspunktet, noe som bidrar til at de går så langt som de gjør. Videre bygger metodikken, når det gjelder plassering av løsneområder og avgrensning av erosjonspolygoner, på et minimum av terrenganalyser som bør være en rimelig forutsetning for modelleringsarbeidet.

Selv om vi i grunn testet metodikken ved å etterregne kjente skred, har vi også forsøkt å gjøre resultatene minst mulig avhengig av detaljkunnskap om de aktuelle skredhendelsene. Vi kunne for eksempel avgrenset enkelte løsneområder og erosjonspolygoner på en måte

som samsvarte med NGUs feltregistreringer (case nr. 1, 2 og 3). Vi har i stedet foreslått et mer generelt kriterium for nedre avgrensning av løsneområdene, dvs. slik at disse dekker en høydeforskjell på ca. 25 m i fjellsider med potensial for større jordskred, og ca. 10 – 15 m i mindre skråninger. Dette er likt det man gjør når løsneområder for snøskred skal tegnes for modelleringsformål i store, bratte fjellsider (NVE, 2020). Erosjonspolygonene har vi foreslått tegnet med øvre grense rett under løsneområdene, og nedre grense bestemt på bakgrunn av tegn på skrederosjon generelt i fjellsiden (skyggekartanalyse). I praksis dekker våre erosjonspolygoner 60 – 75% av skråningen nedenfor løsneområdene i fjellsider som kan gi større jordskred, og 40 – 60% av skråningen der de mulige skredbanene har en høydeforskjell på maks. 300 m.

Siden håpet var å kunne foreslå en metodikk som ga tilfredsstillende resultater på veldig ulike jordskredbaner, vurderte vi at den mest hensiktsmessige fremgangsmåten var å holde flest mulig parametere konstant, f.eks. en «bruddkanthøyde» vilkårlig satt til 1 m (omtrent det mange observasjoner viser er den initiale dybden av mange norske jordskred), standard friksjonsparametere, uendret kritisk skjærspenning («critical shear stress» i erosjonsfanen).

Vi har så valgt å kun endre en type parameter om gangen, f.eks. enten friksjonsparametere eller erosjon, og mest mulig styrt av prosessforståelse, på følgende måte:

Når de første resultatene viste altfor store skredutløp ved bruk av erosjonsrate kalibrert for normalt lagrede sedimenter (0,025 m/s), ble det naturlig å prøve med erosjonsrate for fast lagrede sedimenter (0,013 m/s). Dette fordi norske jordskred generelt går i morenemasser som er overkonsolidert og mye fastere lagret enn f.eks. løse materialer som mobiliseres av flomskred i bratte bekkeløp.

Resultater med standard friksjonsparametere og erosjon, der erosjonsraten ble satt for fast lagrede sedimenter, ga for samtlige (både større og mindre) skred resultater som vi vurderte som akseptable til veldig gode i en reell skredfarekartleggingssituasjon. Ved dette menes en situasjon der en ikke prøver å finmodellere et kjent skred, men trenger et modellert utløp som er «godt nok» sammenliknet med observerte utløp / skredavsetninger, og som kan hjelpe til tegning av faresoner.

Selv om resultatene ovenfor var tilstrekkelig til å kunne gi konkrete anbefalinger («bruk realistisk løsnevolum, standard friksjonsparametere og erosjonsrate for fast lagrede sedimenter»), prøvde vi å ytterligere forbedre matchen mellom modellerte og registrere skredutløp.

Enkelte modellerte utløp (spesielt for mindre skred) gikk fortsatt litt lenger enn de registrerte skredutløpene. Vi prøvde da å manuelt redusere erosjonsraten fra 0,013 m/s til f.eks. 0,09 m/s, men pga. en bug som SLF nå jobber med å fjerne, var dette ikke mulig.

Vi holdte da standard friksjonsparametere og erosjonsrate for faste sedimenter konstante, men reduserte den potensielle erosjonsdybden pr. kPa, fra 0,1 m/kPa («medium») til 0,05 m/kPa («shallow»). Denne parameterkombinasjonen ga for de fleste mindre jordskred enda

bedre match mellom modellert og registrert utløp, men den ga litt for korte til altfor korte utløp for alle de større jordskred unntatt de ved Jølstra.

Når det gjelder valget av terrengmodell som datagrunnlag for RAMMS::Debris Flow beregninger (kun illustrert for noen skredbaner i rapporten), har våre erfaringer vist at bruk av DTM med 5 x 5 m oppløsning nesten alltid gir litt lenger utløp enn bruk av DTM med 1 x 1 m og 2 x 2 m oppløsning. Modellkjøringer med 5m DTM gir realistiske skredutløp, både i lengde og sidespredning, med inngangsparameterne som vi anbefalte. Siden modellkjøringer med 5m DTM går betraktelig raskere enn kjøringer med 1m og 2m DTM, anbefaler vi 5m DTM for all modellering av fjellsider med potensial for store jordskred (> 300 m høydeforskjell), spesielt hvis store områder skal kartlegges. Resultatene vist i denne rapporten gjelder derfor bruk av 5m DTM for alle de store skred.

Også når det gjelder lavere skråninger (50 – 300 m høydeforskjell) har simuleringer gjort med 5m DTM gitt tilfredsstillende resultater. I noen skredbaner der det registrerte jordskredet, pga. små topografiske elementer i fjellsiden, delte seg i to (Botterud) eller svingte noe rundt bygninger (Svenskeplassen), ga modellkjøringer med 1m DTM litt bedre resultater enn kjøringer med 5m DTM, men mest når det gjelder sidespredningen. Vår konklusjon er derfor at 5m DTM fint kan brukes for modellering av mindre skråninger så vel som i større fjellsider, spesielt i kartleggingsprosjekter der en skal vurdere store fjellsider. Der modellering utføres som grunnlag for prosjektering av sikringstiltak, mener vi derimot at 1m eller 2m DTM skal benyttes.

Valget av beregningsoppløsningen (1m, 2m eller 5m) påvirker ikke den beregnede utløpslengden i så stor grad at det i seg selv har stor betydning for faresoner, ettersom ingen modellresultater direkte skal gjenspeiles i faresoner.

En oppsummering av anbefalingene som vi kan gi i lys av våre resultater er gitt i Tabell 3.

Hvilket resultat utgjør det beste utgangspunktet for tegning av faresoner, mellom et som overestimerer litt og et som underestimerer litt det modellerte utløpet ift. en fasit, kan diskuteres. Dette avhenger i stor grad av hvordan modelleringsresultatene brukes videre, i det som uansett må være en skjønnsmessig vurdering. Dersom en tenker å legge stor vekt på modellresultater ved for eks. tegning av 1000 års-faresone, mener vi at resultater som kanskje gir litt overestimert skredutløp bør foretrekkes. Dette betyr at den øvre delen av Tabell 3 fint kan brukes for både større og mindre jordskred. Modelleringsresultater bør uansett alltid vurderes opp mot tegn på avsetninger som skyggekart måtte vise.

Dersom mer utstrakt utprøving av tilnærmingen og anbefalingene gitt i denne rapporten, skulle vise at de ikke alltid gir akseptable resultater, kan eventuelt videre arbeid ytterligere forbedre tilpasningen av RAMM::Debris Flow til norske jordskred i åpne skråninger. Man kan for eksempel forsøke å definere den nedre avgrensningen av erosjonspolygoner i mindre grad basert på subjektiv tolkning av skyggekart, og i større grad på terrenghelningen. Eventuelt kan regresjonsanalyser foreslå en korrelasjon mellom registrert utløpslengde og registrert andel av skredbane med tegn på vesentlig erosjon.

Tabell 3: Anbefalte parametere for modellering av jordskred med RAMMS::Debris Flow.

	Oppløsning DTM (m)	Friksjonspar.	Løsneomr.	Høyde blokk (m)	Erosjonsrate (m/s)	Potens. erosjons -dybde (m/kPa)
Fjellsider med tegn på / potensial for større jordskred med over 300 – 400m fallhøyde	5	$\xi = 200\ m/s^2$ $\mu = 0,2$	25 m høydeforskjell	1	0,013 (std. verdi for tett lagret løsmasse)	0,1
Skråninger med tegn på / potensial for jordskred med 50 - 300 m fallhøyde	2 - 5	$\xi = 200\ m/s^2$ $\mu = 0,2$	10 -15 m høydeforskjell	1	0,013 (std. verdi for tett lagret løsmasse)	0,05 eller 0,01

6 Konklusjon

Resultater av dette FoU-prosjektet viser at RAMMS::Debris Flow kan gi veldig fornuftige resultater ved modellering av ikke kanaliserte jordskred. En akseptabel til veldig god match mellom modellert og registrert utløp ble oppnådd i alle testområder med kjent jordskredhistorikk.

Et enda bedre resultat i hver enkelt skredbane kunne sikkert oppnås ved å finere definere løsneområder og erosjonspolygoner på bakgrunn av feltregistreringer, forfine inngangsparametere og eventuelt bruke enda flere av innstillingene som RAMMS::Debris Flow gjør tilgjengelig (f.eks. den kritiske skjærspenningen i erosjonsfaren). Men kombinasjonen av parametere som gir perfekt match i en skredbane, vil aldri gi perfekt match i andre skredbaner.

En standard fremgangsmåte og et sett anbefalinger som gir akseptable resultater for de aller fleste skredbanene, har derfor vært målet for prosjektet.

Resultatene viser at både større og mindre jordskred kan modelleres på tilfredsstillende vis med standard friksjonsparametere, men ved å ta i betraktning erosjonen av masser i skredbanen med erosjonsrate satt for fast lagrede sedimenter.

7 Referanseliste

Bühler, Y., Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P., 2011. Sensitivity of snow avalanche simulations to digital elevation model quality and resolution. Annals of Glaciology 52(59).

Christen, M., et al., 2012. RAMMS: Integral hazard management using a unified software environment: numerical simulation tool 'RAMMS' for gravitational natural hazards. 12th Congress INTERPRAEVENT 2012 – Grenoble / France, Conference Proceedings.

DiBK, 2017. Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK17) [WWW Document]. Hjemmeside. URL http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/

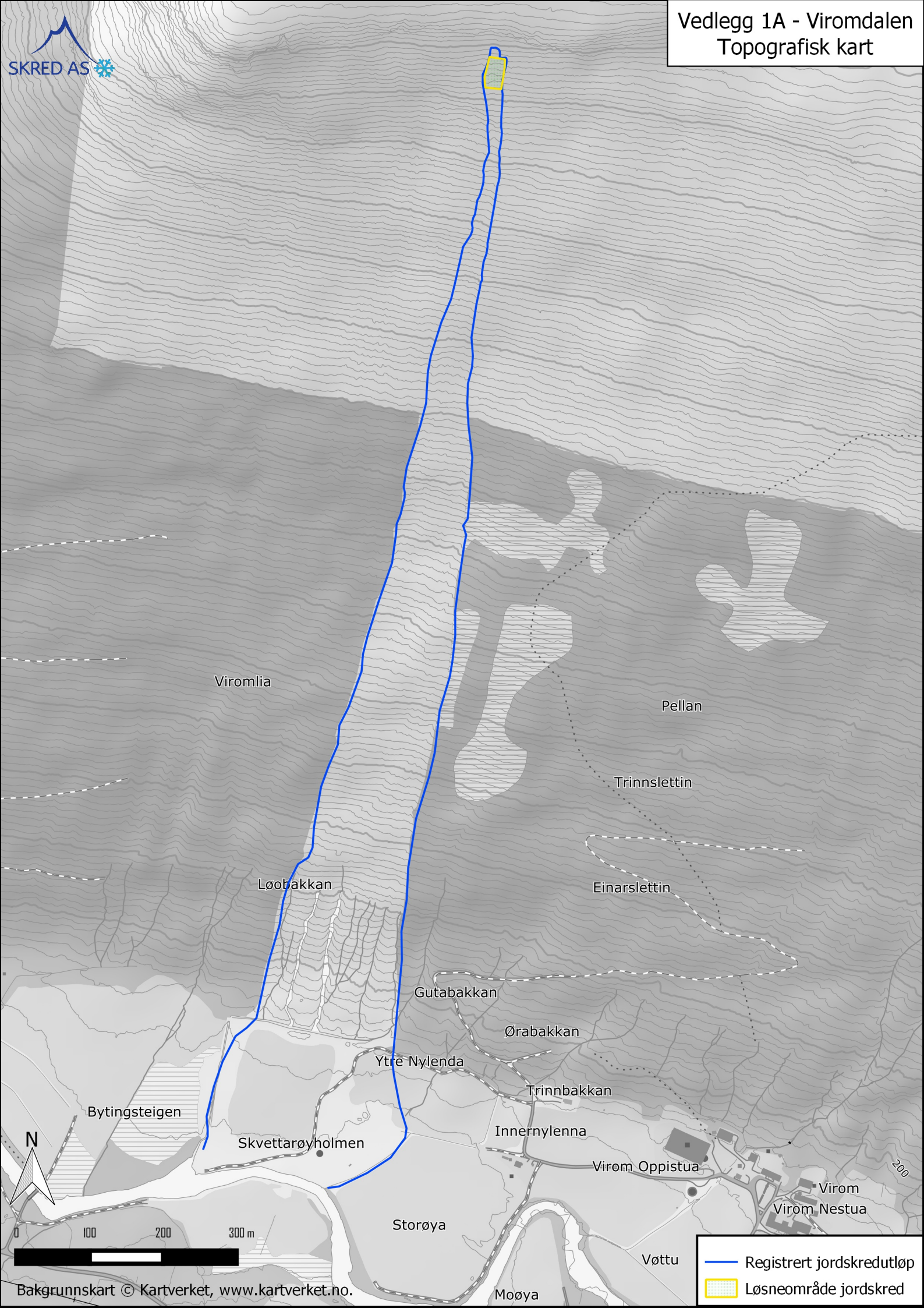
Dorren, L.K.A., 2015. Rockyfor3D (v5.2) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model, ecorisQ paper.

Krušić, J., Abolmasov, B., Samardžić-Petrović, M., 2019. Influence of DEM resolution on numerical modelling of debris flow in RAMMS - Selanac case study. Conference paper, 4th Regional Symposium on Landslides in the Adriatic - Balkan Region.

Sandøy m.fl., 2017. Trekantformede jordskred - Studie av fem skredhendelser i Norge. NGU rapport nr. 2017-017.

NVE, 2020. Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak. Nett-basert veileder. Hjemmeside: https://www.nve.no/skredfarekartlegging/?ref=mainmenu

Vedlegg 1A - Viromdalen
Topografisk kart

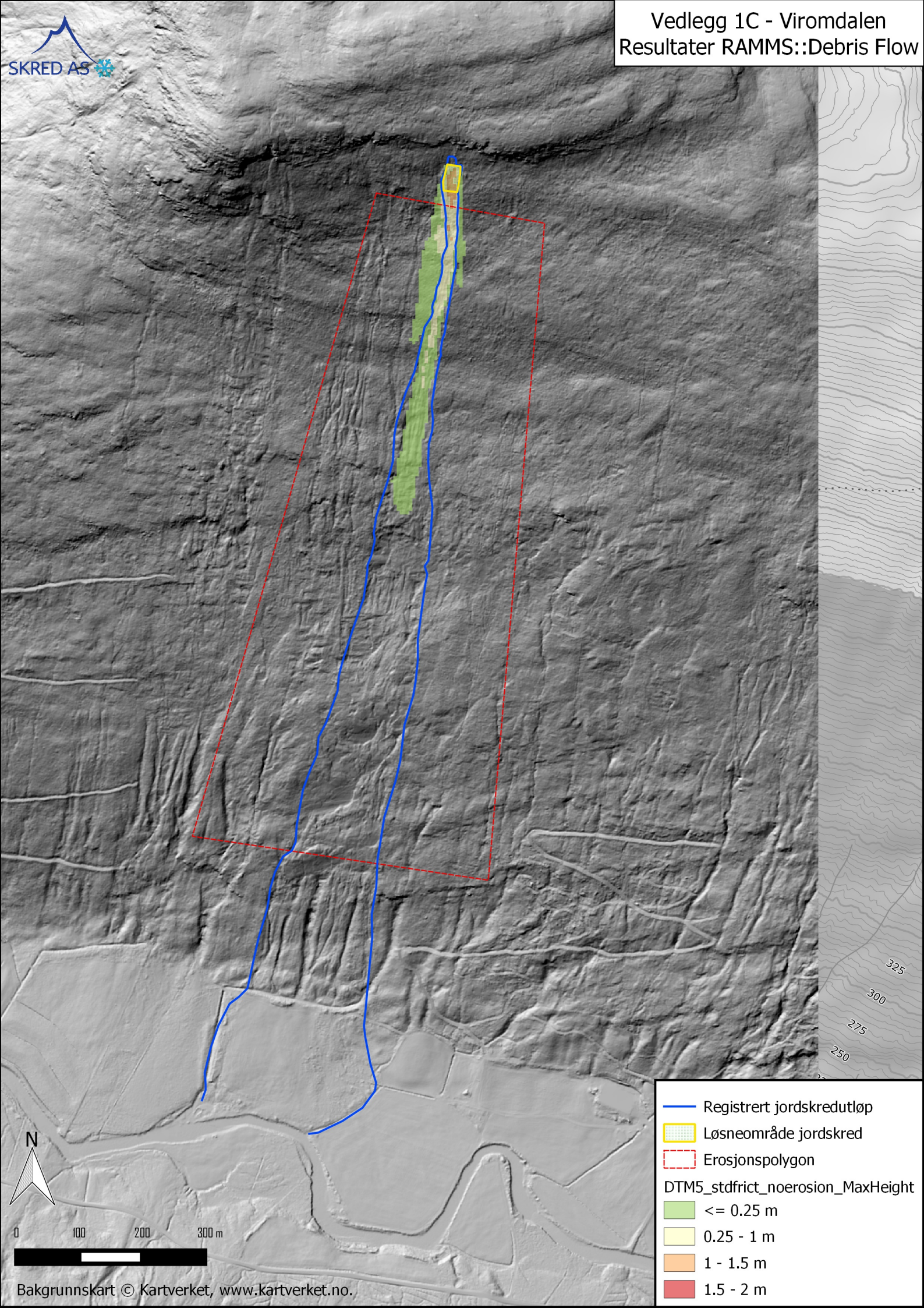


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

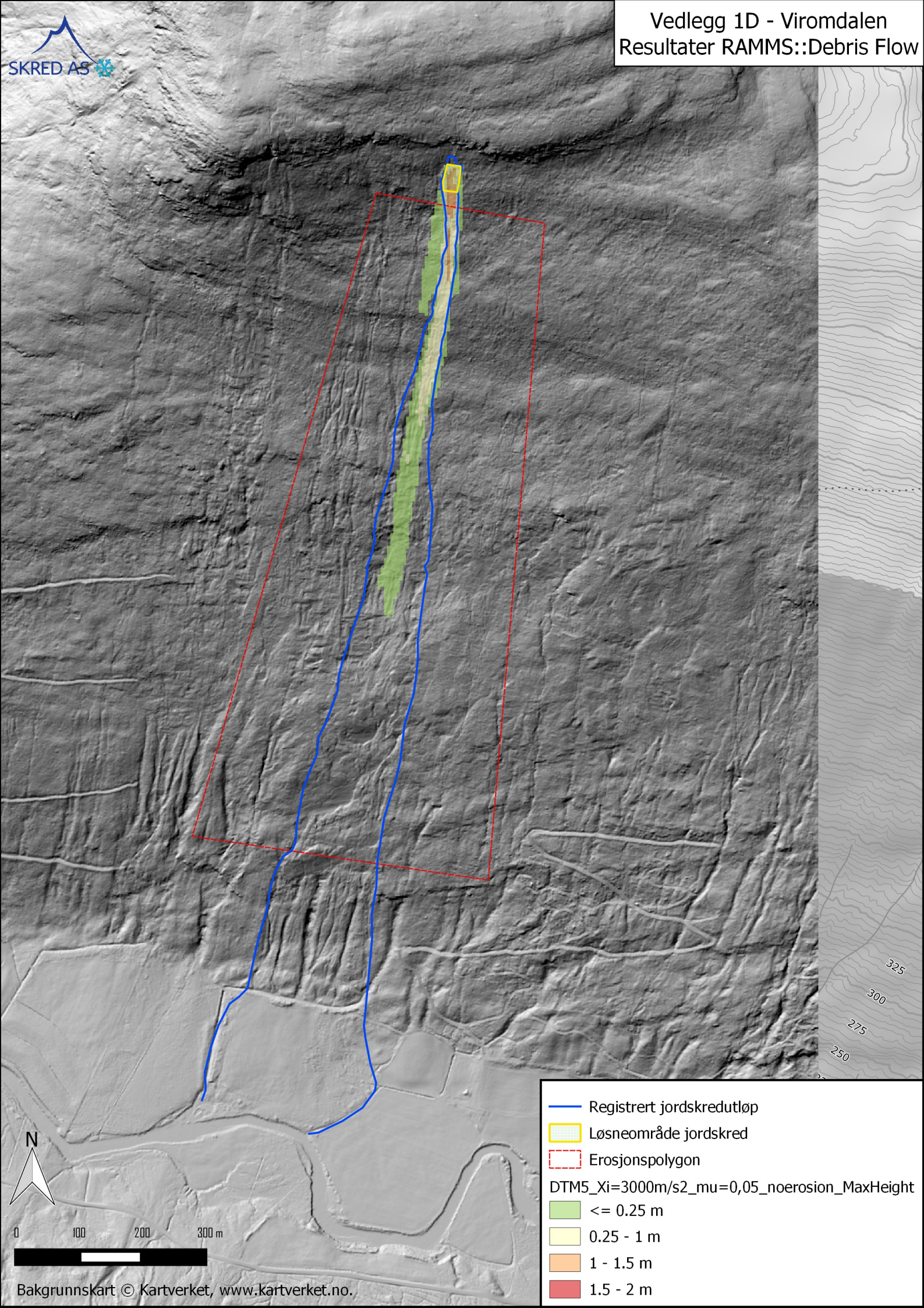
Vedlegg 1B - Viromdalen
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

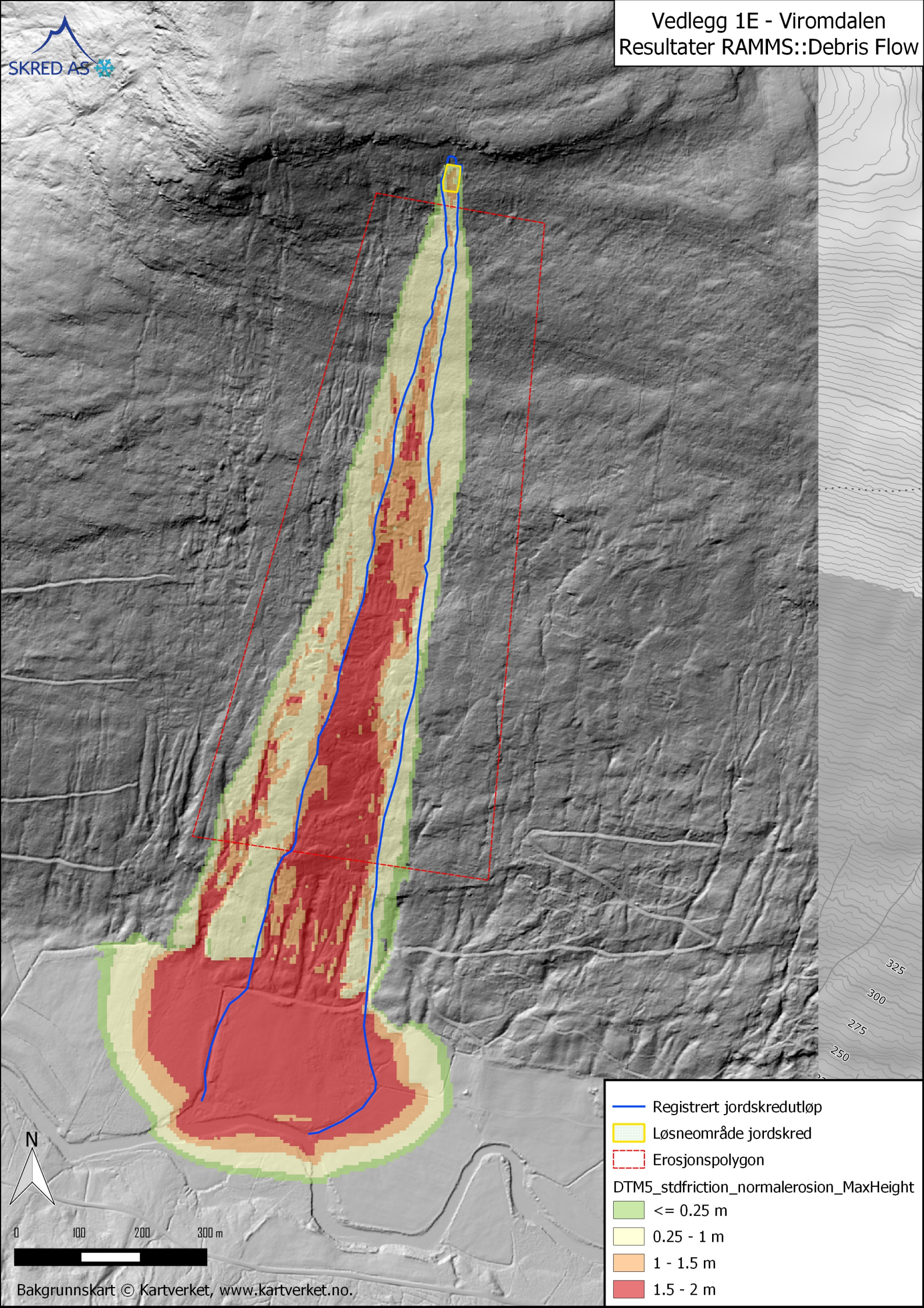
Vedlegg 1C - Viromdalen
Resultater RAMMS::Debris Flow



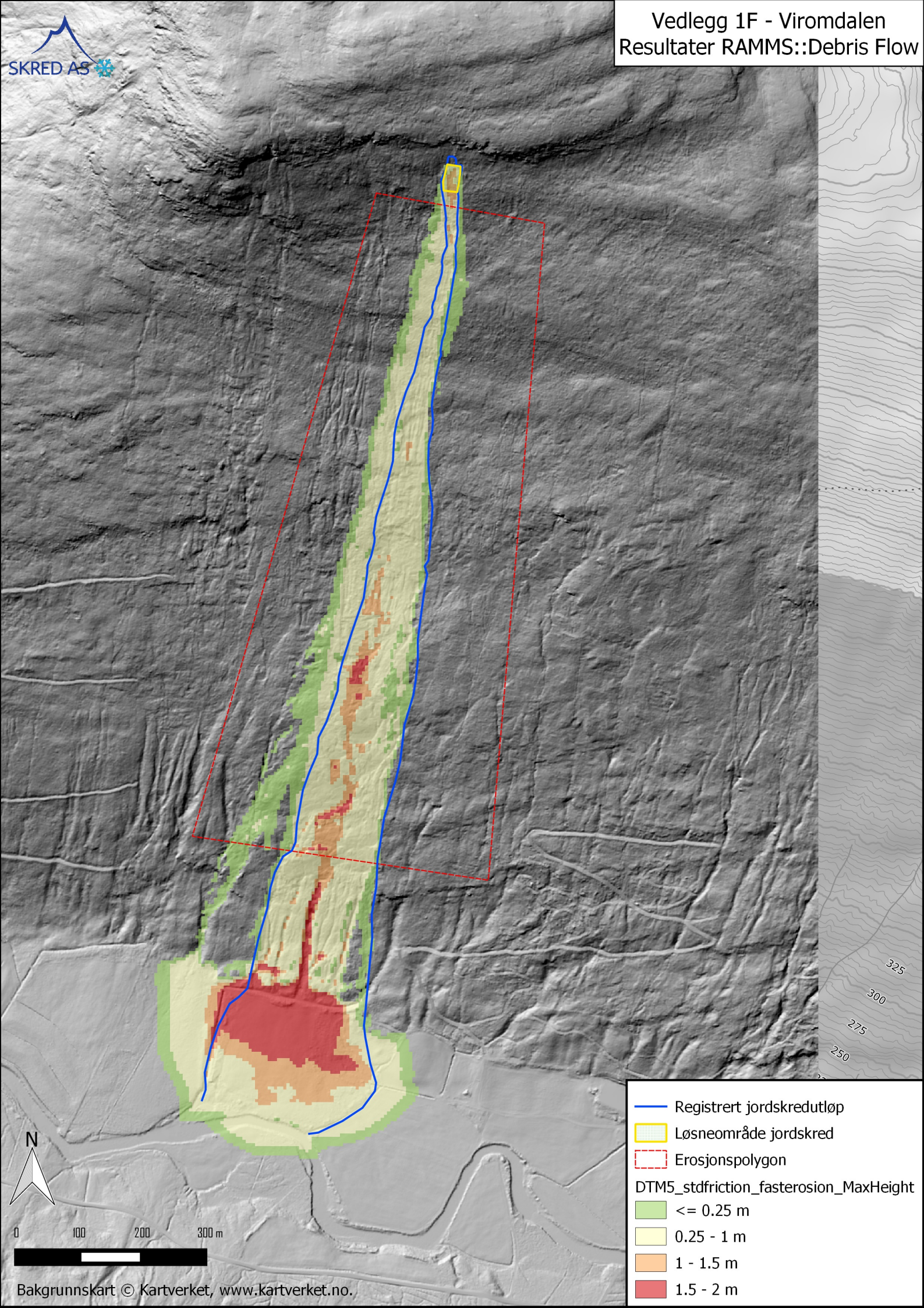
Vedlegg 1D - Viromdalen
Resultater RAMMS::Debris Flow



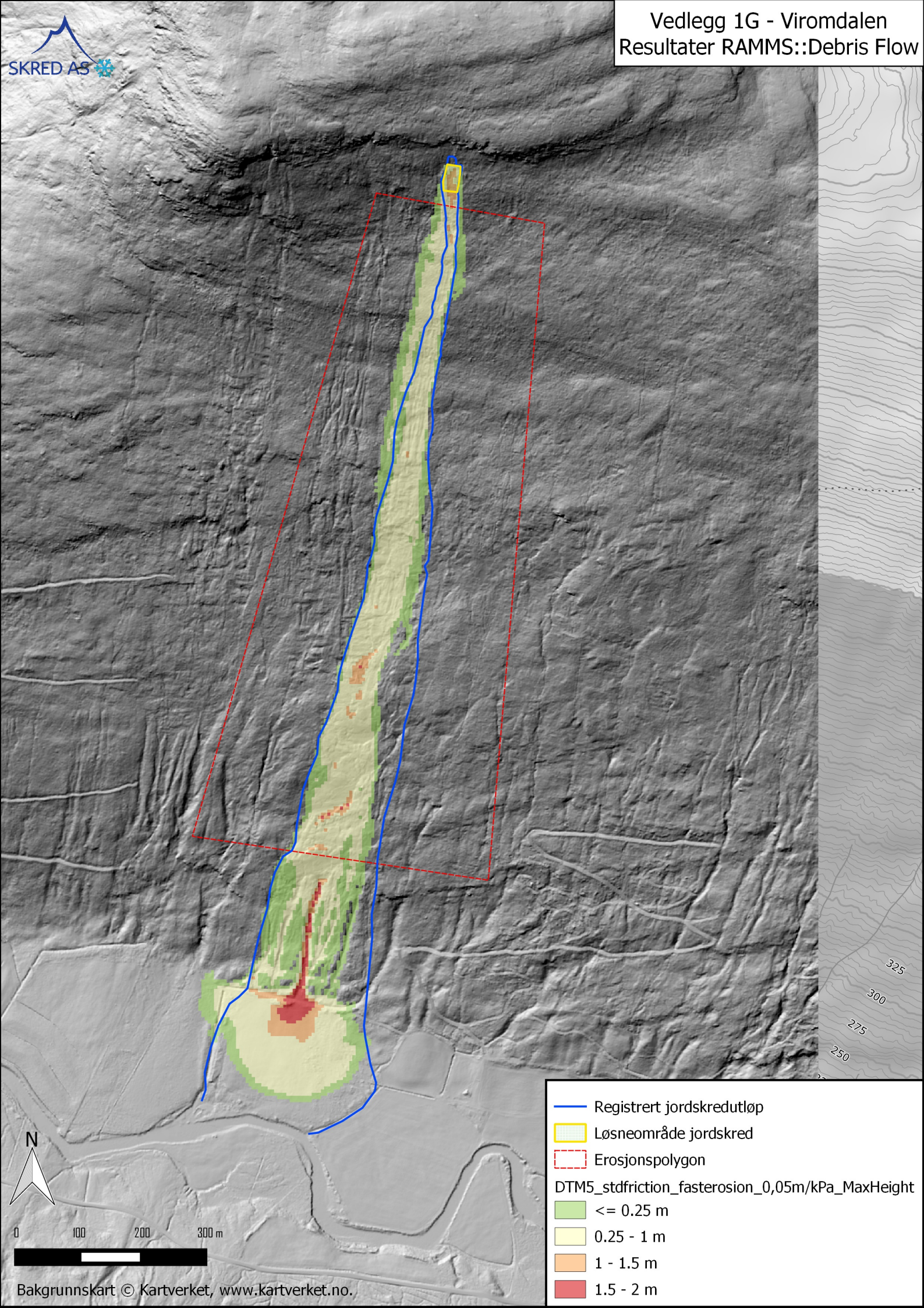
Vedlegg 1E - Viromdalen
Resultater RAMMS::Debris Flow



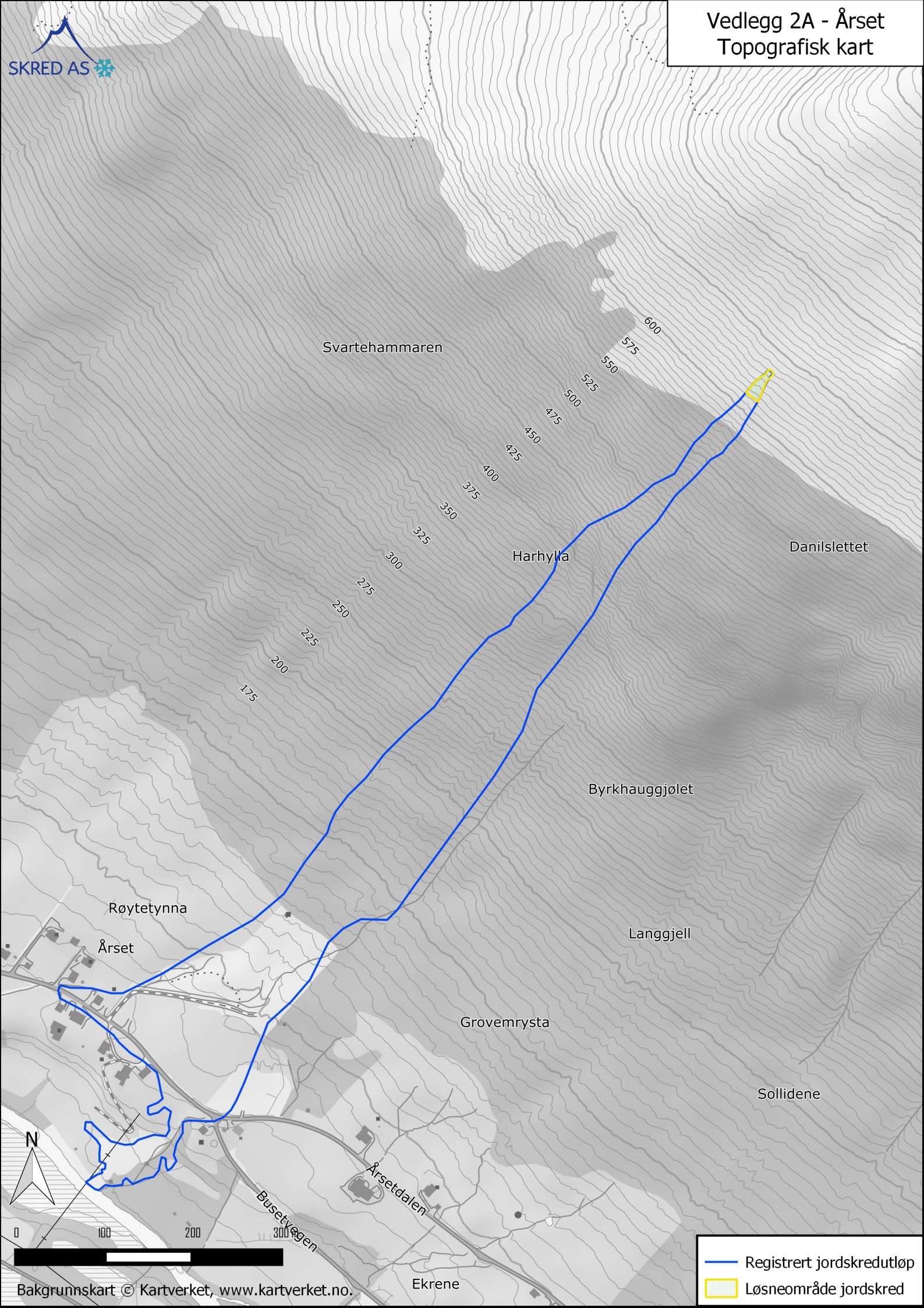
Vedlegg 1F - Viromdalen
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 1G - Viromdalen
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 2A - Årset
Topografisk kart

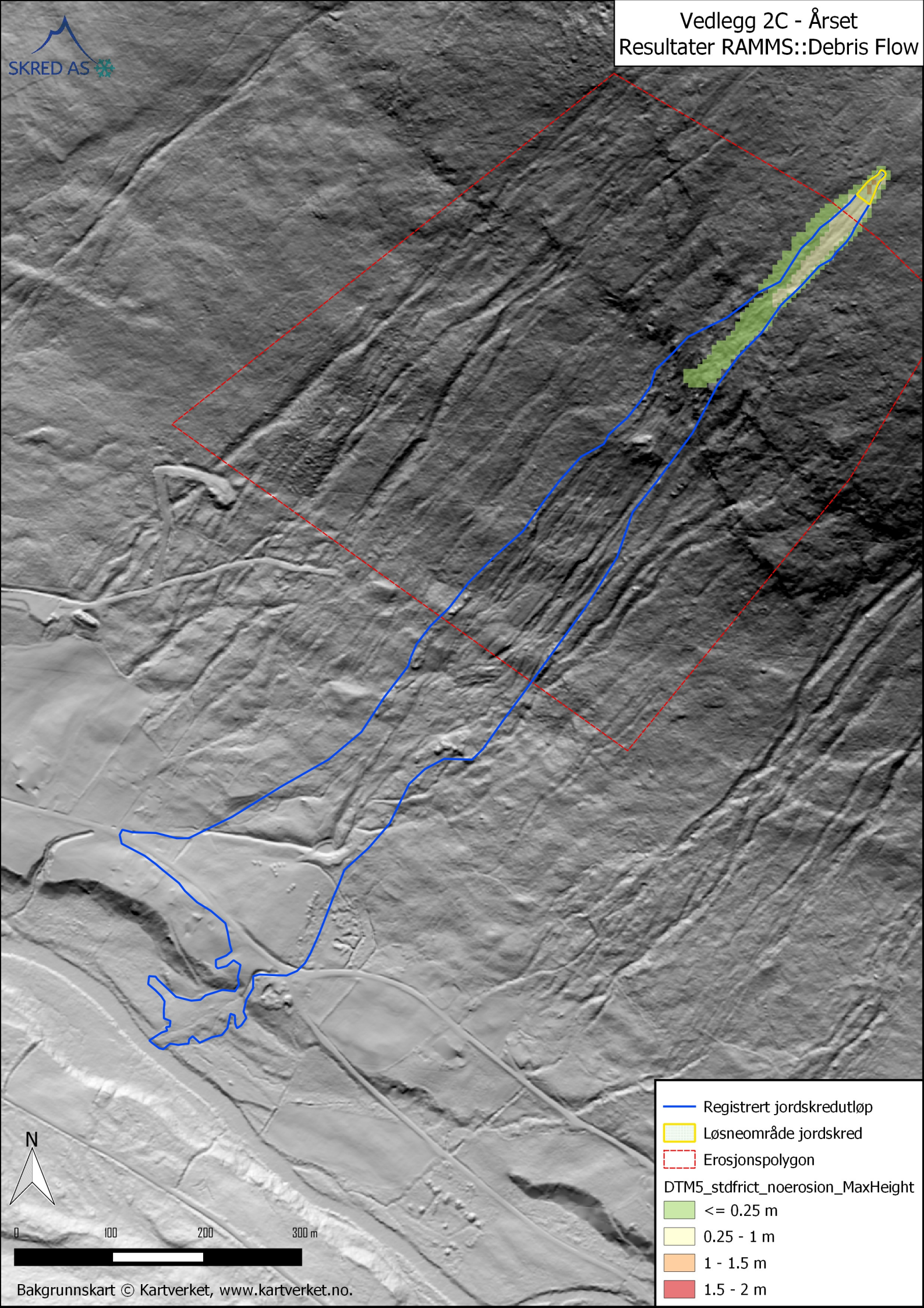


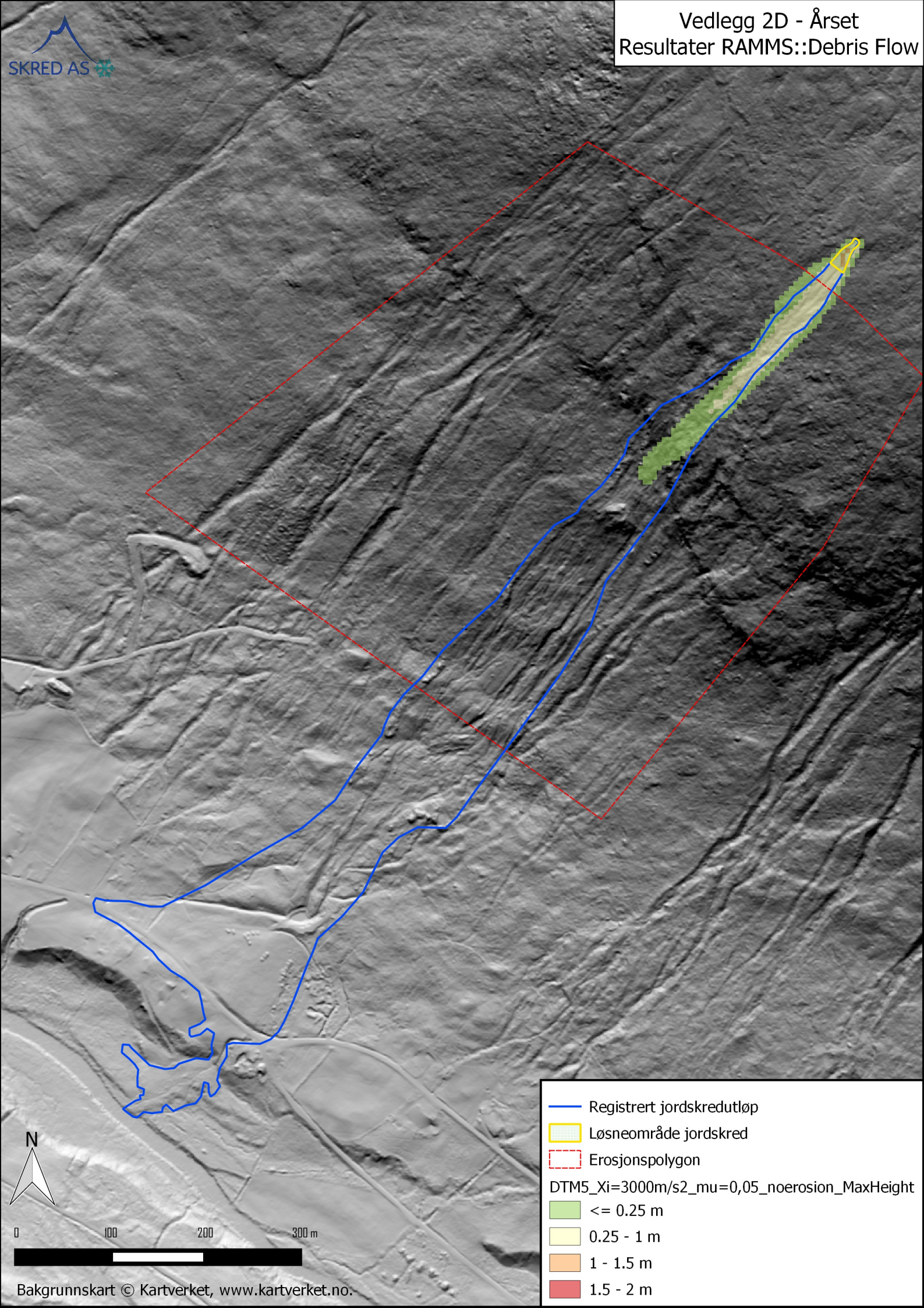
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

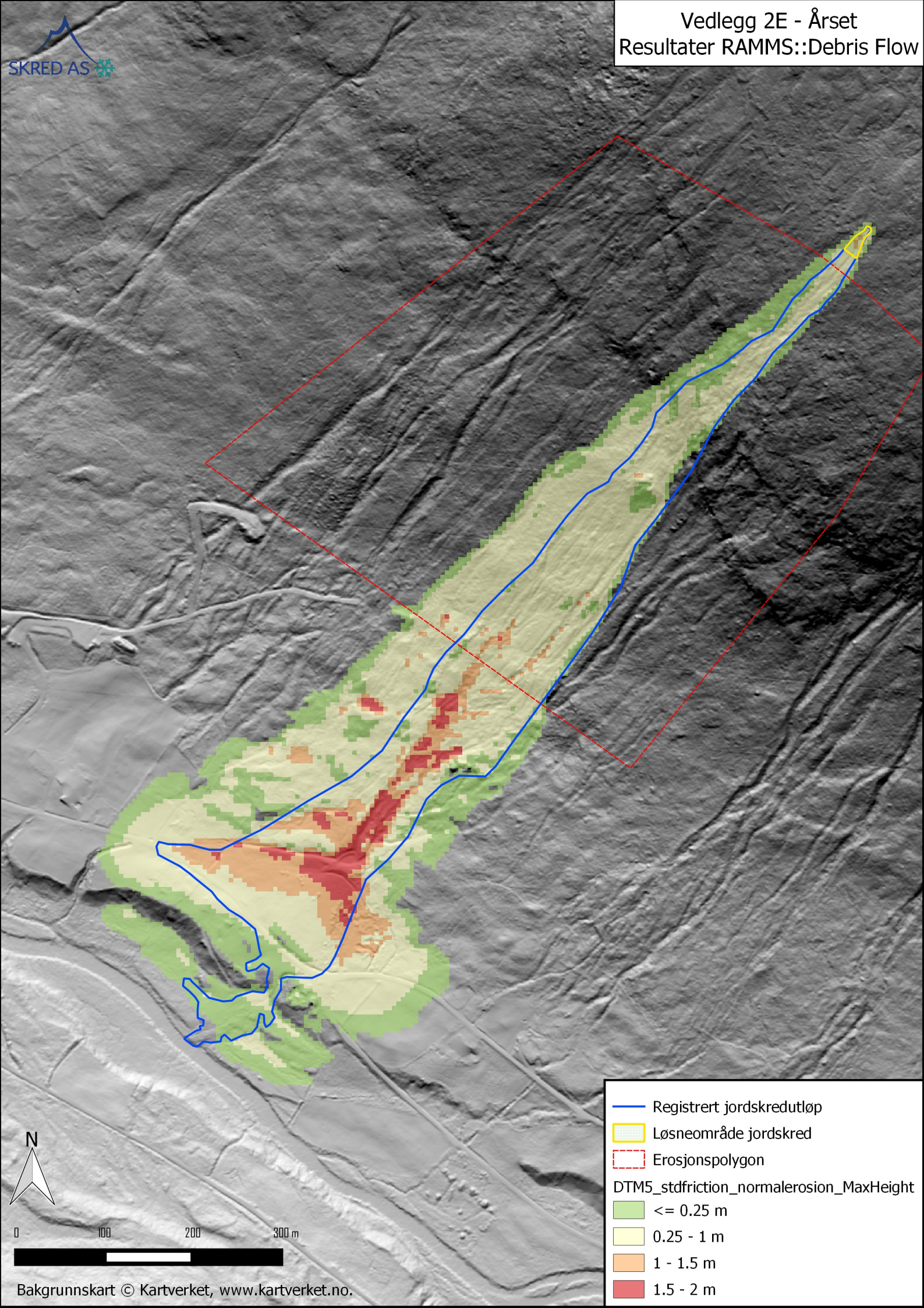
Vedlegg 2B - Årset
Flyfoto

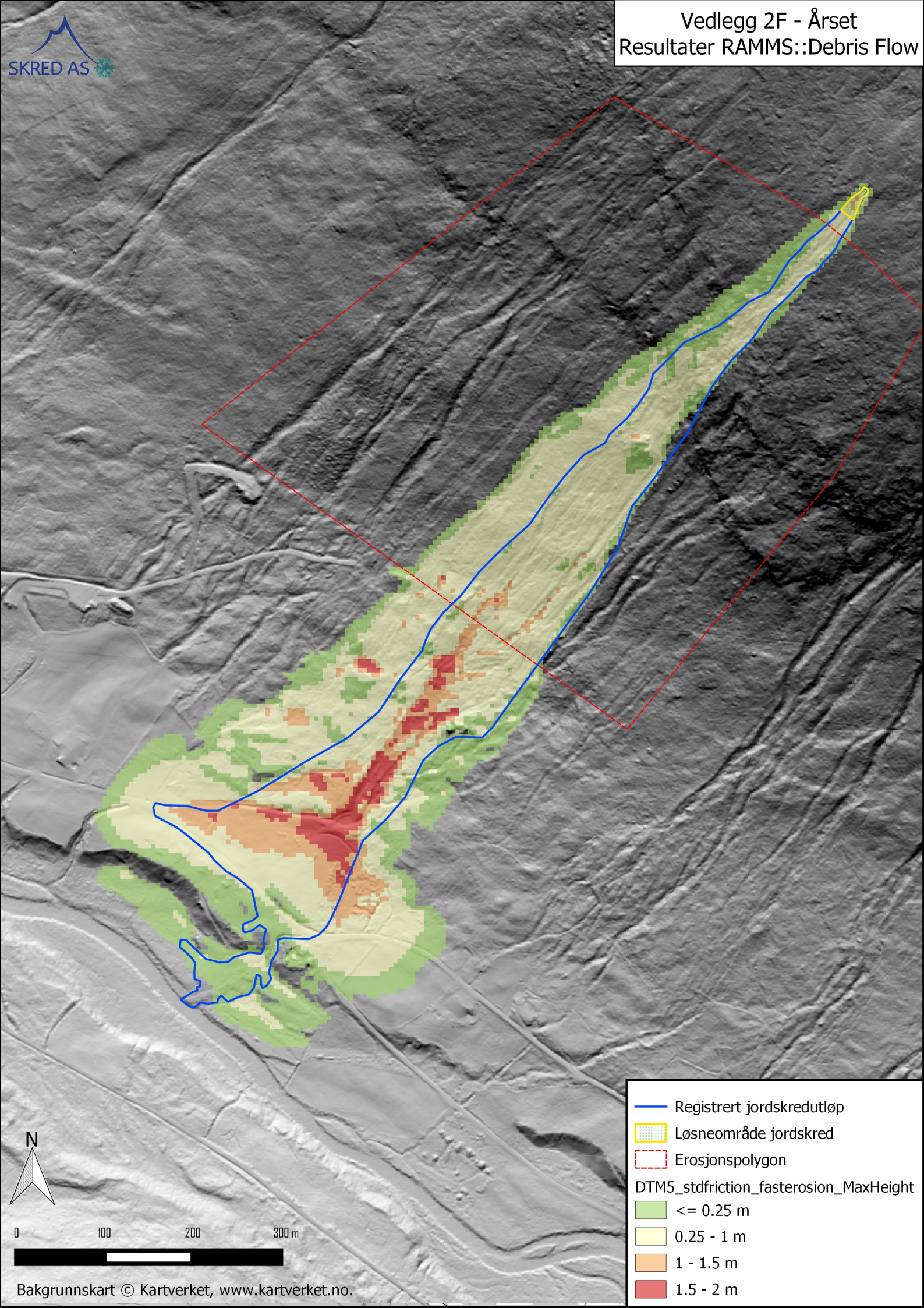
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

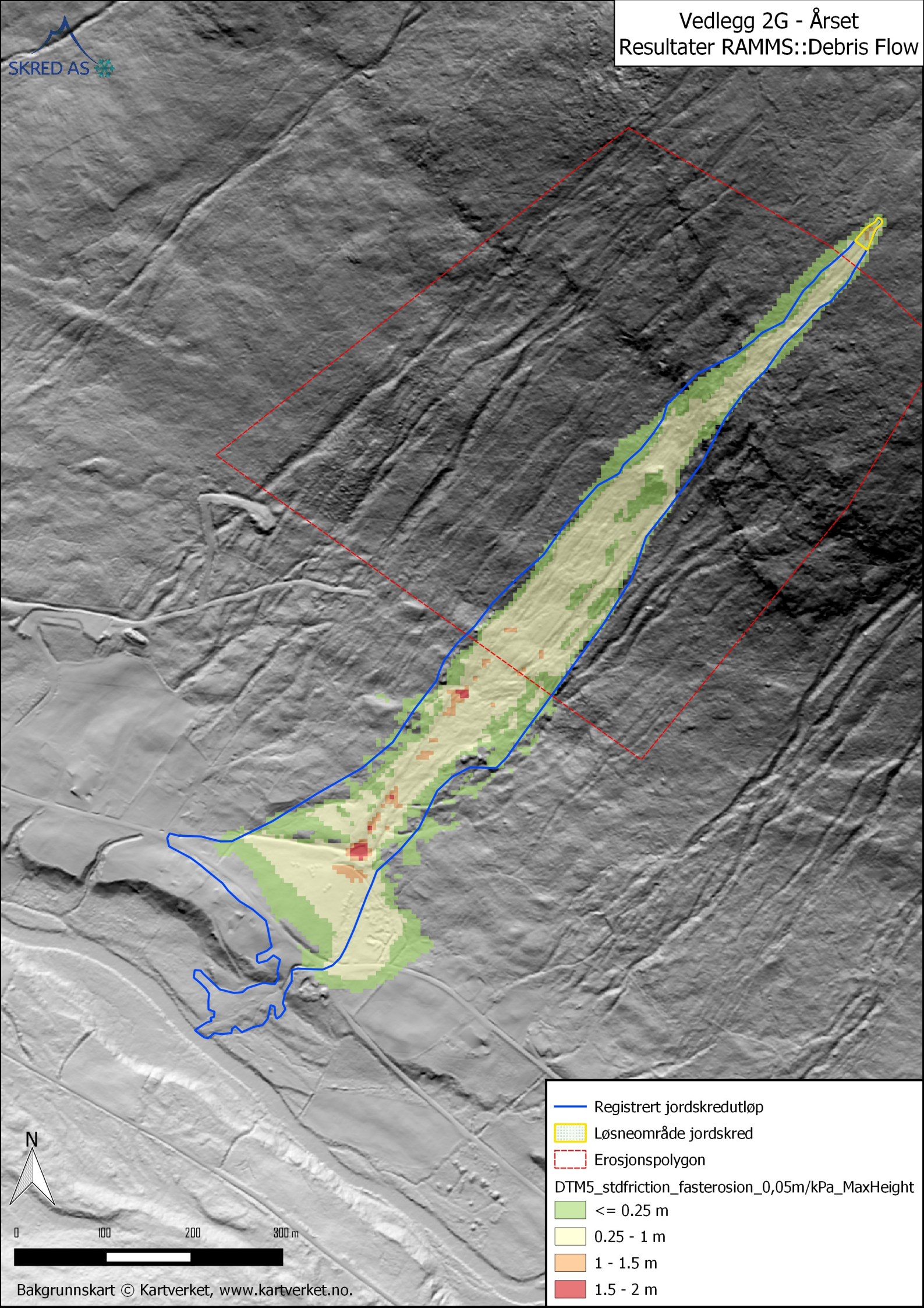
Vedlegg 2C - Årset
Resultater RAMMS::Debris Flow



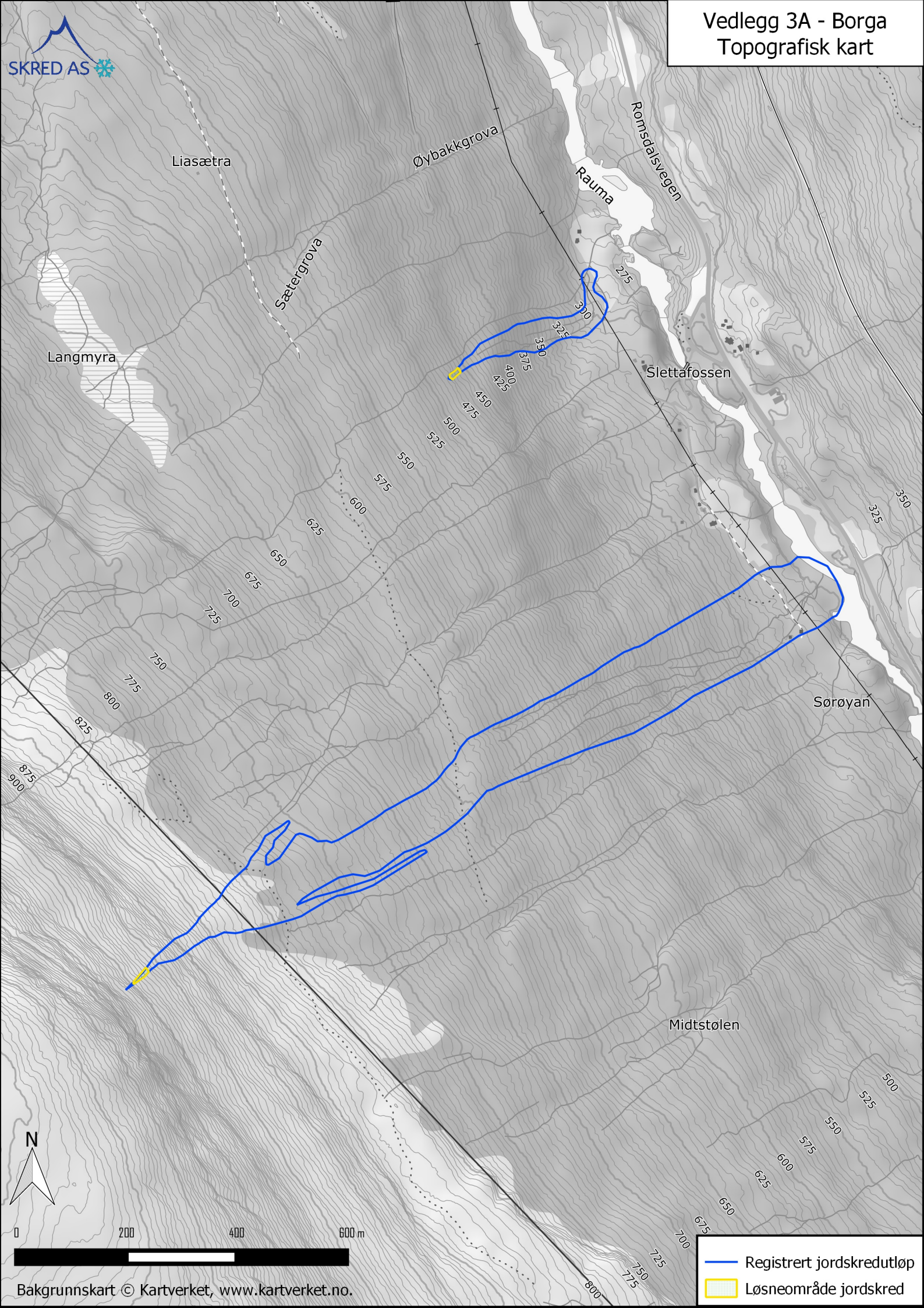

Vedlegg 2D - Årset
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_Xi=3000m/s2_mu=0,05_noerosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
100
200
300 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.


Vedlegg 2E - Årset
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_normalerosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
100
200
300 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.


Vedlegg 2F - Årset
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_fasterosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
100
200
300 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.


Vedlegg 2G - Årset
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_fasterosion_0,05m/kPa_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
100
200
300 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 3A - Borga
Topografisk kart

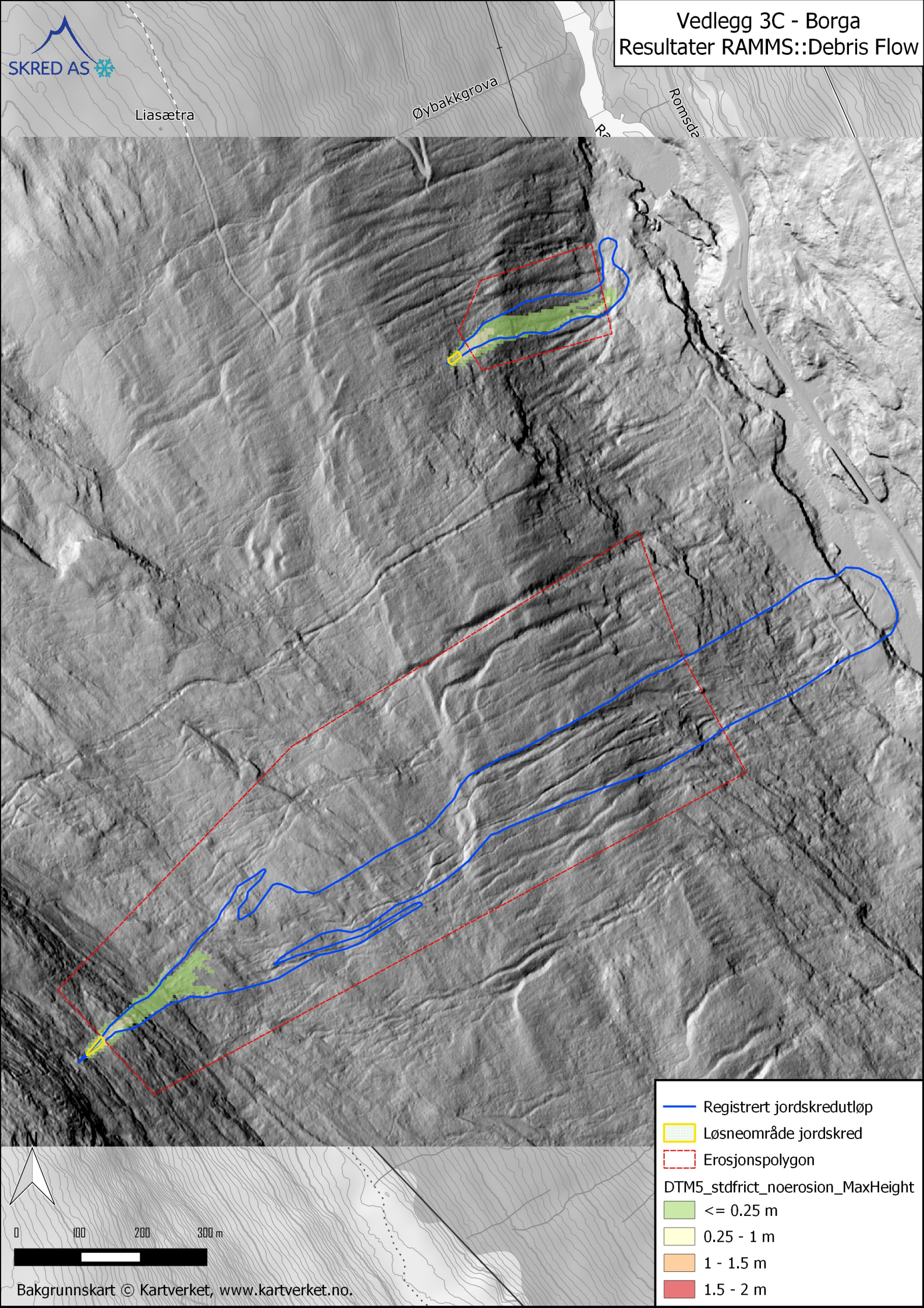


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

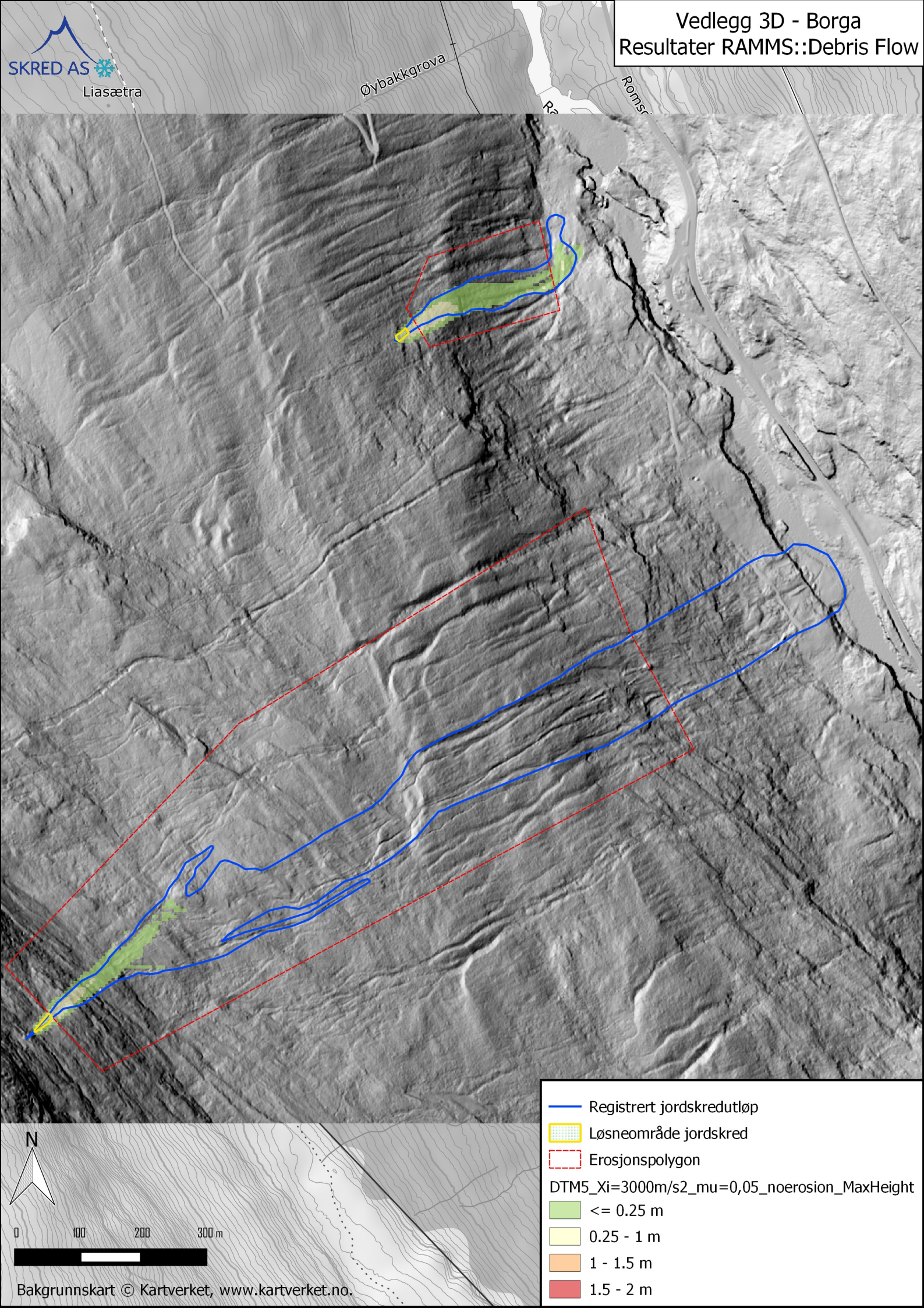
Vedlegg 3B - Borga
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

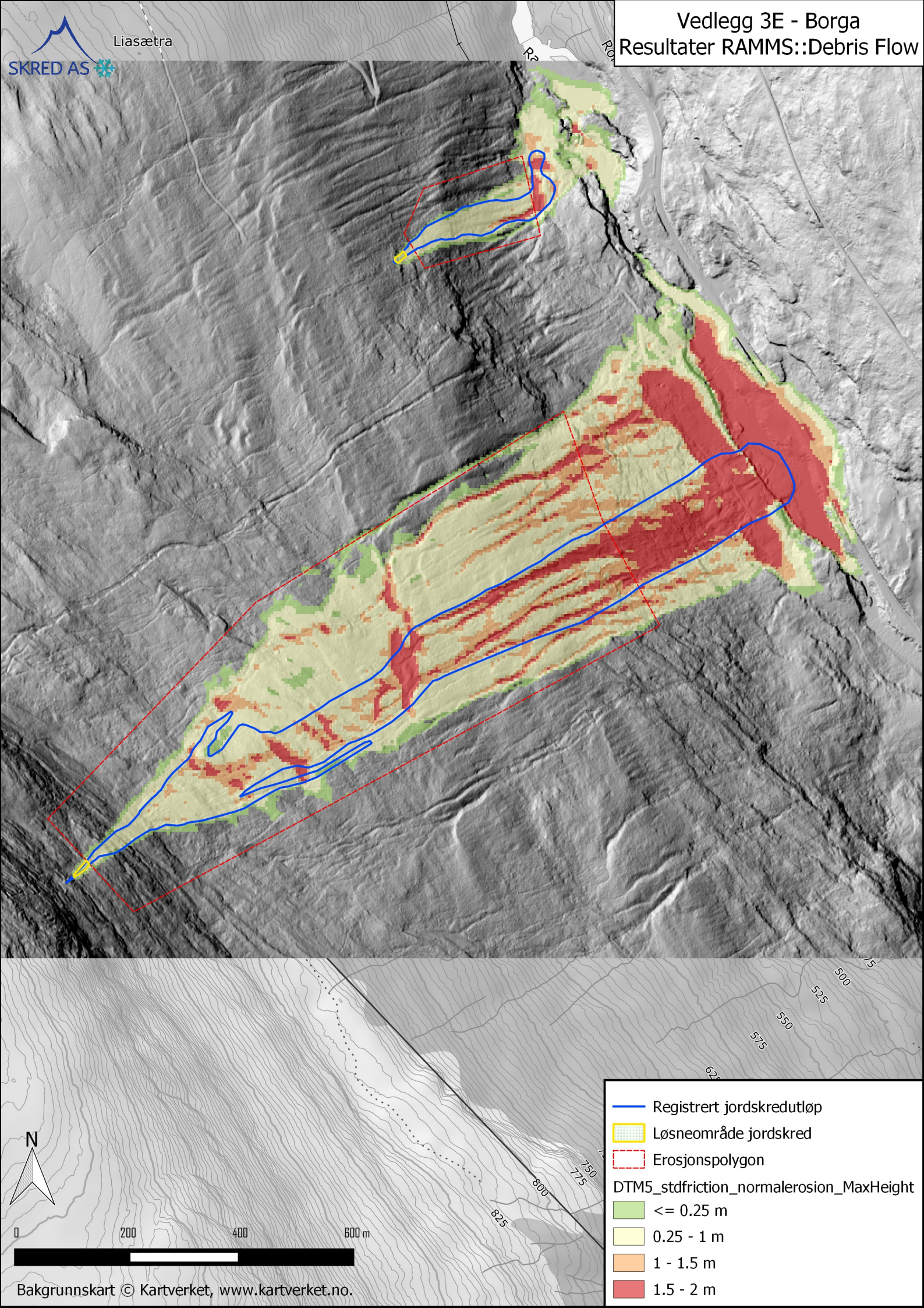
Vedlegg 3C - Borga
Resultater RAMMS::Debris Flow



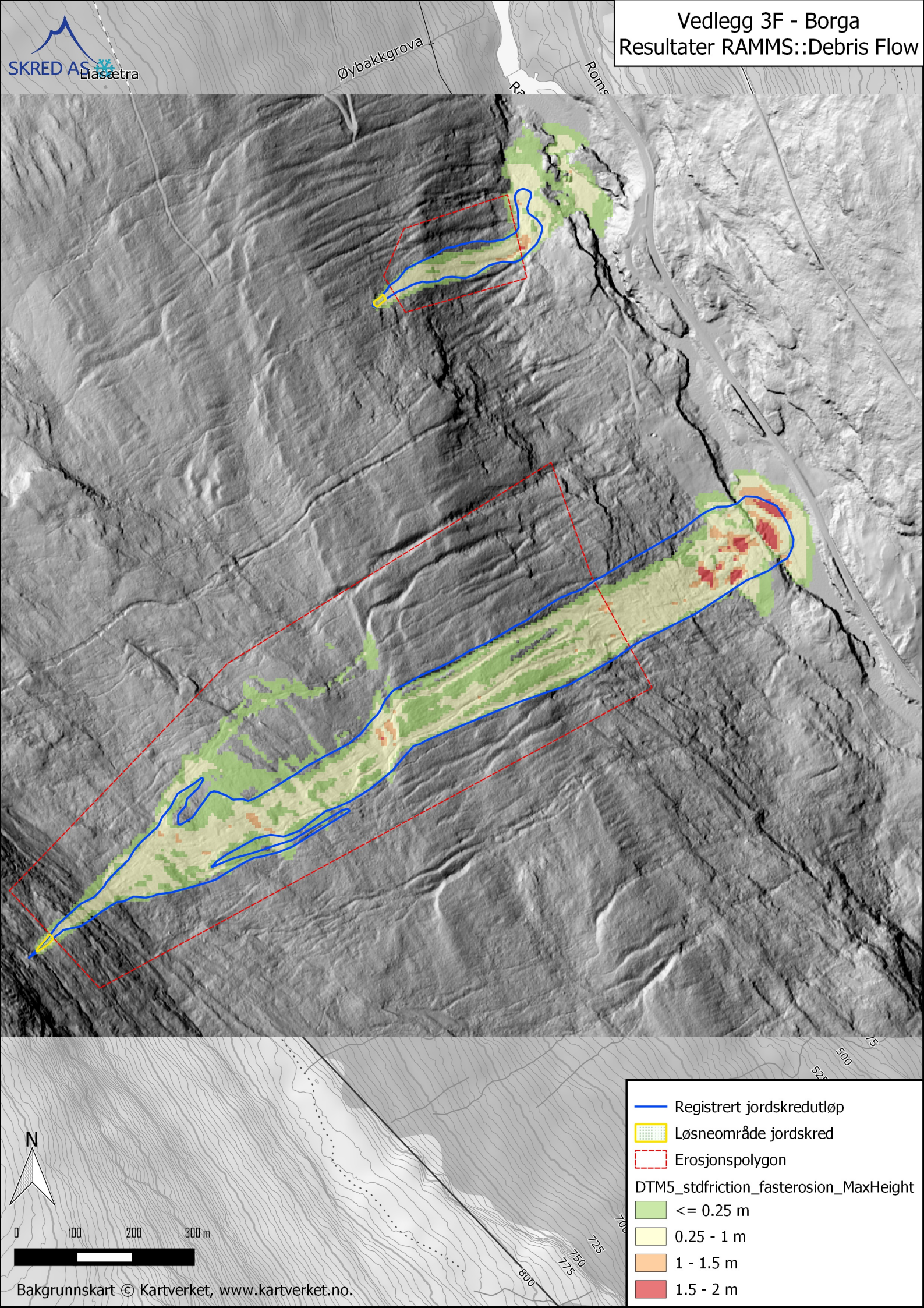
Vedlegg 3D - Borga
Resultater RAMMS::Debris Flow



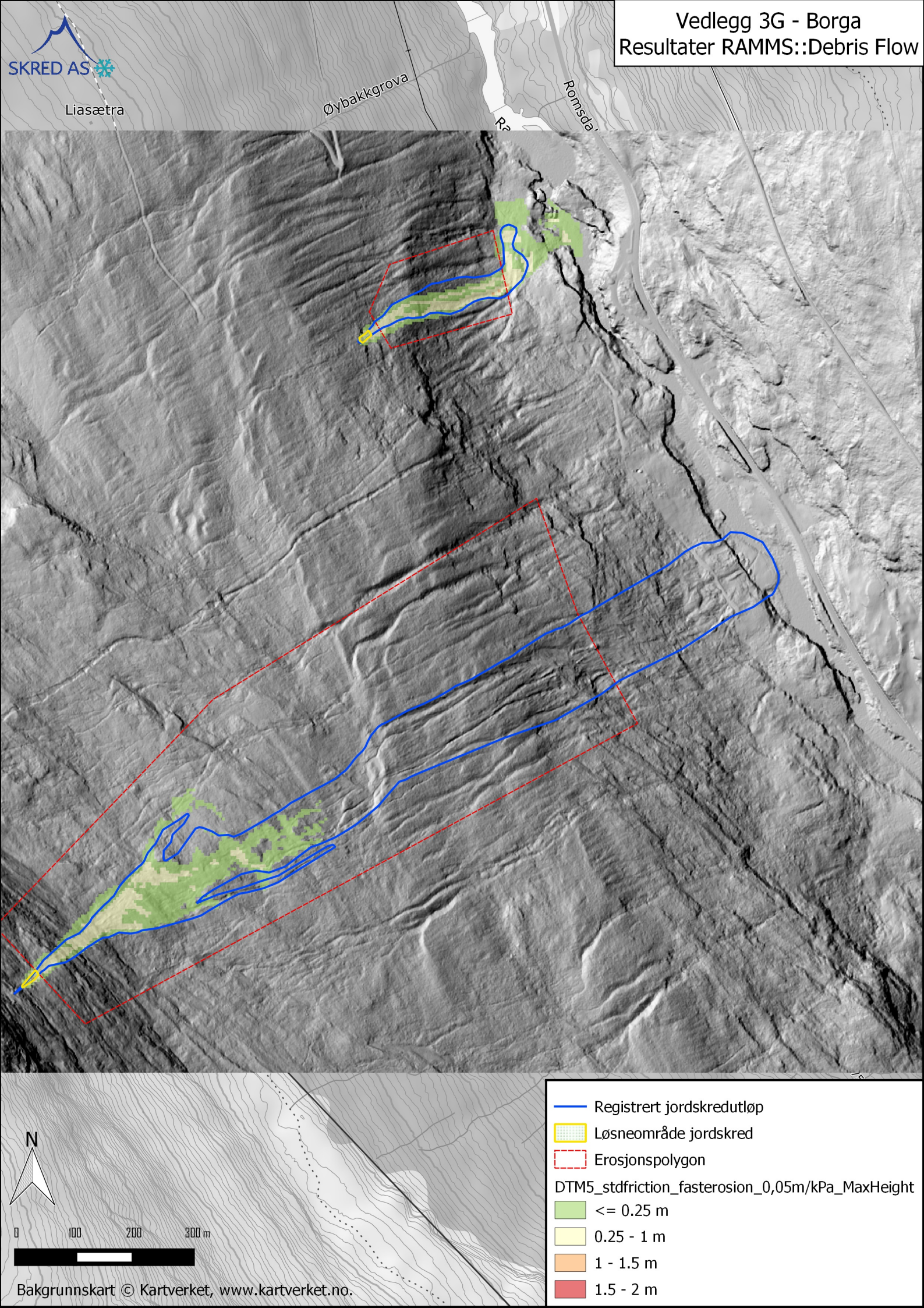
Vedlegg 3E - Borga
Resultater RAMMS::Debris Flow



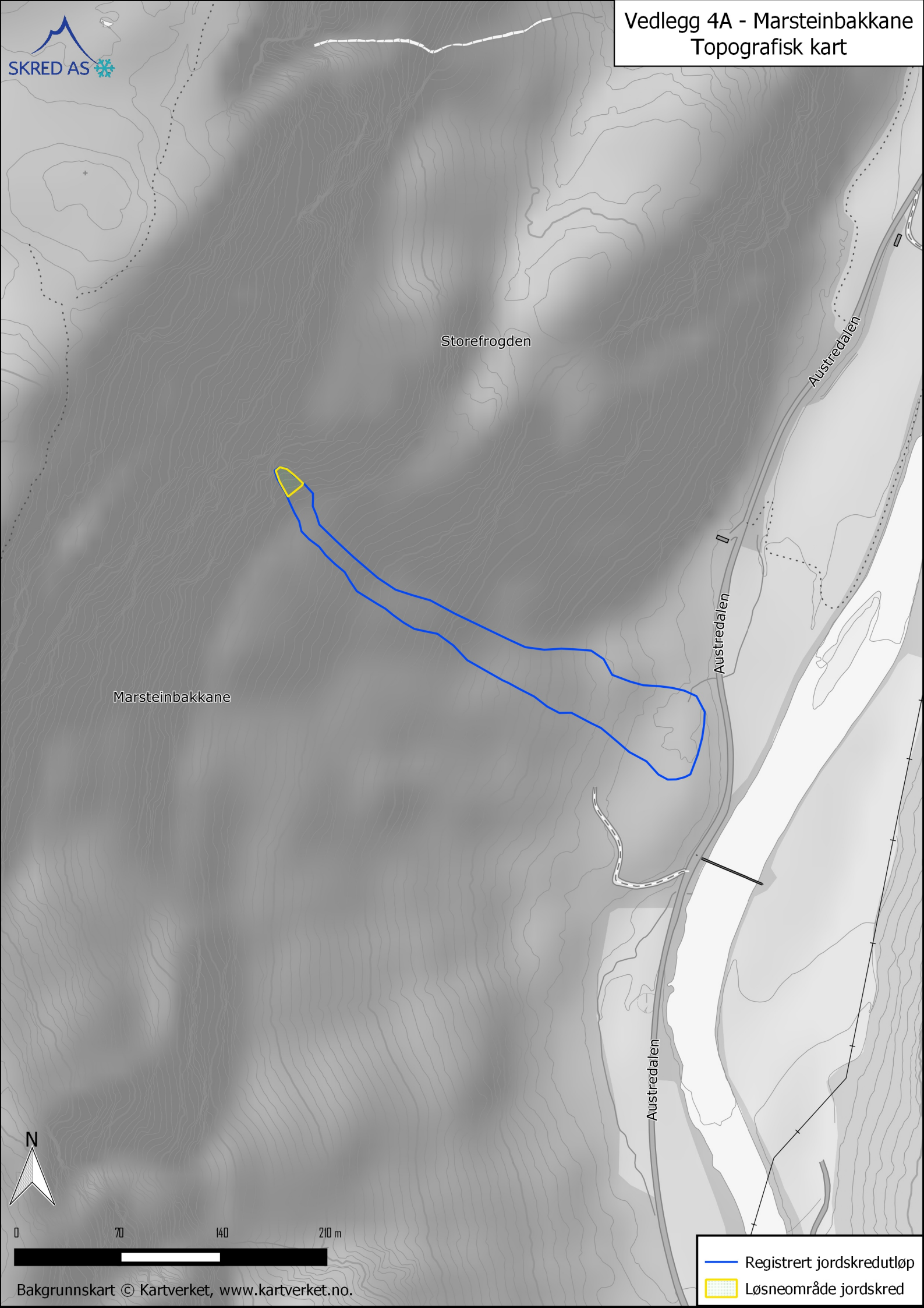
Vedlegg 3F - Borga
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 3G - Borga
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 4A - Marsteinbakkane
Topografisk kart



Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

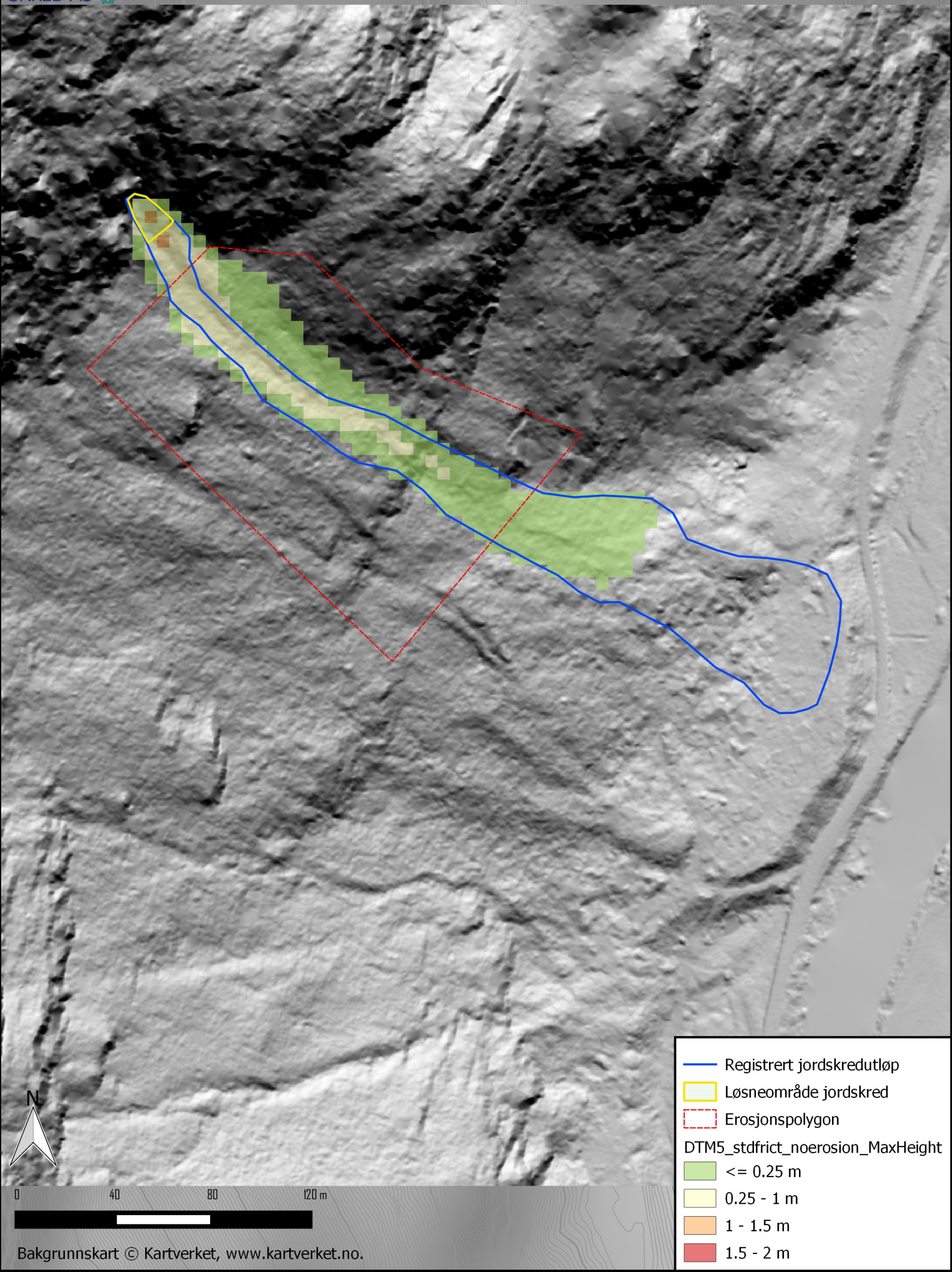
Vedlegg 4B - Marsteinbakkane
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 4C - Marsteinbakkane
Resultater RAMMS::Debris Flow

SKRED AS

Storefrogden

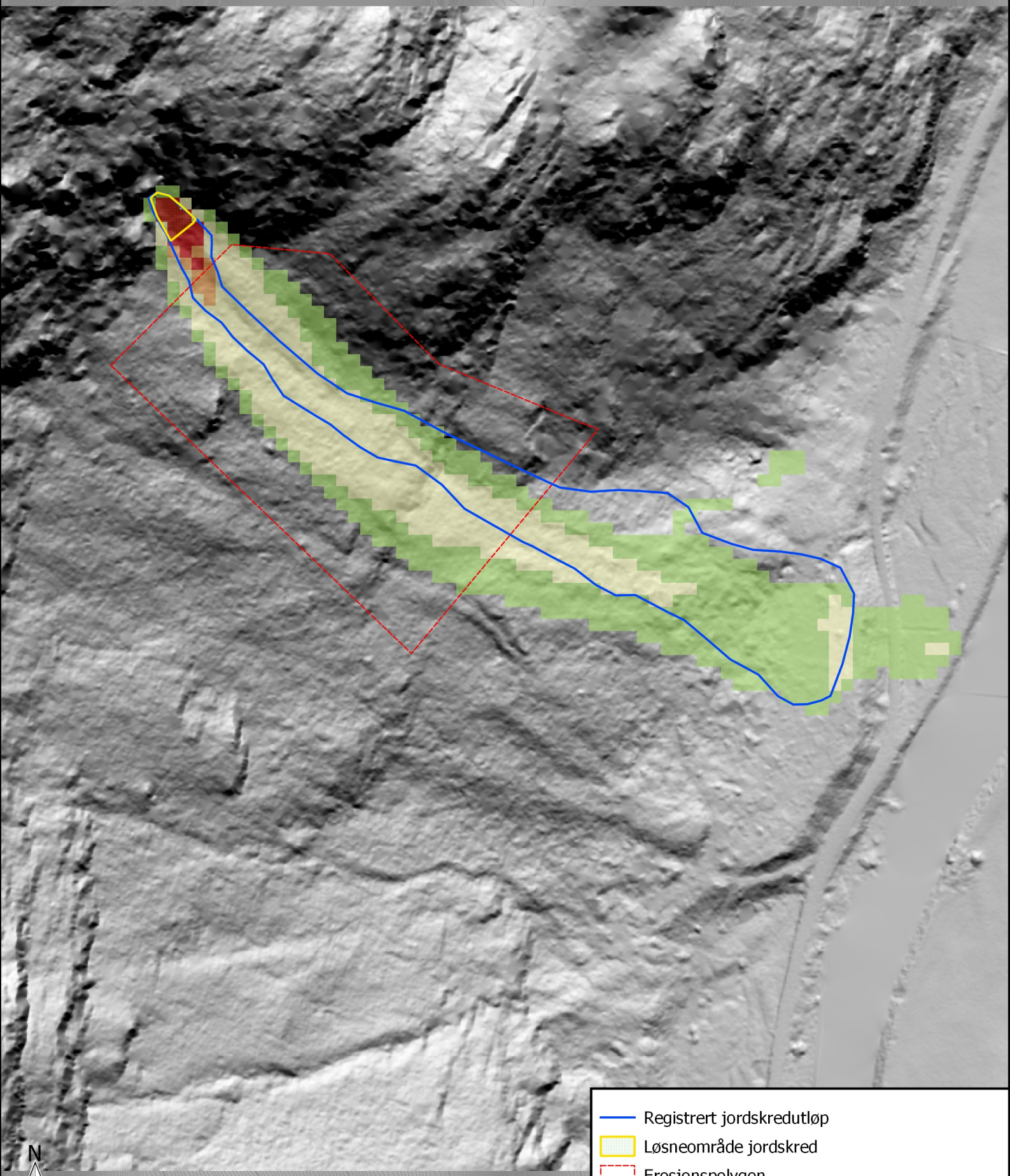


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 4D - Marsteinbakkane
Resultater RAMMS::Debris Flow

SKRED AS

Storefrogden



N

0 50 100 150 m

Registrert jordskredutløp

Løsneområde jordskred

Erosjonspolygon

DTM5_Xi=3000m/s2_mu=0,05_noerosion_MaxHeight

<= 0.25 m

0.25 - 1 m

1 - 1.5 m

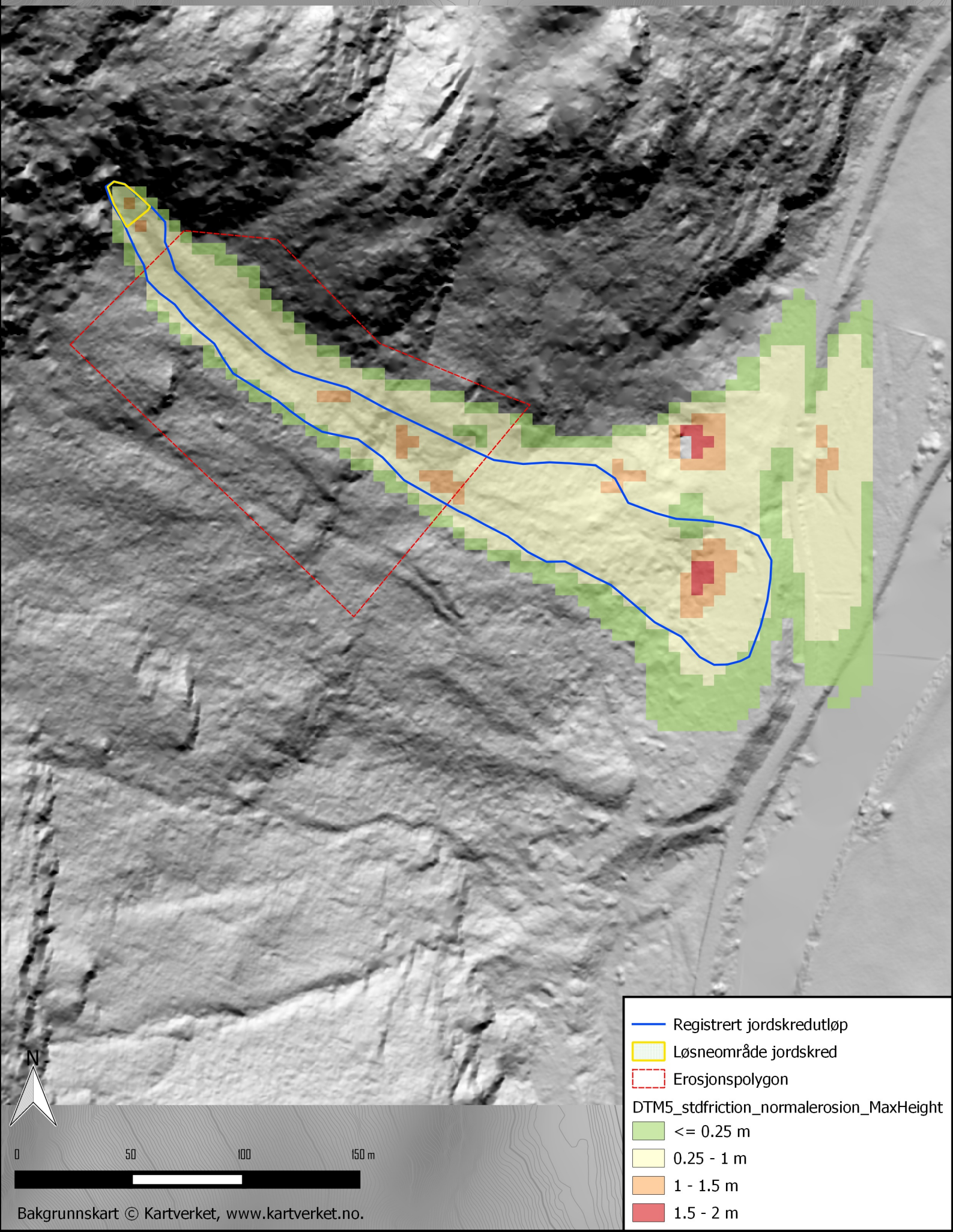
1.5 - 2 m

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 4E - Marsteinbakkane
Resultater RAMMS::Debris Flow

SKRED AS

Storefrogden

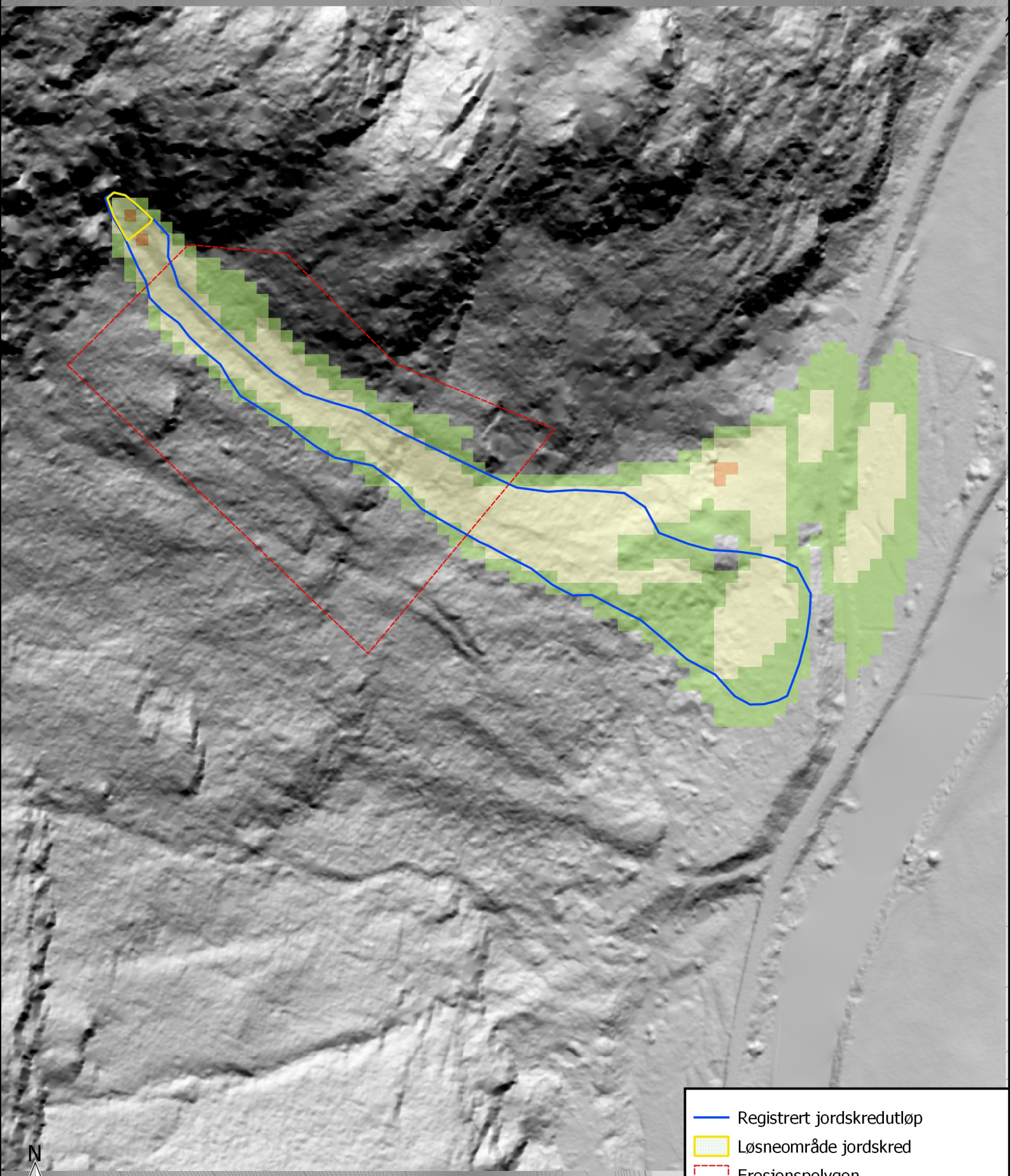


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 4F - Marsteinbakkane
Resultater RAMMS::Debris Flow

SKRED AS

Storefrogden



N

0 50 100 150 m

Registrert jordskredutløp

Løsneområde jordskred

Erosjonspolygon

DTM5_stdfriction_fasterosion_MaxHeight

<= 0.25 m

0.25 - 1 m

1 - 1.5 m

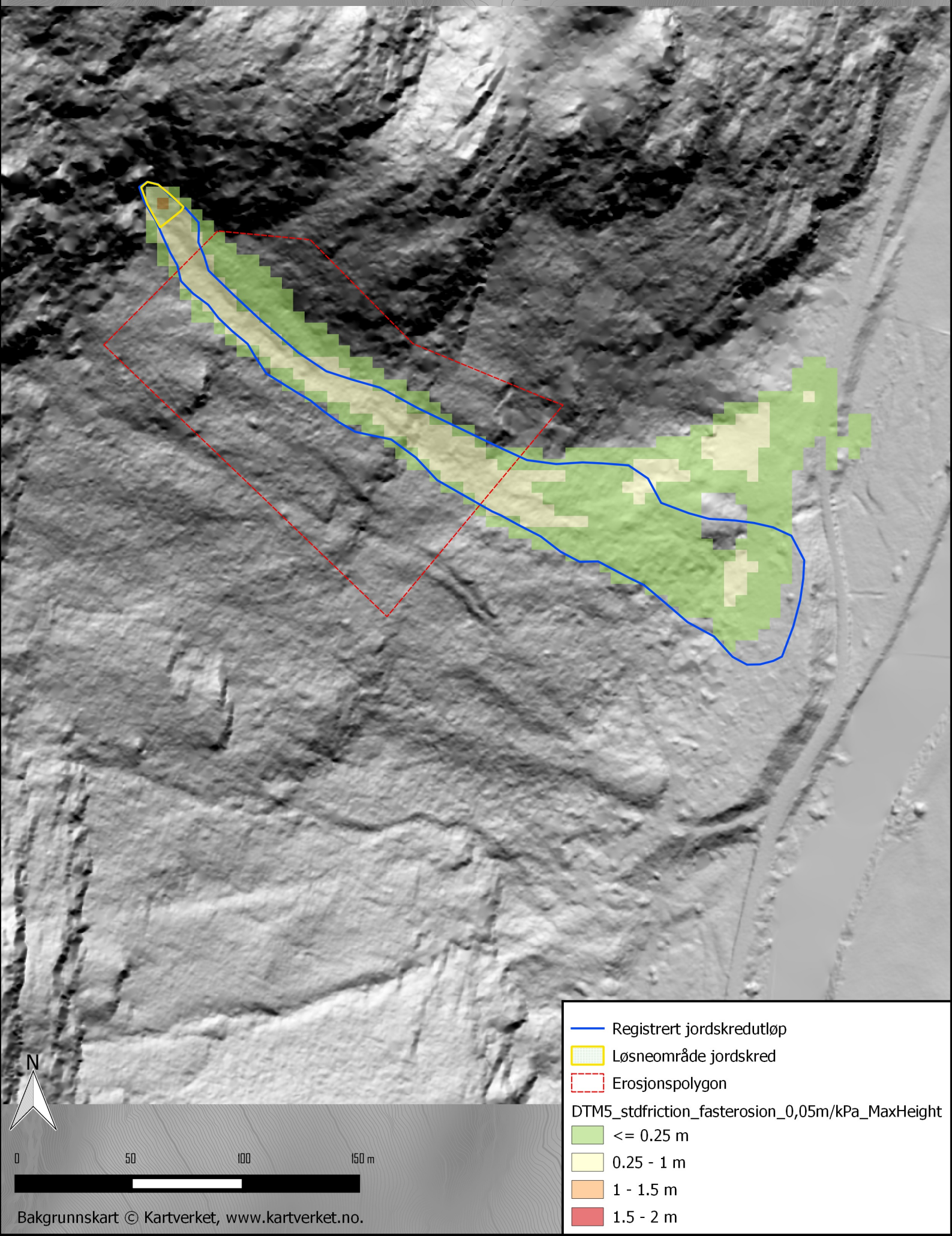
1.5 - 2 m

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 4G - Marsteinbakkane
Resultater RAMMS::Debris Flow

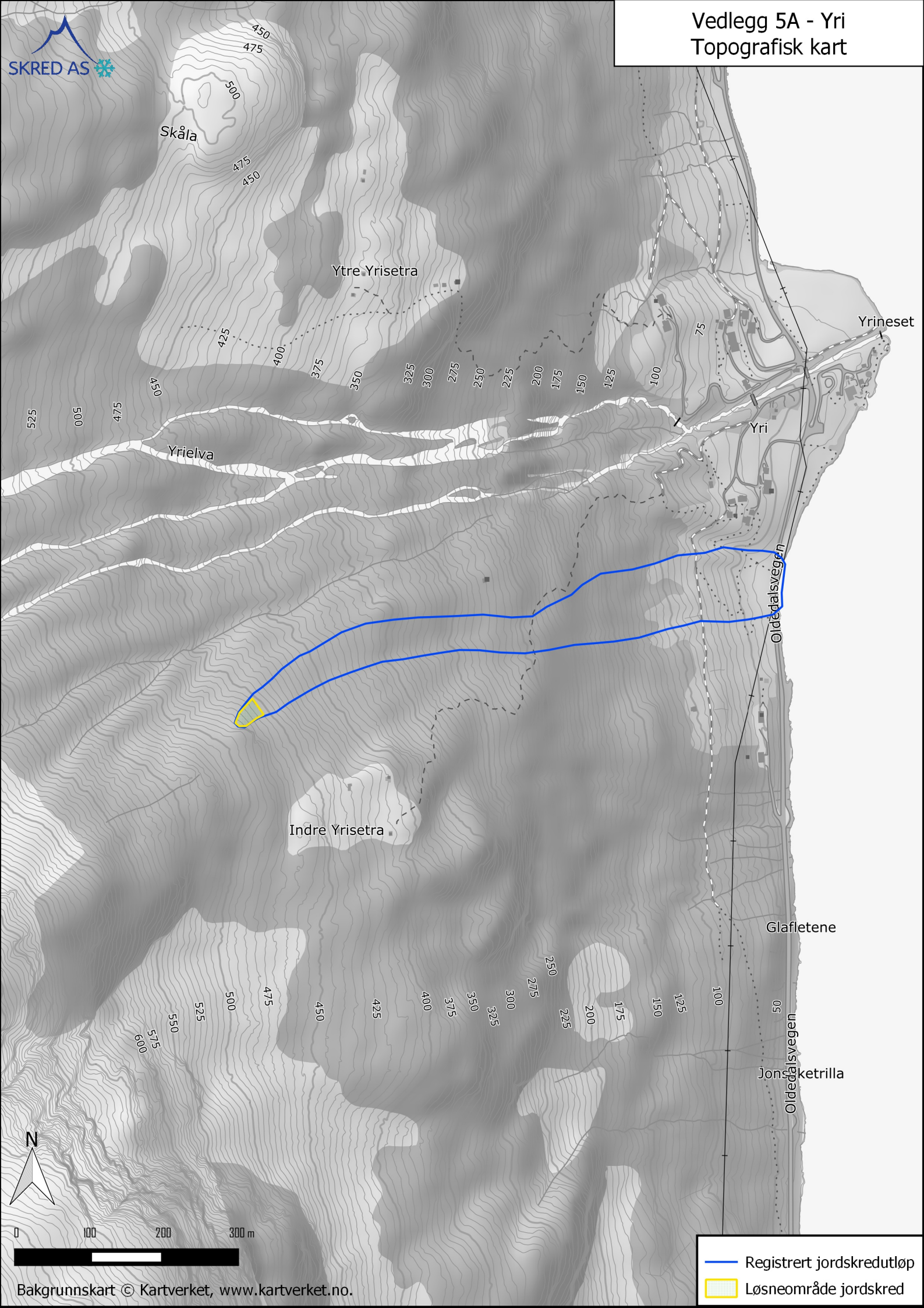
SKRED AS

Storefrogden



Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 5A - Yri
Topografisk kart

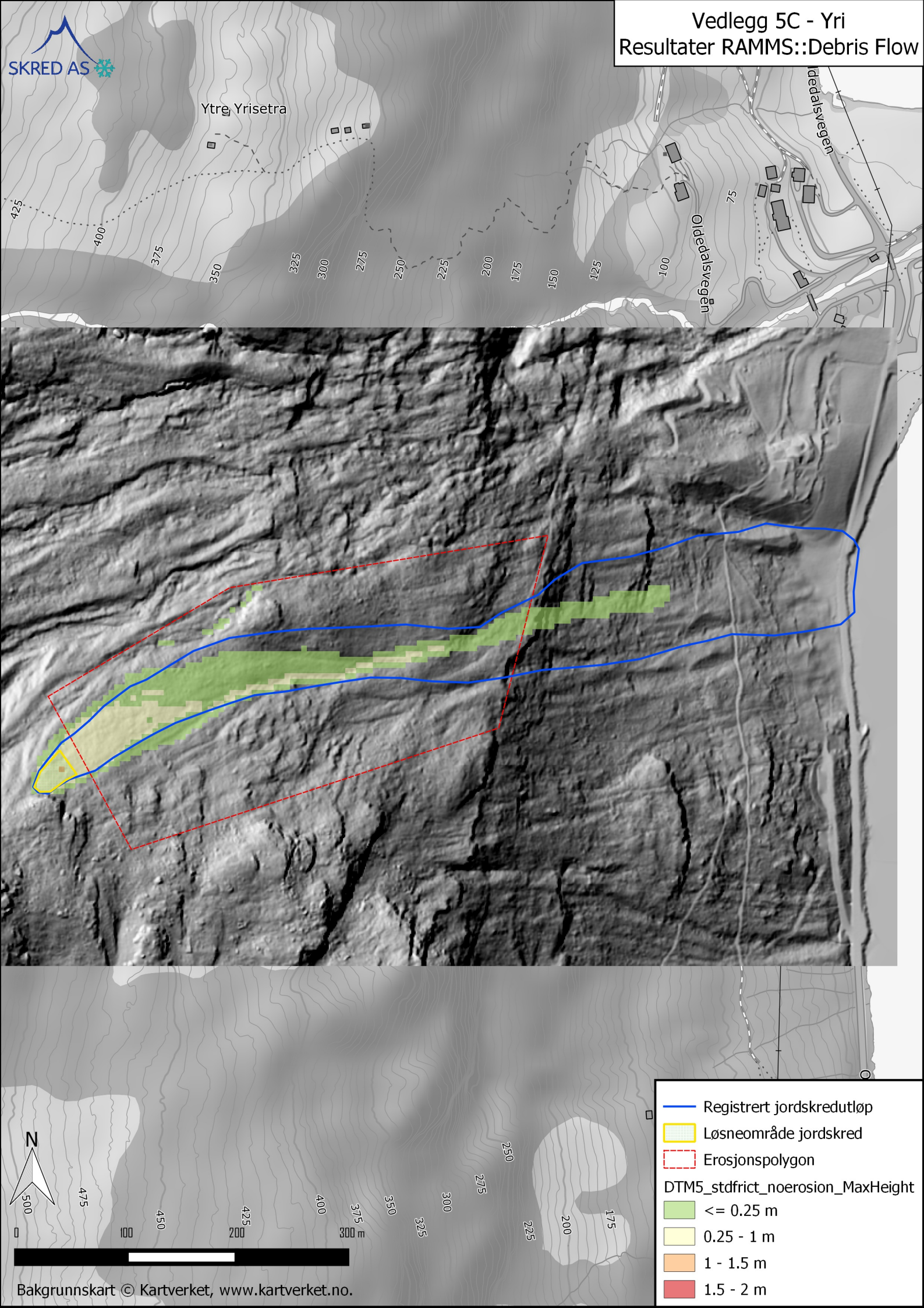


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

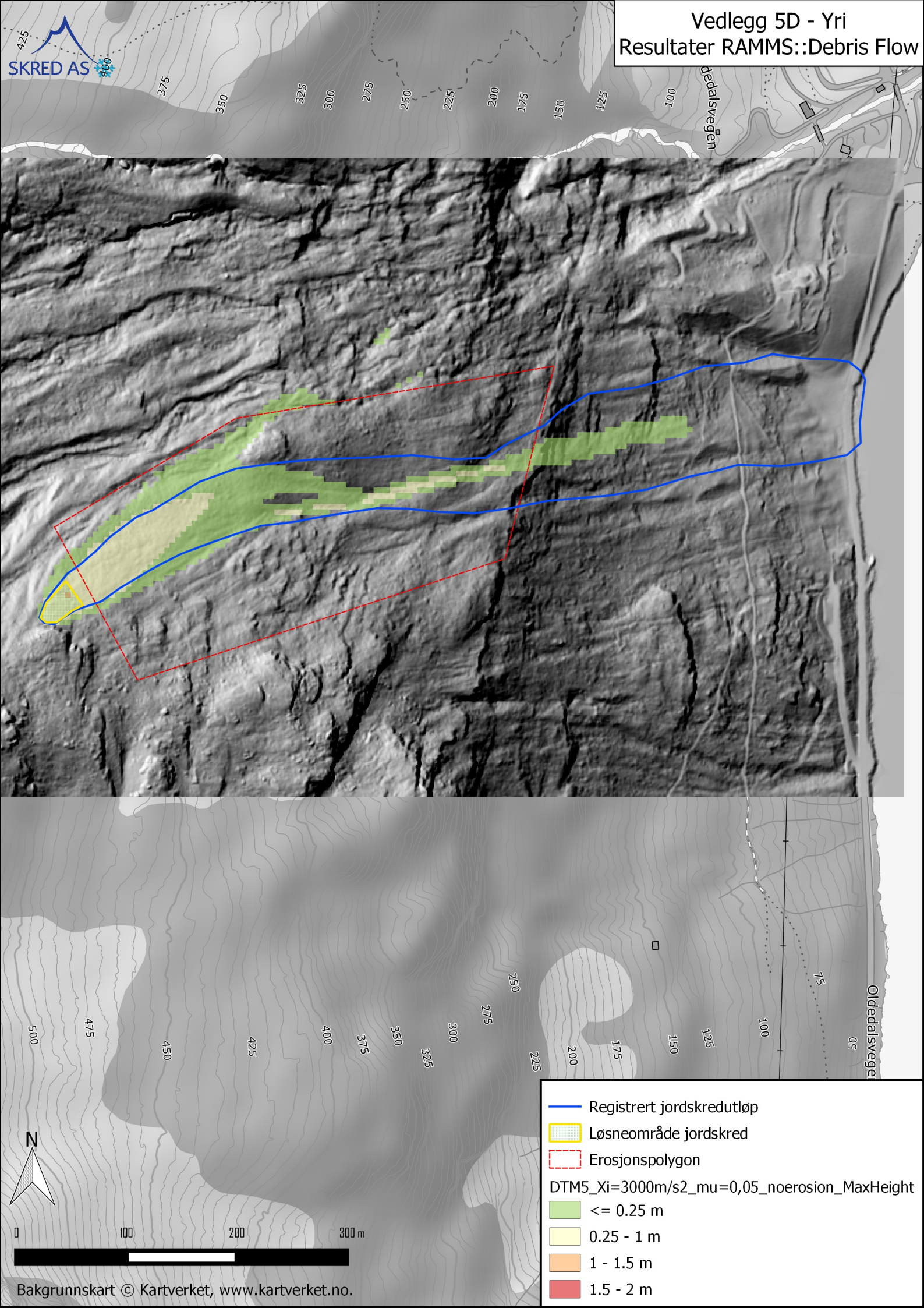
Vedlegg 5B - Yri
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

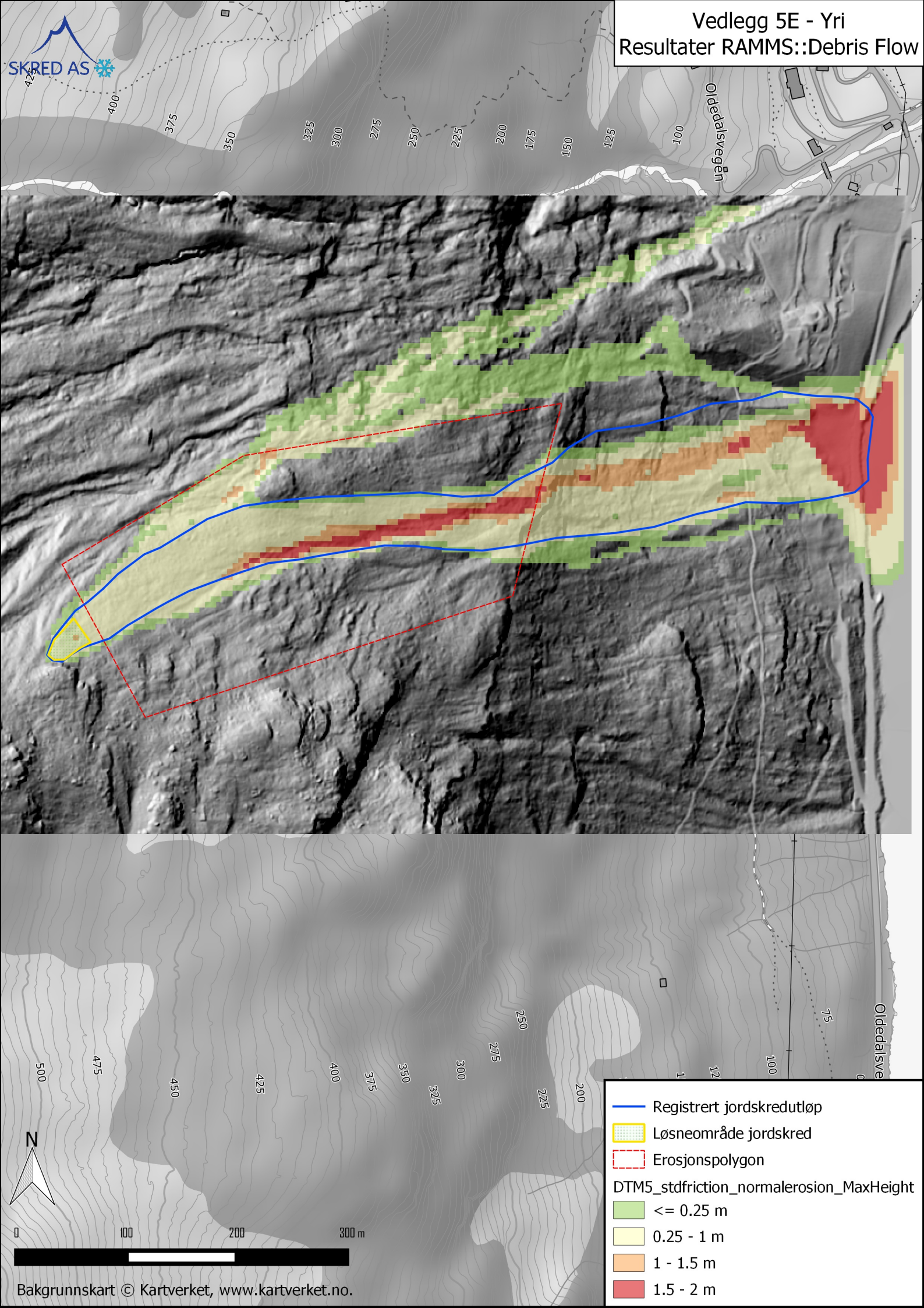
Vedlegg 5C - Yri
Resultater RAMMS::Debris Flow



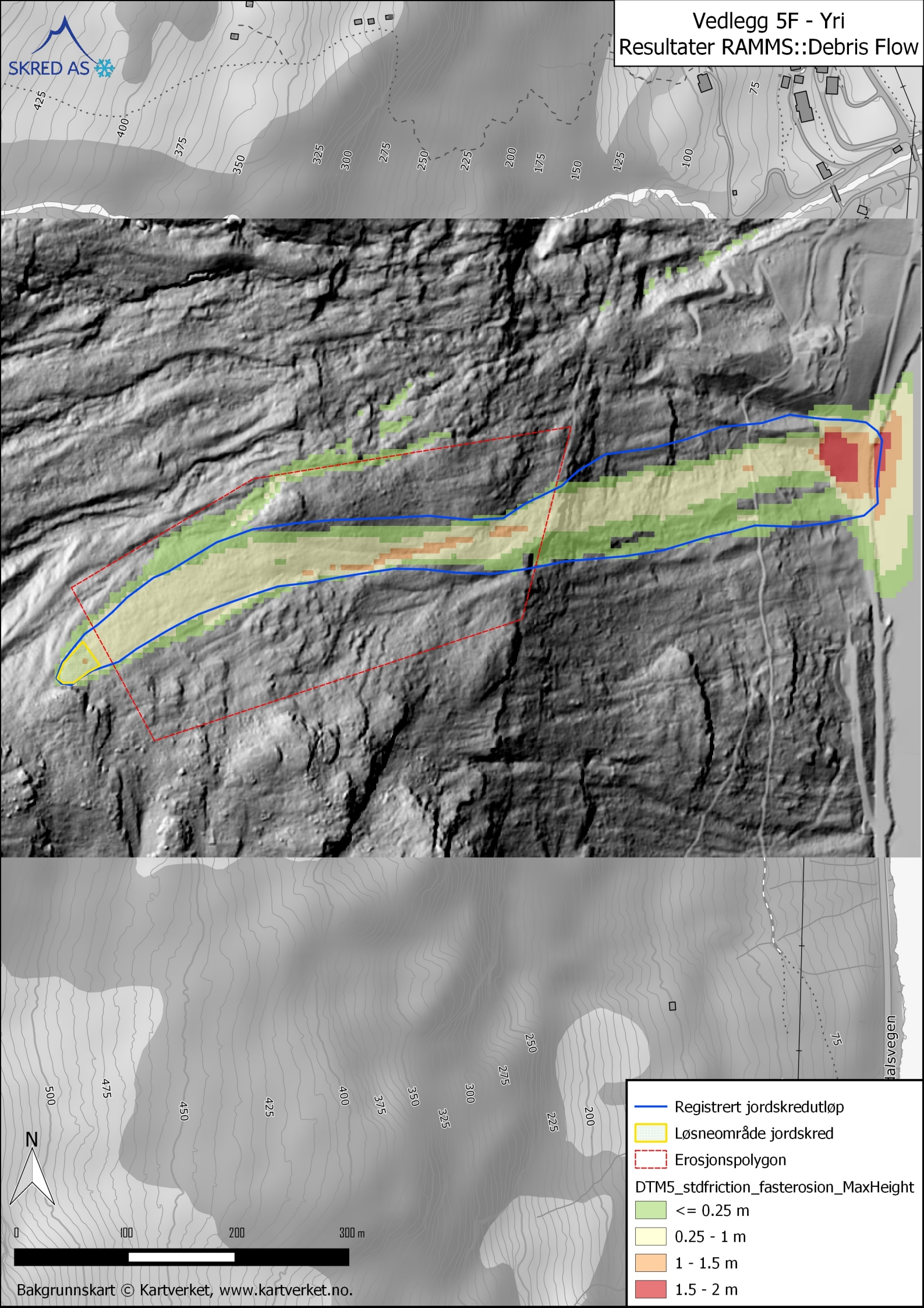
Vedlegg 5D - Yri
Resultater RAMMS::Debris Flow



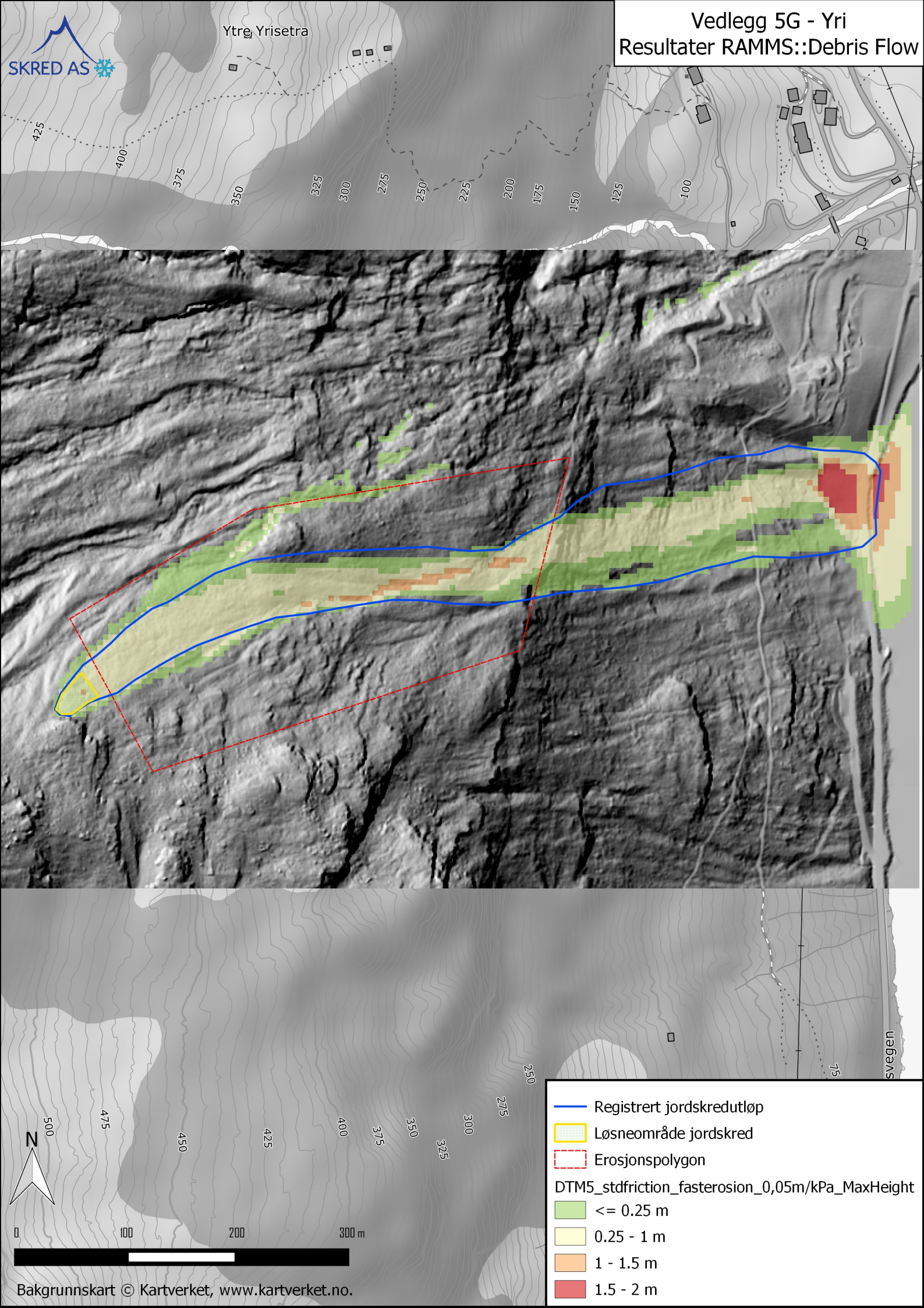
Vedlegg 5E - Yri
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 5F - Yri
Resultater RAMMS::Debris Flow

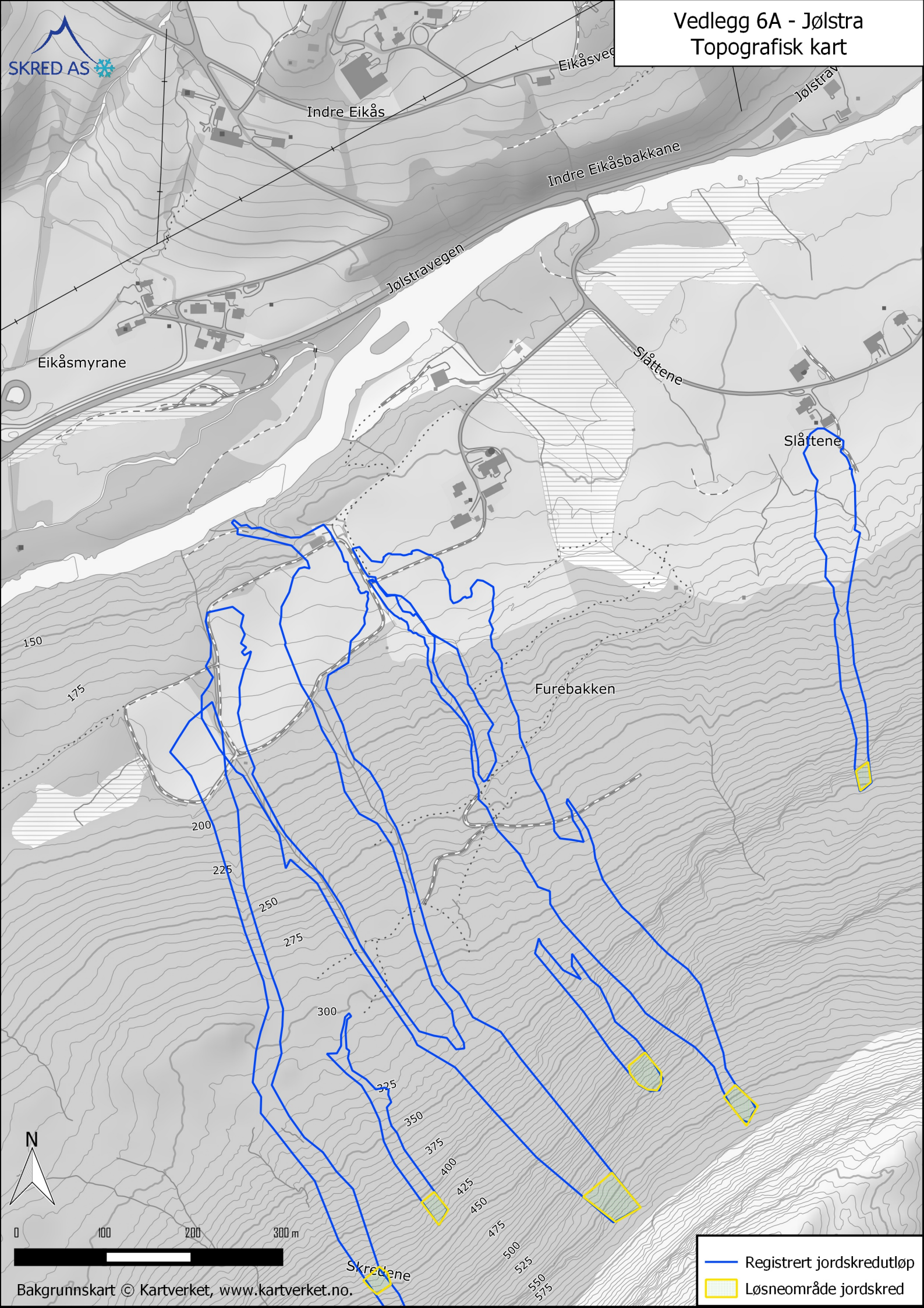


Vedlegg 5G - Yri
Resultater RAMMS::Debris Flow



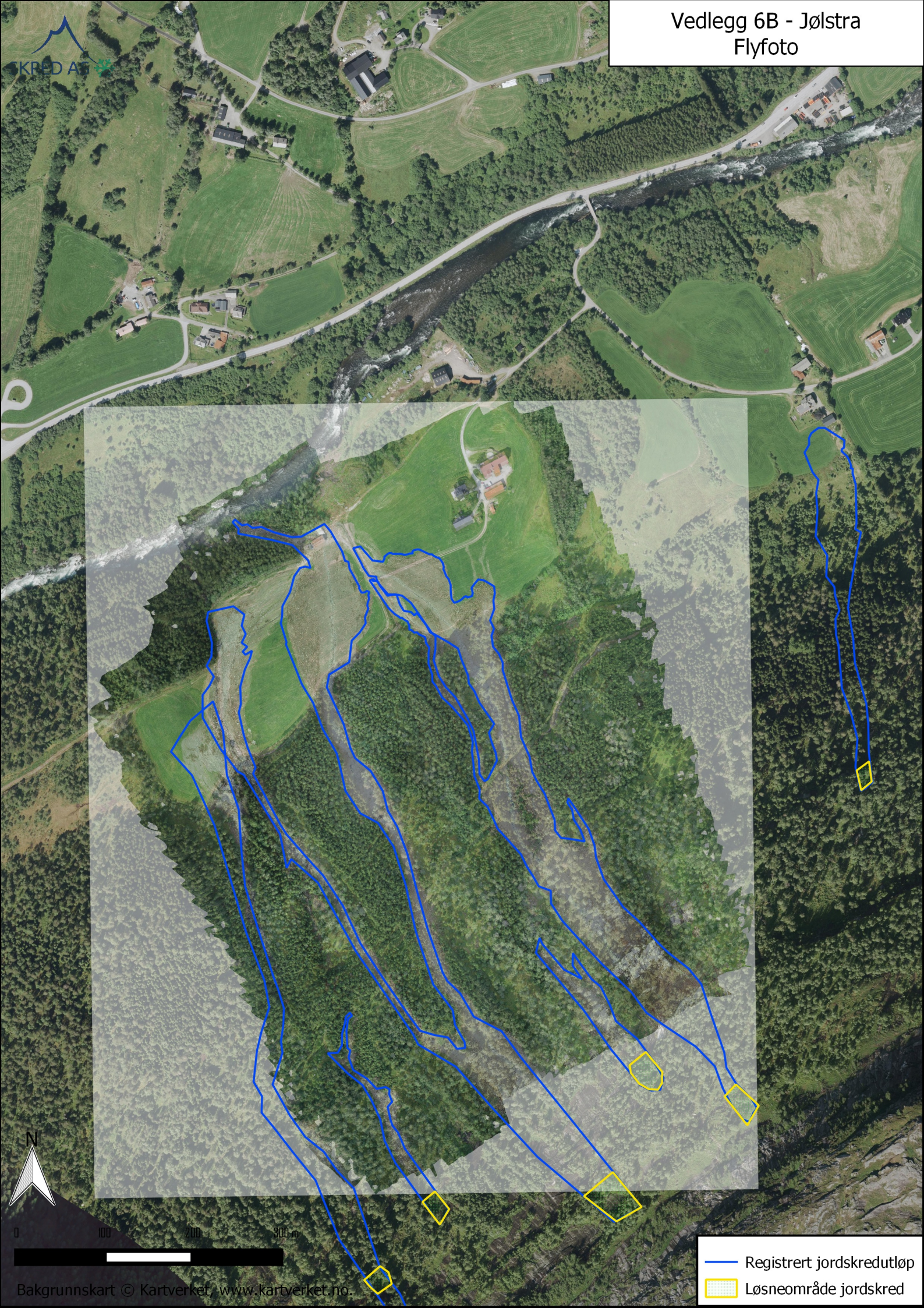
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 6A - Jølstra
Topografisk kart



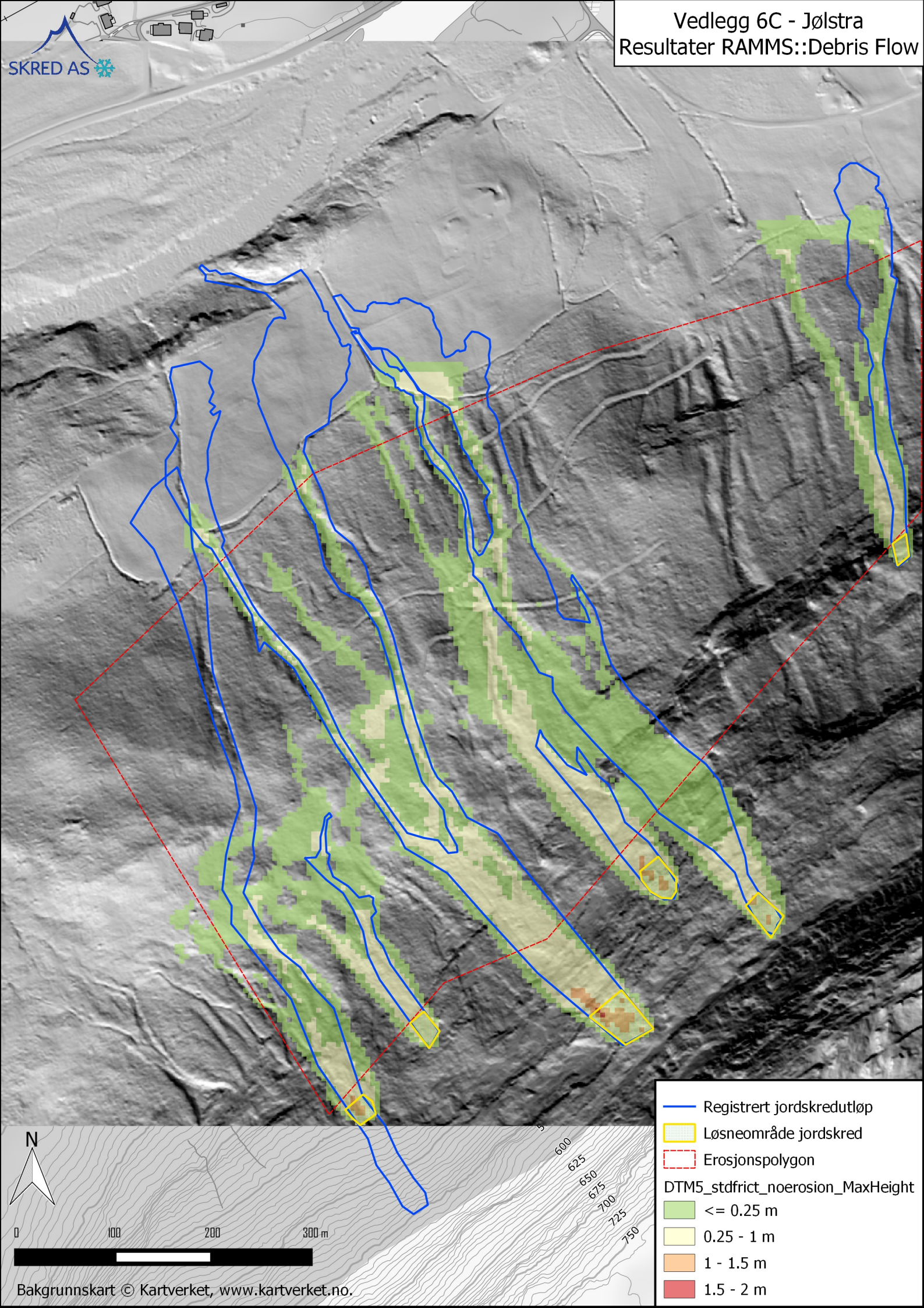
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 6B - Jølstra
Flyfoto

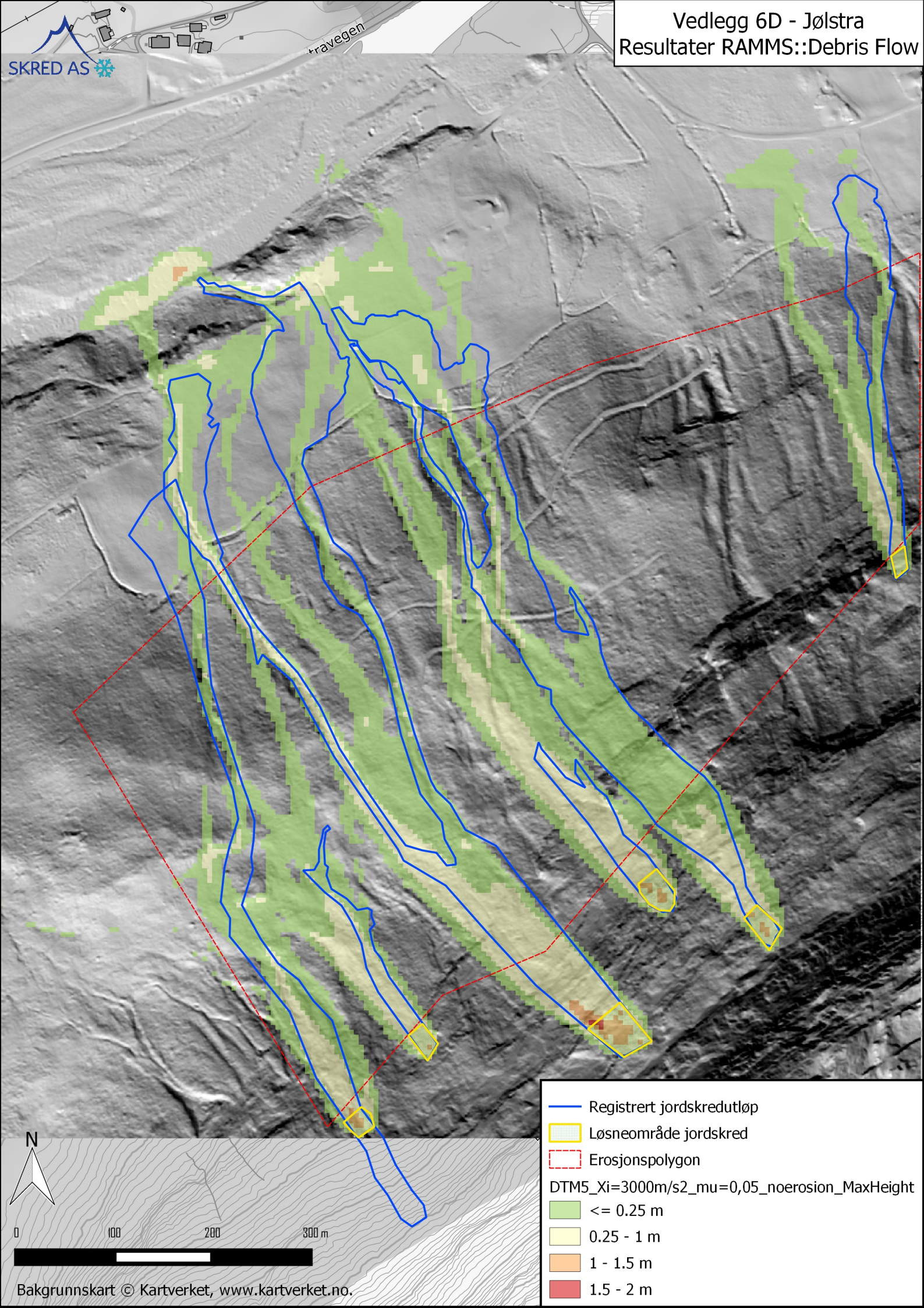


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

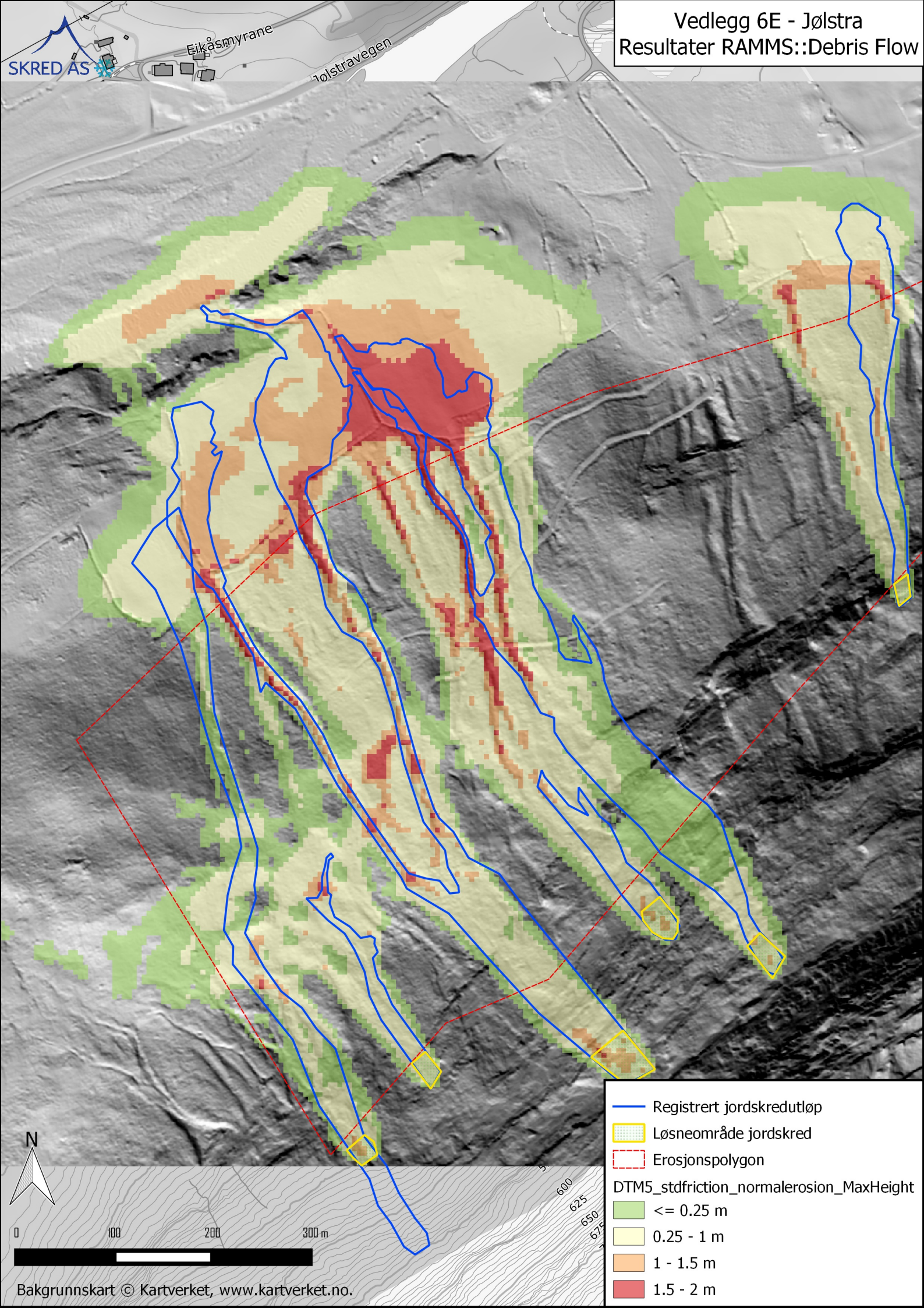
Vedlegg 6C - Jølstra
Resultater RAMMS::Debris Flow



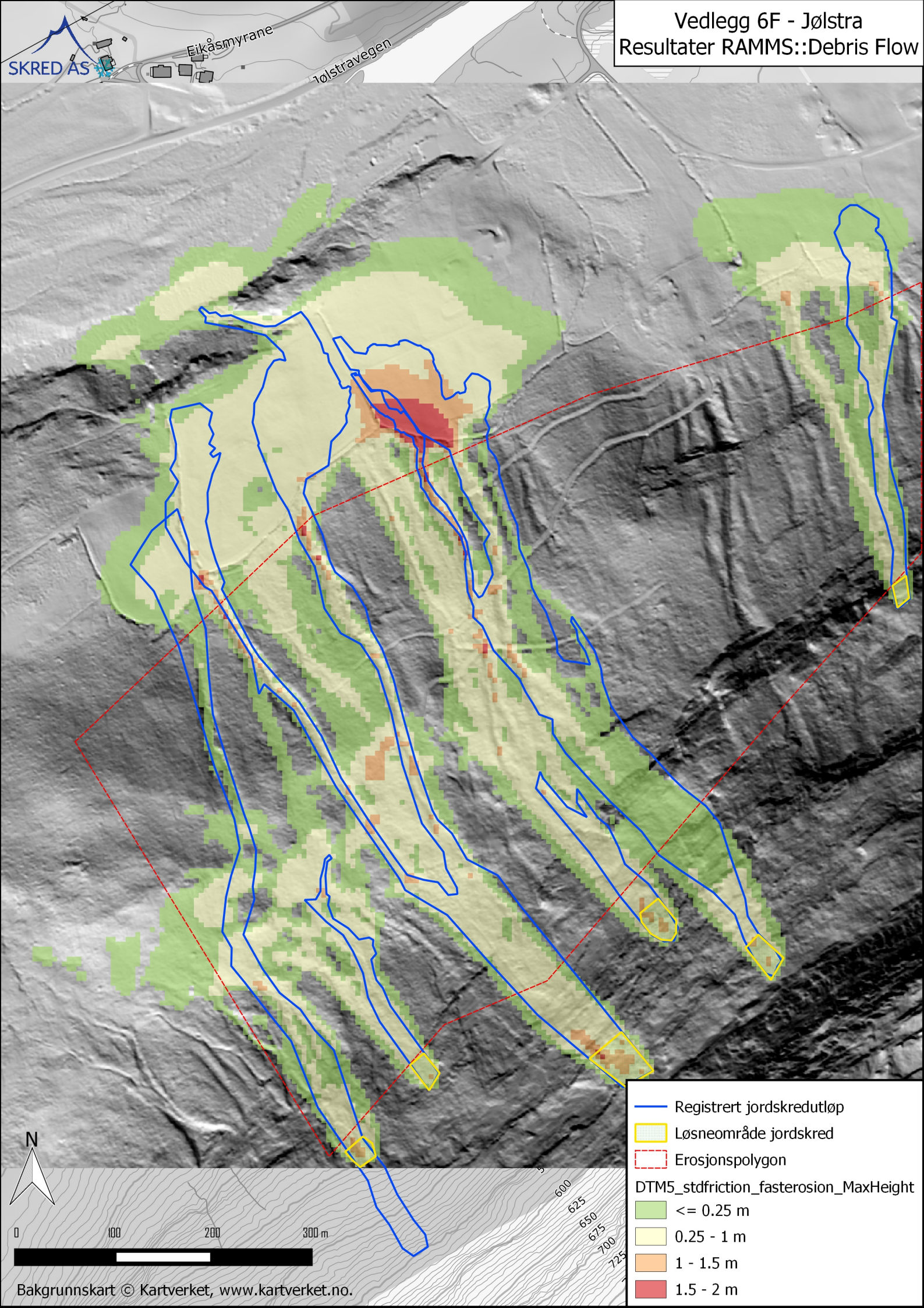
Vedlegg 6D - Jølstra
Resultater RAMMS::Debris Flow



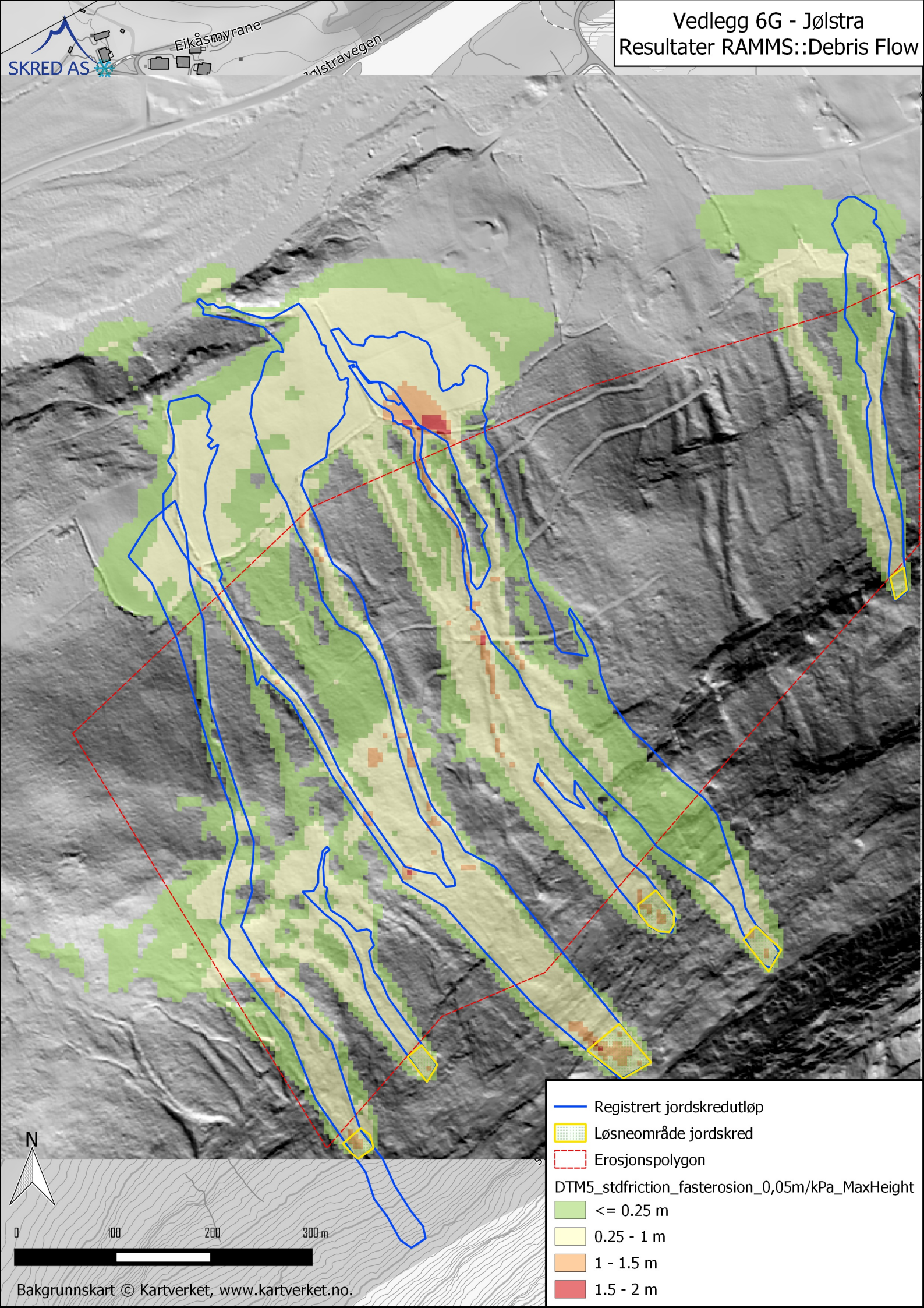
Vedlegg 6E - Jølstra
Resultater RAMMS::Debris Flow



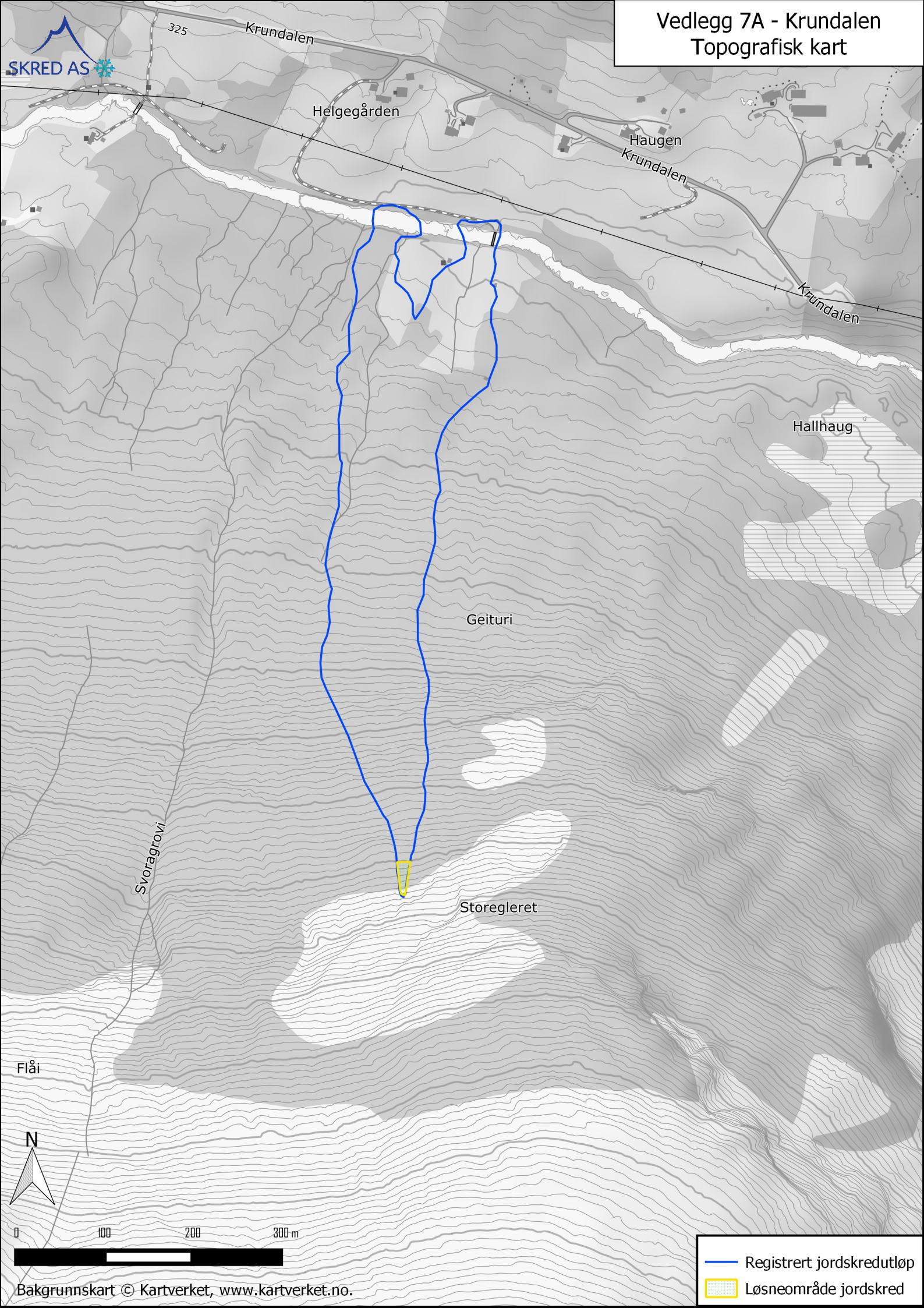
Vedlegg 6F - Jølstra
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 6G - Jølstra
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 7A - Krundalen
Topografisk kart

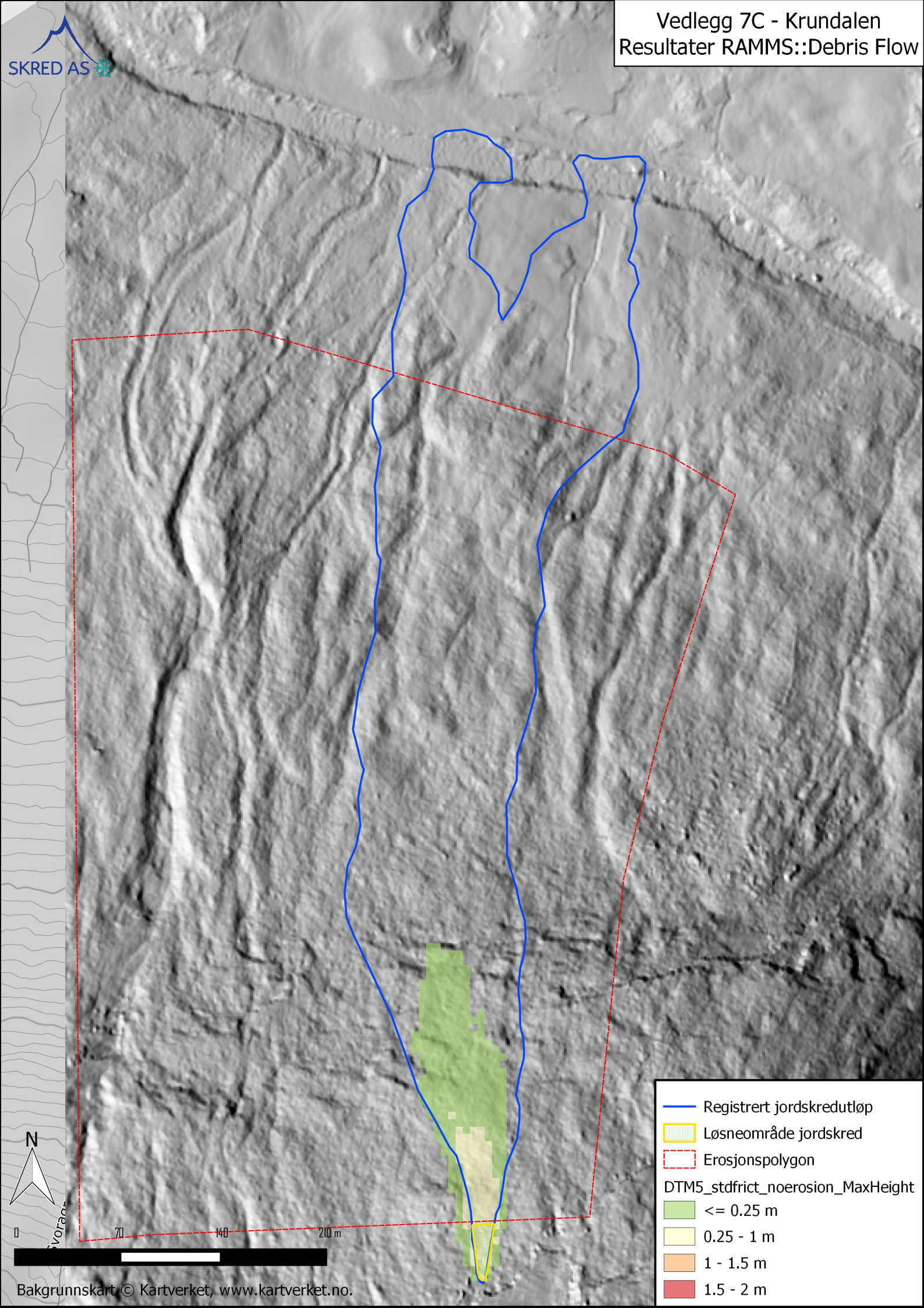


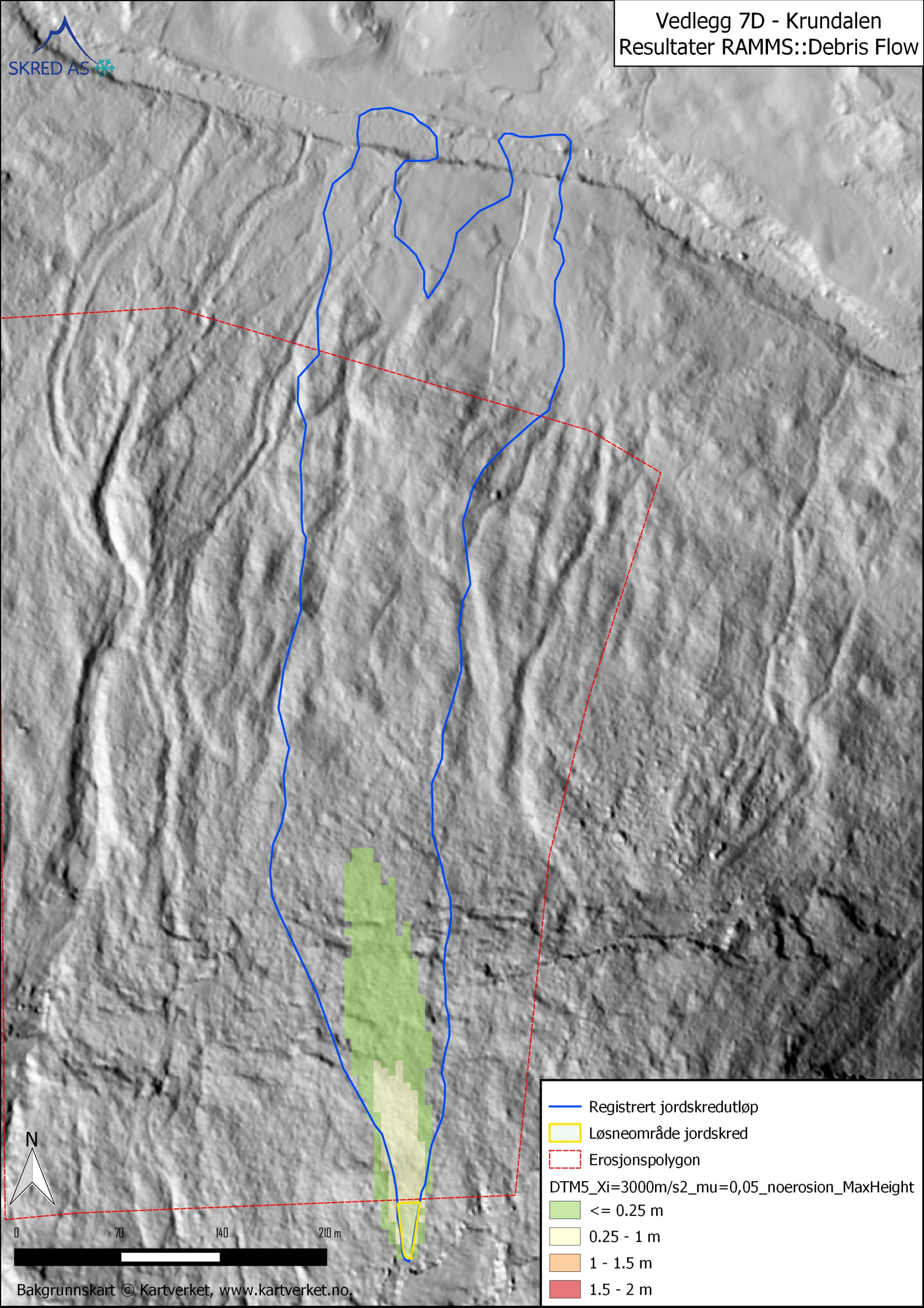
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

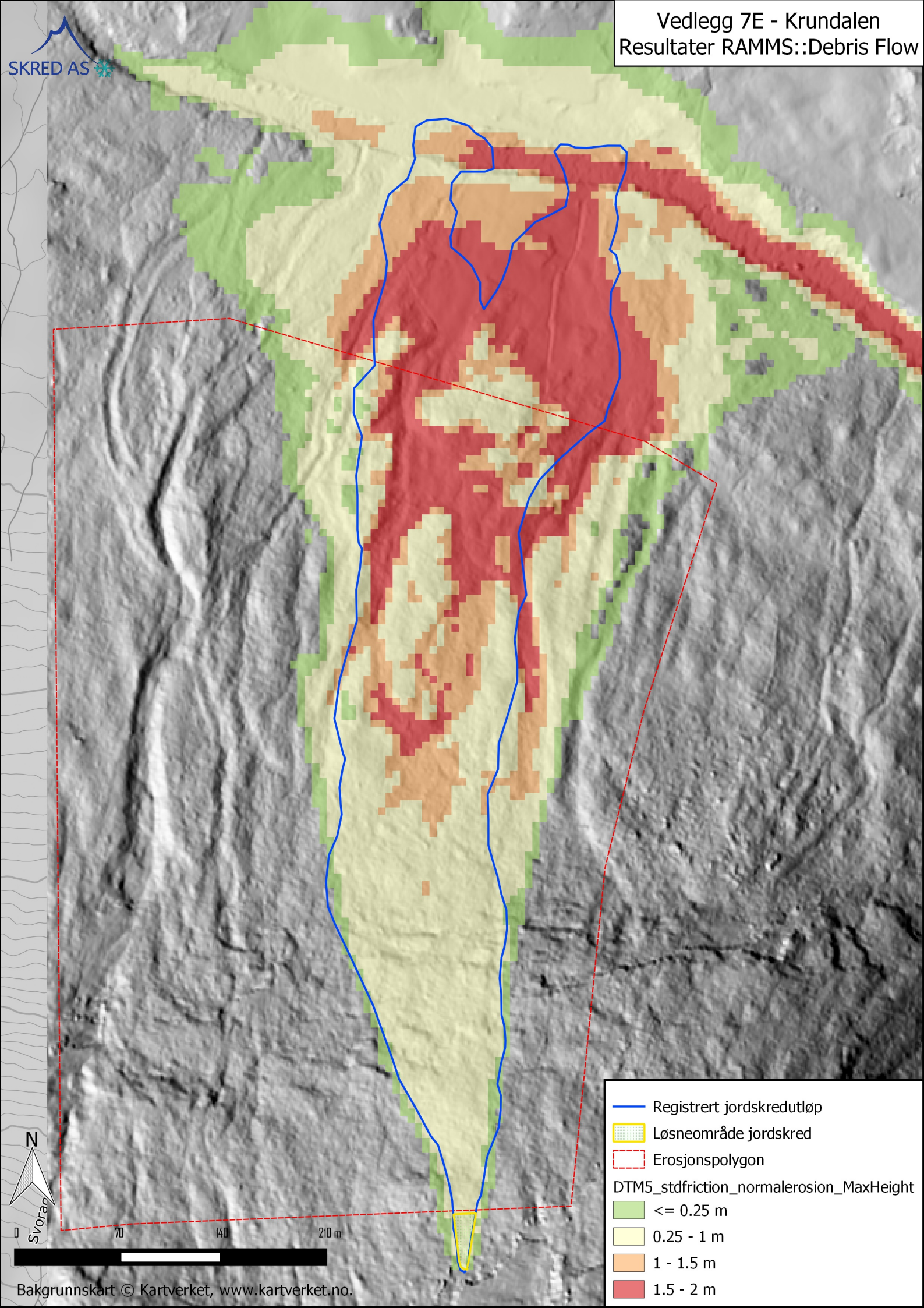
Vedlegg 7B - Krundalen
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

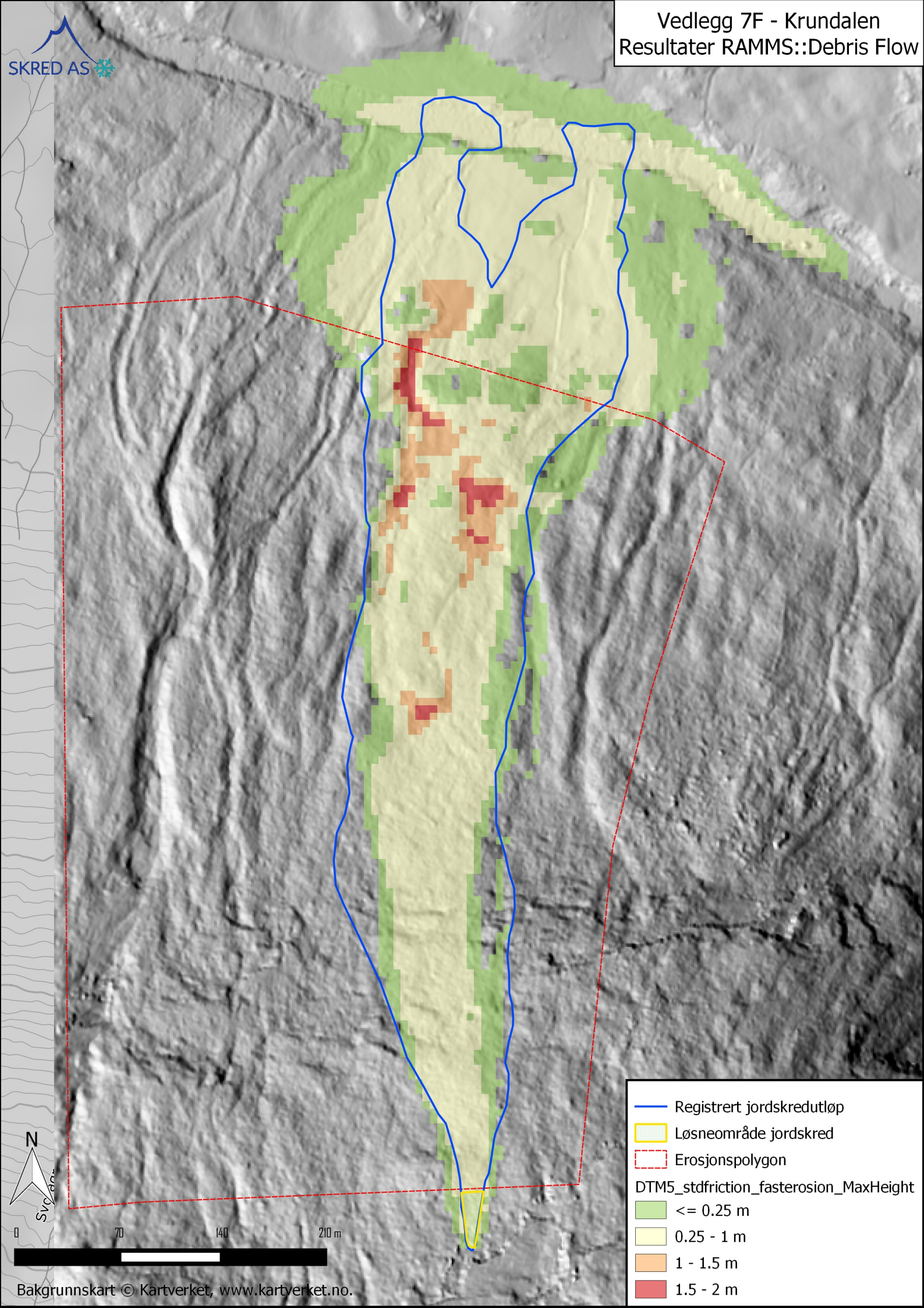
Vedlegg 7C - Krundalen
Resultater RAMMS::Debris Flow

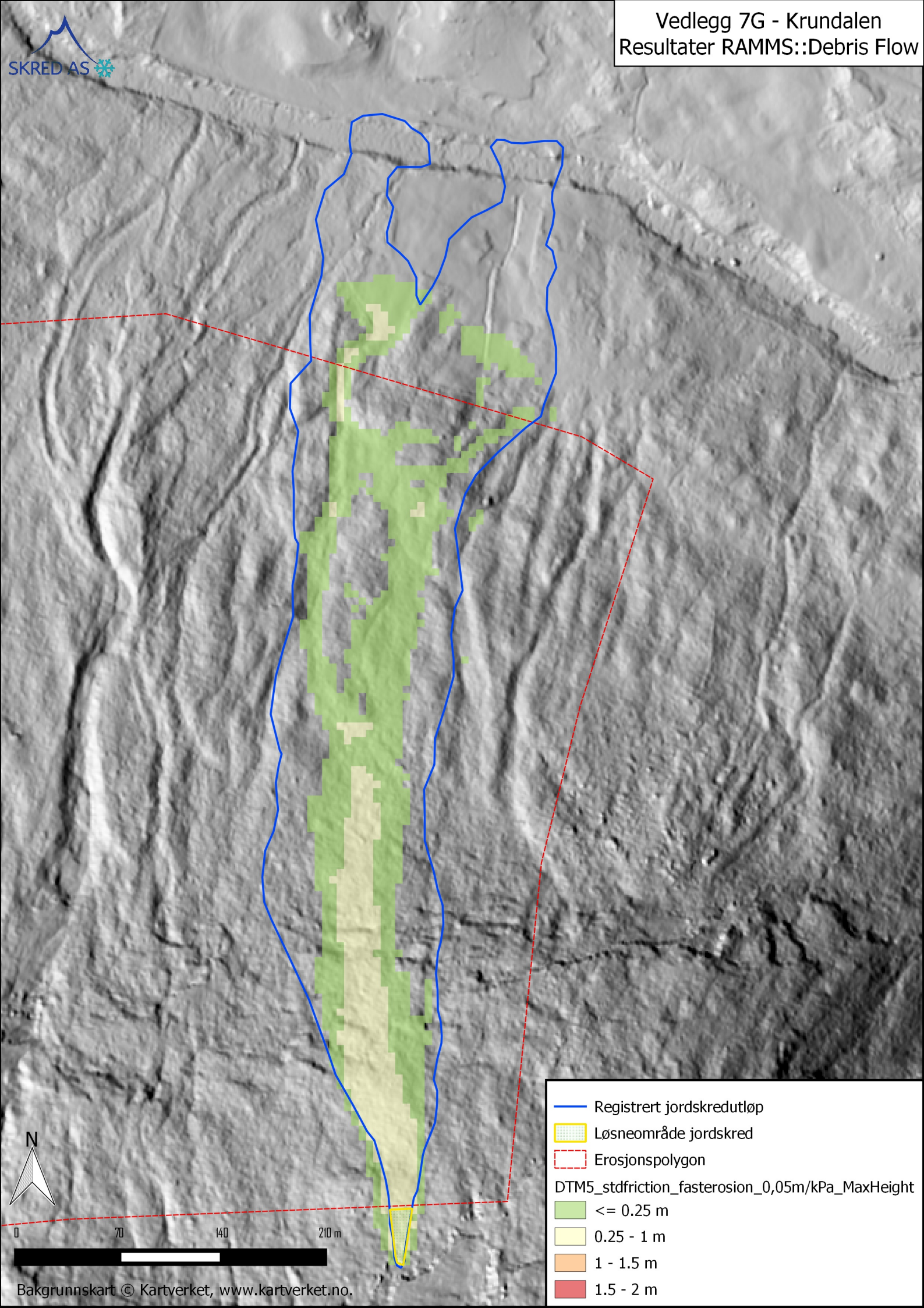



Vedlegg 7D - Krundalen
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_Xi=3000m/s2_mu=0,05_noerosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
70
140
210 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

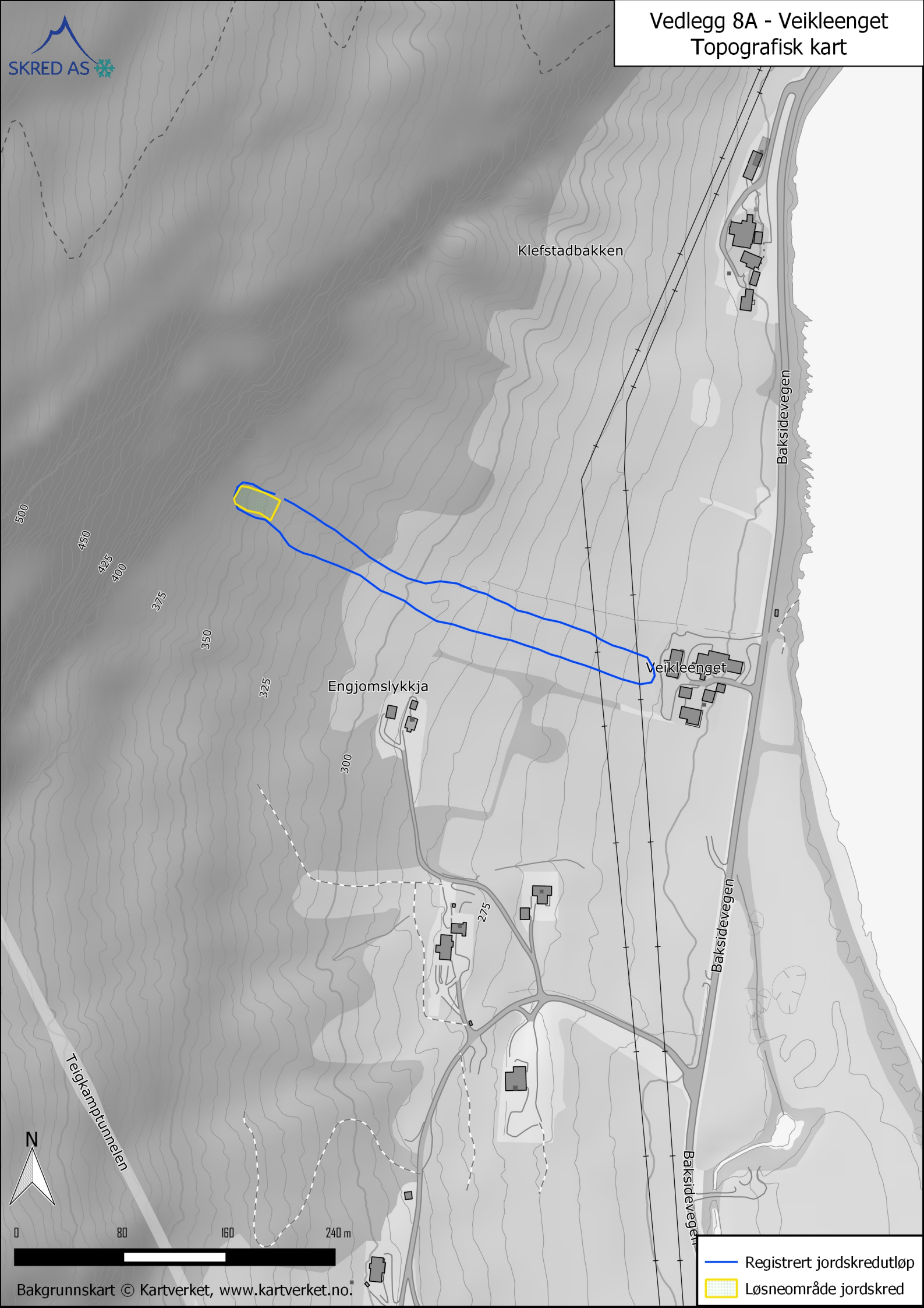

Vedlegg 7E - Krundalen
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_normalerosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
Svorag
0
70
140
210 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 7F - Krundalen
Resultater RAMMS::Debris Flow




Vedlegg 7G - Krundalen
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_fasterosion_0,05m/kPa_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
70
140
210 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 8A - Veikleenget
Topografisk kart

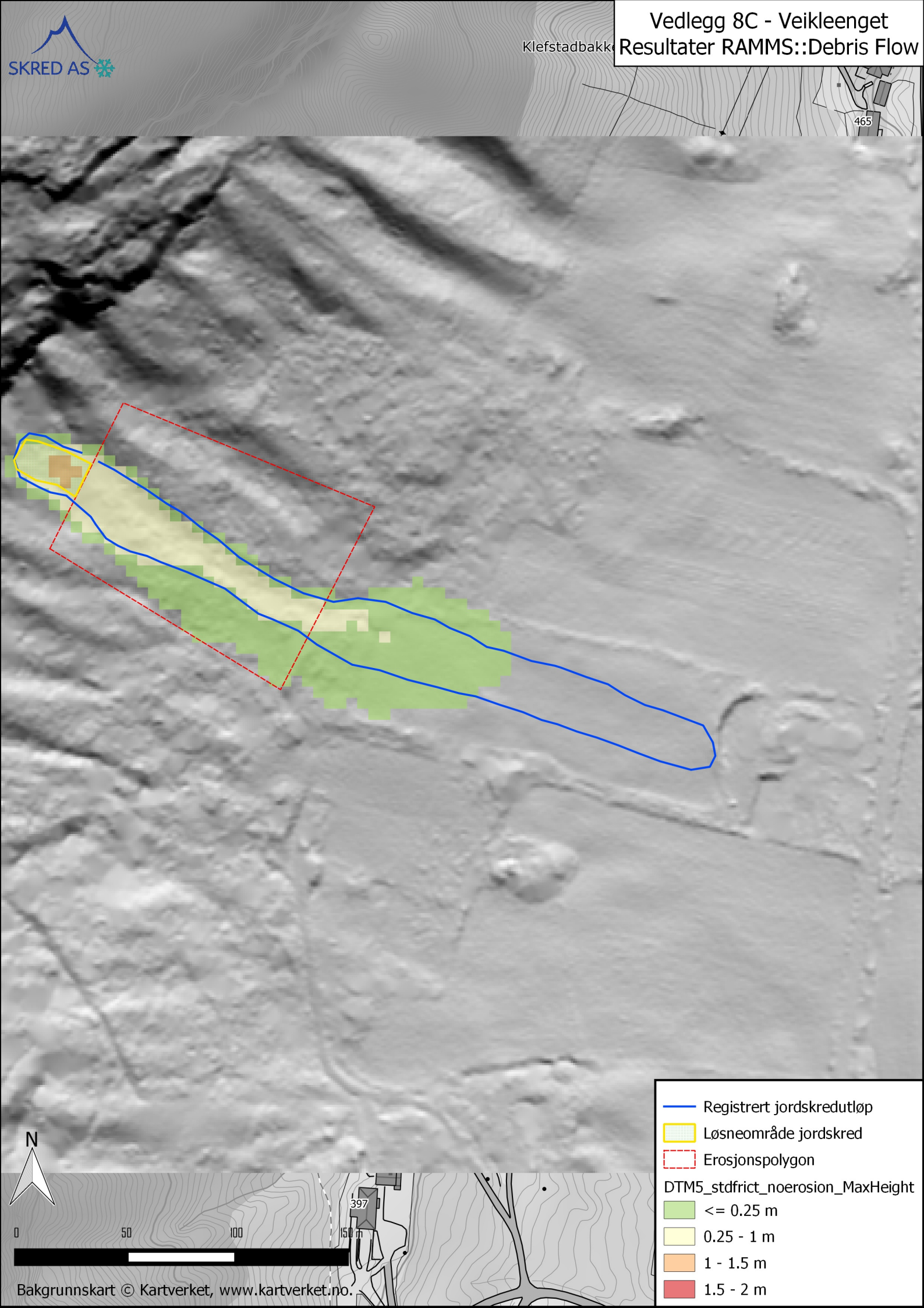


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

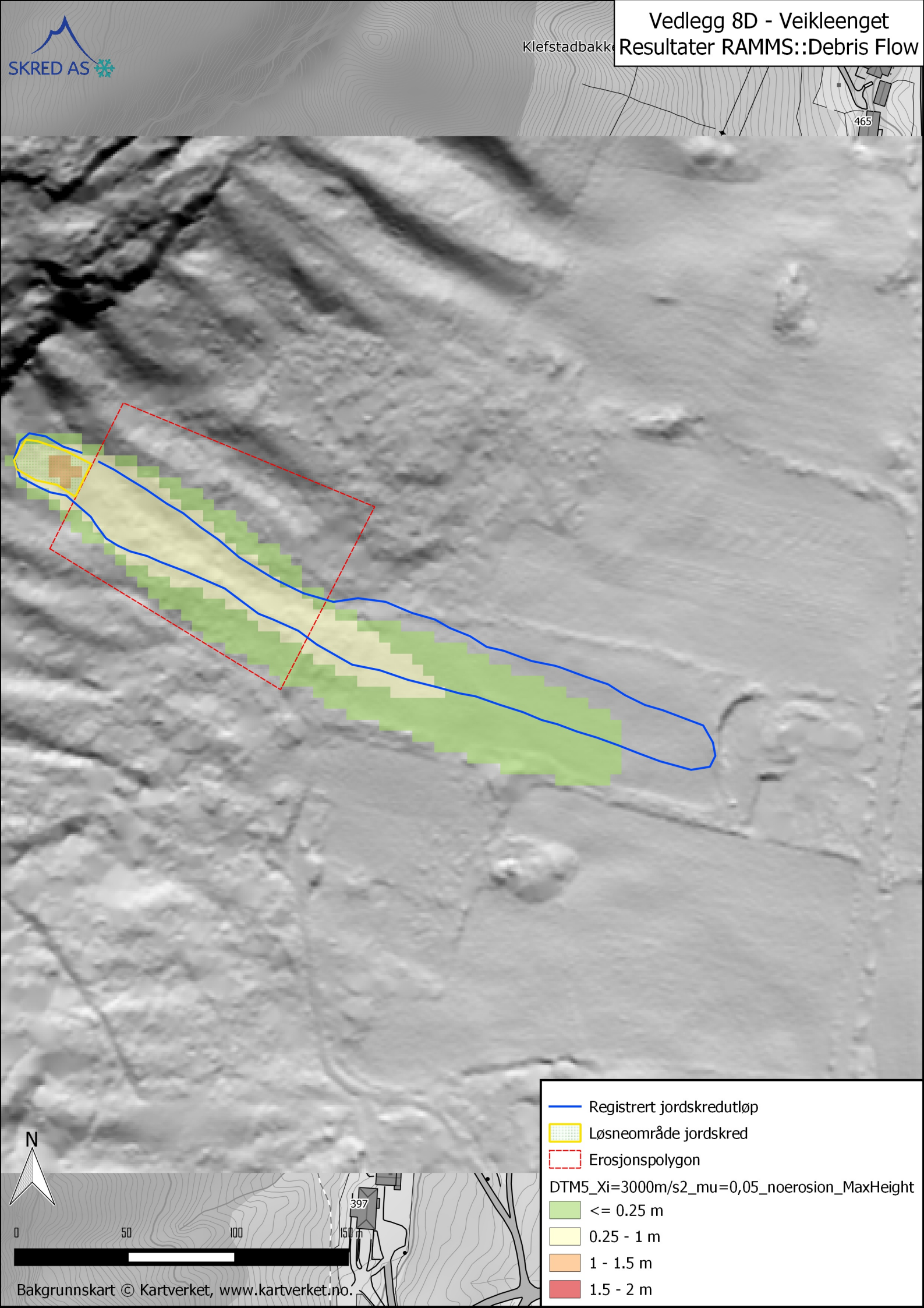
Vedlegg 8B - Veikleenget
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

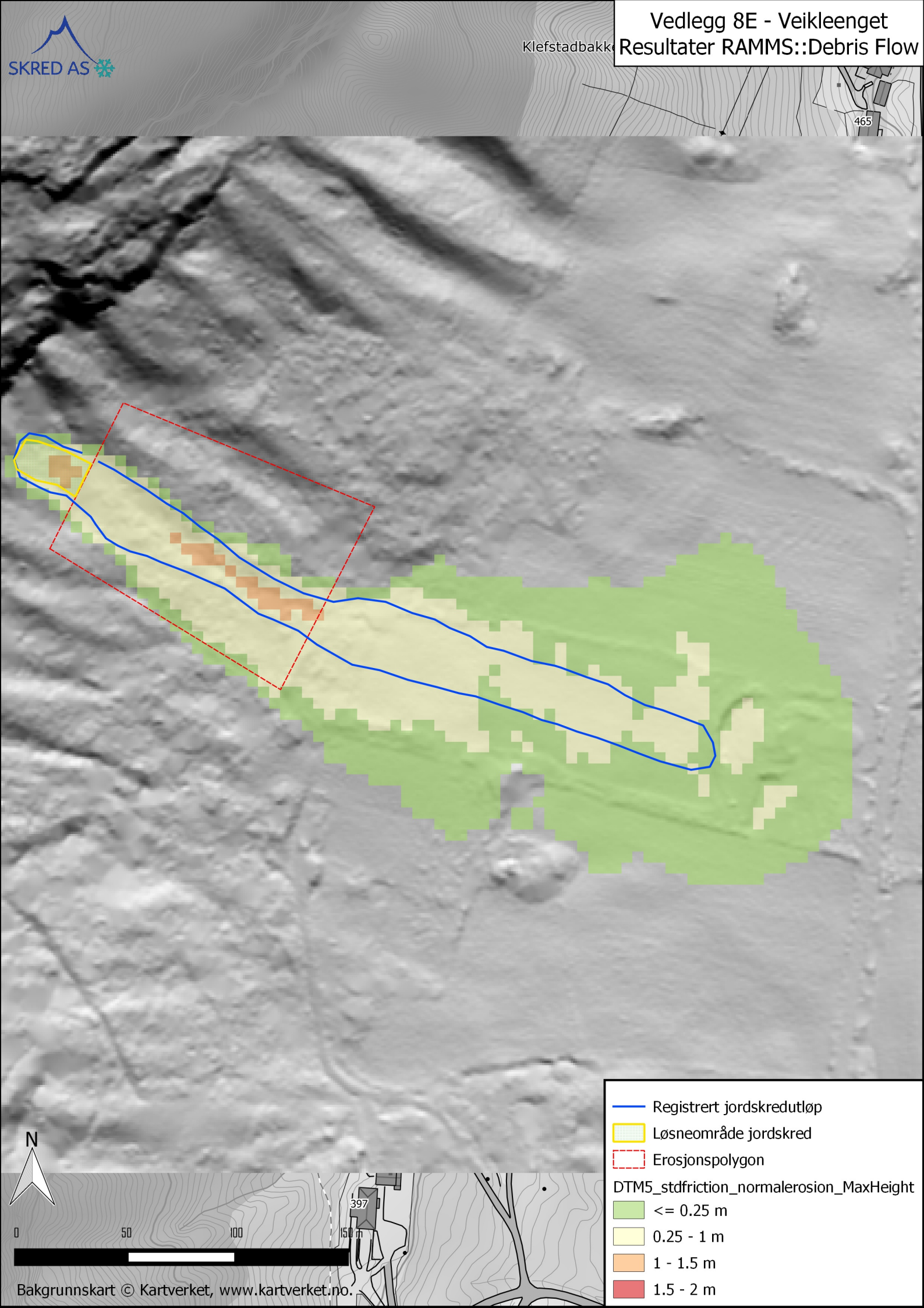
Vedlegg 8C - Veikleenget
Resultater RAMMS::Debris Flow



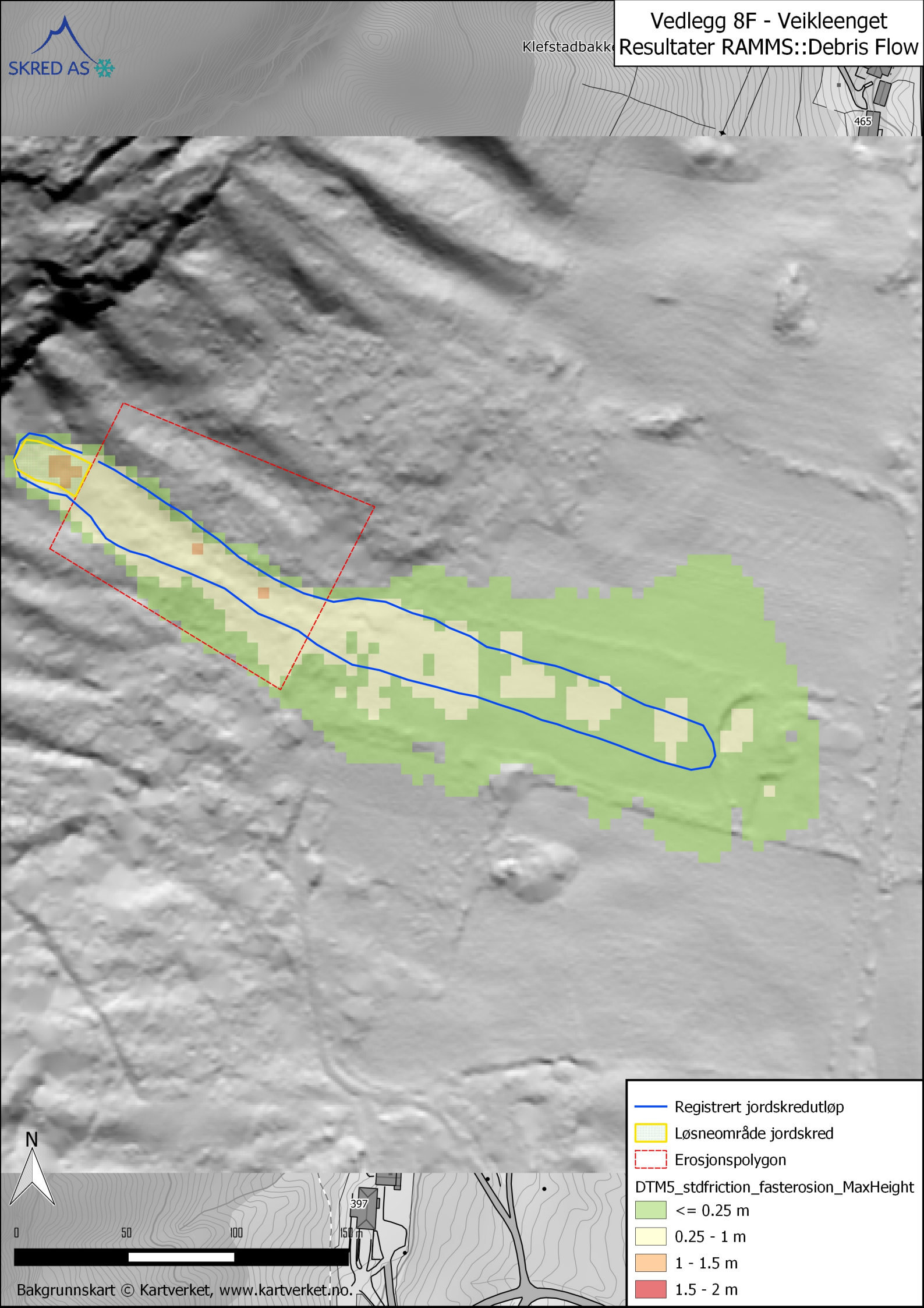
Vedlegg 8D - Veikleenget
Resultater RAMMS::Debris Flow



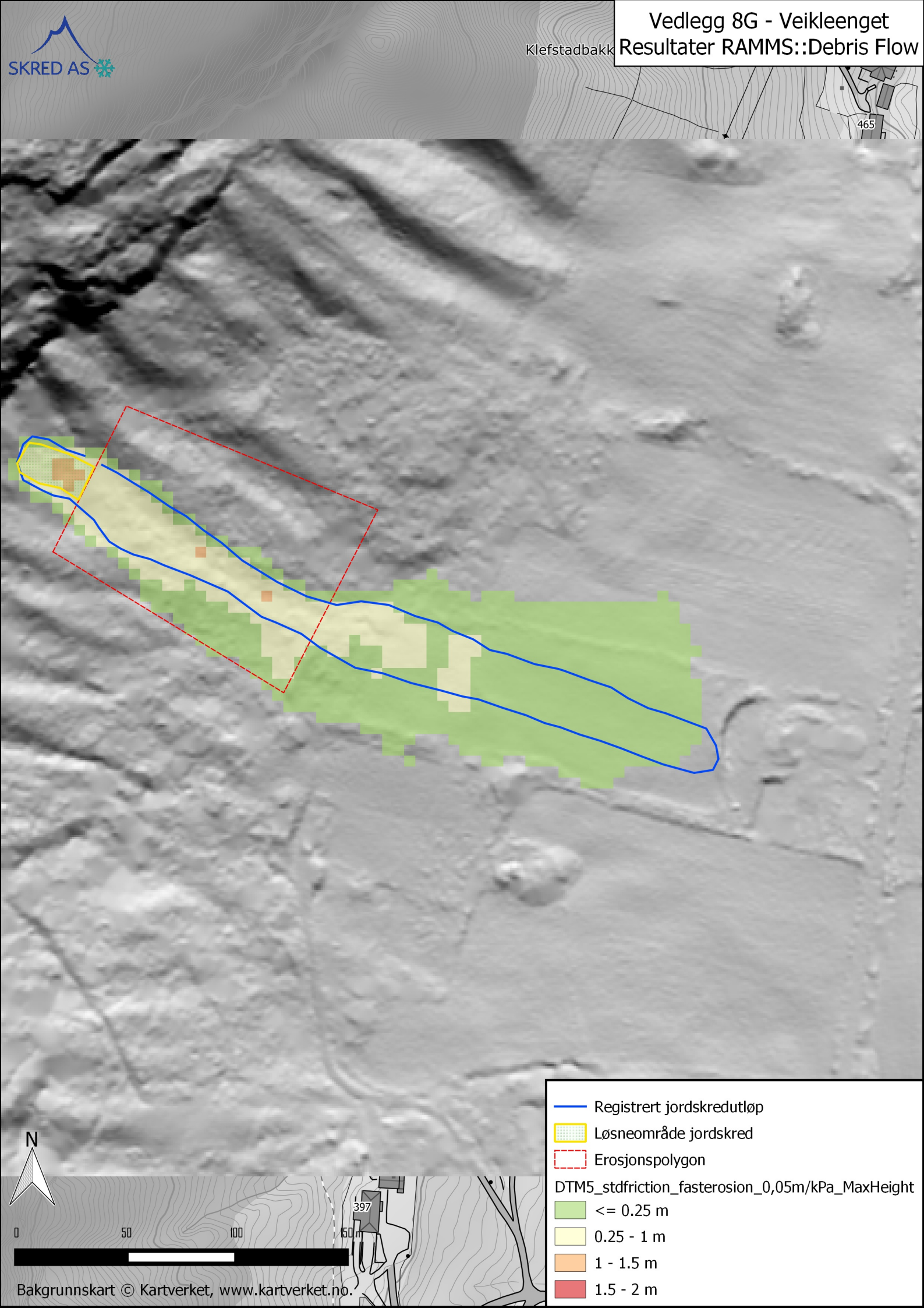
Vedlegg 8E - Veikleenget
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 8F - Veikleenget
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 8G - Veikleenget
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 9A - Skjeggestad
Topografisk kart

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

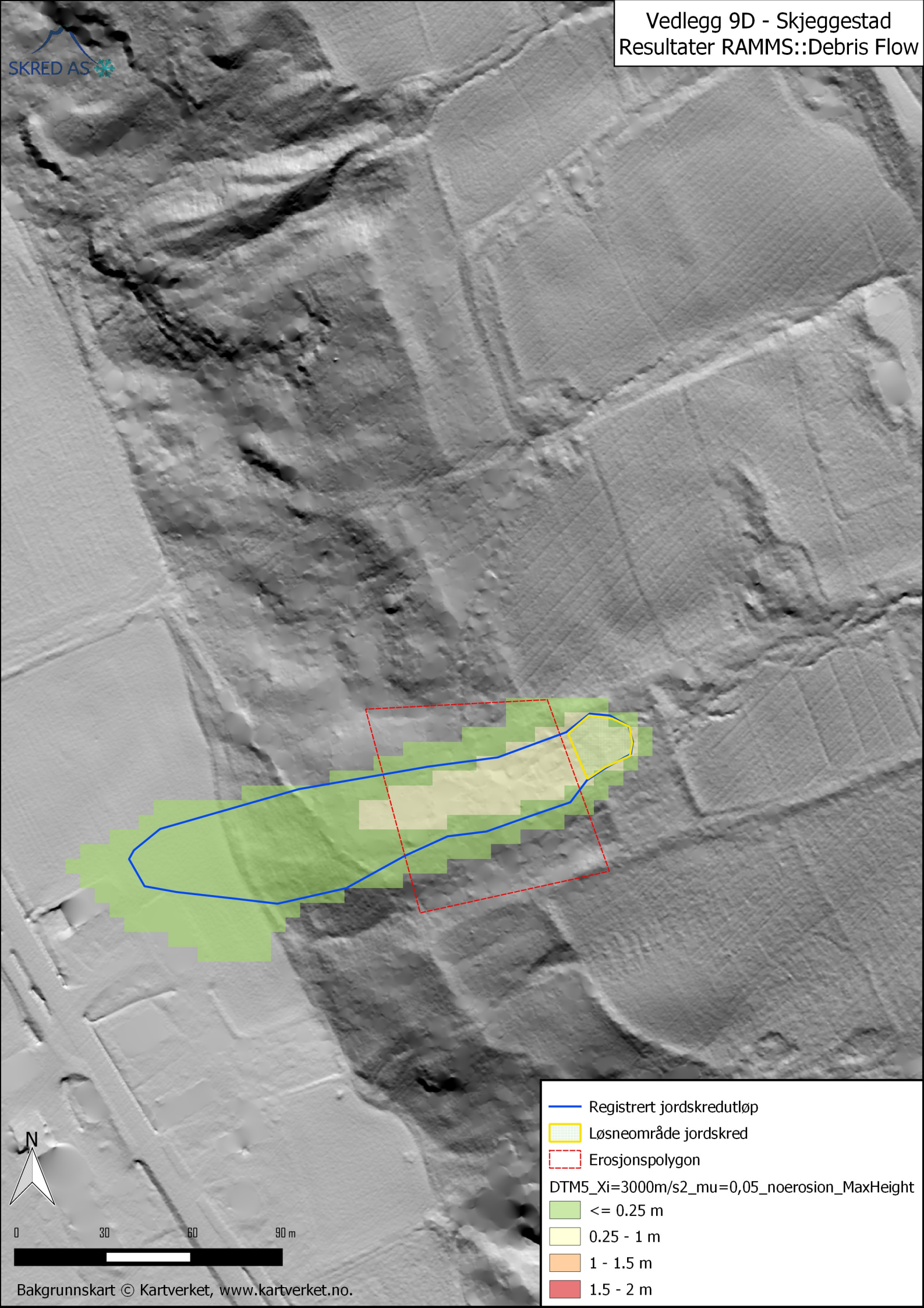
Vedlegg 9B - Skjeggestad
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

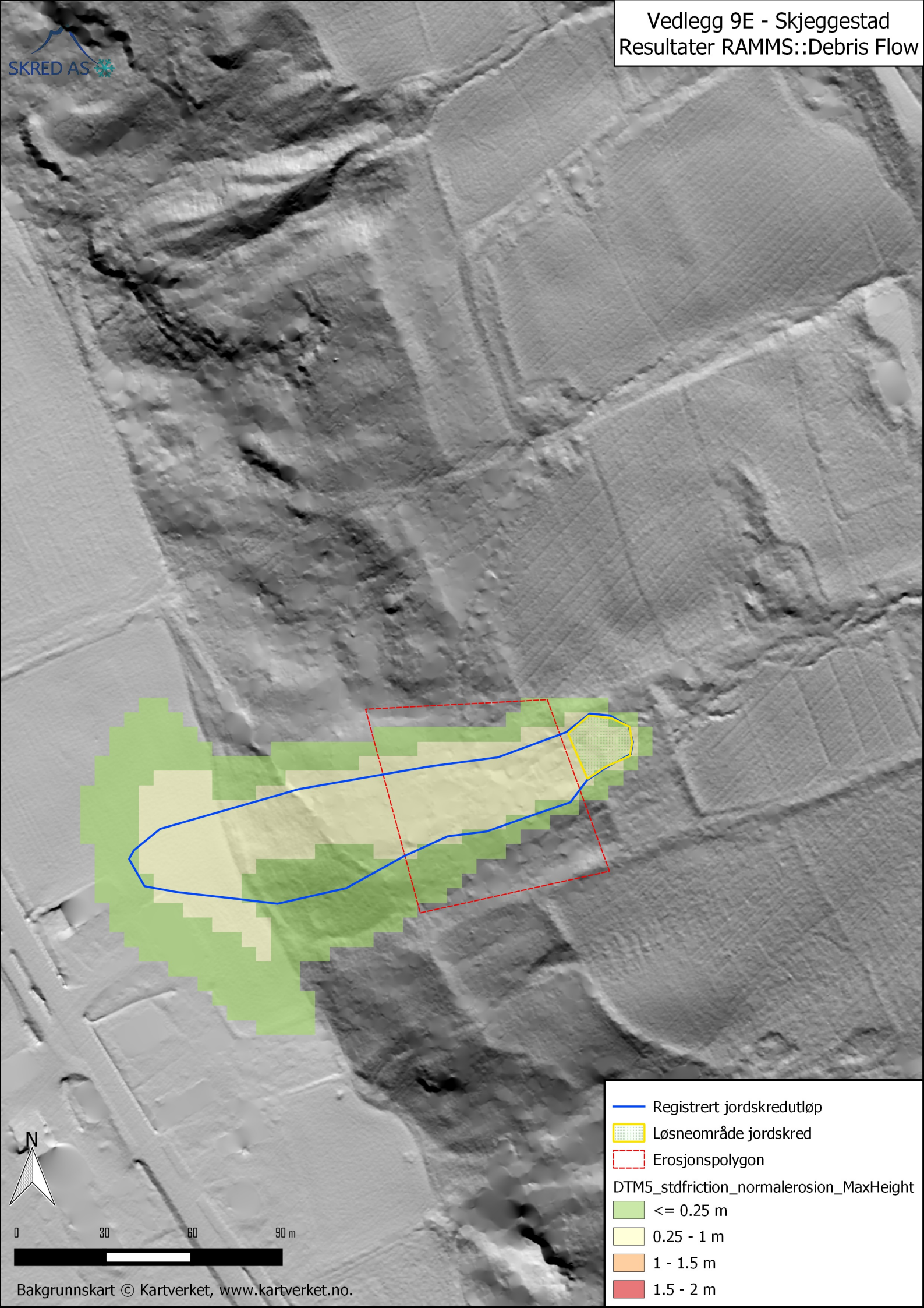
Vedlegg 9C - Skjeggestad
Resultater RAMMS::Debris Flow

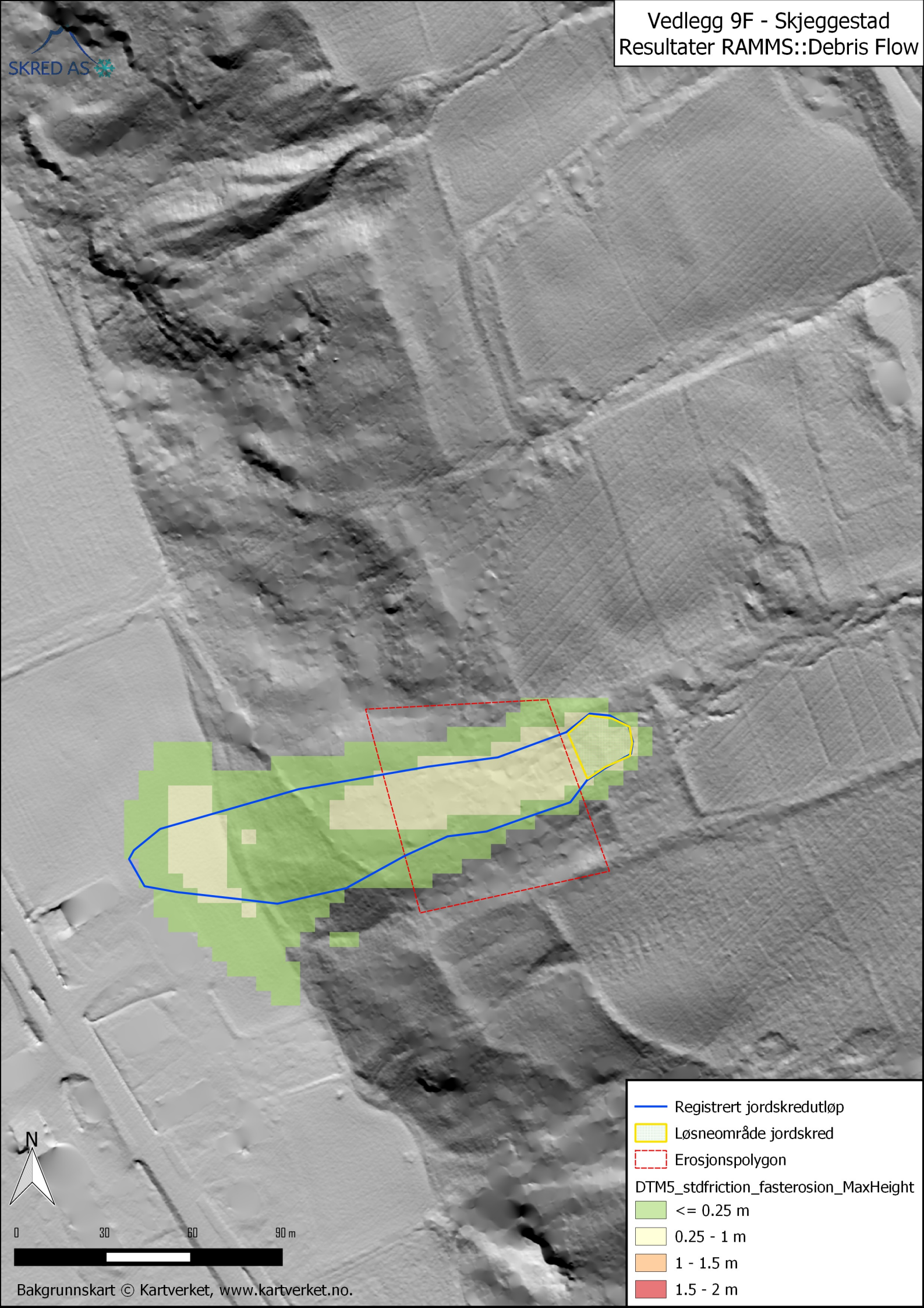
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 9D - Skjeggestad
Resultater RAMMS::Debris Flow

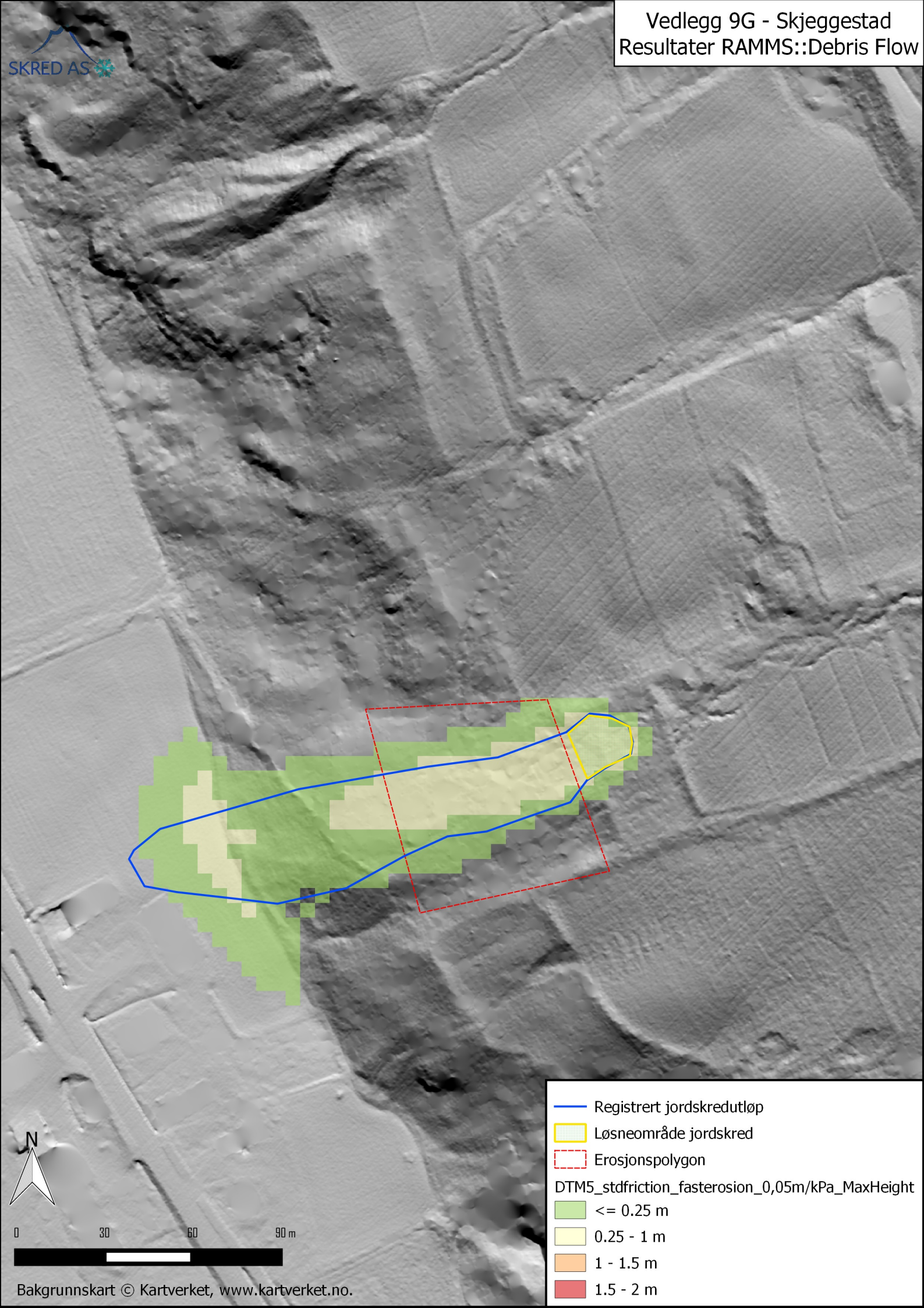


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.


Vedlegg 9E - Skjeggestad
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_normalerosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
30
60
90 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

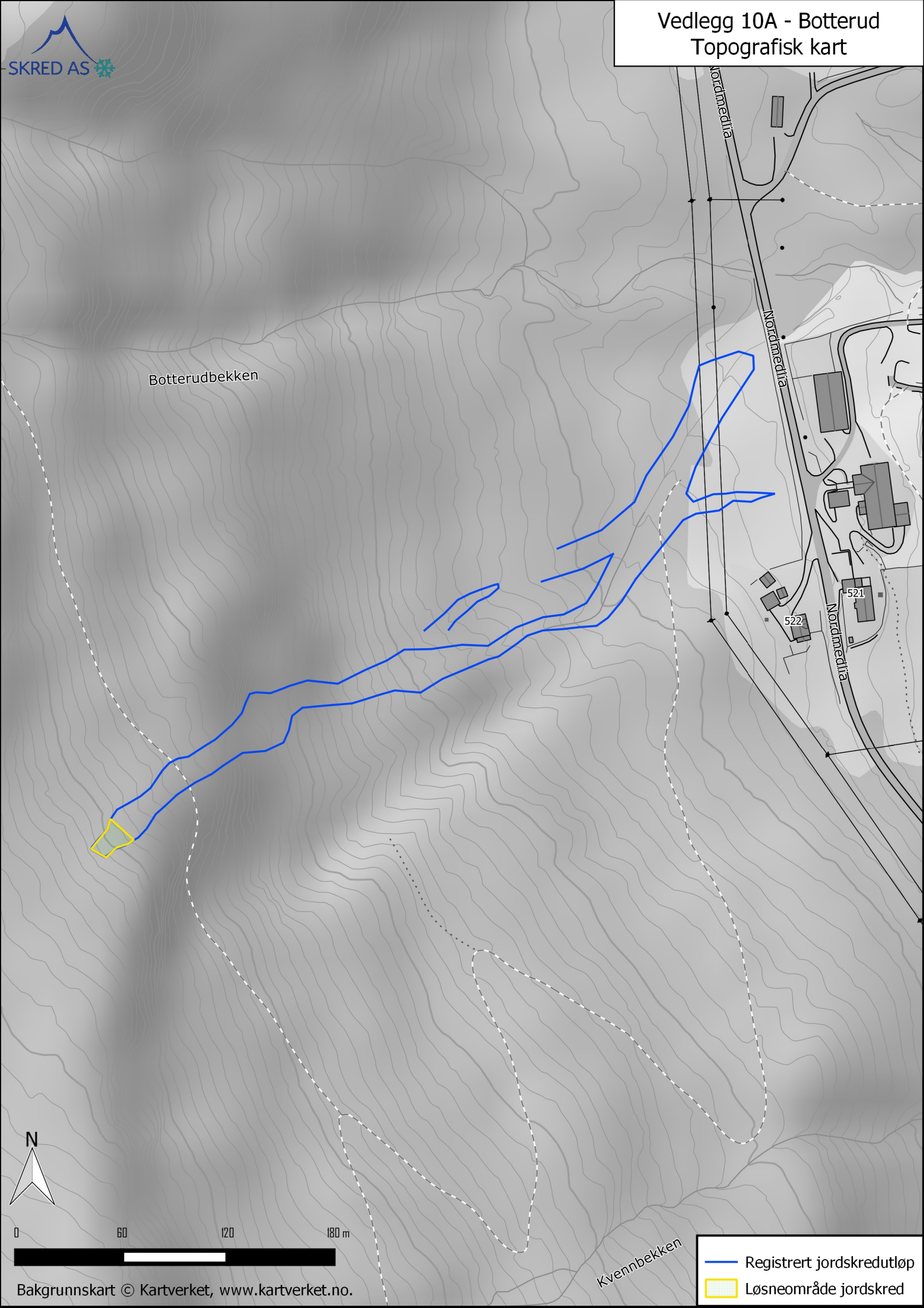

Vedlegg 9F - Skjeggestad
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_fasterosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
30
60
90 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 9G - Skjeggestad
Resultater RAMMS::Debris Flow



Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 10A - Botterud
Topografisk kart

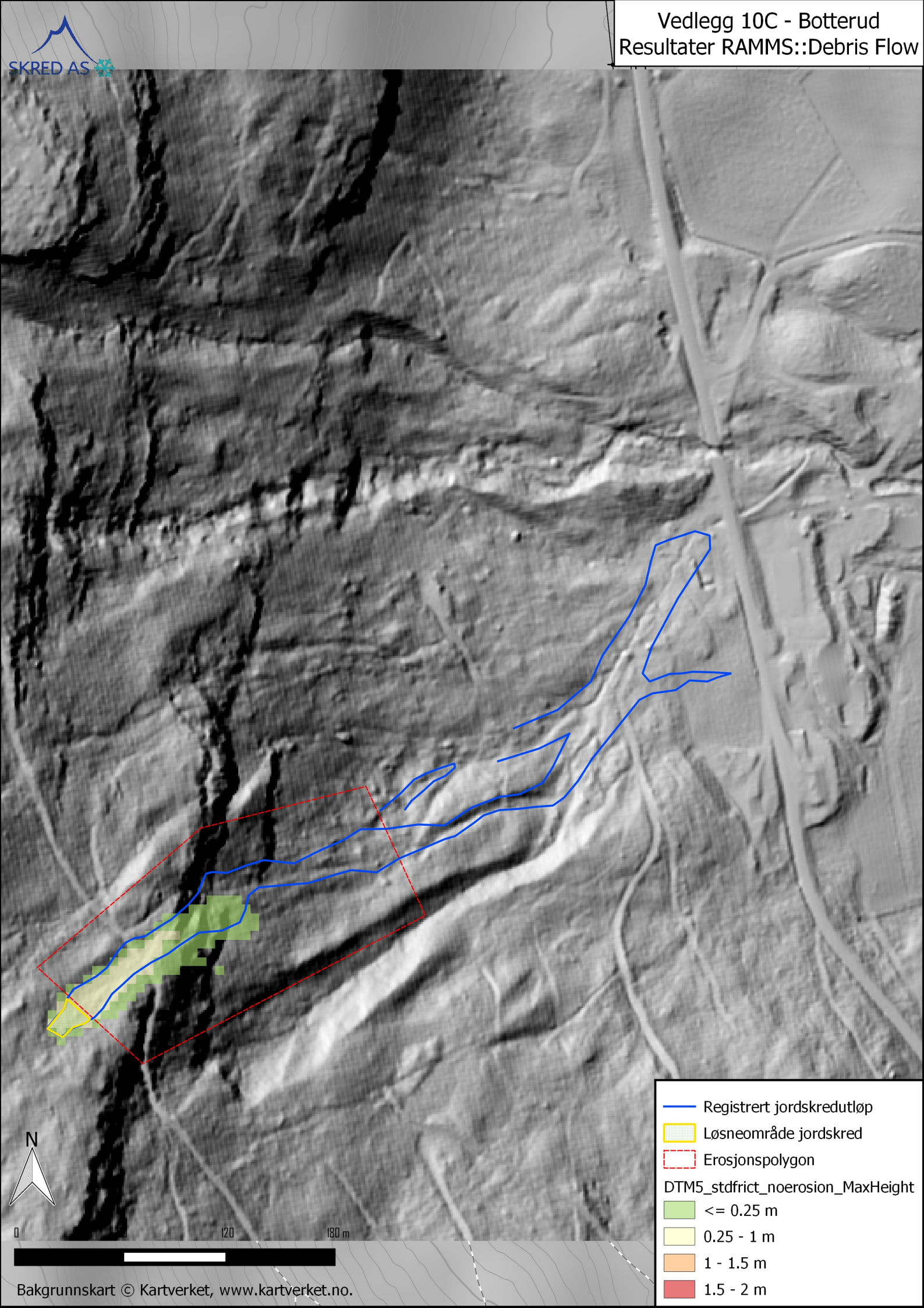


Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

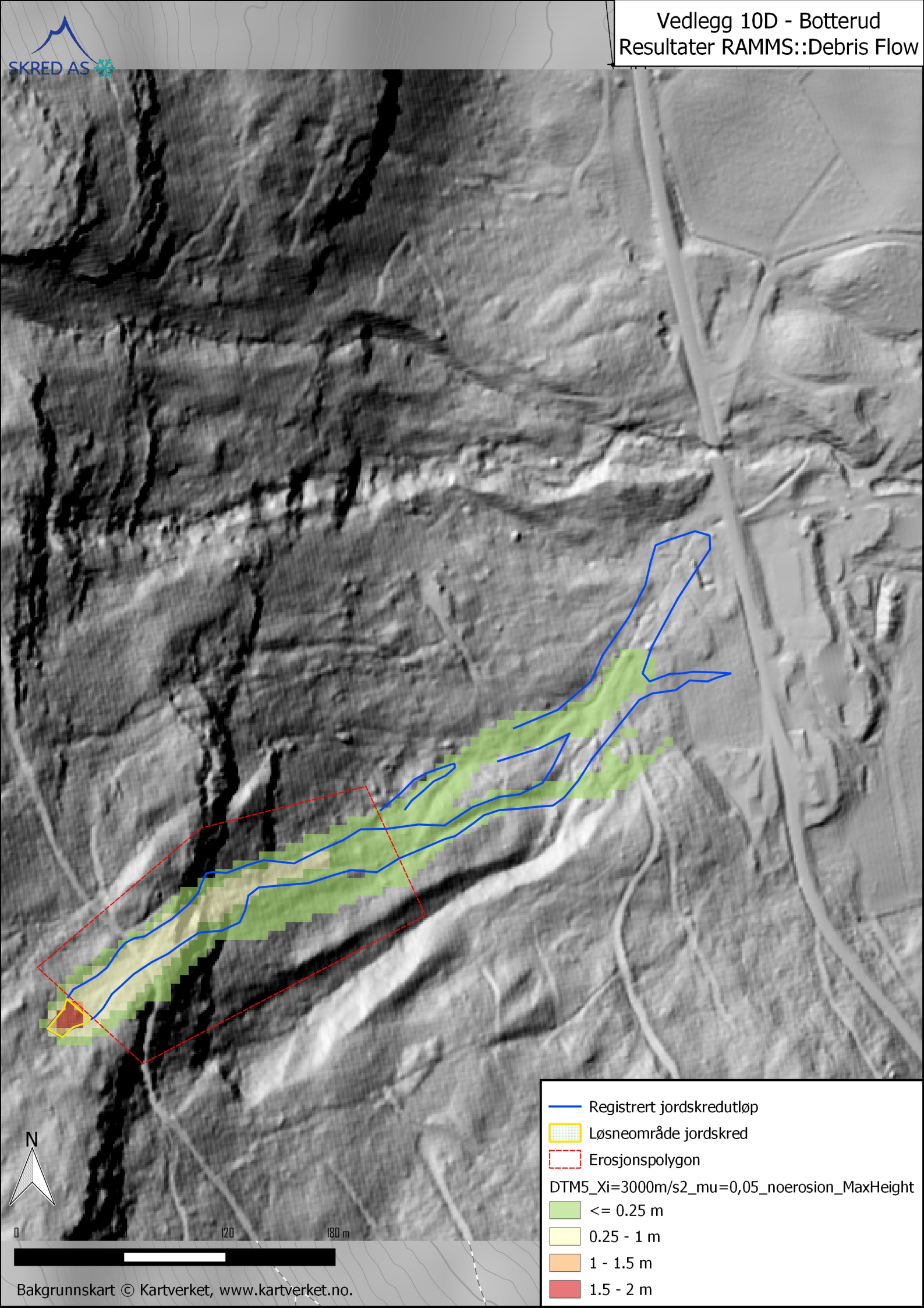
Vedlegg 10B - Botterud
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no

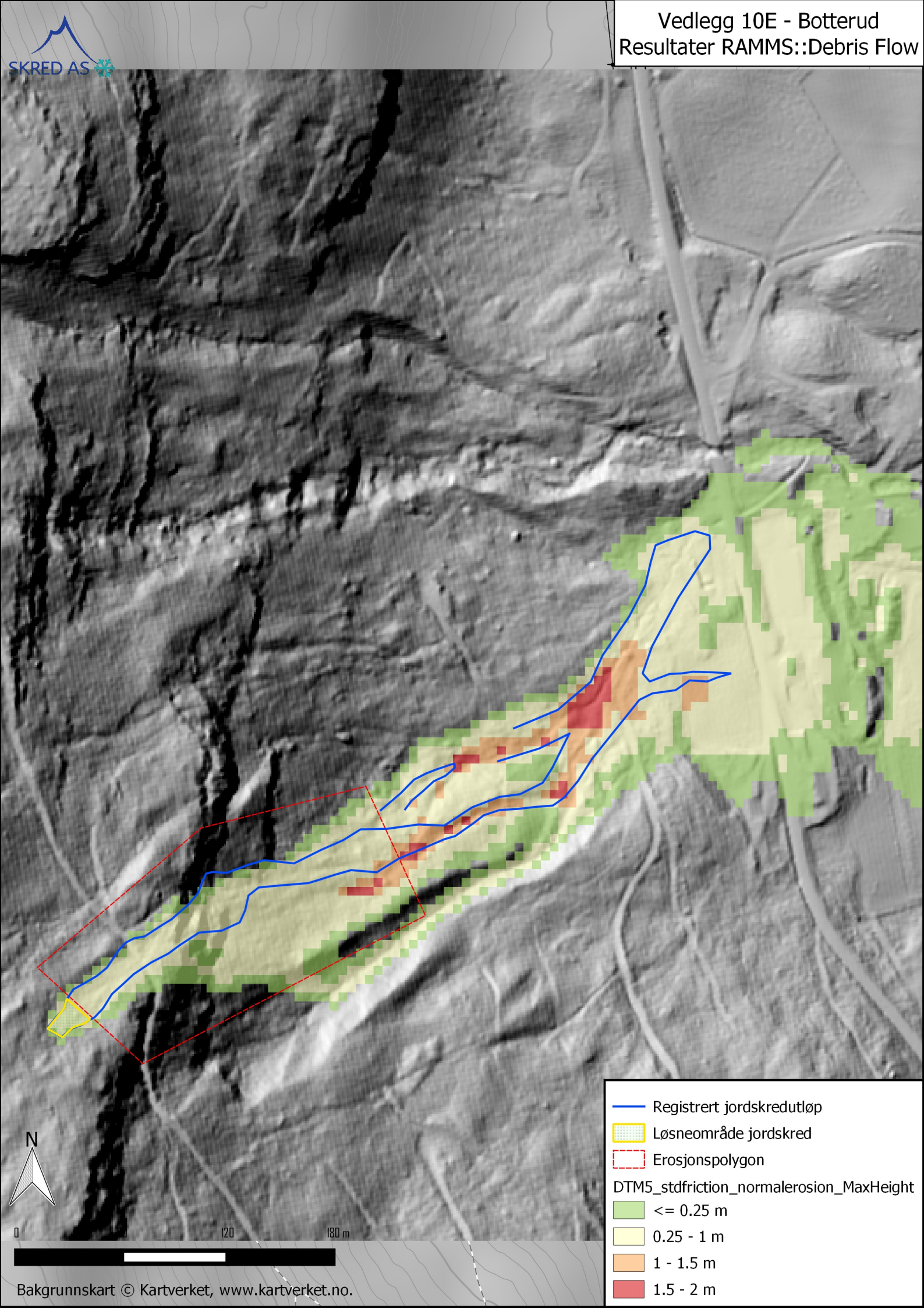
Vedlegg 10C - Botterud
Resultater RAMMS::Debris Flow



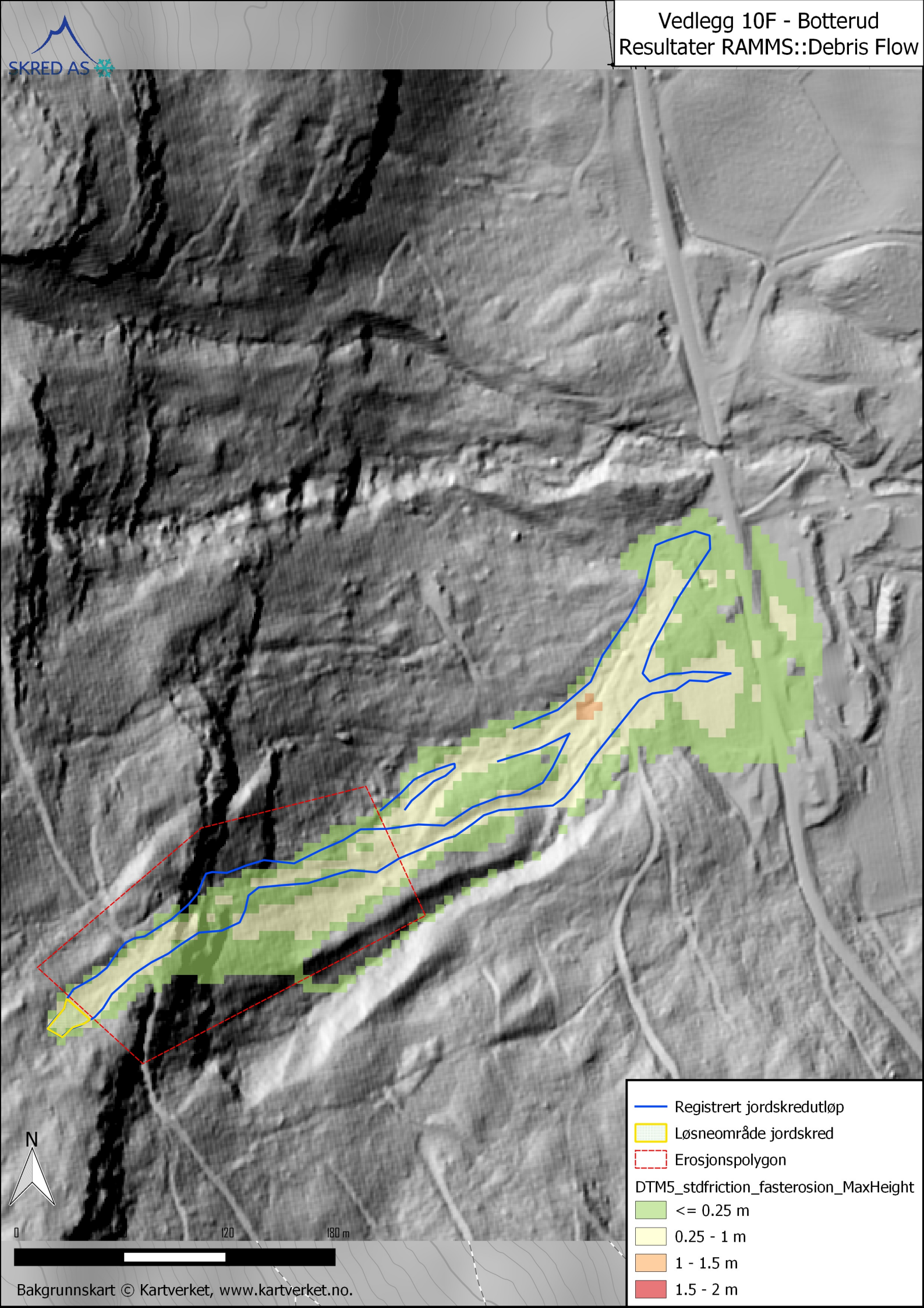
Vedlegg 10D - Botterud
Resultater RAMMS::Debris Flow



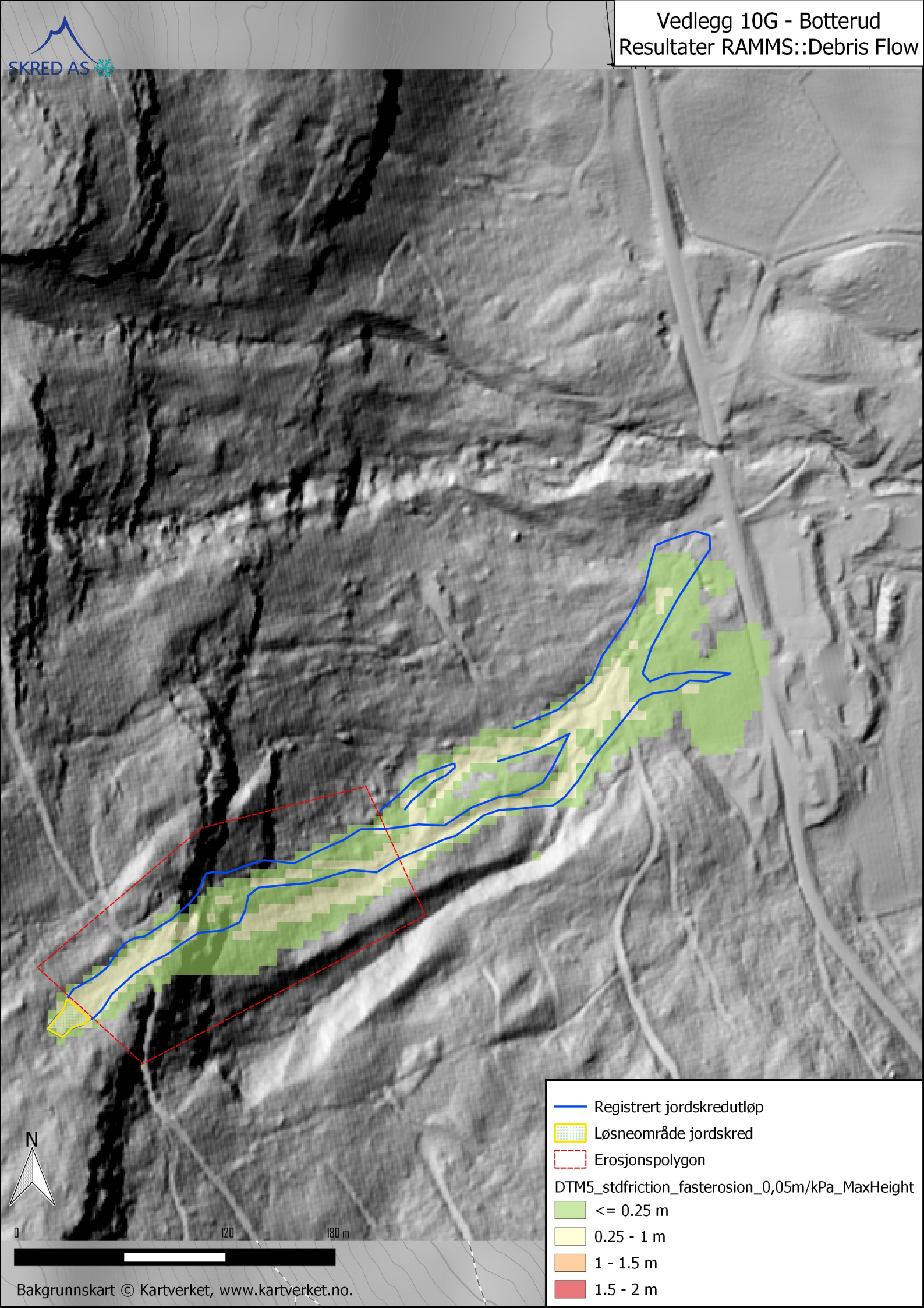
Vedlegg 10E - Botterud
Resultater RAMMS::Debris Flow



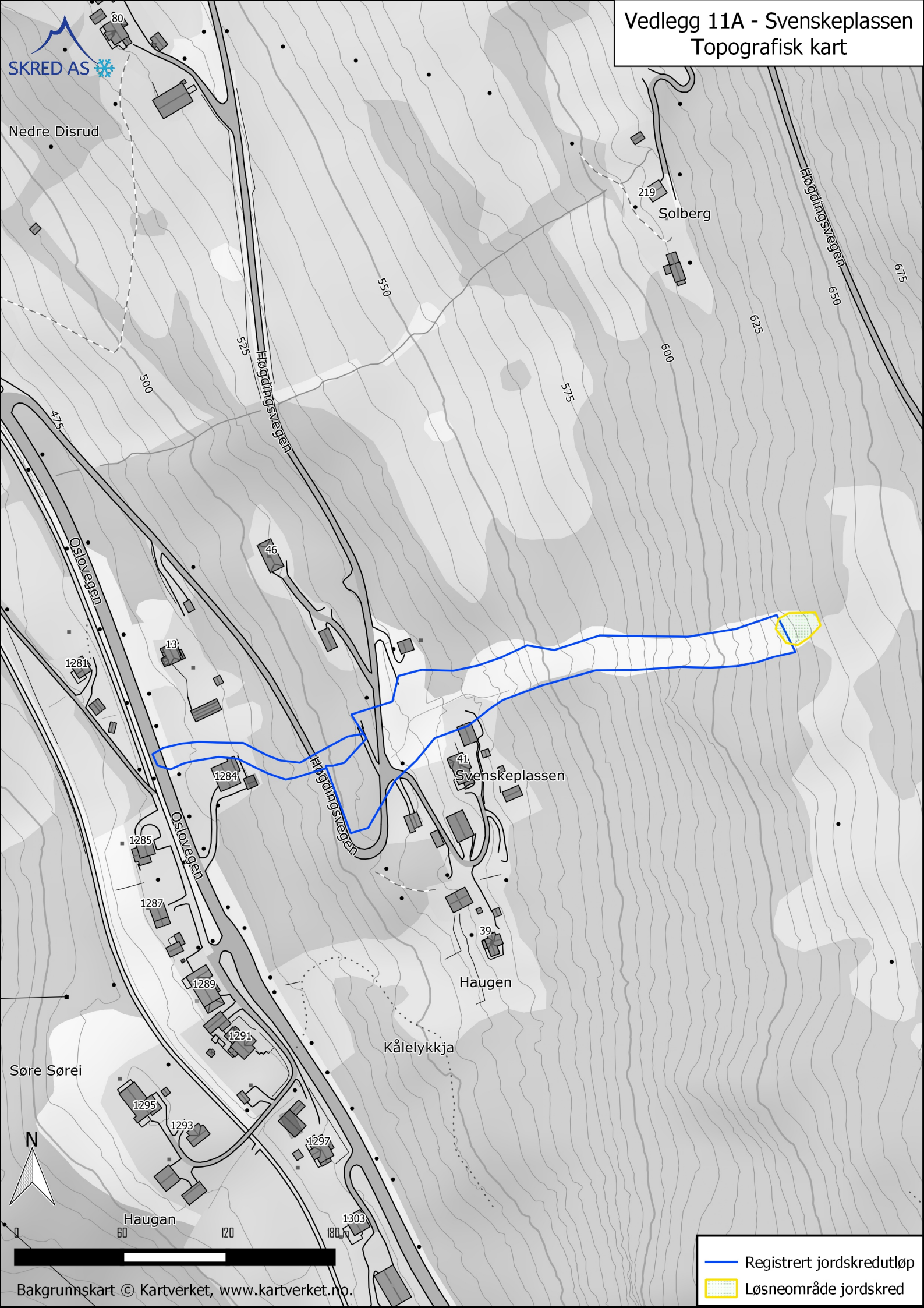
Vedlegg 10F - Botterud
Resultater RAMMS::Debris Flow



Vedlegg 10G - Botterud
Resultater RAMMS::Debris Flow

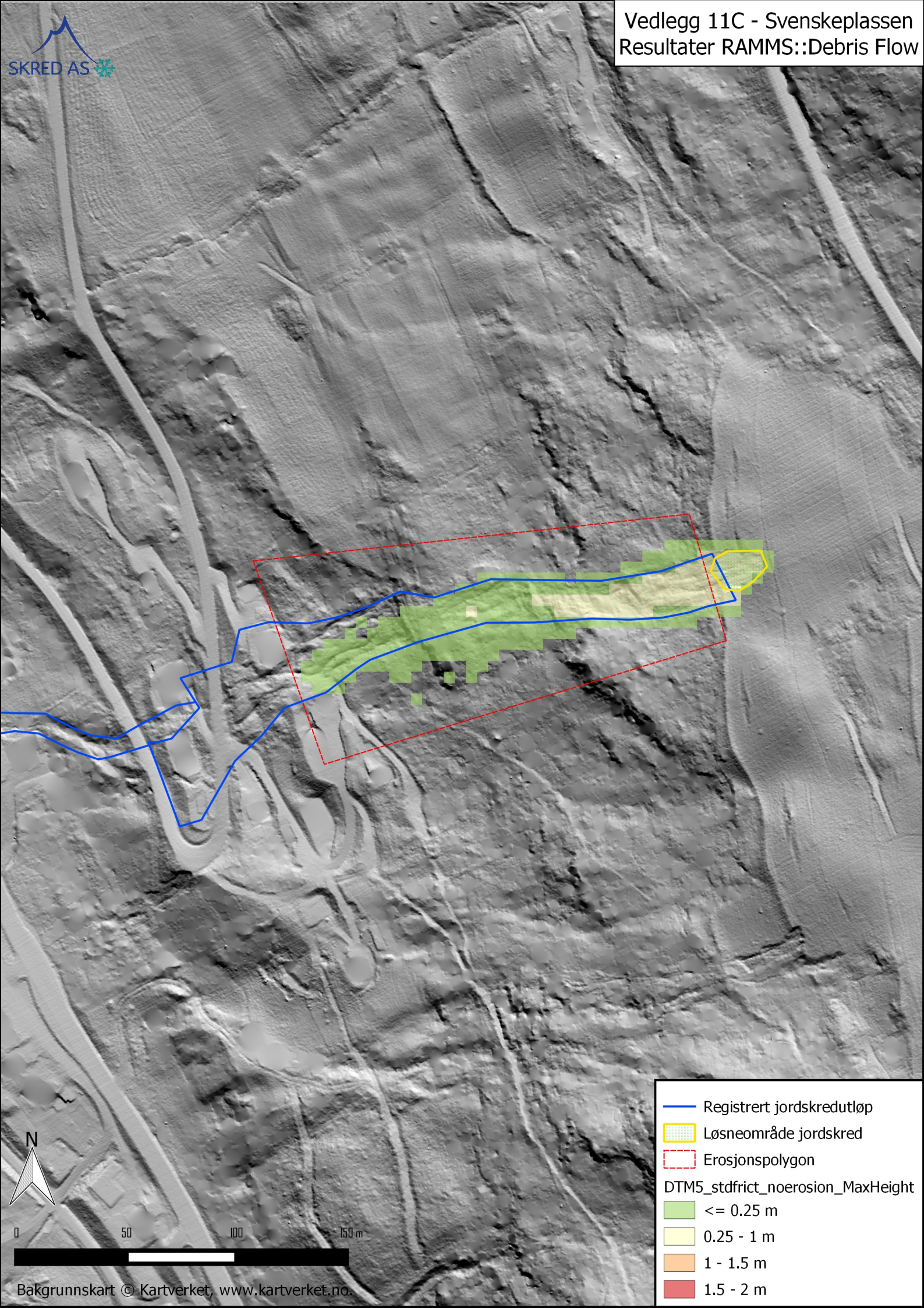


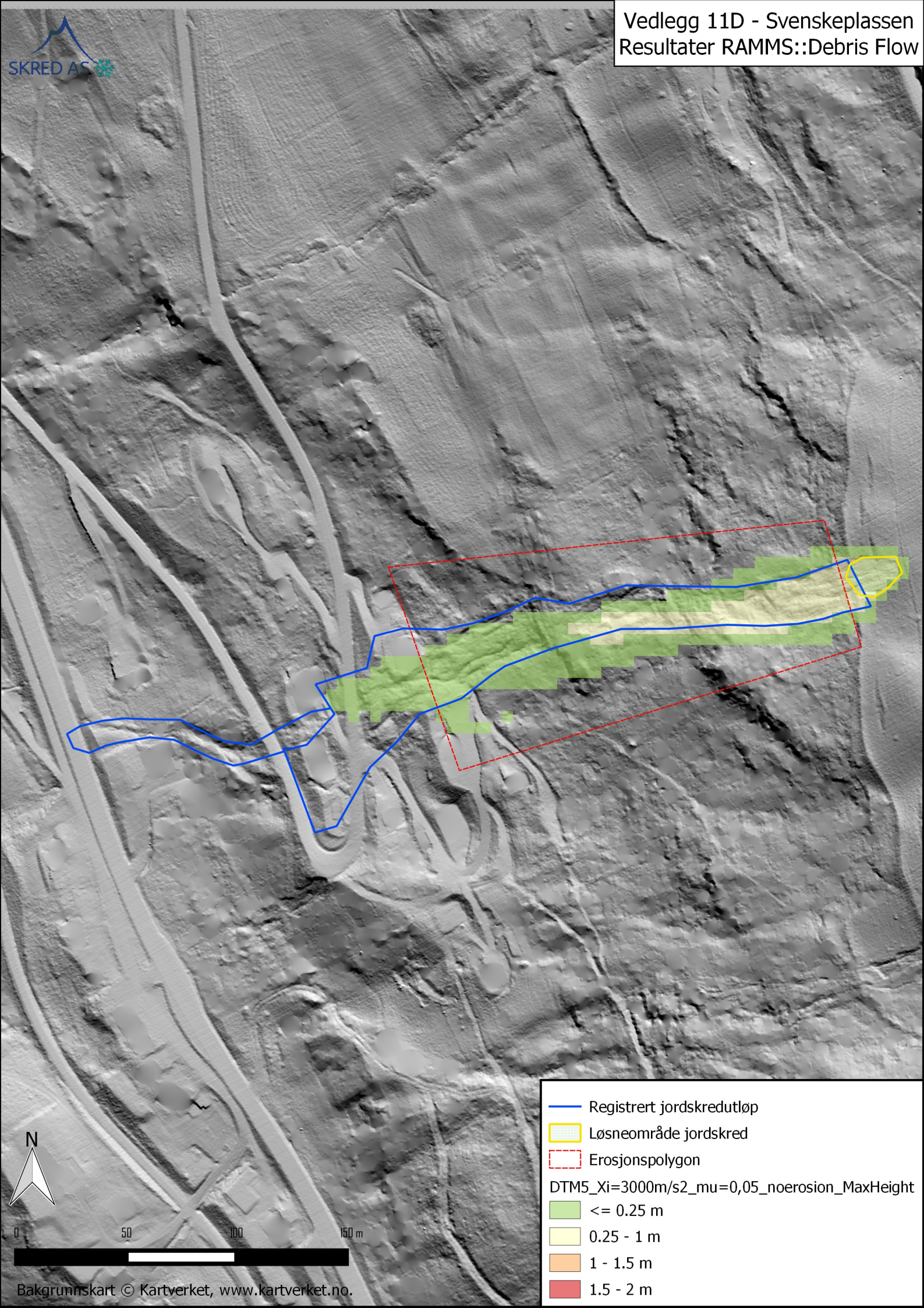
Vedlegg 11A - Svenskeplassen
Topografisk kart

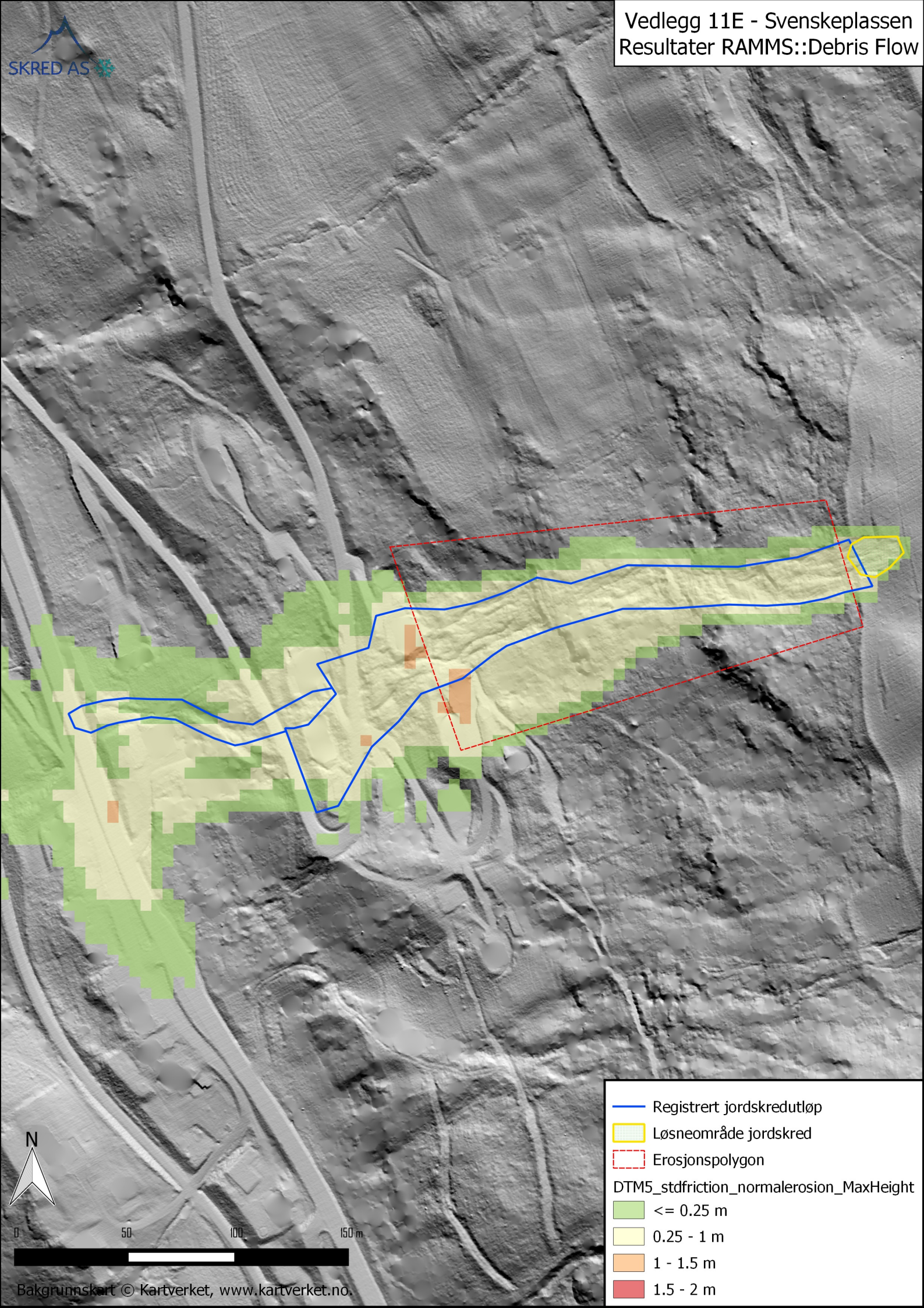


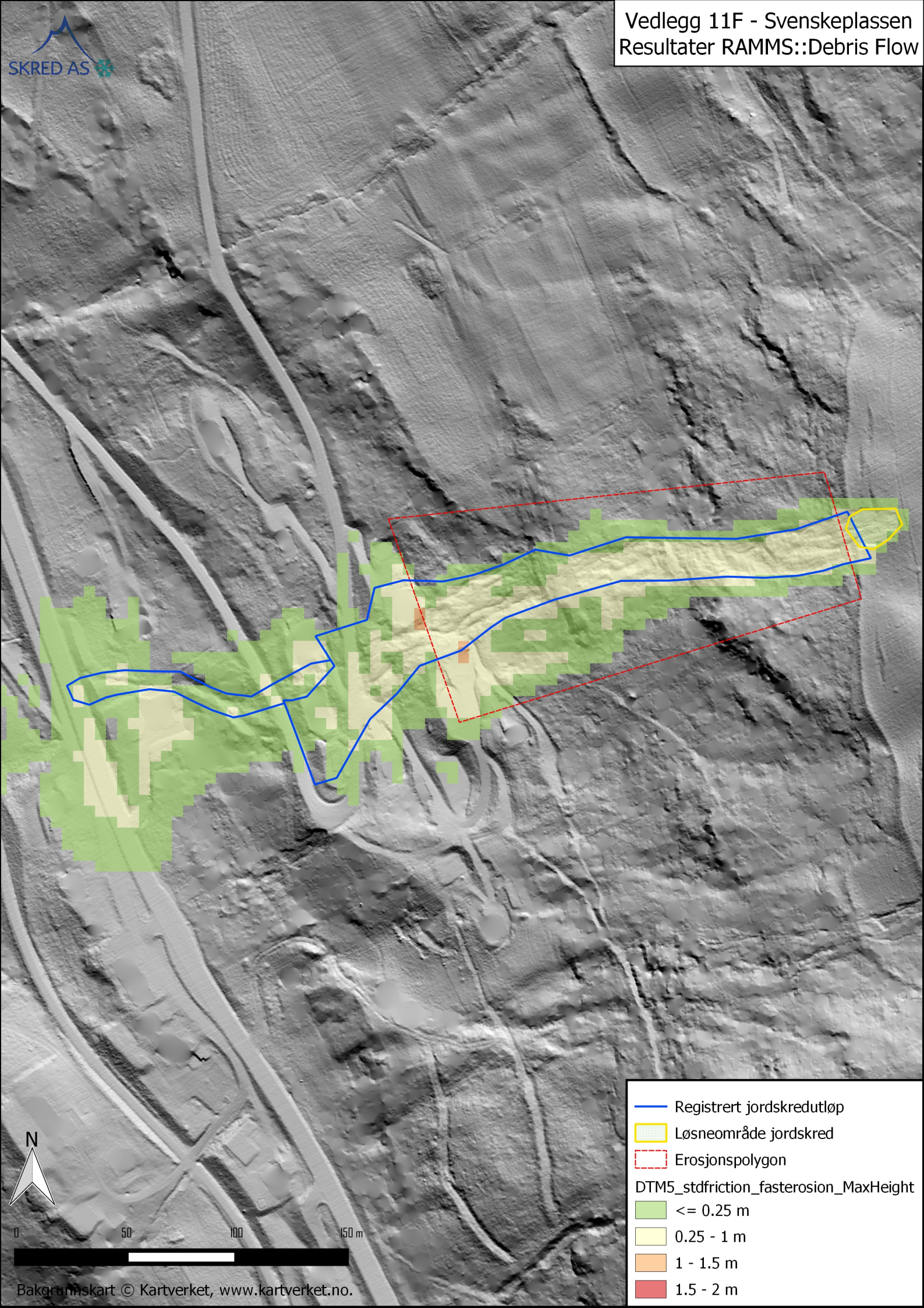
Vedlegg 11B - Svenskeplassen
Flyfoto

Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

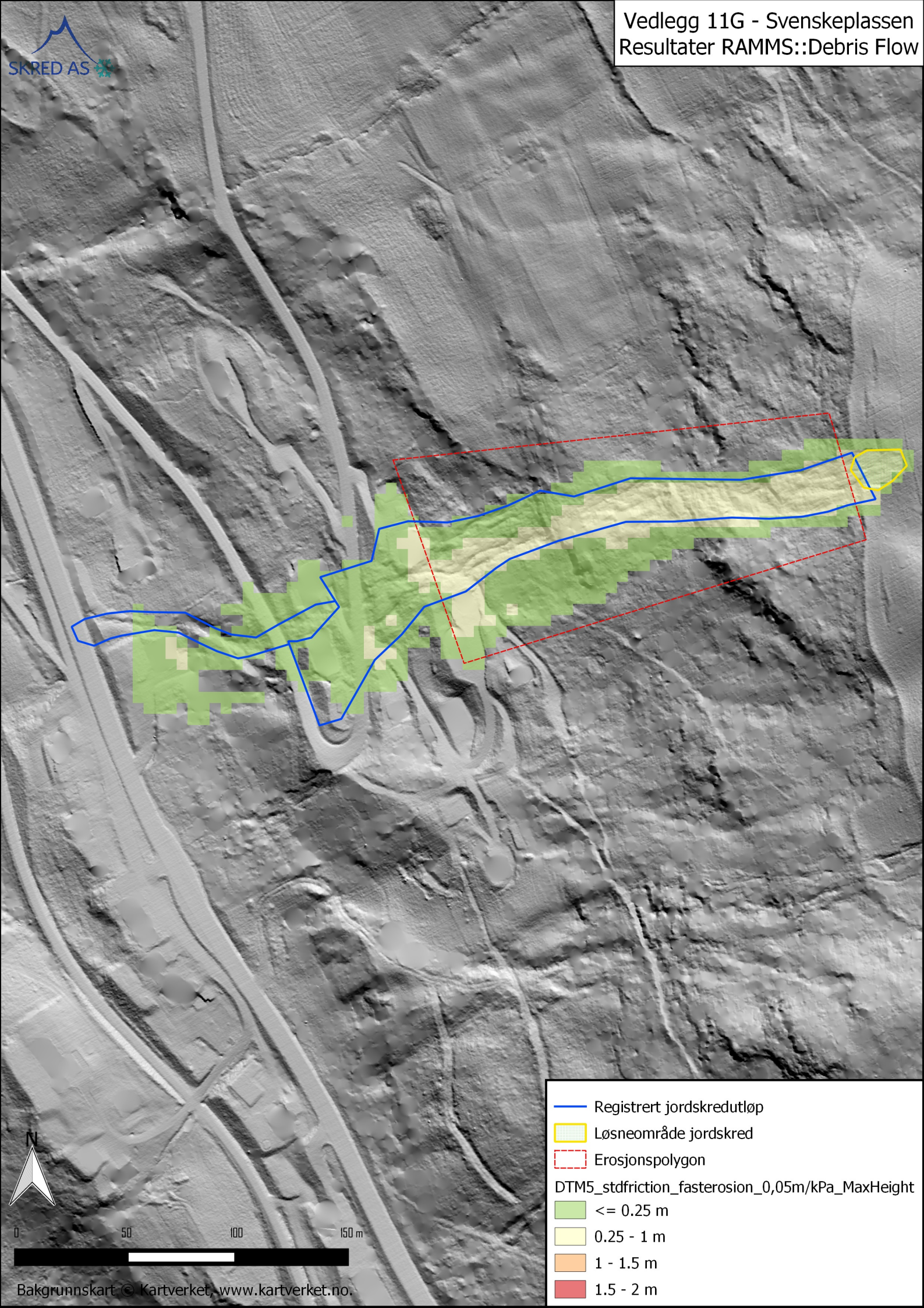

Vedlegg 11C - Svenskeplassen
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfrict_noerosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
50
100
150 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.


Vedlegg 11D - Svenskeplassen
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_Xi=3000m/s2_mu=0,05_noerosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
50
100
150 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.


Vedlegg 11E - Svenskeplassen
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_normalerosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
50
100
150 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.


Vedlegg 11F - Svenskeplassen
Resultater RAMMS::Debris Flow
SKRED AS
Registrert jordskredutløp
Løsneområde jordskred
Erosjonspolygon
DTM5_stdfriction_fasterosion_MaxHeight
<= 0.25 m
0.25 - 1 m
1 - 1.5 m
1.5 - 2 m
N
0
50
100
150 m
Bakgrunnskart © Kartverket, www.kartverket.no.

Vedlegg 11G - Svenskeplassen
Resultater RAMMS::Debris Flow



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNS GATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no